วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.2) May – August 2022 บทความวิจัย

การพัฒนาบราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวฮางงอก

The Development of Gluten-Free Brownies from Parboiled Germinated Brown Rice Flour

โชติกานต์ แขนอก, วิภา ลำพาย, อรัญญา พรหมกูล และ อาภัสสร ศิริจริยวัตร*

Chotikan Khaenok, Wipa Lumpay, Arunya Prommakool and Arpassorn Sirijariyawat*

คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร

Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakonnakhon Province Campus

Received : 1 June 2021

Revised : 19 July 2021

Accepted : 30 August 2021

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีผู้บริโภคจำนวนมากที่ไม่สามารถรับประทานแป้งสาลีได้ เนื่องจากการแพ้กลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากในแป้งสาลี อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งชนิดอื่นย่อมส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน นอกจากชนิดของแป้งแล้วขนาดอนุภาคของแป้งก็มีผลต่อคุณสมบัติของแป้งเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวฮางงอกที่มีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน 3 ขนาด ได้แก่ แป้งข้าวฮางงอกขนาด 60, 80 และ 1000 mesh มีตัวอย่างควบคุมคือบราวนี่ที่ทำจากแป้งสาลี จากการศึกษาพบว่าการใช้แป้งข้าวฮางงอกทดแทนแป้งสาลีส่งผลต่อเนื้อสัมผัส สี และการขึ้นฟูของตัวอย่าง การใช้แป้งข้าวฮางงอกทดแทนแป้งสาลีส่งผลให้บราวนี่มีค่า Firmness และ Chewiness เพิ่มขึ้นจาก 4.02 เป็น 7.72 N และจาก 0.13 เป็น 0.56 N ตามลำดับ ในขณะที่ค่า Adhesiveness มีค่าลดลงจาก 0.245 เป็น 0.07 Ns บราวนี่ที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 100 mesh มีค่า Chewiness สูงที่สุด และยังส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่ามากกว่าบราวนี่ที่ผลิตด้วยแป้งสาลี ($p \leq 0.05$) การใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 60 mesh ส่งผลให้บราวนี่มีการขึ้นฟูหลังการอบน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าบราวนี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดโดยอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก และมีคะแนนความชอบในลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ผลิตจากแป้งสาลี ($p > 0.05$) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระพบว่า บราวนี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh มีปริมาณไฟเบอร์ กาบา ฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh มาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการผลิตบราวนี่ปราศจากกลูเตนได้

คำสำคัญ : ข้าวฮางงอก ; บราวนี่ ; ขนาดอนุภาค ; กาบา ; กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

Presently, many consumers cannot consume wheat flour. Because of intolerance to gluten, a protein found in wheat flour. However, replace wheat flour with other types of flour will affect the quality of the product as each flour has different properties. Besides the flour type, the particle size of the flour also affects the properties of the flour. Therefore, this research aimed to develop gluten-free brownies from parboiled germinated brown rice flour with 3 different particle sizes, 60, 80, and 100 mesh. The control sample was the brownie made from wheat flour. The results showed that the use of parboiled germinated brown rice flour instead of wheat flour affected the texture, color, and rise of the samples. The firmness and chewiness were increased from.02 to 7.72 N and from 0.13 to 0.56 N, respectively, when replaced wheat flour with parboiled germinated brown rice flour. While the adhesiveness decreased from 0.245 to 0.07 Ns. Brownies produced using parboiled germinated brown rice flour, 100 mesh, had the highest chewiness value and resulted in lightness (L*), redness (a*), and yellowness (b*) value were higher than the brownies made with wheat flour ($p \leq 0.05$). The use of parboiled germinated brown rice flour with the particle size of 60 mesh resulted in the least rise in brownies after baking ($p \leq 0.05$). From sensory evaluation, brownies made from parboiled germinated brown rice flour with a particle size of 80 mesh received the highest overall preference score with moderate to high preference. The appearance, color, taste, texture, and overall preference score were not different from the wheat flour samples ($p > 0.05$). The composition and antioxidant activity results showed that brownies produced from 80-mesh parboiled germinated brown rice flour had higher fiber content, gaba content, phenolic content, and antioxidant activity than the control sample ($p \leq 0.05$). The results of this study indicated that the 80 mesh particle sized parboiled germinated brown rice flour can be substituted for wheat flour in the production of gluten-free brownies.

Keywords : parboiled germinated brown rice ; brownie ; particle size; gaba ; antioxidant activity

***Corresponding author. E-mail** : csnaps@ku.ac.th

บทนำ

ข้าวฮางงอก คือ การนำข้าวไปผ่านกระบวนการเพาะงอก โดยการนำข้าวเปลือกไปแช่น้ำ และเพาะให้เกิดการงอก จากนั้นนำไปนึ่ง นำไปลดความชื้น แล้วจึงนำข้าวไปสี กระบวนการเพาะงอกนั้นช่วยเพิ่มปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (สารกาบา) (γ-Amino butyric acid, GABA) สารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Caceres *et al*., 2014) โดยกระบวนการเพาะงอกสามารถทำ**ได้ทั้งจากข้าวเปลือกและข้าวกล้อง แต่การเพาะงอกโดยใช้ข้าวเปลือกทำให้ได้ข้าวที่มีปริมาณสารกาบา** แกมม่าออไรซานอล(γ-Oryzanol) และสารประกอบฟีนอลิก**ที่มากกว่าการเพาะงอกโดยใช้ข้าวกล้อง (**Moongngarm & Saetung, 2010) มีรายงานว่าการบริโภคข้าวฮางเป็นประจำมีส่วนช่วยลดการเกิดการอักเสบและการเกิดพังผืดที่ตับได้ ซึ่งอาการเหล่านี้ท้ายที่สุดจะก่อให้เกิดโรคตับแข็งและมะเร็งตับ (Wunjuntuk *et al*., 2016) หากเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวฮางงอกกับข้าวขาวและข้าวกล้องแล้วพบว่า ข้าวฮางงอกมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีกว่า และมีองค์ประกอบหลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในปริมาณที่สูงกว่าในข้าวขาวและข้าวกล้อง เช่น กรดเฟอรูลิก (Ferulic acid) กรดพาราคูมาริก (p-Coumaric acid) สารกาบา แกมม่าออไรซานอล แกมม่าโทโคไตรอีนอล (γ-Tocotrienol) สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Maisont & Narkrugsa, 2010; Jirapa *et al*., 2016; Wunjuntuk *et al*., 2016) โดยเฉพาะสารกาบาซึ่งในข้าวฮางมีปริมาณสารกาบามากกว่าในข้าวขาวและข้าวกล้องอย่างชัดเจน สารกาบานั้นมีผลดีต่อสุขภาพในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาทส่วนกลาง มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ช่วยในการทำให้ผ่อนคลาย ช่วยลดความดันโลหิต และลดปริมาณ Low-density lipoprotein ซึ่งเป็นลิโพโปรตีนที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (Thongekkaew, 2016). การนำข้าวฮางงอกมาแปรรูปเป็นแป้งเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งทำให้สามารถนำข้าวฮางงอกมาใช้ประโยชน์และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายยิ่งขึ้น แป้งข้าวฮางงอกนอกเหนือจากจะมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีแล้ว จุดเด่นอีกประการหนึ่งคือในข้าวฮางงอกไม่มีส่วนของกลูเตน (Gluten) ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากในแป้งสาลี ซึ่งแป้งสาลีนี้เป็นแป้งที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบหลักในผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผู้บริโภคบางกลุ่มเมื่อบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของแป้งสาลีจะเกิดอาการที่เรียกว่า Coeliac disease หรือโรคแพ้กลูเตน คืออาการแพ้ส่วนของโปรตีนไกลอะดินซึ่งพบได้ในในข้าวสาลี รวมถึงโปรตีนชนิดอื่นที่พบในธัญพืช เช่น โพรลามินซึ่งพบได้ในข้าวไรน์ ข้าวบาร์เล่ย์และข้าวโอ๊ต ส่งผลให้เกิดการอักเสบที่บริเวณลำไส้เล็ก ทำให้รบกวนการดูดซึมของสารอาหารสำคัญหลายชนิด เช่น เหล็ก กรดโฟลิก แคลเซี่ยม และวิตามินบางชนิด ซึ่งวิธีการที่จะหลีกเลี่ยงอาการเหล่านี้ได้คือการหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่มีกลูเตน (Feighery, 1999; Gallagher *et al*., 2004) อย่างไรก็ตามกลูเตนมีความจำเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่หลายประเภท เนื่องจากการเกิดโครงสร้างร่างแหของกลูเตน ทำให้ผลิตภัณฑ์เบอเกอรี่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความนุ่ม ยืดหยุ่น และสามารถกักเก็บกักก๊าซไว้ในโครงสร้างได้ (Gallagher *et al*., 2004)

บราวนี่เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ได้รับความนิยม ด้วยลักษณะ สี และรสชาติที่มีความเฉพาะ ไม่ต้องการการขึ้นฟูของขนมหรือความยืดหยุ่นซึ่งต้องอาศัยคุณสมบัติของโปรตีนกลูเตนมากเท่ากับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ชนิดอื่น และยังมีสีและกลิ่นของโกโก้หรือช็อกโกแลตซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของบราวนี่ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำแป้งข้าวฮางงอกมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการผลิตบราวนี่ เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่เป็นโรคแพ้กลูเตน ซึ่งในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจอาหารที่ปราศจากกลูเตนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ตลาดของอาหารปราศจากกลูเตนมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว สาเหตุมาจากมีผู้บริโภคที่

เป็นโรคแพ้กลูเตนเพิ่มมากขึ้น และผู้บริโภคยังมีความรู้สึกว่าอาหารปราศจากกลูเตนเป็นอาหารสุขภาพ (Xhakollaria *et al.*, 2019) ดังนั้นการใช้แป้งข้าวฮางงอกมาทดแทนแป้งสาลีนอกจากเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ทางเลือกแก่ผู้บริโภคที่ใส่ใจในเรื่องสุขภาพและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ยังเป็นการช่วยส่งเสริมกลุ่มเกษตรกรและการบริโภคข้าวไทยอีกทางหนึ่ง อีกทั้งการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าขนาดอนุภาคของแป้งที่แตกต่างกันมีผลต่อองค์ประกอบและสมบัติของแป้ง เช่น ปริมาณโปรตีน ปริมาณเม็ดสตาร์ชที่ถูกทำลาย (Damaged starch) ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการจับกับน้ำ สีของแป้ง และค่าความหนืดของแป้ง เป็นต้น (Kim & Shin, 2014) ซึ่งสมบัติเหล่านี้อาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวฮางงอก และศึกษาผลของขนาดอนุภาคของแป้งข้าวฮางงอกต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวฮางงอกซึ่งเป็นการนำวัตถุดิบที่ผลิตภายในประเทศมาใช้ทดแทนแป้งสาลี และเป็นการสร้างคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์บราวนี่

วิธีดำเนินการวิจัย

1. *<u>การเตรียมตัวอย่าง</u>*

นำข้าวฮางงอกซึ่งผลิตจากข้าวหอมมะลิจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวฮางงอกบ้านหนองบัวสร้าง จังหวัดสกลนคร มาบดด้วยเครื่องบด (รุ่น DXM-2000, DXFILL Grinder) แล้วนำแป้งที่ได้มาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 60, 80 และ100 mesh จากนั้นนำแป้งข้าวฮางงอกที่ได้ทั้ง 3 ขนาดอนุภาค ไปบรรจุแบบสุญญากาศในถุงโพลีเอทิลีน และเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะนำตัวอย่างไปใช้ต่อไป

2. *<u>การเตรียมบราวนี่</u>*

เตรียมบราวนี่สูตรควบคุมซึ่งได้จากการทดลองเบื้องต้น มีส่วนประกอบดังนี้ แป้งสาลีอเนกประสงค์ 12% ดาร์กช็อกโกแลต 7.8% เนยเค็ม 25% น้ำตาลทราย 31.4% ผงโกโก้ 7.8% เกลือ 0.3% และไข่ไก่ 15.7% นำเกลือ เนยเค็ม ดาร์กช็อกโกแลตและน้ำตาลไปให้ความร้อนเพื่อละลายส่วนผสมเข้าด้วยกัน จากนั้นพักไว้ให้อุณหภูมิลดลง และเติมไข่ไก่ ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน เติมแป้งและผงโกโก้ ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที

ทำการศึกษาผลของขนาดอนุภาคของแป้งข้าวฮางงอกต่อคุณภาพของบราวนี่ โดยใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 60, 80 และ100 mesh ทดแทนส่วนของแป้งสาลีอเนกประสงค์ หลังจากนั้นนำบราวนี่ที่ได้ทั้ง 4 สูตร ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3. *<u>การวิเคราะห์คุณภาพบราวนี่</u>*

- ค่าสีของบราวนี่ทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Hunter Lab (รุ่น Mini scan XE plus, Hunter Associates Laboratory) แหล่งกำเนิดแสง D65 Observers 10° รายงานค่า L* (ค่าความสว่าง) a*(ค่าความเป็นสีแดง) และ b* (ค่าความเป็นสีเหลือง)
- การขึ้นฟูของบราวนี่ทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยคำนวณจากความแตกต่างของความสูงของชิ้นตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (cm)

- ลักษณะเนื้อสัมผัสของบราวนี่ทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยตัดตัวอย่างให้มีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 1.5x1.5x1.5 cm จากนั้นนำไปวัดค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) การยึดเกาะระหว่างโครงสร้าง (Cohesiveness) การยึดติด (Adhesiveness) การคืนตัว (Springiness) และพลังงานในการเคี้ยว(Chewiness) โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer (รุ่น TA.XT.plus, Texture analyzer) ใช้หัววัดทรงกระบอก SMSP/50 ทำการกด 2 ครั้ง ใช้ Test speed 2 mm/sec ระยะทางกด 75 % ของตัวอย่าง (ดัดแปลงจาก Kim & Shin, 2014)

- การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบชิมซึ่งไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ที่มีอายุในช่วง 18-22 ปี โดยเป็นเพศหญิง 35 คน และเพศชาย 15 คน ทดสอบคุณลักษณะดังนี้ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

4. <u>การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี</u>

นำตัวอย่างบราวนี่ข้าวฮางงอกสูตรที่ได้รับการยอมจากผู้บริโภคมากที่สุด โดยพิจารณาจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส และตัวอย่างสูตรควบคุมซึ่งใช้แป้งสาลีมาทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณไฟเบอร์ด้วยเครื่อง Fiber analyzer (รุ่น ANKOM 2000, ANKOM Technology) ปริมาณสารกาบา และปริมาณสารประกอบฟินอลิก โดยดัดแปลงวิธีการจาก Jirapa *et al*. (2016) และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH และ FRAP โดยดัดแปลงวิธีการจาก Wanyo *et al*. (2014) ดังนี้

- การสกัดสารจากตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา ปริมาณสารประกอบฟินอลิก และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ โดยนำตัวอย่างบราวนี่ 5 g มาบดให้ละเอียด เติม 70% เมทานอล ปริมาตร 25 ml เขย่าให้เข้ากัน เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนที่เหลือมาทำการสกัดซ้ำอีกครั้งด้วย 70% เมทานอล ปริมาตร 25 ml จากนั้นรวมสารสกัดจากตัวอย่างที่ได้เข้าด้วยกันและเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -18°C จนกว่าจะทำการวิเคราะห์

- การวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา โดยนำสารตัวอย่างที่สกัดไว้ปริมาตร 200 µl ผสมกับ Borate buffer ความเข้มข้น 0.2 M ปริมาตร 200 µl และ 6% Phenol ปริมาตร 1 ml เขย่าให้เข้ากันและทำให้เย็นโดยแช่ในอ่างน้ำแข็งเป็นเวลา 5 นาที แล้วเติม 7.5 % Sodium hypochlorite ปริมาตร 0.4 ml เขย่าให้เข้ากัน และทำให้เย็นโดยแช่ในอ่างน้ำแข็งเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที เมื่อครบเวลาให้ลดอุณหภูมิของตัวอย่างทันทีโดยนำมาแช่ในอ่างน้ำแข็ง 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 nm ด้วยเครื่อง Microplate reader (Synergy™ HT Multi-Mode, BioTek Instruments) รายงานค่าเป็น mg GABA/ 100g sample

- การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยนำสารตัวอย่างที่สกัดไว้ปริมาตร 5 µl ผสมกับน้ำกลั่น 120 µl และ Folin - Ciocalteu's reagent ปริมาตร 10 µl ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 นาที จากนั้นเติม 15% Sodium carbonate ปริมาตร 40 µl หลังจากผสมตัวอย่างเสร็จนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader ที่ความยาวคลื่น 750 nm เปรียบเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐาน Gallic acid รายงานค่าเป็น mg GAE/100 g sample

- การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH โดยนำสารตัวอย่างที่สกัดไว้ปริมาตร 50 µl ผสมกับสารละลาย 0.1 mM DPPH ปริมาตร 150 µl วางไว้เป็นเวลา 30 นาทีโดยไม่ให้ถูกแสง จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดค่าการ

ดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader ที่ความยาวคลื่น 517 nm เปรียบเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐาน Ascorbic acid รายงานค่าเป็น mg Ascorbic/ 100 g sample

- การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ปิเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 6 µl จากนั้นเติมสารละลาย FRAP ปริมาตร 180 µl น้ำกลั่น 18 µl ผสมตัวอย่างและวางไว้ 4 นาทีที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader ที่ความยาวคลื่น 593 nm เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ $FeSO_4$ รายงานค่าเป็น mM Fe (II) /100 g sample

5. <u>การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ</u>

วิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและเคมีตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัสตามการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) สำหรับข้อมูลสมบัติทางเคมีวิเคราะห์ความแตกต่างด้วย Independent samples t-test โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

<u>ค่าสีและการขึ้นฟู</u>

เมื่อนำบราวนี่สูตรควบคุมซึ่งผลิตโดยใช้แป้งสาลีและบราวนี่จากแป้งข้าวฮางงอกมาทำการวัดค่าสี โดยรายงานเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกกับบราวนี่สูตรควบคุม ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างบราวนี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวฮางงอก 60 mesh มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ไม่แตกต่างจากบราวนี่สูตรควบคุม ($p>0.05$) การใช้แป้งข้าวฮางขนาดอนุภาค 100 mesh ส่งผลให้บราวนี่มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบราวนี่สูตรควบคุม ($p\leq0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าบราวนี่ที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวฮางขนาดอนุภาค 80 mesh และ 100 mesh มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

ตารางที่ 1 ค่าสีและการขึ้นฟูของบราวนี่ตัวอย่างควบคุมและบราวนี่ข้าวฮางงอก

Samples	L*	a*	b*	การขึ้นฟู (cm.)
Control	18.76±1.24^{b}	4.71±0.59^{b}	3.95±0.70^{b}	0.78±0.02^{a}
60 mesh	19.63±0.92^{b}	4.75±0.14^{b}	3.50±0.08^{b}	0.50±0.00^{c}
80 mesh	22.31±1.03^{a}	5.72±0.51^{a}	4.42±0.53^{ab}	0.65±0.10^{b}
100 mesh	22.06±1.62^{a}	6.12±0.37^{a}	5.27±0.70^{a}	0.63±0.02^{b}

**หมายเหตุ* : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 1 ตัวอย่างบราวนี่ (ก) สูตรควบคุม (ข) แป้งข้าวฮางงอก 60mesh (ค) แป้งข้าวฮางงอก 80mesh และ (ง) แป้งข้าวฮางงอก 100mesh

บราวนี่จะมีการขยายขนาดหลังจากการอบ เนื่องจากเมื่อน้ำที่อยู่ในตัวอย่างได้รับความร้อนจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอและดันโครงสร้างให้เกิดการพองตัวออกทำให้ความสูงของตัวอย่างหลังอบเพิ่มขึ้น หากโครงสร้างบราวนี่มีความแข็งแรงพอจะสามารถคงขนาดของตัวอย่างไว้ได้ แต่หากโครงสร้างบราวนี่ไม่แข็งแรงพอตัวอย่างจะเกิดการยุบตัวลงหลังจากการอบ โดยค่าการขึ้นฟูของตัวอย่างซึ่งหาได้จากความสูงของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นหลังการอบแสดงดังตารางที่ 1 และภาพขนาดของตัวอย่างหลังจากการอบแสดงดังภาพที่ 1 จากการศึกษาพบว่าการใช้แป้งข้าวฮางงอกทดแทนแป้งสาลีมีผลให้การขึ้นฟูของตัวอย่างลดลง ($p \leq 0.05$) ซึ่งการใช้แป้งข้าวฮางที่มีขนาดอนุภาค 60 mesh ส่งผลให้การขึ้นฟูต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่วนการใช้แป้งข้าวฮางขนาดอนุภาค 80 mesh และ 100 mesh ส่งผลให้ตัวอย่างมีการขึ้นฟูหลังการอบไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และจากภาพที่ 1 ยังแสดงให้เห็นว่าบราวนี่สูตรควบคุมมีช่องอากาศกระจายอยู่ภายในชิ้นบราวนี่อย่างสม่ำเสมอ ในขณะที่บราวนี่สูตรแป้งข้าวฮาง งอก 60 mesh มีช่องอากาศขนาดใหญ่และเล็กผสมกันไม่สม่ำเสมอ และบางส่วนมีการยุบตัวของช่องอากาศ

ส่งผลให้บราวนี่มีการขึ้นฟูต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ สำหรับบราวนี่สูตรแป้งข้างฮางงอก 80 และ 100 mesh เนื้อบราวนี่มีช่องอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วทั้งชิ้นตัวอย่าง ส่งผลให้การขึ้นฟูดีกว่าตัวอย่างบราวนี่ข้าวฮางงอก 60 mesh แต่มีการขึ้นฟูได้น้อยกว่าตัวอย่างสูตรควบคุม

เนื้อสัมผัส

จากการนำแป้งข้าวฮางงอกที่มีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน 3 ขนาดมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการผลิตบราวนี่ และวัดเนื้อสัมผัสโดยเครื่อง Texture analyzer ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบราวนี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีมีค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) การใช้แป้งข้าวฮางงอกทดแทนแป้งสาลีส่งผลให้บราวนี่มีความแน่นเนื้อสูงขึ้น และขนาดอนุภาคของแป้งข้าวฮางงอกมีผลต่อความแน่นเนื้อ โดยการใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 และ 100 mesh มีผลให้ความแน่นเนื้อของบราวนี่มากกว่าการใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 60 mesh ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้แป้งข้าวฮางงอกยังส่งผลต่อค่าเนื้อสัมผัสในด้านอื่นด้วย โดยส่งผลให้ค่า Cohesiveness Springiness และ Chewiness มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของแป้งข้าวฮางงอกมีขนาดเล็กลง ในส่วนของค่า Adhesiveness นั้นพบว่าการใช้แป้งข้าวฮางงอกส่งผลให้บราวนี่มีการยึดติดที่ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) แต่ขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อค่า Adhesiveness ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เนื้อสัมผัสของบราวนี่สูตรควบคุมและบราวนี่ข้าวฮางงอก

Sample	Firmness (N)	Cohesiveness	Adhesiveness (Ns)	Springiness	Chewiness (N)
Control	4.02±0.11^{c}	0.16±0.01^{b}	0.245±0.016^{a}	0.22±0.04^{b}	0.13±0.03^{c}
60 mesh	5.32±0.61^{b}	0.19±0.01^{ab}	0.068±0.006^{b}	0.28±0.04^{ab}	0.27±0.06^{b}
80 mesh	6.93±0.40^{a}	0.20±0.02^{a}	0.055±0.002^{b}	0.27±0.03^{b}	0.34±0.07^{b}
100 mesh	7.72±0.71^{a}	0.21±0.02^{a}	0.070±0.006^{b}	0.35±0.05^{a}	0.56±0.11^{a}

**หมายเหตุ* : ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวฮางงอกในการผลิต ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 60 mesh จะมีความสูงหลังการอบที่น้อยกว่าบราวนี่จากแป้งข้าวฮางงอกที่

มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า แต่บราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 60 mesh มีค่าความแน่นเนื้อที่ต่ำกว่าบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 และ 100 mesh

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำบราวนี่สูตรควบคุมและบราวนี่สูตรข้าวฮางงอกทั้ง 3 สูตรไปให้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนทำการทดสอบเพื่อให้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม คะแนนที่ได้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบราวนี่สูตรควบคุมและบราวนี่ข้าวฮางงอก

Samples	Appearance	Color	Taste	Texture	Overall
Control	7.6 ± 1.1^{ab}	7.6 ± 1.4^{a}	7.6 ± 1.5^{a}	7.1 ± 1.7^{a}	7.6 ± 1.4^{ab}
60 mesh	7.3 ± 1.3^{b}	7.5 ± 1.4^{ab}	6.7 ± 1.8^{b}	6.1 ± 1.8^{b}	6.7 ± 1.6^{c}
80 mesh	8.0 ± 1.2^{a}	8.0 ± 1.2^{a}	7.6 ± 1.5^{a}	7.4 ± 1.7^{a}	7.9 ± 1.0^{a}
100 mesh	7.1 ± 1.7^{b}	7.0 ± 1.7^{b}	7.4 ± 1.6^{a}	7.2 ± 1.8^{a}	7.3 ± 1.6^{b}

**หมายเหตุ* : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการศึกษาพบว่าบราวนี่สูตรควบคุมได้รับคะแนนในทุกด้านอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก การใช้แป้งข้าวฮางงอกทดแทนแป้งสาลีในการผลิตบราวนี่มีผลให้ค่าคะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยคะแนนที่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของแป้งที่ใช้ ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบลักษณะปรากฏของบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh อยู่ในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมากซึ่งไม่แตกต่างจากบราวนี่สูตรแป้งสาลี ($p>0.05$) แต่แตกต่างจากบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 60 และ 100 mesh ($p\leq0.05$) สำหรับคะแนนความชอบด้านสีของบราวนี่ พบว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบสีของบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh อยู่ในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งไม่แตกต่างจากบราวนี่สูตรแป้งสาลีและบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 60 mesh ($p>0.05$) แต่แตกต่างจากบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 100 mesh ($p\leq0.05$) ในส่วนของคะแนนความชอบด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสพบว่า บราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh 100 mesh และสูตรแป้งสาลี ได้รับระดับความชอบอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งแตกต่างจากบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 60 mesh ($p\leq0.05$) สำหรับคะแนนความชอบโดยรวมผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งไม่แตกต่างจากบราวนี่สูตรแป้งสาลี ($p>0.05$) นอกจากนี้ ผู้ทดสอบชิมมีความชอบบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh ที่สูงในทุกคุณลักษณะ จึงแสดงให้เห็นว่าสามารถนำแป้ง

ข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh มาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่ปราศจากกลูเตน โดยยังคงได้รับความชอบจากผู้ทดสอบไม่แตกต่างจากบราวนี่แป้งสาลี ดังนั้นจึงเลือกบราวนี่สูตรข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีได้แก่ ปริมาณไฟเบอร์ ปริมาณสารกาบา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพื่อเปรียบเทียบกับบราวนี่สูตรควบคุม

คุณภาพทางเคมี

ปริมาณไฟเบอร์ของตัวอย่างบราวนี่สูตรควบคุมและสูตรข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh แสดงดังตารางที่ 4 จากตารางพบว่าบราวนี่แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh มีปริมาณไฟเบอร์มากกว่าบราวนี่สูตรแป้งสาลีถึง 5.6 เท่า ($p \leq 0.05$) ปริมาณไฟเบอร์ที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากส่วนของแป้งข้าวฮางงอก

ตารางที่ 4 ปริมาณไฟเบอร์ สารกาบา สารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่วัดโดยวิธี DPPH และ วิธี FRAP ของบราวนี่สูตรควบคุมและสูตรข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh

Samples	Fiber content (g/100g)	GABA content (mg/100g)	Phenolic content (mg/100g)	Antioxidant activities	
				DPPH (mg/100g)	FRAP (mM Fe(II) /100g)
Control	1.07±0.06[b]	0.17±0.03[b]	14.07±0.09[b]	8.41±0.13[b]	80.13±2.02[b]
80 mesh	6.02±0.04[a]	2.0±0.04[a]	17.84±0.13[a]	9.06±0.01[a]	110.57±4.04[a]

**หมายเหตุ* : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณสารกาบา สารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของบราวนี่แสดงดังตารางที่ 4 ผลการศึกษาพบว่าบราวนี่สูตรข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh มีปริมาณสารกาบา และสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าบราวนี่สูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้งที่วัดด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของบราวนี่สูตรข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh มีมากกว่าบราวนี่สูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารกาบาและสารประกอบฟีนอลิกที่พบในตัวอย่าง

วิจารณ์ผลการวิจัย

บราวนี่สูตรควบคุมใช้แป้งสาลีในการผลิต ซึ่งในแป้งสาลีมีโปรตีนไกลแอดิน (Gliadin) และกลูเตนิน (Glutenin) ที่มีคุณสมบัติในการรวมตัวเป็นโครงสร้างร่างแหของกลูเตน (Gluten) โดยการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลของกรดอะมิโน

ซึ่งโครงสร้างนี้มีสมบัติด้านความยืดหยุ่น (Elasticity) สามารถกักเก็บก๊าซไว้ในโครงสร้างได้ (Gallagher *et al*., 2004) ส่งผลให้หลังจากการอบ ตัวอย่างมีการขึ้นฟูและมีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอย่างสม่ำเสมอ ตัวอย่างควบคุมจึงมีเนื้อสัมผัสนุ่มและมีความแน่นเนื้อที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวฮางงอกในการผลิต ขณะที่แป้งข้าวฮางงอกไม่มีโปรตีนดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถเกิดร่างแหโปรตีนได้ ส่งผลให้โครงสร้างของตัวอย่างไม่แข็งแรงและไม่สามารถเก็บกักก๊าซไว้ได้ ทำให้ตัวอย่างมีการขึ้นฟูที่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (ดังตารางที่ 1) จึงส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างควบคุม ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Chueamchaitrakun *et al*. (2011) ซึ่งศึกษาการผลิตบัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งข้าวหอมมะลิผสมแป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยพบว่าบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวหอมมะลิ และบัตเตอร์เค้กที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวต่อแป้งข้าวหอมมะลิต่ำกว่า 40% จะมีความแข็งมากกว่าบัตเตอร์เค้กจากแป้งสาลี

นอกจากนี้ขนาดอนุภาคยังมีผลต่อสี การขึ้นฟูและเนื้อสัมผัสของตัวอย่างซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากแป้งข้าวฮางที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ (60 mesh) มีความสามารถในการการดูดซับน้ำเพื่อให้เกิดเจลและเกิดโครงสร้างที่มีความสม่ำเสมอได้ไม่ดีเท่ากับแป้งข้าวฮางที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (80 และ 100 mesh) และแป้งที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันอาจมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จึงทำให้ตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาด 60 mesh มีโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง มีขนาดและการกระจายของอากาศภายในโครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอเท่ากับการใช้แป้งข้าวฮางขนาดอนุภาค 80 และ 100 mesh จึงมีการขึ้นฟู และความแน่นเนื้อที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวฮางขนาดอนุภาค 80 และ 100 mesh mesh ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kim & Shin (2014) รายงานว่าแป้งข้าวที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน (80 – 200 mesh) มีสีที่แตกต่างกันโดยแป้งข้าวที่มีขนาดอนุภาคเล็กมีความสว่าง (L*) มากกว่าแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ โดยแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีปริมาณเม็ดสตาร์ชที่ถูกทำลาย (Damaged starch) และสัดส่วนของเม็ดสตาร์ช (Strach granule) มากกว่าแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ แต่มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ส่งผลให้แป้งที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีความสามารถในการจับกับน้ำและการละลายน้ำดี และมีความหนืดสูงกว่าแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ เมื่อนำแป้งข้าวมาผลิตเป็นคัพเค้กพบว่า แป้งข้าวที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะทำให้เค้กมีฟองอากาศขนาดใหญ่และไม่สม่ำเสมอ เมื่อแป้งมีขนาดอนุภาคเล็กลงขนาดของฟองอากาศก็จะเล็กลงด้วย Hera *et al.* (2013) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของแป้งข้าวต่อคุณภาพเค้กปราศจากกลูเตน รายงานว่าเมื่อขนาดอนุภาคของแป้งลดลงส่งผลให้ความสามารถในการดูดน้ำของแป้งเพิ่มขึ้น และมีปริมาตรของส่วนผสมเค้กก่อนอบน้อยกว่าแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ เมื่ออบเค้กที่ทำจากแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะได้เค้กที่มีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามผลของขนาดอนุภาคของแป้งต่อคุณภาพของเค้กยังขึ้นอยู่กับชนิดของเค้กด้วย สำหรับเลเยอร์เค้กการใช้แป้งขนาดอนุภาคเล็กส่งผลให้เค้กมีความแน่นเนื้อสูงกว่าการใช้แป้งขนาดอนุภาคใหญ่ Xu *et al*. (2020) รายงานว่านอกจากองค์ประกอบของแป้งที่ใช้และสูตรที่ใช้ในการผลิตจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทั้งคุกกี้ บิสกิต เค้ก มัฟฟิน และแครกเกอร์แล้ว วิธีการในการโม่แป้ง ขนาดอนุภาคของแป้ง และการนำแป้งไปผ่านกระบวนการใด ๆ มาก่อนก็ส่งผลถึงลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยเช่นกัน

สำหรับปริมาณเส้นใย สารกาบา สารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างบราวนี่ข้าวฮางงอก 80 mesh เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมนั้น มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งพบว่าข้าวฮางงอกมีองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้อยู่ในปริมาณมาก Maisont & Narkrugsa (2010) รายงานว่าการนำข้าวเปลือกมาผ่านกระบวนการงอกทำให้ปริมาณกาบา ปริมาณไฟเบอร์ ปริมาณฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้น Jirapa *et al*. (2016) พบว่าข้าวเปลือก 5 พันธุ์ที่นำมาผ่านการเพาะงอกเป็นเวลา 12 ชั่วโมงมีปริมาณกาบาเพิ่มขึ้น 4.12 เท่า ฟีนอลิกเพิ่มขึ้น 2.96 เท่า ฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น 7.93 เท่า และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซึ่งวัดด้วยวิธี DPPH เพิ่มขึ้น 3.64 เท่า เมื่อเทียบกับข้าวเปลือกก่อนการเพาะงอก Caceres *et al*. (2017) รายงานว่ากระบวนการงอกทำให้ปริมาณสารกาบา สารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นและการเพิ่มขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการงอก

สรุปผลการวิจัย

การใช้แป้งข้าวฮางงอกทดแทนแป้งสาลีในการผลิตบราวนี่ส่งผลต่อการขึ้นฟู ค่าสี และเนื้อสัมผัสของตัวอย่างบราวนี่ โดยส่งผลให้บราวนี่มีการขึ้นฟูลดลง ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น และค่าลักษณะเนื้อสัมผัสได้แก่ ค่า Firmness และ Chewiness เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Adhesiveness มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบราวนี่ที่ผลิตด้วยแป้งสาลี การผลิตบราวนี่โดยใช้แป้งข้าวฮางงอกที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันทำให้ได้บราวนี่ที่มีลักษณะที่ต่างกัน การใช้แป้งข้าวฮางงอกที่มีขนาดอนุภาคเล็กส่งผลให้ค่า Firmness Springiness และ Chewiness มีค่าเพิ่มขึ้น การใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาคใหญ่ (60 mesh) ส่งผลให้การขึ้นฟูหลังการอบลดลงมากที่สุด โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมต่อ บราวนี่ที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh มากกว่าการใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาคอื่น ๆ และการใช้แป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh ยังมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีของบราวนี่สูตรแป้งข้าวฮางงอกขนาดอนุภาค 80 mesh พบว่ามีปริมาณไฟเบอร์สูงกว่า บราวนี่สูตรควบคุมซึ่งใช้แป้งสาลีในการผลิต ในส่วนของคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระพบว่ามีสารกาบาและสารประกอบฟีนอลลิกในปริมาณที่สูงกว่าสูตรควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ซึ่งมีค่าสูงกว่าสูตรควบคุมเช่นเดียวกัน

เอกสารอ้างอิง

Caceres, P.J., Martinez-Villaluenga, C., Amigo, L., & Frias, J. (2014). Review: Maximising the phytochemical content and antioxidant activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food Chemistry*, *152*, 407–414.

Caceres, P.J., Penas, E., Martinez-Villaluenga, C., Amigo, L., & Frias, J. (2017). Enhancement of biologically active compounds in germinated brown rice and the effect of sun-drying. *Journal of Cereal Science*, *73,* 1-9.

Chueamchaitrakun, P., Chompreeda, P., Haruthaithanasan, V., Suwonsichon, T., Kasemsamran, S., & Prinyawiwatkul, W. (2011). Sensory descriptive and texture profile analyses of butter cakes made from composite rice flours. *International Journal of Food Science and Technology*, *46,* 2358–2365.

Feighery, C. (1999). Coeliac disease. *British Medical Journal*, *319*, 236–239.

Gallagher, E., Gormley, T.R., & Arendt, E.K. (2004). Recent advances in the formulations of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology, 15,* 143-152.

Hera, E. de la, Martinea, M., Oliete, B., & Gomez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice cakes. *Food Bioprocess Technology, 6*, 2280-2288.

Jirapa, K., Jarae, Y., Phanee, R., & Jirasak, K. (2016). Changes of bioactive components in germinated paddy rice (*Oryza sativa* L.). *International Food Research Journal, 23*(1), 229-236.

Kim, J.M., & Shin, M. (2014). Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes. *LWT-Food Science and Technology*, *59,* 526-532.

Maisont, S. & Narkrugsa, W. (2010). The effect of germination of GABA content, chemical composition, total phenolics content and antioxidant capacity of Thai waxy paddy rice. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, *44*, 912-923.

Moongngarm, A., & Saetung, N. (2010). Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. *Food Chemistry*, *122,* 782–788.

Thongekkaew, J. (2016). A Greatly useful of GABA for health. *KKU Science Journal*, *43*(2), 205-211. (in Thai)

Wanyo P., Meeso, N., & Siriamornpun, S. (2014). Effects of different treatments on the antioxidant properties and phenolic compounds of rice bran and rice husk. *Food Chemistry, 157*, 457–463.

Wunjuntuk, K., Kettawan, A., Rungruang, T., & Charoenkiatkul, S. (2016). Anti-fibrotic and anti-inflammatory effects of parboiled germinated brown rice (*Oryza sativa* 'KDML 105') in rats with induced liver fibrosis. *Journal of Functional Foods*, *26,* 363–372.

Xhakollaria, V., Canavaria, M., & Osman, M. (2019). Factors affecting consumers' adherence to gluten-free diet, a systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, *85*, 23-33.

Xu, J., Zhang, Y., Wang, W., & Li, Y. (2020). Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *103,* 200-213.