บทความวิจัย

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่เค็มพอกดินที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ในระหว่างการเก็บรักษา

ณัฐฌา เหล่ากุลดิลก*
สาขาวิชานวัตกรรมและธุรกิจอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
นันทินา ดำรงวัฒนกูล และ มยุรี ชมภู
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
กาญจนา รัตนธีรวิเชียร
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
นภาพันธ์ โชคอำนวยพร
สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 5424 1298 อีเมล: nutcha@live.lpru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.07.008
รับเมื่อ 19 มิถุนายน 2563 แก้ไขเมื่อ 17 สิงหาคม 2563 ตอบรับเมื่อ 24 สิงหาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 29 กรกฎาคม 2564
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การบริโภคเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูงมีความสัมพันธ์ต่อโรคต่างๆ เช่น โรคความดันโลหิตสูง และโรคที่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือดหัวใจ สำหรับอาหารหมักดองโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ไข่เค็มนั้น ถือได้ว่าเป็นแหล่งของการได้รับโซเดียมในปริมาณสูงจากการบริโภค ดังนั้นการลดปริมาณเกลือในไข่เค็มลงจึงส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ งานวิจัยนี้ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่เค็มพอกดินที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่ระดับร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่า ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของไข่แดงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเกลือ KCl เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ การใช้ KCl ในปริมาณมากขึ้นยังส่งผลให้ร้อยละสัดส่วนไข่แดงที่แข็งมีค่าลดลง โดยไข่แดงไม่เปลี่ยนเป็นเจลยืดหยุ่นอย่างสมบูรณ์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งส่งผลให้ความแข็งของไข่แดงสุกมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม ความแข็งของไข่ขาวเค็มสุกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเกลือ KCl เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ไข่เค็มพอกดินที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ในระดับร้อยละ 50 ที่ระยะเวลาการพอก 2 สัปดาห์ มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสเค็ม รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวมสูงและไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (0%KCl) (p>0.05) โดยมีปริมาณ Na^+ ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) เท่ากับ 711.5 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งลดลง 2.3 เท่าเมื่อเทียบกับสูตรควบคุมหรือคิดเป็นสัดส่วน 1 ใน 3 ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน และมีปริมาณ K^+ เท่ากับ 891.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เพิ่มขึ้น 6.7 เท่าเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ไข่เค็มพอกดิน ลดโซเดียม โพแทสเซียมคลอไรด์

การอ้างอิงบทความ: ณัฐฌา เหล่ากุลดิลก, นันทินา ดำรงวัฒนกูล, มยุรี ชมภู, กาญจนา รัตนธีรวิเชียร และ นภาพันธ์ โชคอำนวยพร, "การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่เค็มพอกดินที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ในระหว่างการเก็บรักษา," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 32, ฉบับที่ 2, หน้า 445–456, เม.ย.–มิ.ย. 2565.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 32, ฉบับที่ 2 เม.ย.–มิ.ย. 2565
The Journal of KMUTNB., Vol. 32, No. 2, Apr.–Jun. 2022

Research Article

The Quality Changes of Soil-coating Salted Eggs Substituting Sodium Chloride with Potassium Chloride during Storage

Natcha Laokuldilok*
Food Innovation and Business Program, Faculty of Agricultural Technology, Lampang Rajabhat University, Lampang, Thailand
Nanthina Damrongwattanagool, Mayuree Chompoo
Food Science and Technology Program, Faculty of Agricultural Technology, Lampang Rajabhat University, Lampang, Thailand
Kanjana Ruttanateerawichien
Digital Business Management Program, Faculty of Management Science, Lampang Rajabhat University, Lampang, Thailand
Napapan Chokumnoyporn
Food and Nutrition Program, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 5424 1298, E–mail: nutcha@live.lpru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.07.008
Received 19 June 2020; Revised 17 August 2020; Accepted 24 August 2020; Published online: 29 July 2021
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The high intake of sodium chloride has associated with a number of diseases including hypertension and other cardiovascular diseases. Pickle products, and in particular salted egg, are a major source of salt in the diet. Therefore, the reduction in the level of salt in salted egg would have a major impact on consumer health. This research aimed to study the quality changes of soil – coating salted eggs substituting sodium chloride (NaCl) with potassium chloride (KCl) at the level of 0%, 25%, 50%, 75% and 100% during storage for 4 weeks. The results showed that color for lightness (L*), and yellowness of egg yolk increased depending on the increasing of KCl level. The salted egg yolks containing higher content of KCl exhibited lower values of hardening ratio and did not turn into a complete elastic gel leading to a decrease of egg yolk hardness. In contrast, hardness of cooked - salted white egg increased with the increasing of KCl level. The suitable formula is to use 50% NaCl or 50% KCl. This salted egg had the highest acceptable sensory scores for color, aroma, saltiness, overall taste and overall acceptance which did not significantly differ from the control samples (0% KCl) (p>0.05). The content of Na+ obtained from Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) of the sample was 711.5 mg/100g, a reduction of 2.3-fold when compared with the control sample which can be calculated as one-third of the recommended maximum daily intake while the K^+ content was 891.80 mg/100g, an increasing of 6.7-fold when compared with the control sample.

Keywords: Quality Changes, Soil - Coating Salted Eggs, Reduced Sodium, Potassium Chloride

Please cite this article as: N. Laokuldilok, N. Damrongwattanagool, M. Chompoo, K. Ruttanateerawichien, and N. Chokumnoyporn, "The quality changes of soil-coating salted eggs substituting sodium chloride with potassium chloride during storage," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 2, pp. 445–456, Apr.–Jun. 2022 (in Thai).

1. บทนำ

ไข่เค็มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการถนอมอาหารด้วยเกลือ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกรรมวิธีการผลิตไข่เค็มมี 2 วิธี คือ วิธีการแช่ในน้ำเกลือ (Brining Method) และวิธีการพอกด้วยดินผสมเกลือ (Coating Method) เกลือที่ใช้ คือ เกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride; NaCl) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 25 และใช้ระยะเวลาในการดองหรือพอก 2–4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง อาศัยหลักการออสโมซิส (Osmosis) เพื่อแทรกซึมสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงเข้าสู่เนื้ออาหาร ส่วนน้ำและความชื้นภายในไข่จะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มและเปลือกออกสู่บรรยากาศภายนอก หลักการนี้ใช้ในการดึงน้ำออกจากวัตถุดิบซึ่งจะช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Water Activity; a_w) และควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค สามารถเก็บรักษาอาหารไว้ได้นาน และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีกายภาพ รวมถึงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหาร

ถึงแม้ว่าโซเดียมจะเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการรักษาสมดุลของระบบของเหลวในร่างกาย แต่การบริโภคเกลือโซเดียมในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลทำให้ระดับความดันโลหิตในร่างกายสูงขึ้น และยังเป็นปัจจัยเสี่ยงให้เกิดโรคหัวใจวายได้ [1] ทั้งนี้ องค์การอนามัยโลกแนะนำปริมาณการบริโภคเกลือไม่ควรเกิน 5 กรัมต่อวัน ซึ่งจะมีปริมาณโซเดียม 2,000 มิลลิกรัม [2] แต่จากการสำรวจปริมาณการบริโภคเกลือของประชากรทั่วโลกพบว่า มีค่าสูงเกินมาตรฐาน โดยคิดเป็นปริมาณเฉลี่ยราว 9–12 กรัมต่อวัน เทียบเท่ากับการบริโภคโซเดียม 3,600–4,800 มิลลิกรัม [3] แนวโน้มพฤติกรรมของผู้บริโภคที่หันมาให้ความสนใจสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นการพัฒนาสูตรอาหารที่ลดปริมาณโซเดียมลงจากเดิมจึงเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตควรให้ความสำคัญ และยังเป็นการเพิ่มทางเลือกในการบริโภคได้อีกทางหนึ่ง จากรายงานปริมาณโซเดียมของไข่เค็มต้มสุกหนึ่งฟองหรือหนึ่งหน่วยบริโภค (น้ำหนักไข่ 60–70 กรัม) พบว่ามีโซเดียมอยู่ราว 680 มิลลิกรัม [4] หรือคิดเป็นปริมาณ 971.43 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ดังนั้นการลดปริมาณเกลือ NaCl ในผลิตภัณฑ์ลงจึงช่วยลดปริมาณการได้รับโซเดียมของผู้บริโภคไข่เค็มลงได้ อย่างไรก็ตาม การปรับเปลี่ยนสูตรผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณลักษณะต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งในแง่ของรสชาติ และประสิทธิภาพของการถนอมอาหาร ซึ่งการลดโซเดียมลงในปริมาณมากโดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้านรสเค็มที่สูญเสียไปอาจส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของผู้บริโภคในการเติมเกลือ NaCl กลับลงไปในอาหารในระหว่างการประกอบอาหาร จึงมีการทดแทนปริมาณเกลือ NaCl ที่ลดลงด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium Chloride; KCl) เนื่องจากลักษณะทางด้านเคมีของเกลือทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ไม่มีสี ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขุ่น และมีรสชาติเค็ม จากงานวิจัยการศึกษาคุณภาพของปลาทูนึ่งลดโซเดียมพบว่า เมื่อใช้เกลือ KCl ทดแทนเกลือ NaCl ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้ความแน่นเนื้อมีค่าลดลง เนื่องจากเกลือ NaCl มีความสามารถในการอุ้มน้ำโปรตีนมากกว่าเกลือ KCl [5] นอกจากนี้ การใช้เกลือ KCl ทดแทน NaCl ในผลิตภัณฑ์แพตตี้เนื้อหมู ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง [6]

สำหรับงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่เค็มพอกดินที่ทดแทนการใช้เกลือ NaCl ด้วยเกลือ KCl ที่ระดับร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ทั้งนี้ ไข่เค็มพอกดินที่จัดจำหน่ายในท้องตลาดอยู่ในลักษณะของไข่เค็มดิบซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากการแทรกซึมของเกลือที่ผสมดินเข้าสู่เปลือกไข่ตลอดระยะเวลาที่ทำการพอก ดังนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจึงใช้เป็นข้อมูลเพื่อแนะนำปริมาณการทดแทนเกลือ NaCl ด้วยเกลือ KCl รวมถึงระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคได้ นอกจากนี้ การลดปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์อาหารยังสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ลดการบริโภคเกลือและโซเดียมในประเทศไทย พ.ศ. 2559–2568 เพื่อลดภาวะโรคจากกลุ่มโรคไม่ติดต่อและลดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลทั้งในระดับบุคคล ครอบครัว และประเทศชาติได้

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบไข่เป็ด

ไข่เป็ดที่ใช้ในการทดลองนี้ซื้อจากตลาดเมืองใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีน้ำหนักต่อลูกประมาณ 70 กรัม และมี

ความกว้าง 45–55 มิลลิเมตร นำไข่เป็ดมาล้างให้สะอาดแล้วพักรอไว้ นำดินจอมปลวกมาผสมเกลือที่อัตราส่วนเท่ากับ 3 : 1 จากนั้นเติมน้ำลงในส่วนผสมที่อัตราส่วน 1 : 1.5 คนให้เข้ากัน แล้วนำไปพอกไข่ให้ทั่วทั้งฟอง (น้ำหนักส่วนผสมดิน 35 กรัมต่อไข่ 1 ฟอง) หุ้มทับด้วยแกลบ เก็บรักษาในตะกร้าพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 3 องศาเซลเซียส)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 5 สิ่งทดลอง กำหนดให้การใช้เกลือ NaCl ร้อยละ 100 หรือที่ระดับเกลือ KCl เท่ากับ 0 (0KCl) เป็นตัวอย่างควบคุม แล้วทำการทดแทนเกลือ NaCl ด้วยเกลือ KCl ที่ระดับร้อยละ 25 (25KCl), 50 (50KCl), 75 (75KCl) และ 100 (100KCl) และสุ่มตัวอย่างทุกๆ สัปดาห์มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ จนครบ 4 สัปดาห์ แล้วพล็อตกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงในแต่ละคุณภาพ ดังนี้

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพไข่เค็ม

2.2.1 การวัดค่าสี

เมื่อครบระยะเวลาสุ่มตัวอย่างนำไข่เค็มในแต่ละสิ่งทดลองมาแกะดินออกแล้วล้างด้วยน้ำสะอาด ซับให้แห้งแล้ววัดค่าสีของไข่แดงดิบและไข่ขาวดิบในเทอม L*, a* และ b* ด้วยเครื่อง Colorimeter (Konica Minolta CR-410, Japan) โดย L* มีค่า 0 ถึง 100 (0 = มืดที่สุด และ 100 = สว่างที่สุด) หาก a* มีค่าเป็นบวกแสดงทิศทางของสีแดง และเมื่อ a* มีค่าเป็นลบแสดงทิศทางของสีเขียว สำหรับ b* หากมีค่าเป็นบวกแสดงทิศทางของสีเหลือง และเมื่อ b* มีค่าเป็นลบแสดงทิศทางของสีน้ำเงิน

2.2.2 สัดส่วนไข่แดงที่แข็งตัว (Hardening Ratio)

ทำโดยตอกไข่เค็มแล้วนำไข่แดงมากลิ้งเบาๆ บนกระดาษกรอง (Whatman No.1) เพื่อกำจัดส่วนที่เป็นไข่ขาวออกไป จากนั้นชั่งน้ำหนักของไข่แดงทั้งลูก (W_o) แล้วใช้มีดผ่ากลาง เพื่อให้ไข่แดงส่วนที่นุ่มและเป็นของเหลวที่อยู่ภายในไหลออกมา ชั่งเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็ง (W_{ex}) นำค่าที่ได้มาคำนวณ [7] ดังสมการที่ (1) นี้

$$\text{สัดส่วนไข่แดงที่แข็งตัว} = (W_{ex}/W_o) \times 100 \qquad (1)$$

2.2.3 ค่าความแข็งของไข่แดงและไข่ขาวสุก

วัดค่าความแข็งของไข่แดงสุกและไข่ขาวสุกด้วยเครื่อง TAXT2i Texture Analyzer (Stable Micro Systems; Surrey, England) นำไข่ที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองไปนึ่งสุกเป็นเวลา 10 นาที (จับเวลาหลังจากน้ำเดือด) แยกส่วนที่เป็นไข่แดงและไข่ขาวออกจากกัน เตรียมตัวอย่างไข่แดงโดยใช้มีดหั่นครึ่งส่วนไข่ขาวสุกหั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าขนาด 1 × 1 × 1 เซนติเมตร โดยตัวอย่างถูกกดด้วยหัววัดทรงกระบอก (P50; เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร) ลึกลงไปร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่างเริ่มต้น ค่าแรงสูงสุดที่ได้จากกราฟ Force – Deformation แสดงถึงค่าความแข็งของแต่ละตัวอย่าง ทำการทดสอบตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องซ้ำ 5 ครั้ง

2.2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม

วิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุโซเดียม (Na^+) และโพแทสเซียม (K^+) ในไข่เค็มสุก (ทั้งไข่แดงและไข่ขาวรวมกัน) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ของทุกสิ่งทดลองด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma-mass Spectrometry (ICP-MS) เตรียมตัวอย่างอ้างอิงจากวิธีมาตรฐาน AOAC 984.27 (2016) แล้วคำนวณปริมาณเทียบกับกราฟมาตรฐานของธาตุ Na และ K

2.2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบความชอบ (9-point Hedonic Scale) ด้วยผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 60 คน [8] ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำไข่เค็มพอกดินมาล้างให้สะอาด จากนั้นนำไปนึ่งเป็นเวลา 10 นาที (จับเวลาหลังจากน้ำเดือด) แล้วทำให้เย็นโดยใช้น้ำไหลผ่านแกะเปลือกออกแล้วหั่นตามความยาว และแบ่งให้มีขนาด 1 ใน 6 ของไข่ทั้งลูก บรรจุในถ้วยทนร้อนที่มีฝาปิดสนิท ตัวอย่างจะถูกนำเสนอต่อผู้ทดสอบทีละ 1 ตัวอย่าง ด้วยรหัสเลขสุ่ม 3 ตัว โดยมีการสุ่มลำดับนำเสนอและให้ผู้ทดสอบบ้วนปากระหว่างรอการประเมินตัวอย่างต่อไป คุณลักษณะที่ทดสอบ ได้แก่ สี กลิ่น รสเค็ม รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม

2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3. ผลการทดลอง

3.1 การวัดค่าสี

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของไข่แดงเค็มดิบแสดงในตารางที่ 1 เมื่อระยะเวลาการพอกนานขึ้น ไข่แดงเค็มดิบทุกสิ่งทดลองมีค่าความสว่าง (L*) ลดลง (ค่าความสว่างเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ศูนย์เท่ากับ 80.11) เนื่องจากในระหว่างการพอกเค็ม ไข่แดงเกิดการสูญเสียความชื้น โดยการแทรกซึมเกลือเข้าสู่ไข่จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการสูญเสียน้ำภายในไข่ออกสู่สิ่งแวดล้อม ความชื้นที่ลดลงส่งผลให้ไข่แดงเค็มมีลักษณะแห้งและมีสีคล้ำลง [9] โดยตัวอย่างไข่แดงเค็มดิบที่ผ่านการพอกด้วย KCl ร้อยละ 100 จะมีค่าความสว่างมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 1 ค่าความสว่าง (L*) ของไข่แดงเค็มดิบที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ค่าความสว่าง (L*) ของไข่แดงเค็มดิบ			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$72.19^{d} + 0.07$	$51.61^{c} + 2.27$	46.70d + 0.09	$37.20^{c} + 1.38$
25%KCl	$75.03^{c} + 0.47$	$53.37^{bc} + 0.07$	44.59e + 1.11	$38.13^{c} + 0.89$
50%KCl	$77.01^{b} + 0.44$	$55.92^{b} + 0.45$	$57.65^{b} + 0.63$	$41.51^{b} + 0.30$
75%KCl	$76.85^{b} + 0.72$	$55.88^{b} + 2.71$	$54.72^{c} + 3.16$	$42.55^{b} + 0.31$
100%KCl	$78.14^{a} + 0.41$	$73.20^{a} + 1.37$	$68.90^{a} + 0.61$	$45.01^{a} + 0.32$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความเป็นสีแดง (a*) ของทุกสิ่งทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ศูนย์ (ค่า a* เฉลี่ยในสัปดาห์ที่ศูนย์เท่ากับ 14.93) และหลังจากนั้น ค่า a* จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (ตารางที่ 2) ตารางที่ 3 แสดงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของไข่แดงเค็มดิบ โดยมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการพอกนานขึ้น (ค่า b* เฉลี่ยในสัปดาห์ที่ศูนย์เท่ากับ 63.30) ทั้งนี้ ไข่แดงเค็มที่ผ่านการพอกเป็นเวลานานขึ้น จะมีปริมาณไขมันอิสระเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นตัวทำละลายรงควัตถุที่อยู่ในไข่แดงที่อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์และไรโบฟลาวิน ส่งผลให้ไข่แดงเค็มมีสีส้มเข้มขึ้น [10] โดยตัวอย่างไข่แดงเค็มที่ผ่านการพอกด้วย KCl ร้อยละ 100 จะมีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า เมื่อเติมเกลือต่างชนิดกันลงในไข่แดงเหลวที่ใช้ผลิตมายองเนส จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีแตกต่างกัน โดยไข่แดงที่เติมเกลือ KCl จะมีสีส้มอมเหลือง แต่เมื่อเติมเกลือ NaCl จะส่งผลให้ไข่แดงจะมีสีเหลืองคล้ำ [11]

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว (a*) ของไข่แดงเค็มดิบที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ค่าสีแดงถึงสีเขียว (a*) ของไข่แดงเค็มดิบ			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$23.74^{a} + 0.51$	$21.41^{a} + 0.61$	$20.96^{a} + 0.23$	$19.57^{a} + 0.43$
25%KCl	$22.00^{a} + 1.00$	$19.45^{a} + 0.81$	$19.18^{b} + 0.65$	$19.80^{a} + 0.78$
50%KCl	$18.66^{b} + 1.92$	$18.17^{ab} + 0.16$	$19.78^{b} + 0.52$	$18.11^{bc} + 1.19$
75%KCl	$16.90^{b} + 1.93$	$16.82^{c} + 0.56$	$19.51^{b} + 0.93$	$16.38^{c} + 1.64$
100%KCl	$17.40^{b} + 1.07$	$16.56^{c} + 1.42$	$17.34^{b} + 1.69$	$17.62^{bc} + 0.74$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b*) ของไข่แดงเค็มดิบที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ค่าสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b*) ของไข่แดงเค็มดิบ			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$49.20^{b} + 0.13$	$39.86^{c} + 0.69$	$32.21^{c} + 1.47$	$25.05^{c} + 0.17$
25%KCl	$53.89^{b} + 0.61$	$44.20^{b} + 1.26$	$38.90^{b} + 0.17$	$27.58^{bc} + 1.88$
50%KCl	$51.54^{b} + 1.02$	$41.69^{c} + 0.23$	$37.21^{bc} + 1.81$	$29.59^{b} + 1.19$
75%KCl	$49.20^{b} + 1.23$	$42.49^{c} + 1.13$	$44.00^{a} + 1.49$	$36.06^{a} + 1.96$
100%KCl	$64.51^{a} + 0.57$	$59.49^{a} + 0.53$	$48.11^{a} + 1.06$	$37.96^{a} + 1.12$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4 พบว่า เมื่อระยะเวลาการพอกเค็มนานขึ้น ค่าความสว่าง (L*) ของทุกสิ่งทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (ค่าความสว่างเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ศูนย์เท่ากับ 93.59) โดยไข่ขาวเค็มสุกที่ผ่านการพอกด้วยเกลือ NaCl ร้อยละ 100 (0KCl)

จะมีค่าความสว่างน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการพอก 4 สัปดาห์

ตารางที่ 4 ค่าความสว่าง (L*) ของไข่ขาวเค็มดิบที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ค่าความสว่าง (L*) ของไข่ขาวเค็มสุก			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$89.94^{c} + 0.36$	$89.95^{d} + 0.56$	$88.70^{d} + 0.64$	$85.52^{c} + 0.32$
25%KCl	$95.20^{a} + 0.47$	$93.38^{c} + 0.51$	$93.86^{ab} + 0.69$	$92.53^{b} + 0.98$
50%KCl	$93.46^{b} + 0.81$	$94.73^{c} + 0.46$	$92.94^{b} + 0.25$	$94.44^{a} + 0.40$
75%KCl	$94.69^{a} + 0.40$	$93.74^{b} + 0.57$	$92.26^{c} + 0.39$	$94.53^{a} + 0.42$
100%KCl	$95.15^{a} + 0.57$	$95.89^{a} + 0.07$	$94.20^{a} + 0.40$	$94.00^{a} + 0.60$

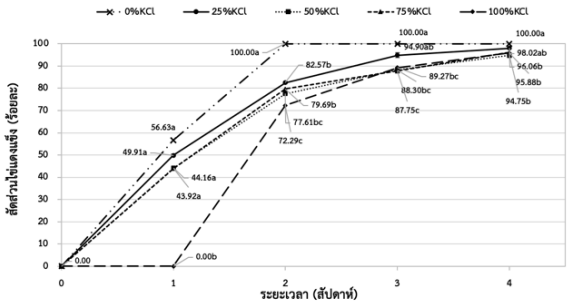
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่า a* ในไข่ขาวเค็มดิบเริ่มต้นที่ยังไม่ผ่านการพอกเค็มมีทิศทางของความเป็นสีแดงเล็กน้อย (a* เท่ากับ 0.95) แล้วลดลงไปในทิศทางของสีเขียว (-a*) ที่ระยะเวลาการพอก 1 สัปดาห์ และหลังจากนั้น ค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (ตารางที่ 5) เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ที่มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการพอกเค็ม 1 สัปดาห์ (ตารางที่ 6) (ค่า b* เฉลี่ยในสัปดาห์ที่ศูนย์เท่ากับ 18.02) และหลังจากนั้นค่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ ไข่ขาวมีการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการพอกโดยคล้ำลงเล็กน้อย และมีทิศทางของสีเขียวอ่อนผสมเหลืองอ่อน

ตารางที่ 5 ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว (a*) ของไข่ขาวเค็มดิบที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ค่าสีแดงถึงสีเขียว (a*) ของไข่ขาวเค็มสุก			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$-2.53^{ns} + 0.07$	$-2.25^{c} + 0.03$	$-2.32^{c} + 0.02$	$-2.27^{c} + 0.06$
25%KCl	$-2.04^{ns} + 0.48$	$-2.17^{c} + 0.13$	$-1.95^{b} + 0.15$	$-1.52^{c} + 0.11$
50%KCl	$-2.45^{ns} + 0.34$	$-1.62^{ab} + 0.14$	$-2.05^{bc} + 0.06$	$-1.54^{c} + 0.30$
75%KCl	$-2.11^{ns} + 0.11$	$-1.85^{b} + 0.10$	$-1.58^{a} + 0.08$	$-1.31^{b} + 0.13$
100%KCl	$-2.15^{ns} + 0.11$	$-1.42^{a} + 0.20$	$-1.65^{a} + 0.29$	$-1.18^{a} + 0.06$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 1 ร้อยละสัดส่วนไข่แดงที่แข็งที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆเป็นระยะเวลา4สัปดาห์

ตารางที่ 6 ค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b*) ของไข่ขาวเค็มสุกที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ค่าสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b*) ของไข่ขาวเค็มสุก			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$5.41^{ns} + 0.21$	$6.47^{a} + 0.26$	$6.32^{b} + 0.11$	$5.62^{b} + 0.08$
25%KCl	$5.41^{ns} + 0.64$	$4.43^{c} + 0.84$	$5.52^{b} + 0.51$	$5.61^{b} + 1.42$
50%KCl	$5.63^{ns} + 0.66$	$4.75^{bc} + 0.41$	$6.28^{b} + 0.64$	$5.92^{ab} + 0.68$
75%KCl	$6.36^{ns} + 2.38$	$6.18^{ab} + 0.63$	$6.09^{b} + 0.94$	$7.10^{a} + 0.09$
100%KCl	$5.50^{ns} + 1.10$	$5.70^{abc} + 1.23$	$8.26^{a} + 0.54$	$7.02^{ab} + 0.53$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 สัดส่วนไข่แดงที่แข็ง (Hardening Ratio)

ค่าร้อยละสัดส่วนไข่แดงที่แข็งสามารถคำนวณได้จากร้อยละโดยน้ำหนักของไข่แดงส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งจะใช้เป็นดัชนีบอกถึงกระบวนการพอกไข่เค็มที่สมบูรณ์

จากรูปที่ 1 พบว่า สิ่งทดลองควบคุมที่ใช้เกลือ NaCl ร้อยละ 100 (0KCl) มีค่าร้อยละสัดส่วนไข่แดงที่เป็นของแข็งสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการพอก 4 สัปดาห์ และเข้าสู่กระบวนการพอกเค็มอย่างสมบูรณ์ในสัปดาห์ที่ 2 (มีค่าร้อยละสัดส่วนไข่แดงที่แข็งเท่ากับ 100) เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการพอกเดียวกันพบว่า การใช้เกลือ KCl ทดแทนเกลือ NaCl ในปริมาณมากขึ้น สัดส่วนของไข่แดงส่วนที่เป็นของแข็งมีค่า

ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในสัปดาห์ที่ 1 นั้น ไข่แดงของสิ่งทดลองที่ใช้เกลือ KCl ทดแทนเกลือ NaCl ในปริมาณร้อยละ 100 ยังไม่ปรากฏส่วนที่เป็นของแข็ง ในขณะที่ไข่แดงของสิ่งทดลองอื่นๆ เริ่มมีลักษณะเป็นก้อนแข็งบางส่วน นอกจากนี้ ยังพบว่า ทุกสิ่งทดลองที่มีการทดแทนด้วยเกลือ KCl มีสัดส่วนไข่แดงที่แข็งไม่ถึงร้อยละ 100 ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า ไข่แดงเค็มที่ดองด้วยเกลือ KCl ในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณความชื้นสูงขึ้น [12] คือยังมีส่วนที่เป็นของเหลวอยู่ภายใน ทั้งนี้ในระหว่างการดองเค็มนั้น ส่วนของไข่แดงเริ่มเป็นของแข็งจากบริเวณใกล้เยื่อหุ้มไข่แดงแล้วแล้วค่อยๆ เคลื่อนเข้าสู่ตรงกลาง ไข่แดงด้านในจะยังคงเป็นของเหลว และมีความหนืดเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นไข่แดงเค็มจะมีลักษณะภายนอกที่แห้งขึ้น โดยปริมาณความเข้มข้นของเกลือที่สูงขึ้น และปริมาณความชื้นที่ลดลงทำให้ไข่แข็งมีลักษณะกึ่งแข็งคล้ายเจลยืดหยุ่น

การเปลี่ยนแปลงไข่แดงจากของเหลวกลายเป็นเจลยืดหยุ่นเกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ได้แก่ การเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Denaturation) การรวมตัวกันของโปรตีน (Aggregation) และการเกิดเจลของโปรตีน (Gelation) [13]–[15] โดยเมื่อเกลือแทรกซึมผ่านเปลือกไข่เข้าไปข้างใน พร้อมกับเกิดการเคลื่อนย้ายน้ำ และความชื้นออกจากไข่เป็นผลให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ทำให้เกิดความไม่สมดุลของ Protein - Ion โปรตีนจึงคลายตัวออก และส่วนที่ไม่ชอบน้ำที่อยู่บริเวณภายในถูกเปิดออกมา จากนั้นโปรตีนจะเกิดการรวมตัว และสร้างโครงร่างตาข่ายสามมิติด้วยพันธะทางเคมี ทำให้โครงข่ายของเจลโปรตีนมีความเสถียร และคงตัวอยู่ได้ โดยโครงสร้างที่ถูกจัดเรียงใหม่จะกักน้ำไว้ภายในไม่ให้เคลื่อนไหว ทำให้เกิดโครงข่ายของเจลกึ่งยืดหยุ่น และมีความคงตัว ทั้งนี้ คุณสมบัติของอิเล็กโทรไลท์ ได้แก่ ความเข้มข้นของเกลือ และ Ionic Strength มีผลต่อโครงสร้างของโปรตีนที่มีลักษณะเป็นก้อน (Globular Protein) ที่พบในไข่แดง [16] โดยเมื่อความแรงของอิออนมีค่าต่ำ โครงสร้างของโปรตีนจะคงสภาพด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ เมื่อระดับความแรงของอิออนสูงขึ้น โครงสร้างของโปรตีนจะเสถียรได้ด้วยปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลโปรตีนกับน้ำ และเมื่อความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้นพบว่า โครงสร้างของโปรตีนจะคงอยู่ได้ด้วยปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน จากการทดลองของ [17] พบว่า Ionic Strength ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการรวมตัวกันของโมเลกุลโปรตีนในไข่แดง โดยเป็นการเพิ่มแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งเป็นผลให้เกิดเสียสภาพ และการรวมตัวกันของโปรตีน จากการทดลองนี้ ไข่แดงที่พอกด้วยเกลือ KCl ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 100 จะไม่พบลักษณะเป็นก้อนแข็งของไข่แดงในช่วงเริ่มต้นของการพอกเค็ม เนื่องจากค่า Ionic Strength ของเกลือ KCl มีค่าต่ำกว่าของเกลือ NaCl (เมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำหนักเกลือที่ใช้เท่ากัน ความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ของเกลือ KCl มีค่าต่ำกว่าของเกลือ NaCl) ส่งผลให้ไข่แดงของสิ่งทดลองที่ใช้เกลือ KCl มีสูญเสียสภาพเดิมได้ช้ากว่า หรือมีลักษณะเป็นก้อนแข็งได้ช้ากว่า

3.3 ค่าความแข็งของไข่แดงเค็มและไข่ขาวเค็มสุก

ค่าแรงกดสูงสุด (Maximum Force) แสดงถึงค่าความแข็งของไข่เค็มที่ทดสอบตารางที่ 7 แสดงแนวโน้มของค่าความแข็งของไข่แดงสุกที่ผ่านการพอกดินผสมเกลือ KCl ทดแทนเกลือ NaCl ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อระยะเวลาการพอกนานขึ้น ค่าความแข็งของไข่แดงสุกมีค่าเพิ่มขึ้น (ค่าความแข็งของไข่แดงสุกเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ศูนย์มีค่าเท่ากับ 2.62 นิวตัน) โดยเฉพาะสิ่งทดลองที่ใช้เกลือ NaCl ในปริมาณร้อยละ 100 (0KCl) และสิ่งทดลองที่มีการทดแทนด้วยเกลือ KCl ในปริมาณร้อยละ 25 (25KCl) จะมีค่าความแข็งของไข่แดงสุกสูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ระยะเวลาการพอกเดียวกัน แต่ไข่แดงเค็มสุกที่ผ่านการพอกด้วยเกลือ KCl ที่ระดับร้อยละ 50 ขึ้นไปจะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 8 พบว่า เมื่อพอกไข่เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ไข่ขาวเค็มทุกสิ่งทดลองมีค่าความแข็งลดลงจากไข่ขาวนึ่งที่ไม่ผ่านการพอกเค็ม (ค่าความแข็งของไข่ขาวสุกเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ศูนย์มีค่าเท่ากับ 9.67 นิวตัน) และหลังจากนั้นจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยตัวอย่างที่ใช้เกลือ NaCl ร้อยละ 100 (0KCl) จะมีค่าความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในทุกสัปดาห์ที่ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีงาน

วิจัยศึกษาแรงต้านทานภายในของเจลไข่ขาวสุกที่มีต่อแรงกระทำภายนอก (ค่า Stress หรือความเค้น) โดยนำไข่ขาวดิบที่เจือจางด้วยน้ำจนมีความเข้มข้นร้อยละ 33 และ 50 ไปผ่านความร้อนพบว่า ไข่ขาวเจือจางจะไม่จับตัวเป็นก้อนเมื่อไม่มีการเติมเกลือลงไปในไข่ขาวดิบ แต่เมื่อมีการเติมเกลือลงไปจะส่งผลให้ไข่ขาวเกิดการจับตัวเป็นก้อนด้วยความร้อนและกลายเป็นเจล โดยการเติมเกลือ NaCl จะให้ค่าความแข็งน้อยกว่าเมื่อเติมเกลือ KCl เล็กน้อย และเมื่อความเข้มข้นของเกลือมากขึ้น ค่าความแข็งของเจลไข่ขาวมีค่าเพิ่มขึ้น [18]

ตารางที่ 7 ค่าแรงกดสูงสุดของไข่แดงเค็มสุกที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ค่าแรงกดสูงสุด (N) ของไข่แดงเค็มสุก			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	3.71^{a} + 0.18	4.42^{a} + 0.01	6.35^{a} + 0.04	8.31^{a} + 0.00
25%KCl	3.54^{ab} + 0.29	4.23^{ab} + 0.57	6.52^{a} + 0.11	8.16^{a} + 0.13
50%KCl	3.52^{b} + 0.03	4.18^{b} + 0.41	4.29^{b} + 0.35	4.08^{b} + 0.17
75%KCl	3.52^{b} + 0.14	3.72^{c} + 0.37	3.11^{d} + 0.30	4.40^{b} + 0.57
100%KCl	3.51^{b} + 0.15	3.41^{c} + 0.44	3.62^{c} + 0.18	4.27^{b} + 0.48

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

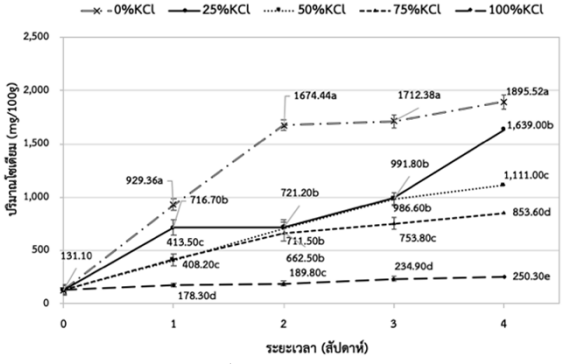
ตารางที่ 8 ค่าแรงกดสูงสุดของไข่ขาวเค็มสุกที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ค่าแรงกดสูงสุด (N) ของไข่ขาวเค็มสุก			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	1.21^{d} + 0.02	1.18^{c} + 0.01	1.00e + 0.03	1.86^{d} + 0.03
25%KCl	2.68^{b} + 0.31	1.82^{b} + 0.10	2.06^{d} + 0.09	2.42^{c} + 0.07
50%KCl	2.37^{c} + 0.05	2.58^{ab} + 0.10	2.44^{c} + 0.11	4.13^{b} + 0.22
75%KCl	3.37^{a} + 0.13	3.44^{a} + 0.08	2.51^{b} + 0.25	2.62^{c} + 0.31
100%KCl	3.56^{a} + 0.28	2.89^{ab} + 0.09	3.35^{a} + 0.16	4.78^{a} + 0.35

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

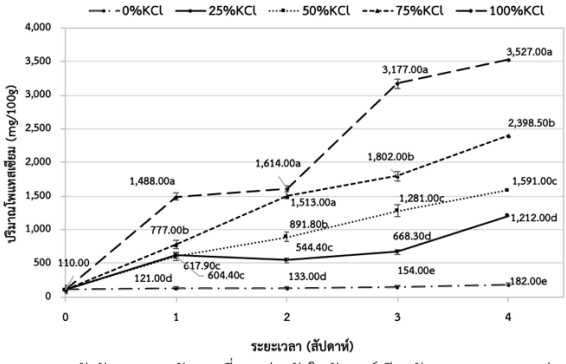
3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม

ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมในไข่เค็มสุก (ไข่แดงและไข่ขาวรวมกันทั้งลูก) ที่ผ่านพอกเค็มเป็นเวลา 4 สัปดาห์



หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 2 ปริมาณโซเดียมในไข่เค็มที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์



หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 3 ปริมาณโพแทสเซียมในไข่เค็มที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

แสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ สิ่งทดลองที่ใช้เกลือ NaCl ร้อยละ 100 (0KCl) มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมอย่างรวดเร็วในช่วง 1–2 สัปดาห์แรก (รูปที่ 2) เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ใช้เกลือ KCl ร้อยละ 100 (100KCl) ที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการพอก (รูปที่ 3) ทั้งนี้ เนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของเกลือที่เติมลงไปในส่วนผสมที่ใช้พอกกับไข่เป็ดสดมีค่าสูง สอดคล้องกับงานวิจัยการศึกษาจลนพลศาสตร์การแพร่ของ Na^{+} เข้าสู่ไข่แดงพบว่า การซึมผ่านของ Na^{+} จะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และจะค่อยๆ คงที่ในเวลาต่อมา [12]

ในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการพอกพบว่า ตัวอย่างที่ทดแทนการใช้เกลือ NaCl ด้วยเกลือ KCl ที่ระดับร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 มีปริมาณ Na^+ ลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 1,639.0, 1,111.0, 853.6 และ 250.3 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณ K^+ มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 1,212.0, 1,591.0, 2,398.5 และ 3,527.0 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการแพร่ซึมผ่าน Na^+ ของสิ่งทดลองที่พอกด้วยเกลือ NaCl ร้อยละ 100 (0KCl) และการซึมผ่านของ K^+ ของสิ่งทดลองที่พอกด้วยเกลือ KCl ร้อยละ 100 (100KCl) ในสัปดาห์เดียวกันพบว่า ปริมาณ K^+ ในไข่เค็มมีค่ามากกว่าปริมาณ Na^+ ทั้งนี้ เมื่อใช้เกลือ NaCl กับเกลือ KCl ในการพอกไข่ในปริมาณที่เท่ากัน สัดส่วนของ Na^+ กับ K^+ ที่ใช้ในการพอกไข่จะแตกต่างกันโดยหากใช้เกลือ NaCl 1 กรัม จะประกอบด้วยโซเดียม 0.4 กรัม (NaCl ประกอบด้วยโซเดียมอะตอมร้อยละ 39.33 และคลอไรด์อะตอมร้อยละ 60.67) [19] ส่วน KCl 1 กรัม จะประกอบด้วยโพแทสเซียม 0.52 กรัม (KCl ประกอบด้วยโพแทสเซียมอะตอมร้อยละ 52.44 และคลอไรด์อะตอมร้อยละ 47.55) ดังนั้น ปริมาณดินที่เท่ากันจะมีปริมาณของ K^+ มากกว่า Na^+ จึงส่งผลให้มีการแพร่ผ่านของ K^+ มากกว่า Na^+ นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ของ K^+ ที่อยู่ในรูปของสารละลายจะมากกว่าการเคลื่อนที่ของ Na^+ เนื่องจาก K^+ มีค่าความหนานแน่นของประจุต่ำกว่าและดึงดูดโมเลกุลของน้ำได้น้อยกว่า Na^+ ทำให้ K^+ มีการเคลื่อนที่ได้ดีกว่า แม้ว่า K^+ จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและมวลอะตอมสูงกว่า [20]

3.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 60 คน แสดงตารางที่ 9 โดยในการทดลองนี้จะเริ่มทดสอบในสัปดาห์ที่ 1–4 เนื่องจากในสัปดาห์ที่ศูนย์นั้นสิ่งทดลองยังเป็นไข่ต้มธรรมดา ไม่มีรสเค็ม และยังไม่มีการแพร่ซึมผ่านของเกลือเข้าสู่ไข่ เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองที่มีการทดแทนเกลือ KCl ในปริมาณที่สูงขึ้น (75KCl และ 100KCl) พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่น รสเค็ม รสชาติโดยรวม และด้านความชอบโดยรวมมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 2 และมีคะแนนความชอบต่ำกว่า 6 ดังนั้น จึงไม่ได้ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับสิ่งทดลองทั้ง 2 ดังกล่าวในสัปดาห์ที่ 3 และ 4

ทั้งนี้ การลดปริมาณเกลือ NaCl ลง ส่งผลให้ความเข้มของกลิ่นรสลดลง [21] จากงานวิจัยที่ศึกษาการทดแทนเกลือ NaCl ด้วยเกลือ KCl ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ พบว่า การทดแทนในปริมาณร้อยละ 50 ส่งผลให้คะแนนความชอบของผู้บริโภคลดลงอย่างมาก เนื่องจากเกลือ KCl ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติขมและมีกลิ่นรสคล้ายโลหะ (Metallic Taste) [22] สำหรับการทดลองนี้พบว่า เมื่อทำการทดแทนเกลือ NaCl ด้วยเกลือ KCl ในผลิตภัณฑ์ไข่เค็มที่ระดับปริมาณร้อยละ 50 มีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะสูงในสัปดาห์ที่ 2 และไม่แตกต่างจากสิ่งทดลองควบคุมและสิ่งทดลองที่มีการทดแทนด้วยเกลือ KCl ร้อยละ 25 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้น การทดแทนเกลือ NaCl ด้วยเกลือ KCl ในผลิตภัณฑ์ไข่เค็มที่ระดับปริมาณร้อยละ 50 จึงเหมาะสมในการผลิตไข่เค็มลดปริมาณเกลือ NaCl โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไข่เค็ม

เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองที่การใช้เกลือ KCl ทดแทน NaCl ที่ระดับร้อยละ 50 จะมีปริมาณ Na^+ น้อยกว่าตัวอย่างควบคุม (0KCl) โดยมีค่าเท่ากับ 408.20, 711.5, 986.6 และ 1,111.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นปริมาณ Na^+ ลดลง 1.5–4.1 เท่า เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม (0KCl) และมีปริมาณ K^+ เท่ากับ 604.4, 891.8, 1,281.0 และ 1,591.0 มิลลิกรัม ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณ K^+ เพิ่มขึ้น 4.5–12.0 เท่า เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม สำหรับประโยชน์ของเกลือ KCl ที่นอกเหนือจากการใช้ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ลดปริมาณการใช้เกลือ NaCl ลงจากสูตรปกติแล้ว ยังเป็นการช่วยเสริมโพแทสเซียมซึ่งเป็นแร่ธาตุที่สำคัญให้แก่ร่างกาย ซึ่งการบริโภคโพแทสเซียมในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยลดความเสี่ยงจากโรคความดันโลหิตสูง โดยองค์การอนามัยโลกได้กำหนดปริมาณการได้รับโพแทสเซียมอย่างน้อย 3,510 มิลลิกรัมต่อวัน แต่อย่างไรก็ตาม การบริโภคเกลือ KCl ในปริมาณมากอาจไม่เหมาะต่อผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 รวมถึงผู้ที่มีภาวะโพแทสเซียมในเลือดสูง [23], [24] ซึ่งต้องได้รับคำแนะนำจากแพทย์ก่อนรับประทาน

ตารางที่ 9 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point Hedonic Scale) ด้านสี กลิ่น รสเค็ม รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวมของไข่เค็มที่ทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	คะแนนความชอบด้านสีของไข่เค็ม			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$7.40^{ns} + 0.91$	$7.80^{a} + 0.94$	$7.47^{ns} + 0.92$	$7.40^{ns} + 0.83$
25%KCl	$5.60^{ns} + 1.62$	$7.57^{ab} + 0.53$	$7.50^{ns} + 0.53$	$7.80^{ns} + 0.97$
50%KCl	$6.30^{ns} + 1.77$	$7.20^{ab} + 1.30$	$7.00^{ns} + 0.63$	$7.20^{ns} + 0.45$
75%KCl	$6.40^{ns} + 1.07$	$6.40^{ab} + 1.14$	ND	ND
100%KCl	$5.70^{ns} + 1.77$	$6.00^{b} + 1.22$	ND	ND
สิ่งทดลอง	คะแนนความชอบด้านกลิ่นของไข่เค็ม			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$6.20^{ns} + 0.68$	$6.73^{ab} + 1.16$	$6.40^{ns} + 1.06$	$6.40^{ns} + 1.64$
25%KCl	$6.60^{ns} + 1.02$	$7.00^{a} + 1.29$	$7.75^{ns} + 0.71$	$7.20^{ns} + 1.03$
50%KCl	$6.10^{ns} + 1.52$	$6.80^{ab} + 0.45$	$7.50^{ns} + 1.05$	$6.60^{ns} + 1.52$
75%KCl	$6.30^{ns} + 1.42$	$5.80^{ab} + 1.48$	ND	ND
100%KCl	$6.40^{ns} + 1.35$	$4.80^{b} + 1.48$	ND	ND
สิ่งทดลอง	คะแนนความชอบด้านรสเค็มของไข่เค็ม			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$7.13^{ns} + 1.25$	$7.00^{a} + 1.31$	$7.13^{ns} + 1.19$	$6.93^{ns} + 1.22$
25%KCl	$6.60^{ns} + 1.62$	$7.71^{a} + 0.76$	$7.13^{ns} + 1.25$	$6.20^{ns} + 1.32$
50%KCl	$5.40^{ns} + 1.65$	$7.20^{a} + 0.45$	$6.83^{ns} + 1.47$	$5.80^{ns} + 2.17$
75%KCl	$6.80^{ns} + 1.23$	$6.20^{ab} + 1.92$	ND	ND
100%KCl	$5.40^{ns} + 2.12$	$5.20^{b} + 1.92$	ND	ND
สิ่งทดลอง	คะแนนความชอบด้านรสชาติโดยรวมของไข่เค็ม			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$7.07^{ns} + 1.03$	$7.33^{a} + 0.62$	$7.27^{ns} + 0.88$	$7.00^{ns} + 1.25$
25%KCl	$7.20^{ns} + 1.17$	$7.86^{a} + 0.38$	$7.13^{ns} + 0.99$	$6.60^{ns} + 1.07$
50%KCl	$6.00^{ns} + 1.94$	$7.33^{a} + 0.45$	$7.00^{ns} + 2.19$	$6.40^{ns} + 1.67$
75%KCl	$7.10^{ns} + 0.74$	$5.40^{b} + 1.67$	ND	ND
100%KCl	$5.80^{ns} + 2.20$	$5.40^{b} + 1.67$	ND	ND
สิ่งทดลอง	คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของไข่เค็ม			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
0%KCl	$7.33^{ns} + 1.18$	$7.27^{a} + 0.88$	$7.27^{ns} + 1.03$	$7.00^{ns} + 1.25$
25%KCl	$7.00^{ns} + 1.26$	$7.14^{a} + 0.38$	$7.15^{ns} + 0.89$	$6.60^{ns} + 0.97$
50%KCl	$6.20^{ns} + 1.93$	$7.07^{a} + 1.34$	$7.13^{ns} + 0.82$	$6.60^{ns} + 1.67$
75%KCl	$7.30^{ns} + 0.95$	$5.40^{b} + 1.67$	ND	ND
100%KCl	$5.90^{ns} + 2.08$	$5.60^{b} + 1.82$	ND	ND

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสัปดาห์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. สรุป

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่เค็มพอกดินที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ พบว่า การใช้เกลือ KCl ในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้สีของไข่แดงมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีส้มอมเหลือง มีค่าร้อยละสัดส่วนไข่แดงที่แข็งตัวลดลงและไม่เป็นก้อนแข็งอย่างสมบูรณ์ตลอดระยะเวลาที่พอกเค็มซึ่งส่งผลให้ค่าความแข็งของไข่แดงสุกมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม ค่าความแข็งของไข่ขาวเค็มสุกมีค่าเพิ่มขึ้น จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale ในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมพบว่า ไข่เค็มที่พอกดินที่ทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ระดับร้อยละ 50 ที่ระยะเวลาการพอก 2 สัปดาห์ มีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะสูงและไม่แตกต่างจากสิ่งทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณ Na^+ เท่ากับ 711.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งลดลงจากสิ่งทดลองควบคุม 2.3 เท่า และมีปริมาณ K^+ เท่ากับ 891.8 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เพิ่มขึ้นจากสิ่งทดลอง 6.7 เท่า ทั้งนี้ ปริมาณ Na^+ และ K^+ ที่รายงานนี้อยู่ในหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่ไข่เป็ดที่ใช้ในการทดลองนี้หนัก 70 กรัม/ฟอง หรือ 1 หน่วยบริโภค ดังนั้น ปริมาณ Na^+ ในไข่เค็ม 1 ฟอง จึงมีค่าเท่ากับ 498.05 มิลลิกรัม และมีปริมาณ K^+ เท่ากับ 624.26 มิลลิกรัม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยงบสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง (Matching Fund) ภายใต้โครงการ การพัฒนาทุนทางสังคมสู่ความมั่นคงของเศรษฐกิจฐานรากด้วยนวัตกรรม ประจำปี พ.ศ. 2561

เอกสารอ้างอิง

[1] N. J. Aburto, A. Ziolkovska, L. Hooper, P. Elliott, F. P. C. Cephalon, and J. J. Meerpohl, “Effect of lower sodium intake on health: systematic

review and meta-analyses," *BMJ Journals*, vol. 346, pp. 1–20, 2013.

[2] World Health Organization. (2020, June). *Guideline: Sodium Intake for Adults and Children*. [Online]. Available: http://www.who.int/nutrition/publications/guidelines/sodium_intake_printversion.pdf

[3] K. Cepanec, S. Vugrinec, T. Cvetkovi, and J. Ranilovi, "Potassium chloride-based salt substitutes: A critical review with a focus on the patent literature," *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 16, pp. 881 – 894, 2017.

[4] C. Asril. (20 June 2020). *How much salted egg yolk is too much?*. [Online]. Available: https://www.todayonline.com/lifestyle/food/how-much-salted-egg-yolk-too-much

[5] B. Thumthanarak and T. Teerapornkittikul, "Quality of reduced sodium steamed mackerel during chilled storage," *The Journal of Applied Science*, vol. 17, pp. 125–139, 2018 (in Thai).

[6] R. E. Stanley, C. G. Bower, and G. A. Sullivan, "Influence of sodium chloride reduction and replacement with potassiumchloride based salts on the sensory and physico-chemical characteristics of pork sausage patties," *Meat Science*, vol. 133, pp. 36–42, 2017.

[7] S. P. Chi and K. H. Tseng, "Physicochemical properties of salted pickled yolk from duck and chicken eggs," *Journal of Food Science*, vol. 33, pp.507–513, 1998.

[8] A. V. A. Resurreccion. *Consumer Sensory Testing for Product Development*, Gaithersburg, Md.: Aspen Publishers, 1998.

[9] C. W. Lin. "The storage of egg," in *The chemistry and utility of egg*, H.S. Yuan (Ed.). Publishing Co., Taipei, Taiwan, 1983, pp.98–121.

[10] H. Sugino, T. Nitoda, and L. R. Juneja, "General chemical composition of hen eggs," in *Hen Eggs: Their Basic and Applied science*, T. Yamamoto, L.R. Juneja, H. Hatta and M. Kim, (Eds.). CRC Press., Boca Raton, Florida, USA, 1996, pp. 13–24.

[11] L. J. Harrison and F. E. Cunningham, "Influence of salt on properties of liquid yolk and functionality in mayonnaise," *Poultry Science*, vol. 65, pp. 915–921, 1986.

[12] A. Laoharatanahiran, "*Novel approach in ameliorating saltiness of salted yolk cured using separated yolk brining process*," M.S. thesis, Department of Food Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonbury, Bangkok, Thailand, 2005.

[13] A. C. Alting. (2020, June). *Cold gelation of globular proteins*. [Online]. Available: https://edepot.wur.nl/43368.

[14] T. M. Johnson and M. E. Zabik. "Gelation properties of albumen proteins, singly and in combination," *Poultry Science*, vol. 60, pp. 2071–2083, 1981.

[15] P. W. Gossett, S. S. H. Rizvi, and R. C. Baker, "Quantitative analysis of gelation in egg protein system," *Food Technology*, vol. 38 no. 5, pp. 67–96, 1984.

[16] F. S. Shenstone, "The gross composition, chemistry and physico-chemical basis of organization of the yolk and white," in *Egg Quality: A study of the Hen's Egg*, T.C. Carter (Ed.). Oliver & Boyd, Edinburgh, United Kingdom, 1968, pp. 26–58.

[17] A. Guerrero, J. A. Carmona, I. Martínez, F. Cordobés, and P. Partal, "Effect of pH and

added electrolyte on the thermal-induced transitions of egg yolk," *Rheologica Acta*, vol. 43, pp. 539–549, 2004.

[18] T. Ichikawa and M. Shimomura, "Effects of sodium shloride and other salts on the properties of diluted egg white sols and gels," *Food Science and Technology Research*, vol. 13, no. 2, pp. 173–177, 2007.

[19] M. C. E. Belz, L. A. M. Ryan, and E. K. Arendt, "The impact of salt reduction in bread: A review," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 52, pp. 514–524, 2012.

[20] J. D. Lee. "Group I – the alkali metal," in *Concise Inorganic Chemistry*. 4th ed. Singapore : Fong & Sons Printer Pte. Ltd., 1991, ch. 9, pp. 275–312.

[21] C. N. Horita, V. C. Messias, M. A. Morgano, F. M. Hayakawa, and M. A. R. Pollonio, "Textural, microstructural and sensory properties of reduced sodium frankfurter sausages containing mechanically deboned poultry meat and blends of chloride salts," *Food Research International*, vol. 66, pp. 29–35. 2014.

[22] B. D. Tobin, M. G. O'Sullivan, R. M. Hamill, and J. P. Kerry, "Effect of varying salt and fat levels on the sensory and physiochemical quality of frankfurters," *Meat Science*, vol. 92, pp. 145–152, 2012.

[23] S. P. Ponce, A. E. Jennings, N. E. Madias, and J. T. Harrington, "Drug-induced hyperkalemia," *Medicine (Baltimore)*, vol. 64, no.6, pp. 357–70, 1985.

[24] T. Yip, W. Wan, P. C. Hui, S. L. Lui, and W. K. Lo, "Severe hyperkalemia in a peritoneal dialysis patient after consumption of salt substitute," *Peritoneal Dialysis International*, vol. 32, no. 2, pp. 206–208, 2012.