วารสารเกษตรนเรศวร
ISSN : 0859-3027
ISSN (Online) : 2730-356X

บทความวิจัย

การลดเกลือในไข่ขาวเค็มและการประยุกต์ใช้ในโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว

กชกร กันหาเรียง[1] ทิพวรรณ ทองสุข[1] ศศิวิมล จิตรากร[1] และสุดารัตน์ เจียมยั่งยืน[2*]

[1]ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
[2]สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
*Corresponding author: sudarat.j@cmu.ac.th
(Received: December 12, 2023; Revised: February 8, 2024; Accepted: February 13, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดเกลือในไข่ขาวเค็มโดยวิธีการต้ม และศึกษาอัตราส่วนของปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่และปริมาณไข่ขาวเค็มที่ผ่านการลดเกลือต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว โดยศึกษาอัตราส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อไข่ขาว คือ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, และ 20:80 โดยน้ำหนัก จากการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการลดเกลือโดยใช้วิธีต้ม จำนวน 5 รอบ สามารถกำจัดเกลือได้ 97.32% โดยให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีน 97.93% และปริมาณผลผลิต 95.02% มีความเหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวได้ การศึกษาอัตราส่วนของปริมาณข้าวและปริมาณไข่ขาวเค็มที่ผ่านการลดเกลือต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่า ปริมาณอะไมโลส ค่า peak viscosity ค่า holding strength breakdown ค่า final viscosity และค่า setback มีค่าลดลง เมื่อปริมาณไข่ขาวเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าเวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด (peak time) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) พบว่า เมื่อลดปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดได้ เนื่องจากความหนืดต่ำมาก สำหรับสมบัติด้านรีโอโลยี พบว่า เมื่อปริมาณไข่ขาวเพิ่มมากขึ้นทำให้ตัวอย่างมีลักษณะเป็นของแข็งมากกว่าของเหลว และมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้นโดยสูตรที่เติมไข่ขาว 80% มีค่า G' และ G" สูงที่สุด และสูตรที่เติมไข่ขาว 20% มีค่า G' และ G" ต่ำที่สุด ในขณะที่ค่า tan δ ของทุกตัวอย่าง มีค่าน้อยกว่า 1

คำสำคัญ: ไข่ขาวเค็ม; การลดเกลือ; การต้ม; ข้าวไรซ์เบอร์รี่; โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

NARESUAN AGRICULTURE JOURNAL
ISSN : 0859-3027
ISSN (Online) : 2730-356X

Research Article

Desalination of Salted Egg White and Application in Instant Porridge Fortified with Egg White

Kotchakorn Kanhariang[1], Tipawan Thongsook[1], Sasivimon Chittrakorn[1] and Sudarat Jiamyangyuen[2]*

[1]Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok Province 65000

[2]Food Science and Technology Division, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University 239, Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai Thailand, 50200

*Corresponding author: sudarat.j@cmu.ac.th

(Received: December 12, 2023; Revised: February 8, 2024; Accepted: February 13, 2024)

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of desalination using boiling method and to evaluate the effect of rice berry and egg white ratio on chemical and physical properties of instant porridge fortified with egg white. The ratio of rice berry and egg white evaluated were 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, and 20:80. For desalination, 5 cycles boiling of salted egg white could remove 97.32% salt with 97.93% protein content and 95.02% yield. This method was then selected for desalination purpose in this study. The rice and egg white ratio affected chemical and physical properties of instant porridge fortified with egg white. The result obtained indicated that amylose content, peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity, and setback were decreased, while peak time was increased when the addition of egg white increase. Pasting temperature showed when the addition of rice berry decreased unable to read value the pasting temperature because the viscosity is very low. For rheological properties, it was found that when the addition of egg white increase the porridge showed more solid-like characteristic and more flexible. The 80% egg white formula had the highest G' and G". The 20% egg white formula showed the lowest G' and G" while the tan δ of all samples was less than 1.

Keywords: Salted egg white; Desalination; Boiling; Rice berry; Instant porridge

บทนำ

ไข่เป็ดเค็มเป็นผลิตภัณฑ์ไข่ดองที่บริโภคกันอย่างแพร่หลายและมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน ส่วนใหญ่จะนำไข่แดงไปบริโภค ส่วนไข่ขาวเค็มจะถูกทิ้งเป็นของเสีย ประเทศไต้หวันมีปริมาณไข่ขาวเค็มที่ถูกทิ้งประมาณ 3,260 ตันต่อปี ส่งผลทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไข่ขาวเค็มมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์สูง ต้องใช้ต้นทุนสูงในการกำจัดเนื่องจากไม่มีสถานที่กำจัดอย่างเหมาะสม และส่งกลิ่นไม่พึงประสงค์ ไข่ขาวเค็มจึงเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม (Thammasena and Liu, 2020) ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการบริโภคไข่แดงเค็มเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องสูญเสียไข่ขาวเค็มที่มีโปรตีนคุณภาพสูง ดังนั้น การแปรรูปไข่ขาวเค็มที่เป็นของเสียให้เป็นส่วนผสมที่มีประโยชน์สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์อาหารและลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม (Du et al., 2022) ไข่ขาวเค็มเมื่อนำมาอบแห้งมีโปรตีน 58% คาร์โบไฮเดรต 6% ไขมัน 0.5% เกลือ 28% และมีกรดอะมิโนสำคัญต่อร่างกาย (สุภาพร และคณะ, 2563) อย่างไรก็ตาม ผงไข่ขาวเค็มนอกจากจะมีปริมาณเกลือสูงแล้ว การนำไข่ขาวเค็มมาใช้ประโยชน์จะทำให้เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคไต โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดและโรคหัวใจขาดเลือด (Thammasena and Liu, 2020) การนำไข่ขาวเค็มมาลดปริมาณเกลือให้น้อยลงจะได้โปรตีนไข่ขาวที่มีประโยชน์ต่อร่างกายและนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเพิ่มทางเลือกในการรับประทานอาหารจากไข่ขาวได้มากขึ้น วิธีการลดปริมาณเกลือสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีต้ม การใช้ถุงไดอะไลซีส (dialysis) เทคนิคอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) และไดอะฟิลเตรชัน (diafiltration) เป็นต้น (Dai et al., 2022)

ในปัจจุบันอาหารกึ่งสำเร็จรูปได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคต้องการความสะดวกรวดเร็วในการปรุงหรือรับประทานอาหาร (สุมาลี และคณะ, 2563) ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเป็นที่นิยมมากในหลายประเทศในทวีปเอเชียและในประเทศไทย เนื่องจากสะดวกต่อการรับประทาน หาซื้อได้ง่ายมีราคาถูกและมีอายุการเก็บรักษาที่นาน โจ๊กที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีปริมาณโปรตีน 11.77% และส่วนใหญ่ใช้ข้าวหอมมะลิเป็นหลัก ทำให้ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเป็นอาหารที่มีระดับค่าดัชนีน้ำตาลสูง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น เบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดสมอง โรคอ้วน เป็นต้น (กฤติยา และคณะ, 2562)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งที่เริ่มถูกนำมาใช้ในการผลิตโจ๊ก โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ประกอบไปด้วยธาตุเหล็กและแอนโทไซยานิน โดยแอนโทไซยานินมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดออกซิเดชั่นของลิโปโปรตีน และการตกตะกอนของเกล็ดเลือด (พรพิไล และคณะ, 2561) อีกทั้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังมีใยอาหารสูง จึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวกล้องและข้าวขาวขัดทั่วไป (กฤติยา และคณะ, 2562) ซึ่งสารอาหารเหล่านี้ ยังสามารถพบได้จากส่วนของปลายข้าวที่เกิดจากกระบวนการสีข้าว ปลายข้าวมีราคาจำหน่ายที่ต่ำกว่าข้าวเต็มเมล็ด จึงเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป อีกทั้งยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับปลายข้าว (พรพิไล และคณะ, 2561)

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำไข่ขาวเค็มที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้ประโยชน์ โดยมีขั้นตอนการศึกษาผลของการลดเกลือในไข่ขาวเค็ม โดยใช้วิธีการต้ม เนื่องจากได้ปริมาณ

ผลผลิตสูงและมีค่าใช้จ่ายต่ำ และศึกษาอัตราส่วนของปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่และปริมาณไข่ขาวเค็มที่ผ่านการลดเกลือต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

ไข่ขาวเค็มเหลว จากโรงงานไข่เค็ม จังหวัดลพบุรี บรรจุในถุงพลาสติก 2 ชั้น จัดเก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทำวิจัย และเมื่อมาถึงห้องปฏิบัติการจัดเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ บรรจุแบบสุญญากาศ ซื้อมาจากบริษัทรุ่งนที ดีไรซ์ จำกัด จังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2565 มีอายุการเก็บรักษา 6 เดือน

การเตรียมไข่ขาวเค็มลดเกลือ

นำไข่ขาวเค็มที่ได้จากโรงงานมาแยกใส่ถุงร้อนแบบใส (polypropylene) และชั่งน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้น นำไปต้มให้ไข่ขาวเซทตัวในอัตราส่วนไข่ขาวต่อน้ำ 1:2 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำออกจากถุงมาลดขนาดโดยการหั่นเป็นชิ้นหนาประมาณ 1 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนัก แบ่งไปวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ความชื้น โปรตีน ประสิทธิภาพการลดเกลือ และปริมาณผลผลิต จากนั้น นำตัวอย่างที่เหลือไปต้มในน้ำ (อัตราส่วนไข่ขาวต่อน้ำคือ 1:2) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แบ่งไปวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ความชื้น โปรตีน ประสิทธิภาพการลดเกลือ และปริมาณผลผลิต จากนั้น นำตัวอย่างที่เหลือไปต้มต่อรอบที่ 2-7 โดยใช้วิธีการเดิม (ดัดแปลงจากวิธีของ Omoniyi and Abba, 2018) ซึ่งในแต่ละรอบมีการนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ความชื้น โปรตีน ประสิทธิภาพการลดเกลือ และปริมาณผลผลิต

การเตรียมโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมไข่ขาวเค็มลดเกลือ

นำปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่คัดแยกสิ่งเจือปนและล้างทำความสะอาด จากนั้น นำไปต้มกับน้ำในอัตราส่วนของปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อน้ำคือ 1:6 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนด้วยเตาแม่เหล็กไฟฟ้า อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที กวนผสมอย่างต่อเนื่อง พักปลายข้าวต้มให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ได้เป็นข้าวไรซ์เบอร์รี่ข้นเพื่อนำมาใช้ในการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป จากนั้นนำข้าวไรซ์เบอร์รี่ข้นที่ได้ผสมกับไข่ขาวเค็มลดเกลือในอัตราส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อไข่ขาว คือ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 โดยน้ำหนัก (เรียกว่าสูตรเติมไข่ขาว 0, 20, 40, 60 และ 80% ตามลำดับ) และนำไปปั่นให้ละเอียด จากนั้น นำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่สภาวะอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.5 มิลลิเมตร นำแผ่นโจ๊กที่ได้มาบดด้วยเครื่องปั่น (ดัดแปลงจากวิธีของ สุมาลี และคณะ, 2563) บรรจุผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวในซองฟอยล์ปิดสนิท เก็บในโถดูดความชื้นตลอดเวลาก่อนนำมาวิเคราะห์ จากนั้น นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

1. การวิเคราะห์ความชื้น

การวิเคราะห์ความชื้น ใช้วิธีการของ AOAC (2000) ทำโดยชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ลงในถ้วยอลูมิเนียม นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าปริมาณความชื้น จากสมการ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{w1 - w2}{w1} \times 100$$

โดย w1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
w2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ใช้เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน โปรตีนอัตโนมัติ (automatic nitrogen protein analyser) (รุ่น TruMac N ยี่ห้อ Leco, U.S.A) ใช้วิธีการของ AOAC Official Method (2005) Combustion Method การวิเคราะห์เริ่มจากชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ใส่ภาชนะที่ปราศจากไนโตรเจน จากนั้น นำตัวอย่างไปเผาในเตาเผา (combustion tube) ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ภายใต้ออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.97% ประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์แสดงผลเป็นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและสามารถคำนวณเป็นปริมาณโปรตีนโดยคูณด้วยแฟกเตอร์ 6.25 ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต

คำนวณหาค่าร้อยละปริมาณผลผลิต (% yield) ตามวิธีการของ สมฤดี (2563) จากสมการ

$$\text{\% yield} = \frac{\text{น้ำหนักไข่ขาวก่อนเอาเกลือออก}}{\text{น้ำหนักไข่ขาวหลังเอาเกลือออก}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณเกลือ

วิเคราะห์ปริมาณเกลือตามวิธีของ AOAC (1990) โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้และคนเป็นครั้งคราว จนอุณหภูมิลดลงถึงประมาณ 50-55 องศาเซลเซียส เติมสารละลาย K_2CrO_4 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปไตเตรทกับสารละลาย $AgNO_3$ ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน จนถึงจุดยุติ สีน้ำตาลส้มคงอยู่อย่างน้อย 30 วินาที

$$\text{ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (\%)} = \frac{\text{ปริมาตร } AgNO_3 \text{ (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 0.585$$

5. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดเกลือ

คำนวณหาประสิทธิภาพการลดเกลือตามวิธีของ Thammasena et al., (2019) จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพการลดเกลือ} = \frac{(\text{ปริมาณเกลือเริ่มต้น} - \text{ปริมาณเกลือสุดท้าย}) \times 100}{\text{ปริมาณเกลือเริ่มต้น}}$$

6. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

โดยวิธี colorimetric method ตาม มอก. 638-2529 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529)

6.1 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน potato amylose

ชั่ง potato amylose0.04กรัม ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml เติม ethyl alcohol 95 % ลงไป 1 ml เขย่าเบา ๆ โดยระวังอย่าให้แป้งเกาะตามผนังขวด เติมสารละลาย 1 M NaOH จำนวน 9 ml ตั้งทิ้งไว้ 15 ถึง 24 ชั่วโมงปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น

6.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

6.2.1 บดเมล็ดข้าวให้ละเอียด ชั่งแป้งปริมาณ 0.1 กรัม ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml เติม ethyl alcohol 95 % ลงไป 1 ml เขย่าเบา ๆ

6.2.2 เติม 1 M NaOH ลงไป 9 ml ตั้งทิ้งไว้ 15 ถึง 24 ชั่วโมง ปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น

6.3 วิธีวิเคราะห์

6.3.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐาน potato amylose ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml เป็นปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 ml โดยสารละลายดังกล่าวจะมีปริมาณ อะไมโลสเท่ากับ 8%, 16%, 24%, 32%, 40% ของแป้ง เติมน้ำกลั่นลงไป 70 ml เติมสารละลาย 1 M acetic acid ลงไป 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 ml และเติมสารละลายไอโอดีนลงไป 2 ml หลังจากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที

6.3.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง5 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml เติมน้ำกลั่น ลงไป 70 ml เติมสารละลาย 1 M acetic acid ลงไป 1.0 ml และเติม สารละลายไอโอดีนลงไป 2 ml หลงัจากนั้น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำ กลั่นเขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที

6.3.3 ทำ blank เช่นเดียวกับข้อ 6.3.2 แต่ไม่ใส่สารละลายตัวอย่าง

6.3.4 นำสารละลายมาตรฐาน สารละลายตัวอย่าง มาวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้ blank เป็นตัวปรับให้เป็นศูนย์

6.3.5 plot graph มาตรฐานระหว่าง ปริมาณสารละลายมาตรฐานเป็นเปอร์เซ็นต์ และ absorbance

6.3.6 นำ absorbance ของตัวอย่างไปเทียบหาปริมาณ อะไมโลสจากกราฟมาตรฐาน

7. การวิเคราะห์สมบัติทางความหนืด

วิเคราะห์สมบัติทางความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว Rapid Visco Analyser (RVA) (รุ่น 4500 ยี่ห้อ Perten, Australia) ตามวิธีการของตามวิธีการของ AACC International Method 61-02.01 (2000) โดยเตรียมตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ใน aluminum RVA sample canister เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร เริ่มการวัดค่าที่ความเร็วเริ่มต้น 960 รอบ/นาที และลดลงที่ 160 รอบ/นาที จนสิ้นสุดการทดสอบ

โดยให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนถึง 95 องศาเซลเซียส รักษาอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และลดระดับอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส ในกระบวนการทดสอบจะสิ้นสุดที่ 12 นาที 30 วินาที บันทึกค่า ดังนี้ อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงสุด (pasting temperature),

ความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดสุดท้าย (final viscosity), ค่าการแตกตัว (breakdown), เวลาที่เกิดความหนืดสูงที่สุด (peak time), ความหนืดที่ต่ำที่สุดในช่วงการทำให้เย็น (holding strength) และค่าการคืนตัว (setback)

8. การวิเคราะห์สมบัติด้านรีโอโลยี

วิเคราะห์สมบัติด้านรีโอโลยีด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติการไหล (rheometer) (รุ่น MCR 92 ยี่ห้อ Anton Paar, Australia) โดยตัวอย่างผงโจ๊กหลังการผสมด้วยน้ำร้อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยโหมดการสั่นแบบไดนามิก (dynamic oscillatory test) โดยใช้หัววัดแบบ parallel plate ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างเพลทเป็น 1 มิลลิเมตร โดยกำหนด stain sweep จาก 0.01-10% บนความถี่ 0.01-10 เฮิร์ต ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อหาช่วง viscoelastic linear range จากนั้นทำการวิเคราะห์ frequency sweeps โดยใช้ความเครียด (stain) ที่ได้จากช่วง viscoelastic linear range ข้างต้น จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีโอโลยี ช่วงความถี่ 1 เฮิร์ต และความเครียด 0.1% เพื่อหาค่า storage modulus (G'), loss modulus (G'') และ loss tangent (tan δ)

9. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) สำหรับวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยวิธี analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

ผลและวิจารณ์

ผลของการคัดเลือกสูตรไข่ขาวในการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว

จากการศึกษาผลการลดเกลือ แสดงดัง Table 1 พบว่า ไข่ขาวเค็มเหลวมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 84.58% ซึ่งใกล้เคียงกับผลของ Zhao et al., (2014) ที่ได้รายงานว่า ไข่ขาวเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักของ

ไข่ทั้งฟอง มีความชื้นอยู่ในช่วง 84-89% เมื่อนำไข่ขาวเค็มไปลดเกลือโดยวิธีต้ม พบว่า ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<.05) ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจาก ไข่ขาวเมื่อผ่านความร้อนจะเสียสภาพธรรมชาติทำให้เกิดเจล การเกิดเจลของโปรตีนทำให้เกิดโครงสร้างตาข่าย (mesh structure) ซึ่งมีลักษณะเหนียวและเพิ่มการยึดเกาะ โดยโครงสร้างตาข่ายมีรูพรุนขนาดเล็ก สามารถกักเก็บความชื้นได้ เมื่อไข่ขาวผ่านความร้อนปริมาณความชื้นจึงเพิ่มขึ้น (Liu et al., 2020)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของไข่ขาวเค็ม พบว่า ไข่ขาวเค็มเหลวมีปริมาณโปรตีนเริ่มต้น 72.48% เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการต้มลดเกลือ ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นในรอบที่ 5, 6, และ 7 (Table 1) ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่ไม่ใช่น้ำ (solid) ในไข่ขาว โดยก่อนการต้มเพื่อลดเกลือ องค์ประกอบที่ไม่ใช่น้ำในไข่ขาวคือโปรตีนและเกลือ เมื่อผ่านการต้มแล้ว องค์ประกอบที่ไม่ใช่น้ำในไข่ขาวจะประกอบด้วยโปรตีนเป็นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตที่ได้จากวิธีการลดเกลือจำนวน 7 รอบ แสดงดัง Table 1 พบว่า ปริมาณผลผลิตของไข่ขาวลดเกลือจำนวน 7 รอบ อยู่ในช่วงระหว่าง 93.72-99.49% ซึ่งปริมาณผลผลิตของไข่ขาวลดเกลือจำนวน 7 รอบ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>.05) แสดงให้เห็นว่าการต้มเพื่อลดเกลือไม่มีผลต่อความสามารถในการกักเก็บความชื้น (น้ำ) ของเจลโปรตีนไข่ขาว เนื่องจากความชื้นเป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร โดยความชื้นของไข่ขาวจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำและแปรผกผันกับปริมาณผลผลิต แต่เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตของไข่ขาวลดเกลือจำนวน 7 รอบ ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น การต้มเพื่อลดเกลือจึงไม่มีผลต่อความชื้นและปริมาณผลผลิตในผลิตภัณฑ์

Table 1. Moisture content, protein content and yield of desalted egg white

Cycle	Moisture content (%)	Protein content (dry basis %)	Yield (%)^{ns}
Salted egg white	84.58 ± 0.86^{de}	72.48 ± 6.37^{bc}	-
0	83.27 ± 0.60^{e}	69.10 ± 4.26^{bc}	-
1	84.12 ± 0.20^{de}	76.09 ± 5.91^{b}	99.49 ± 0.01
2	84.82 ± 0.55^{cd}	73.09 ± 3.86^{bc}	95.83 ± 6.21
3	84.15 ± 0.04^{de}	63.93 ± 3.57^{c}	99.42 ± 0.06
4	85.87 ± 0.38^{bc}	79.09 ± 1.55^{b}	95.86 ± 5.99
5	86.50 ± 0.72^{ab}	97.93 ± 1.78^{a}	95.02 ± 7.24
6	86.89 ± 0.22^{ab}	94.01 ± 3.51^{a}	94.14 ± 8.43
7	87.70 ± 1.53^{a}	91.22 ± 7.82^{a}	93.72 ± 8.79

$^{a-e}$ Mean values and standard deviations with different letters in the same column indicate significant differences (P<.05)

ns = not significant (P>.05)

cycle 0 = boiled salted egg white

เมื่อพิจารณาปริมาณเกลือในไข่ขาวเค็ม (Table 2) พบว่าปริมาณเกลือเริ่มต้นและปริมาณเกลือของไข่ขาวเค็มต้มเซทตัว (0 รอบ) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>.05) เมื่อนำไปลดเกลือจำนวน 7 รอบ พบว่า ปริมาณเกลือลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<.05) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดเกลือของไข่ขาวเค็ม พบว่า จำนวนรอบของการลดเกลือที่ 3, 4, 5, 6, และ 7 รอบ มีประสิทธิภาพการลดเกลือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>.05) ทั้งนี้ปริมาณเกลือที่ลดลงเป็นผลมาจากเกิดการแพร่ผ่านของเกลือโดยเกลือจะแพร่จากตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงไปยังน้ำซึ่งมีความเข้มข้นของเกลือต่ำกว่า โมเลกุลของน้ำมีขนาดเล็กและมีความเป็นขั้วสูง โมเลกุลของน้ำจะจับกับโมเลกุลของเกลือส่งผลทำให้ปริมาณเกลือในไข่ขาวลดลง (ชัยวัฒน์, 2564)

Table 2. Salt content and desalinized efficiency of desalted egg white

Cycle	Salt content (dry basis %)	Desalinized efficiency (%)
Salted egg white	36.96 ± 1.56[a]	-
0	35.53 ± 0.30[a]	-
1	11.60 ± 1.31[b]	68.61 ± 3.55[c]
2	5.29 ± 0.57[c]	85.69 ± 1.53[b]
3	1.66 ± 0.24[d]	95.51 ± 0.65[a]
4	1.11 ± 0.23[d]	97.00 ± 0.62[a]
5	0.99 ± 0.24[d]	97.32 ± 0.64[a]
6	1.25 ± 0.42[d]	96.62 ± 1.14[a]
7	1.06 ± 0.28[d]	97.13 ± 0.76[a]

[a-d]Mean values and standard deviations with different letters in the same column indicate significant differences (P<.05)

cycle 0 = boiled salted egg white

เมื่อเปรียบเทียบผลการลดปริมาณเกลือในไข่ขาวเค็มโดยวิธีการต้ม 1-7 รอบ ผู้วิจัยจึงเลือกการต้มจำนวน 5 รอบ ไปผลิตเป็นโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว เนื่องจากมีปริมาณผลิต ปริมาณโปรตีนและประสิทธิภาพการลดเกลือไม่แตกต่างจากการต้ม 6 และ 7 รอบ

ผลของการเติมไข่ขาวต่อคุณภาพของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว

การศึกษาการเติมไข่ขาว 5 ระดับ ได้แก่ สูตรเติมไข่ขาว 0, 20, 40, 60 และ 80% โดยน้ำหนัก พบว่า ผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวที่ไม่เติมไข่ขาว มีปริมาณอะไมโลสสูงสุด คือ 12.46% แสดงดัง Figure 1 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Thiranusornkij et al., (2019) ที่รายงานว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณ

อะไมโลสอยู่ 12-20% รองลงมา คือตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 20, 40, 60 และ 80% มีปริมาณอะไมโลส 10.04, 8.53, 6.60 และ 4.54% ตามลำดับ โดยปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างกันเป็นผลมาจาก อะไมโลสเป็นองค์ประกอบหลักของสตาร์ชในข้าวไรซ์เบอร์รี่ (พรดารา, 2566) เมื่อสัดส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในสูตรลดลง ทำให้ปริมาณอะไมโลสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<.05)

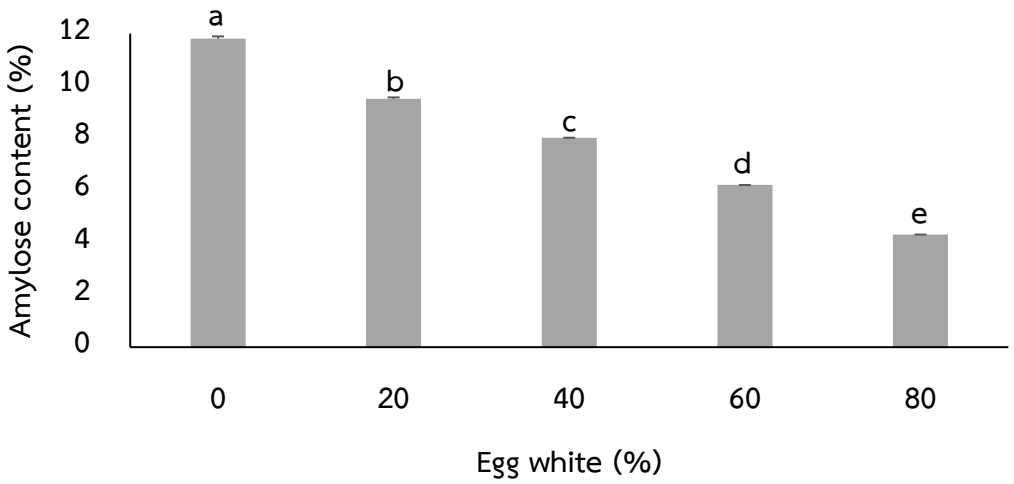


Figure 1. Amylose content (%) of instant porridge fortified with egg white
[a-e]Means with different letters above each bar indicate significant differences (P<.05)

การวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว จาก Table 3 และ Figure 2 พบว่า ค่า peak viscosity ของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว อยู่ในช่วง 25.33±1.15 ถึง 1415.33±5.51 *cP* และค่า holding strength อยู่ในช่วง 24.33±1.53 ถึง 512.67±2.52 *cP* สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากโครงสร้างของสตาร์ชในข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความแข็งแรง จึงต้องใช้ความร้อนสูงในการทำลายพันธะภายในโมเลกุลของสตาร์ช และทำให้โครงสร้างของสตาร์ชแตกออก เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดของสตาร์ชมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (คืนจันทร์, 2552) ตัวอย่างผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวที่เติมไข่ขาว 0% จึงมีค่า peak viscosity สูงสุด ซึ่งการลดปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่และเพิ่มปริมาณไข่ขาวมากขึ้นทำให้ค่า peak viscosity และค่า holding strength ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<.05)

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อนต่อไป รวมทั้งมีการกวนต่อเนื่อง ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการแตกออกและมีความหนืดลดลง (คืนจันทร์, 2552) โดยผลต่างระหว่างค่า peak viscosity และค่า holding strength คือค่า breakdown เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความคงตัวของเม็ดแป้งเมื่อได้รับแรงกวน (ธนัญชนก และวรรณสวัสดิ์, 2559) พบว่า ตัวอย่างผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวที่เติมไข่ขาว 0% มีค่า breakdown สูงสุด เมื่อปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลง ทำให้ค่า breakdown ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<.05)

ค่า final viscosity ของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว แสดงถึงลักษณะความหนืดของแป้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิลง 95 องศาเซลเซียส และทำให้เย็นที่ 50 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลงส่งผลให้ค่าค final viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<.05)

แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 0% จะได้เจลแป้งหลังการคืนตัวที่แข็งมากกว่าตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 20, 40, 60 และ 80%

ค่า setback เป็นค่าที่แสดงถึงระดับการเกิดรีโทรเกรเดชัน (ธนัญชนก และวรรณสวัสดิ์, 2559) แสดงถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเมื่อทำให้เย็นตัวลงหลังจากให้ความร้อน คำนวณได้จากค่า final viscosity และค่า peak viscosity หลังการคืนตัว แป้งจะมีการจับตัวกันโดยเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสในระหว่างการทำให้เย็น จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 0% มีค่า setback สูงสุด เกิดรีโทรเกรเดชันมากที่สุด เมื่อปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลง ทำให้ค่า setback ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<.05$)

สำหรับค่า peak time และค่า pasting temperature พบว่า เมื่อเติมไข่ขาว 0, 20, 40, และ 60% ค่า peak time มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 4.13 นาที มาอยู่ในช่วง 5.11-6.97 นาที และค่า peak time ลดลงเมื่อเติมไข่ขาว 80% จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 0% เกิดเจลาติไนซ์ได้เร็วกว่าตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 20, 40, 60, และ 80% เนื่องจาก การนำไข่ขาวที่ผ่านการต้มด้วยจำนวนรอบการต้ม 5 รอบ และผ่านการนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง จึงทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ โปรตีนแข็งตัว เกิดการตกตะกอน จึงส่งผลต่อความหนืดของแป้ง (อรัชพร, 2561) และเมื่อพิจารณาค่า pasting temperature ของตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 0% มีค่า pasting temperature เท่ากับ 76.15 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อลดปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่า pasting temperature ได้ เนื่องจากความหนืดต่ำมาก

Table 3. Pasting properties of instant porridge fortified with egg white

Sample (Egg white %)	Peak viscosity (cP)	Holding strength (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Peak time (min)	Pasting temp (°C)
0	1415.33±5.51 a	512.67±2.52^{a}	902.67±6.51 a	877.67±3.79 a	365.00±4.00 a	4.13±0.00^{c}	76.15±0.56 a
20	486.67±2.31^{b}	461.33±2.08^{b}	25.33±0.58^{b}	807.33±4.93 b	346.00±3.61 b	5.96±0.10^{a} b	0.00±0.00^{b}
40	134.67±4.04^{c}	136.67±4.04^{c}	-2.00±0.00^{c}	245.33±6.66 c	108.67±3.06 c	6.97±0.04^{a}	0.00±0.00^{b}
60	42.00±1.00^{d}	42.00±1.73^{d}	0.00±1.00^{c}	65.67±0.58^{d}	23.67±1.15^{d}	6.78±0.10^{a}	0.00±0.00^{b}
80	25.33±1.15^{e}	24.33±1.53^{e}	1.00±1.73^{c}	36.67±0.58^{e}	12.33±2.08^{e}	5.11±1.81^{b} c	0.00±0.00^{b}

a-e Mean values and standard deviations with different letters in the same column indicate significant differences ($P<.05$)

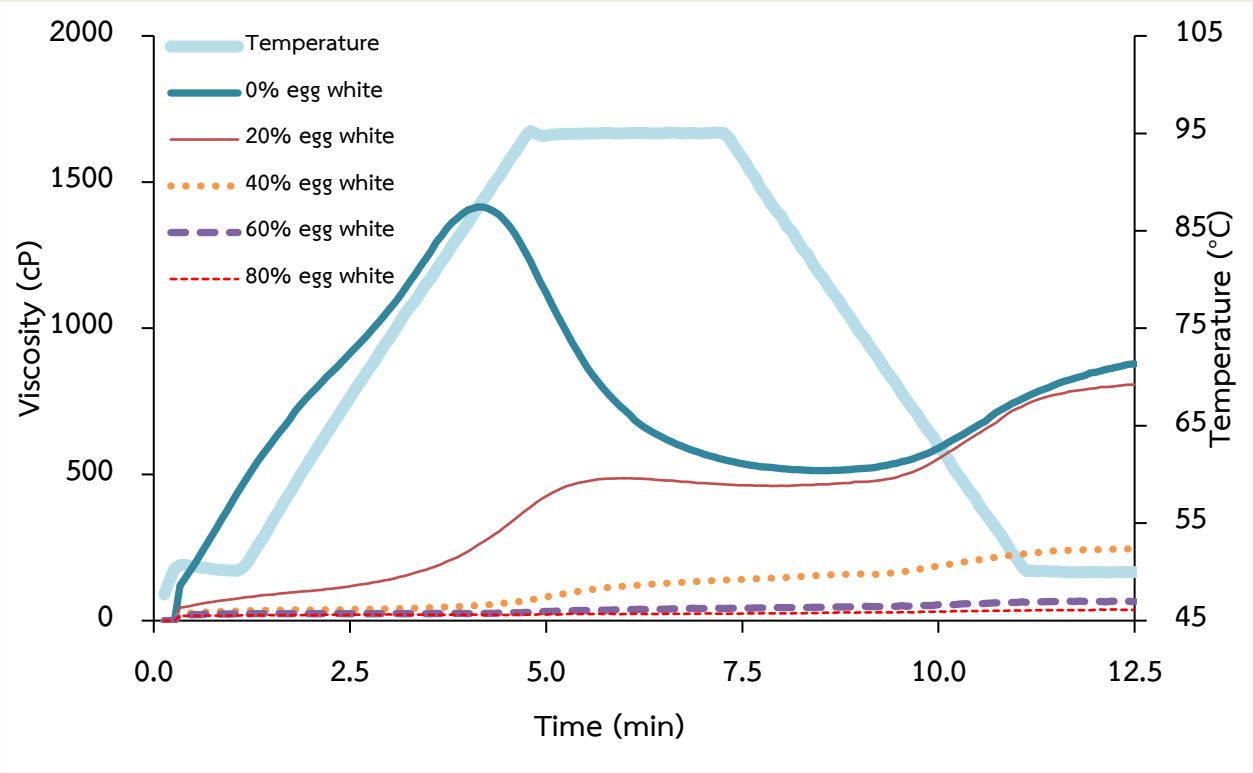


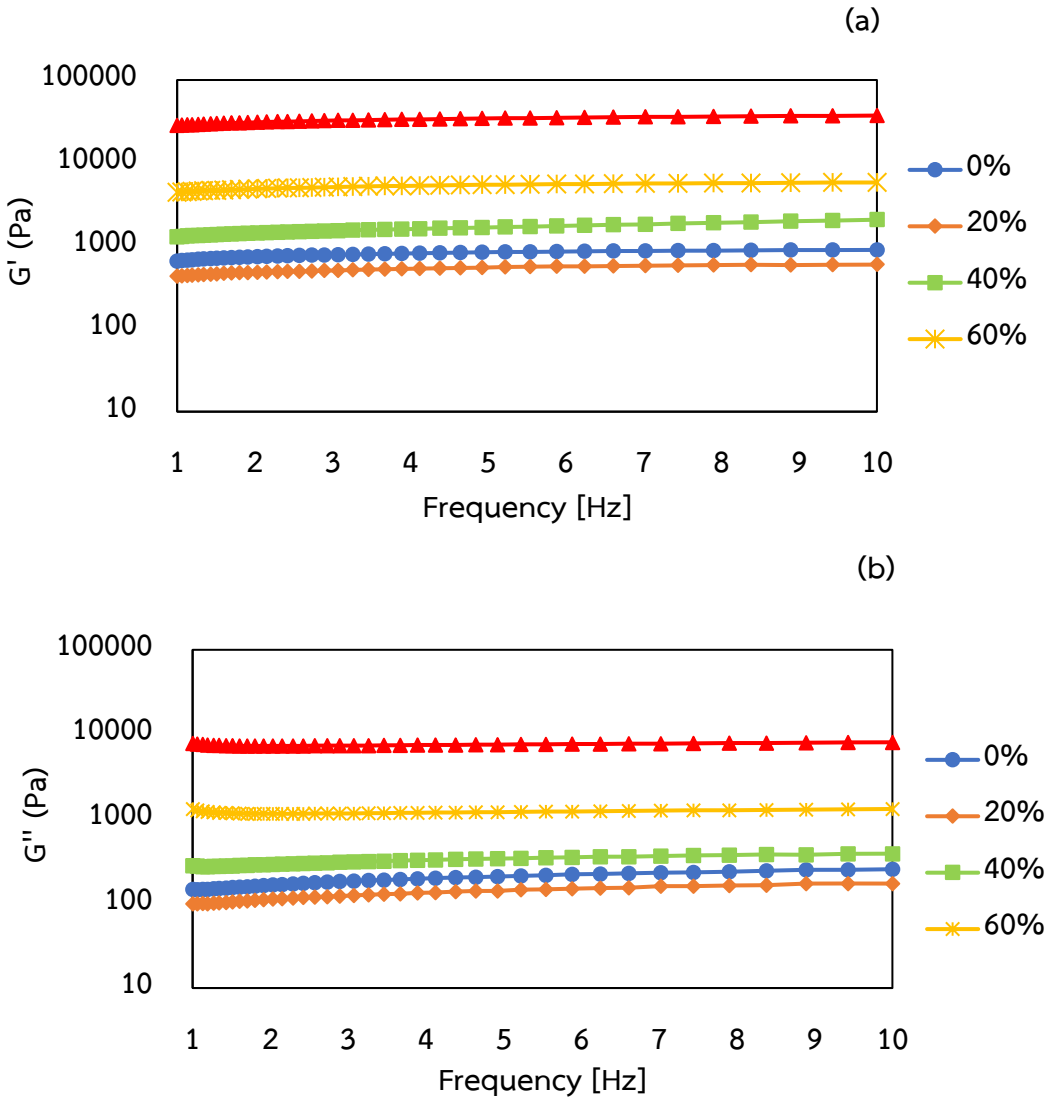
Figure 2. Pasting profiles of instant porridge fortified with egg white

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีโอโลยี เพื่อหาค่า storage modulus (G') และ loss modulus (G") โดยค่า storage modulus (G') คือมอดูลัสกักเก็บ เป็นค่าพลังงานที่สะสมอยู่ในวัสดุเมื่อได้รับความเค้นหรือความเครียด แสดงถึงลักษณะความเป็นของแข็งที่มีความยืดหยุ่น (elastic) และค่า loss modulus (G") คือมอดูลัสสูญเสีย เป็นค่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาเป็นความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากความหนืด แสดงถึงลักษณะความเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืด (ภิรนิตย์, 2564) จากการศึกษาค่า G' และ G" ของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว แสดงดัง Figure 3 พบว่า ตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 0 ถึง 80% จะมีค่า G' สูงกว่า G" แสดงว่าตัวอย่างมีลักษณะความเป็นของแข็ง (solid-like characteristic) มากกว่าความเป็นของเหลว (liquid-like characteristic) โดยตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 80% มีค่า G' และ G" สูงที่สุด และสูตรที่เติมไข่ขาว 20% มีค่า G' และ G" ต่ำที่สุด

ตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 80% จะมีค่าความยืดหยุ่น (G') และค่าความหนืด (G") สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการนำไข่ขาวที่ผ่านการต้มด้วยจำนวนรอบการต้ม 5 รอบ และผ่านการนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ทำให้โปรตีนโอวัลแทรนส์เฟอร์ริน (ovotransferrin) เป็นโปรตีนที่มีมากเป็นอันดับ 2 รองจากโปรตีนโอวัลบูมิน (ovalbumin) เกิดการเสียสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และเกิดโครงสร้างเจลที่อ่อนแอ เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่า 65 องศาเซลเซียส โปรตีนโอวัลแทรนส์เฟอร์รินจะเริ่มเสียสภาพและรวมตัวกันเป็นก้อนร่วมกับโปรตีนโอวัลบูมิน ทำให้เกิดเจลที่แข็งขึ้น (Yamashita et al., 1998) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bonilla and Clausen (2022) ที่ได้ทำการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของไข่ขาวที่ปรุงสุกที่มีระดับอุณหภูมิ

แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 69, 72 และ 75 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ไข่ขาวปรุงสุกที่อุณหภูมิ 75 องสาเซลเซียสมีค่า G' สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อให้ความร้อนสูงในไข่ขาว ทำให้ไข่ขาวเสียสภาพโปรตีน (protein denature) และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

ค่า tan δ แสดงถึงอัตราส่วนพลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในวัสดุ (tan δ= G"/G') จากการทดลองพบว่าค่า tan δ ของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวทุกตัวอย่าง มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวมีความเป็นของแข็งและมีความยืดหยุ่น ตัวอย่างที่เติมไข่ขาว 20% มีค่า tan δ สูงสุด แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณไข่ขาวมากขึ้นทำให้ตัวอย่างมีความหนืดลดลง ค่า tan δ จึงมีค่าลดลง



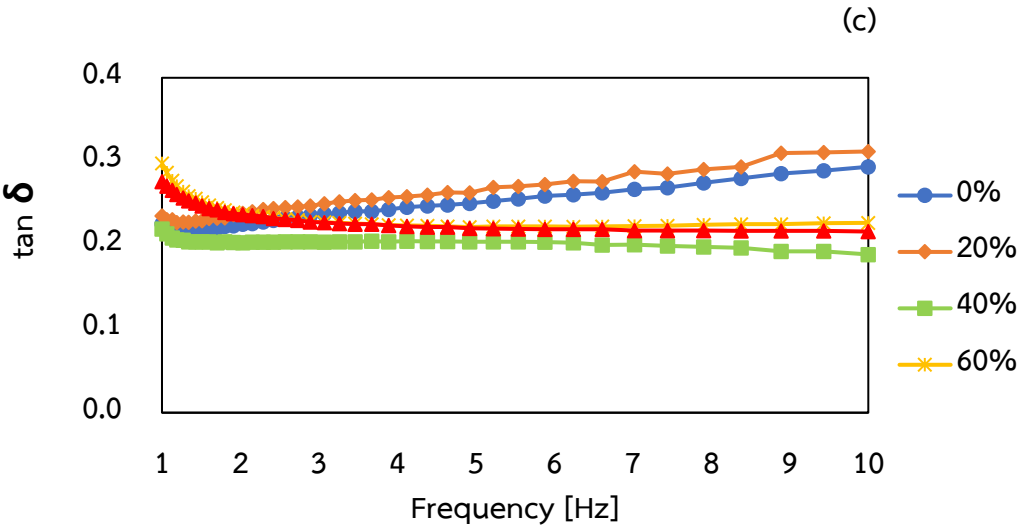


Figure 3. Viscoelastic (a, b, and c) properties of instant porridge fortified with egg white protein

สรุป

เมื่อนำไข่ขาวเค็มไปต้มเพื่อลดเกลือ ทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไข่ขาวเค็มที่ผ่านการต้มลดเกลือที่จำนวนรอบต้ม 5 รอบ มีความเหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวได้ ผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวเมื่อเพิ่มปริมาณไข่ขาวมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณอะไมโลส ค่า peak viscosity ค่า holding strength ค่า breakdown ค่า final viscosity และค่า setback มีค่าลดลงเมื่อปริมาณไข่ขาวเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่า peak time มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติมไข่ขาว 0, 20, 40, และ 60% และลดลงเมื่อเติมไข่ขาว 80%

เมื่อลดปริมาณข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทำให้ไม่สามารถอ่านค่า pasting temperature ได้ เนื่องจากความหนืดต่ำมาก ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีโอโลยี พบว่า สูตรที่เติมไข่ขาว 80% มีค่า G' และ G" สูงที่สุด และสูตรที่เติมไข่ขาว 20% มีค่า G' และ G" ต่ำที่สุด ในขณะที่ค่า tan δ ของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวทุกตัวอย่าง มีค่าน้อยกว่า 1 จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณไข่ขาวในโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาวมากขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างมีลักษณะเป็นของแข็ง ยืดหยุ่น และมีความหนืดลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ไข่ขาวเป็นโปรตีนที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ควรนำไข่ขาวเค็มมาใช้โดยไม่ทิ้งไปอย่างไร้ประโยชน์ แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมไข่ขาว อาจมีการปรับปรุงลักษณะและเนื้อสัมผัสให้ใกล้เคียงกับโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และควรนำไข่ขาวไปพัฒนาเป็นอาหารอื่น ๆ ที่มีโปรตีนไข่ขาว เพื่อให้ผู้บริโภคมีทางเลือกในการบริโภคอาหารจากไข่ขาวได้หลากหลายขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กฤติยา เขื่อนเพชร, รวิพร พลพืช, กนกพร ลีวาณิชยกูล และ ศิริยา กาวีเขียว. (2562). ผลของชนิดข้าวและวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปผสมแก่นตะวัน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *28*(10), 1813-1833.

คืนจันทร์ ณ นคร. (2552). *ผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชัยวัฒน์ วามวรรัตน์. (2564). *เจลฟิลเตรชันและไดอะไลซิส*. http://biochem.flas.kps.ku.ac.th/01402312/01402312lab07 geldialysis156.pdf

ธนัญชนก ค้าไท้ และวรรณสวัสดิ์ รัฐพิทักษ์สันติ. (2559). การเพิ่มคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ด้วยเทคโนโลยีไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 54* (น.962-969). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรดารา เขตต์ทองคำ. (2566). การจับตัวของแป้งต่อแห้วในทับทิมกรอบ. *Journal of Roi Kaensarn Academi, 8*(6), 95–110. สืบค้น จาก https://so02.tci-thaijo.org/index.php/JRKSA/article/view/261904

พรพิไล นิยมเวช, ปฐมพร สรรพสิทธิ์, อติกานต์ วารี และเพ็ญศิริ คงสิทธิ์. (2561). การพัฒนาสูตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, *23*(3), 1638-1654.

ภิรนิตย์ ลบลม. (2564). การผลิตเส้นขนมจีนแป้งหมักและเส้นขนมจีนแป้งหมักอบแห้งเสริมโพรไบโอติกโดยการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวมะลินิลสุรินทร์ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สมฤดี ไทพาณิชย์. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนยแข็งชนิดอ่อนเสริมด้วยผงโปรตีนมะพร้าวเข้มข้น. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28*(12), 2173-2184.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2529). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า* (มอก. 638-2529). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, อุราภรณ์ เรืองวัชรินทร์ และสุกัญญา ไหมเครือแก้ว. (2563). ผลของคาร์ราจีแนนต่อสมบัติของผงไข่ขาวจากวัสดุเศษเหลือของไข่เค็ม. *วารสารเกษตร, 36*(2), 269-278.

สุมาลี มุสิกา, ชมภูนุช ฆ้องลา, จิรายุส วรรัตน์โภคา, พิมพา สร้อยสูงเนิน, วรพงษ์ บัวเงิน, อาทิตย์ อัศวสุขี, เพลงพิณ เพียรภูมิพงศ์ และดุษฎี เทียมเทศ บุญมาสูงทรง. (2563). การศึกษาคุณสมบัติผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลิอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป. *วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 13*(3), 88-105.

อรัชพร ดีประเสริฐ. (2561). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กไข่ขาวสำเร็จรูป* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

A.O.A.C. (2000). *Official Methods of Analysis* (17th ed.). Association of Official Chemists.

A.O.A.C. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemist.

AACC. (2000), Determination of the Pasting of Rice with the Rapid Visco Analyzer, In AACC, *International Approved Methods of Analysis* (11th ed). AACC International, Saint Paul.

AOAC Official Method 990.03. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC international* (18th ed.). AOAC international.

Bonilla, J. C., & Clausen, M. P. (2022). Super-resolution microscopy to visualize and quantify protein microstructural organization in food materials and its relation to rheology: Egg white proteins. *Food Hydrocolloids, 124*(107281), 1-9. doi:10.1016/j.foodhyd.2021.107281.

Dai, Y., Zhao, J., Liang, H., Deng, Q., Wan, C., Li, B., & Zhou, B. (2022). Desalination of salted duck egg white assisted by gelatin: Foaming and interface properties of the mixed system. *Food Hydrocolloids, 124,* 107260. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107260.

Du, M., Sun, Z., Liu, Z., Yang, Y., Liu, Z., Wang, Y., Jiang, B., Feng, Z., & Liu, C. (2022). High efficiency desalination of wasted salted duck egg white and processing into food-grade pickering emulsion stabilizer. *Food Science and Technology, 161,* 113337. doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113337.

Liu, X., Wang, J., Huang, Q., Cheng, L., Gan, R., Liu, L., Wu, D., Li, H., Peng, L., & Geng, F. (2020). Underlying mechanism for the differences in heat-induced gel properties between thick egg whites and thin egg whites: Gel properties, structure and quantitative proteome analysis. *Food Hydrocolloids, 106*(105873), 1-8. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105873.

Omoniyi, K. I., & Abba, H. (2018). Determination of the proximate composition of Japanese quail egg and rhode Island red egg at various heating periods. *Nigerian Research Journal of Chemical Sciences, 4,* 178-188.

Thammasena, R., & Liu, D. C. (2020). Antioxidant and antimicrobial activities of different enzymatic hydrolysates from desalted duck egg white. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 33*(9), 1487-1496. doi.org/10.5713/ajas.19.0361.

Thammasena, R., Fu, C., Liu, J., & Liu, D. (2019). Evaluation of nutrient content, physicochemical and functional properties of desalted duck egg white by ultrafiltration as desalination. *Animal Science Journal, 91*(1), 13339. doi:10.1111/asj.13339.

Thiranusornkij, L., Thamnarathip, P., Chandrachai, A., Kuakpetoon, D., & Adisakwattana, S. (2019). Comparative studies on physicochemical properties, starch hydrolysis, predicted glycemic index of Hom Mali rice and Riceberry rice flour and their applications in bread. *Food Chemistry, 283,* 224-231. doi:10.1016/j.foodchem.2019.01.048.

Yamashita, H., Ishibashi, J., Hong, Y., H. & Hirose, M. (1998). Involvement of ovotransferrin in the thermally induced gelation of egg white at around 65°C. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 62,* 593–595. doi:org/10.1271/bbb.62.593.

Zhao, Y., Tu, Y., Xu, M., Li, J., & Du, H. (2014). Physicochemical and nutritional characteristics of preserved duck egg white. *Poultry Science*, *93*(12), 3130-3137. doi.org/10.3382/ps.2013-03823.