

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของไข่เค็ม ในระหว่างกระบวนการซูล์ว

Changes in physico-chemical properties of salted egg during sous-vide processing

ปัทมา สุภาผล¹, ธนวัฒน์ ศิริพิทักษ์โยธิน¹, สุทธชยา ชื่นวัฒนา¹,
ธัญวลัย วงษ์สุวรรณ¹, ขนิษฐา อินทร์ประสิทธิ์¹

Pattama Supaphon¹, Thanawat Siripithakyothin¹, Sutachaya Chuenwatthana¹,
Thunwalai Wongsawan¹, Khanittha Inprasit¹

รับบทความ 8 กุมภาพันธ์ 2567 แก้ไขบทความ 20 พฤษภาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์ 20 พฤษภาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านเคมีและด้านกายภาพของไข่เค็มที่ผ่านการดองร่วมกับการใช้เทคนิคซูล์วที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือร้อยละ 28-30 (โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ 50 ± 2 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการดองที่ 0 (ไข่ดิบ), 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 วัน พบว่าการใช้เทคนิคซูล์วร่วมกับกระบวนการดองไข่ส่งผลให้ค่าสมบัติด้านเคมีและด้านกายภาพของไข่เค็มที่ระยะเวลาในการดองต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้นส่งผลให้ไข่แดงเปลี่ยนจากสีเหลือง-แดง ในไข่ดิบ เป็นสีแดงและมีสีแดงที่เข้มข้น มีความกลมมนสูงขึ้น และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น ในขณะที่ไข่ขาวชั้นในมีความหนืดลดลงและไข่ขาวชั้นนอกและชั้นในมีความชุ่มมากขึ้น จากผลการเปรียบเทียบค่าสีของไข่แดงด้วย Munsell book และการตรวจวัดค่าความสูงของไข่แดงด้วยเครื่องเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์ พบว่าไข่แดงมีค่าสีอยู่ในช่วงเหลืองแดง-แดง และมีค่าความสูงอยู่ในช่วง 16.16-26.27 มิลลิเมตร นอกจากนี้ จากผลการตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงด้วยวิธีทดสอบแบบ TPA แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการดองนานขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น และค่าความเหนียวและความหยุ่นตัว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) แต่ไม่ส่งผลต่อค่าการยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร ($p > 0.05$) ในขณะที่เมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้นปริมาณความเข้มข้นของเกลือที่ตรวจวัดได้ในไข่แดงและไข่ขาวมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.42-0.97 และ 0.42-4.88 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังคงรักษาสีและลักษณะด้านรสชาติและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 27/2550 เรื่องไข่เค็ม) เป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้าและเพิ่มโอกาสทางการตลาดให้แก่ผู้ประกอบการ

คำสำคัญ: ไข่เค็ม, คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ, เทคนิคซูล์ว, ออสมิซิส

¹กองเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Abstract

This research investigated the changes in chemical and physical properties in salted eggs that had been pickled along with employing the sous-vide technique with a salt concentration of 28%-30% (weight per weight) at a temperature of 50 ± 2 degrees Celsius. During the pickling process on day 0 (raw egg), 1, 2, 3, 4, 5, and 6, it was observed that employing the sous-vide technique along with the pickling process led to statistically significant differences in the chemical and physical properties of the salted egg ($p < 0.05$) at different pickling durations. With increased duration of the pickling process, the appearance of the egg yolk changed from yellow-red (raw egg) to red and deeper red. The egg became rounder, more prominent, and firmer while the exterior egg white changed from being transparent to cloudier. According to a color comparison using the Munsell book for the egg yolk and the height values of the egg yolk with a Vernier caliper, it was found that the egg yolk had a color ranging from yellow-red to red and the height ranging between 16.16-26.27 millimeters. In addition, from the results of texture analysis, the egg yolk using the TPA testing method revealed that an increased pickling duration led to a tendency of a significant increase in hardness, springiness, and gumminess values ($p < 0.05$), while cohesiveness value remained unaffected ($p > 0.05$). Additionally, the salt concentration analyzed in both egg yolk and egg white showed a significant increase in quantity ($p < 0.05$) as the pickling duration extended, with values ranging between 0.42-0.97 and 0.42-4.88 percent, respectively. The mentioned changes resulted from the penetration of salt solution into the egg cells and solutions that dissolved in water within the egg cells diffused outward throughout the egg cell membrane along with the water. This resulted in alterations in the chemical and physical properties of the egg. The resulted product met the standards set by the Thai Community Product Standards (TCPS 27/2550 on Salted Eggs). This is to elevate commercial competitiveness and increase marketing opportunities for entrepreneurs.

Keywords: Salted egg, Physico-chemical properties, Sous-vide technique, Osmosis

¹Division of Community Technology, Department of Science Service

*Corresponding author e-mail address: khaniittha@dss.go.th.

1. บทนำ (Introduction)

ไข่ดอง (Pickled egg) เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากไข่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของไข่ [1] การดองไข่สามารถทำได้โดยการนำไข่ดิบมาผ่านกระบวนการดองด้วยสารละลายเกลือหรือที่เรียกว่า ไข่เค็ม (Salted egg) ซึ่งเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรม และเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากไข่ที่มีมาตั้งแต่สมัยโบราณ นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [1-2] ซึ่งในประเทศไทยนิยมนำมารับประทานร่วมกับข้าวต้มหรือโจ๊ก นอกจากนี้ยังนิยมนำไข่แดงมาใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมเบเกอรี่และขนมอบ [3] ในกระบวนการดองไข่ทำโดยการแช่ไข่ดิบในสารละลายเกลือที่ระยะเวลาประมาณ 15-30 วัน ซึ่งอาศัยหลักการออสโมซิส (Osmosis) และการแพร่ (Diffusion) โดยสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูงจะซึมผ่านเปลือกไข่เข้าไปด้านใน ขณะเดียวกันน้ำของไข่จะผ่านเยื่อหุ้มและเปลือกไข่ออกสู่ภายนอก น้ำที่ถูกดึงออกจากวัตถุดิบ จะทำให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity, a_w) ลดลงและสามารถควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค (Pathogen) ได้ ไข่เค็มจึงสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานยิ่งขึ้น นอกจากนี้การดองไข่ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านเคมีและด้านกายภาพ รวมถึงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไข่ เช่น การเปลี่ยนสีของไข่แดงและไข่ขาว เกิดสีน้ำตาลของไข่ขาวปฏิกิริยา Maillard เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนเมื่อถูกความร้อน ไข่แดงเปลี่ยนโทนสีจากสีส้ม-เหลือง เป็นสีส้มแดง-แดง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ มีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นและมีเนื้อสัมผัสเป็นเม็ด ๆ คล้ายเม็ดทราย ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าวเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของไข่แดงเค็มที่ผู้บริโภคนิยมนำไปใช้ในการประกอบอาหาร ส่วนไข่ขาวดิบจะมีความหนืดลดลง [1-2,4-8] ในปัจจุบันความต้องการของไข่เค็มในท้องตลาดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่กระบวนการผลิตไข่เค็มแบบดั้งเดิมทั้งแบบไข่เค็มดองและไข่เค็มพอกมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการผลิตที่ใช้ระยะเวลาในการดองหรือพอกที่นาน โดยประมาณ 15-30 วัน

ซูสวีด (Sous-vide) มาจากภาษาฝรั่งเศส แปลว่า Under vacuum เทคนิคซูสวีดจึงเป็นการประยุกต์ใช้กับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำในการทำอาหารด้วยภาชนะที่ทนความร้อนและปิดสนิทภายใต้สภาวะสุญญากาศ ก่อนจะนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่และเก็บรักษากายใต้อุณหภูมิต่ำที่ 0-3 องศาเซลเซียส [9-10] ซึ่งการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศจะส่งผลต่อการเร่งสภาวะการซึมผ่านของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกันได้เร็วขึ้น เนื่องจากพลังงานจลน์ของสารละลายที่สูงขึ้น ทำให้อากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์แพร่ออกมานอกเซลล์ได้รวดเร็ว สารละลายเกลือจึงสามารถแพร่เข้าไปแทนที่ได้รวดเร็วขึ้น [11-12] นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าการผลิตไข่แดงเค็มในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 40-60 องศาเซลเซียส สามารถช่วยให้อัตราการแพร่ของสารละลายเกลือเข้าสู่ไข่แดงเกิดขึ้นเร็วกว่าการผลิตไข่แดงเค็มในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0-10 องศาเซลเซียส และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของไข่แดงเร็วกว่า [13] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้เทคนิคซูสวีดสามารถเป็นแนวทางในการเร่งสภาวะในการดองไข่ ทำให้สารละลายเกลือซึมผ่านรูพรุนของเปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่ของไข่ขาวและไข่แดงได้เร็วขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องมือและกระบวนการผลิตเพื่อลดระยะเวลาในการทำไข่เค็มร่วมกับการใช้เทคนิคซูสวีดซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อช่วยให้สามารถผลิตไข่เค็มได้ปริมาณมากและรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม ทั้งยังคงรักษาอัตลักษณ์ด้านรสชาติและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 27/2550 เรื่องไข่เค็ม) รวมทั้งเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้าและเพิ่มโอกาสทางการตลาดให้แก่ผู้ประกอบการ

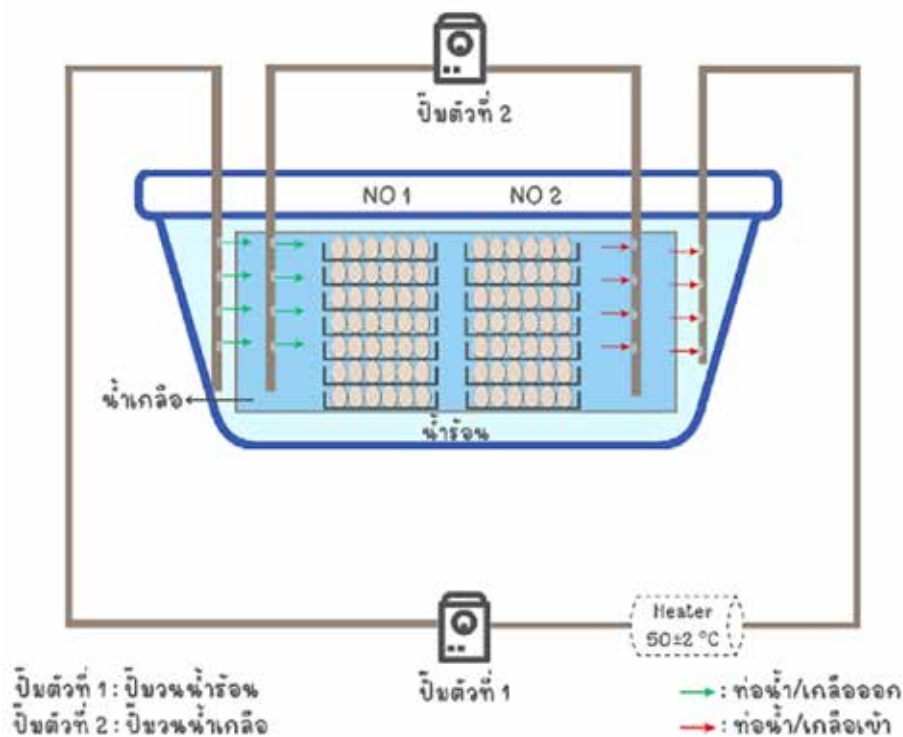
2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 การเตรียมวัตถุดิบไข่เปิด

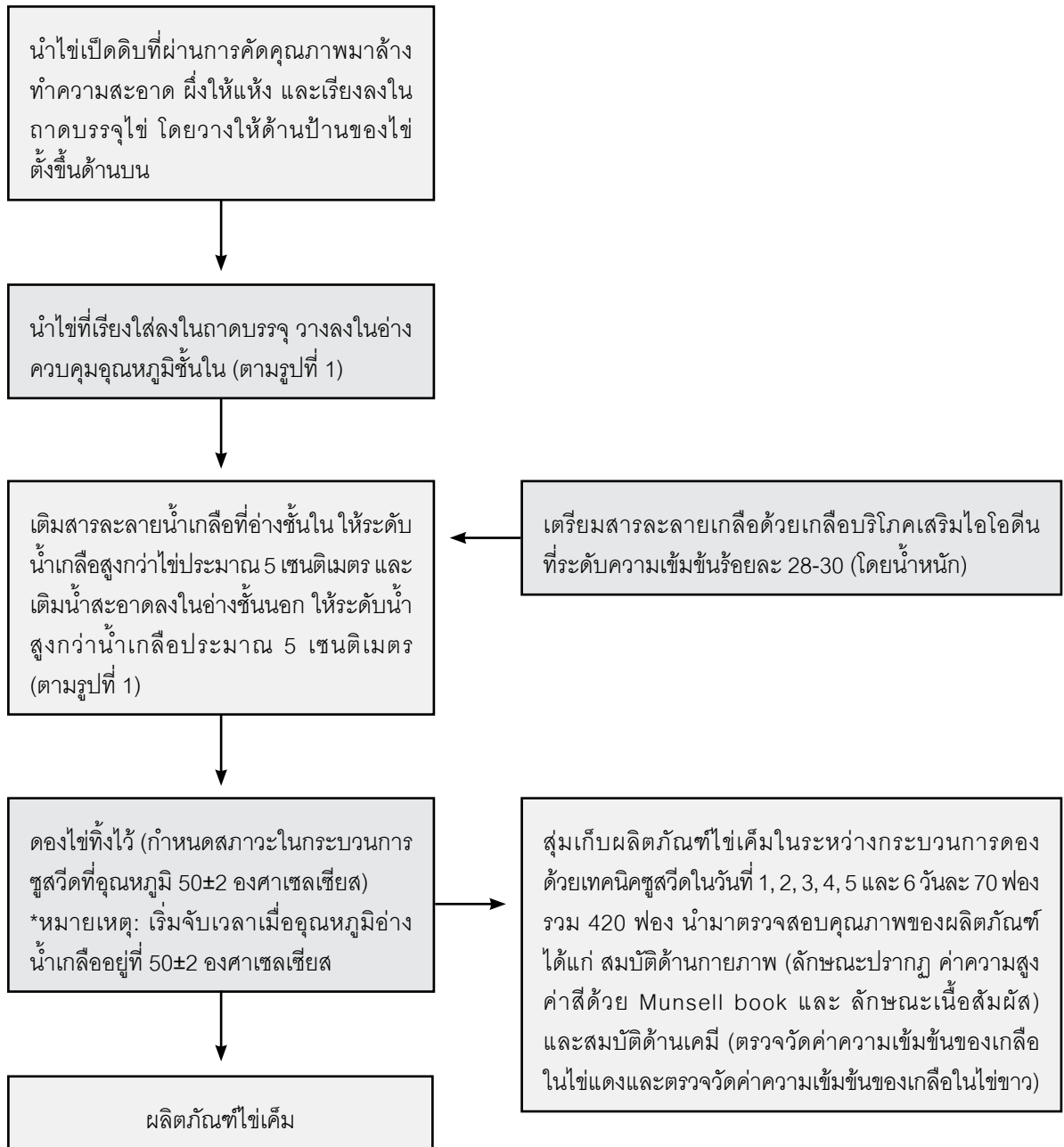
ซื้อไข่เปิดดิบ เบอร์ 1 (น้ำหนัก 65-70 กรัมต่อฟอง) จากร้านค้าในตลาดห้วยขวาง (Huai Kwang Market) กรุงเทพมหานคร โดยเลือกไข่เปิดที่มีลักษณะสด และเปลือกไข่มีสีปกติตามธรรมชาติ สะอาด ผิวเปลือกเรียบ สม่ำเสมอทั้งฟอง และไม่มีรอยบุบร้าวเมื่อมองด้วยตาเปล่า หลังจากนั้นนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด วางเรียงลงในถาดบรรจุไข่โดยให้ด้านป้านของไข่ตั้งขึ้น โดย 1 ถาดไข่ บรรจุไข่จำนวน 30 ฟอง วางผึ่งให้แห้ง เพื่อนำมาใช้ในการดองไข่ด้วยเทคนิคซูสวีดต่อไป

2.2 กระบวนการดองไข่ด้วยเทคนิคซูสวิด

กระบวนการดองไข่ด้วยเทคนิคซูสวิดทำได้โดยนำไข่เปิดดิบที่วางเรียงลงในถาดบรรจุไข่จากข้อ 2.1 มาวางลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนาขึ้น โดยอ่างควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก คือ 1. อ่างน้ำ 2 ชั้น (ชั้นในบรรจุสารละลายเกลือ ชั้นนอก บรรจุน้ำร้อน) ทำจากวัสดุที่ทนร้อน ทนต่อการกัดกร่อนของเกลือและมีความปลอดภัย (ไม่มีการเฉือน และสารเคมีตกค้างในอาหาร) ต่อผู้บริโภค เช่น พลาสติกหรือสแตนเลส ชนิดที่ใสกับอาหารได้ สามารถรองรับการผลิตไข่เค็มได้ 200-540 ฟองต่อรอบการผลิต 2. ระบบทำความร้อน (Heater) ขนาดกำลังไฟฟ้า 1,500 วัตต์ และใช้ระบบท่อกระจายน้ำร้อน ส่งผ่านน้ำร้อนไปอ่างชั้นใน (สารละลายเกลือ) และอ่างชั้นนอก (น้ำร้อน) และถูกควบคุมด้วยโมดูลตั้งค่าอุณหภูมิชนิด PID (Proportional integral derivative) 3. ปัมที่สามารถทนต่อความร้อนและการกัดกร่อนของสารละลายเกลือ ใช้สำหรับการหมุนเวียนน้ำและกระจายน้ำร้อนและสารละลายเกลือ แสดงดังรูปที่ 1 และมีแผนผังกระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ต้นแบบอ่างควบคุมอุณหภูมิที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในกระบวนการดองไข่ด้วยเทคนิคซูสวิด



รูปที่ 2 แผนผังกระบวนการผลิตไข่เค็มด้วยเทคนิคชูสวิต

2.3 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่เค็ม

นำไข่เค็มที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคชูสวิต โดยสุ่มเก็บไข่เค็มในวันที่ 0 (ไข่ดิบ), 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 จากข้อ 2.2 มาตรวจสอบสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ค่าความสูง ค่าสีด้วย Munsell book ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็ม และสมบัติด้านเคมี ได้แก่ การตรวจวัดค่าความเข้มข้นของเกลือในไข่แดงและไข่ขาวของผลิตภัณฑ์ไข่เค็ม โดยมีวิธีการและรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 การตรวจสอบลักษณะปรากฏของไข่เค็ม

นำไข่เค็มที่สุ่มเก็บมาสังเกตลักษณะปรากฏของไข่แดงและไข่ขาว จากนั้นบันทึกผลจากการสังเกตด้วยตาเปล่า เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่ระยะเวลาในการดองแตกต่างกัน

2.3.2 การวัดค่าความสูงของไข่แดงเค็ม

นำไข่เค็มที่สุ่มเก็บมาแยกไข่แดงและไข่ขาวออกจากกัน จากนั้นนำไข่แดงมาวัดค่าความสูงของไข่แดงด้วยเครื่องเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ แบบดิจิตอล (Mitutoyo CD6-ASX Digimatic Caliper, Japan) รายงานผลด้วยทศนิยม 2 ตำแหน่ง ในหน่วยมิลลิเมตร (mm)

2.3.3 การวัดค่าสีของไข่แดงเค็ม

นำไข่เค็มที่สุ่มเก็บมา แยกไข่แดงและไข่ขาวออกจากกัน จากนั้นนำไข่แดงที่ได้มาวัดค่าสี ด้วยหนังสือคู่มือเทียบสี (Munsell book of colour matte edition) บันทึกหรัสสี (Hue) ค่าความสว่างของสี (Value) และค่าความเข้มของสี (Chroma)

2.3.4 การตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็ม

นำไข่เค็มที่สุ่มเก็บมา แยกไข่แดงและไข่ขาวออกจากกัน จากนั้นนำไข่แดงที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ทดสอบด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) โดยใช้หัววัดแบบแผ่นแบน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (Aluminum compression plate 50 mm) ความเร็วของหัววัดเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้ระยะแรงกดร้อยละ 20 ของความสูงตัวอย่าง และรายงานผลเป็นค่าความแข็ง (Hardness), การยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร (Cohesiveness), ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าความเหนียวและความหยุ่นตัว (Gumminess)

2.3.5 การตรวจวัดค่าปริมาณเกลือในไข่เค็ม

นำไข่เค็มที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคสุสวิดมาแยกไข่แดงและไข่ขาวออกจากกัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณเกลือตามวิธีของ AOAC [14] โดยชั่งไข่แดงและไข่ขาว 1 กรัม เติมสารละลายมาตรฐาน 0.1 N AgNO₃ จำนวน 20 มิลลิลิตร และ เติม HNO₃ จำนวน 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อน 10 นาที หรือจนกระทั่งส่วนผสมทั้งหมดละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (ยกเว้นตะกอนของ AgCl) เมื่อครบเวลารอให้สารละลายเย็นตัวลงในอุณหภูมิห้อง หยด Ferric alum indicator ความเข้มข้นร้อยละ 5 จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.1 N KSCN จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล บันทึกปริมาตรของ KSCN ที่ใช้ และคำนวณหาปริมาณร้อยละของเกลือในตัวอย่าง ดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละปริมาณเกลือ} = 5.8 \times [(V_1 \times N_1) - (V_2 \times N_2)] / W \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่ V_1 คือ ปริมาตรของ AgNO₃ (มิลลิลิตร)

N_1 คือ ความเข้มข้นของ AgNO₃ (N)

V_2 คือ ปริมาตรของ KSCN (มิลลิลิตร)

N_2 คือ ความเข้มข้นของ KSCN (N)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลการตรวจสอบลักษณะปรากฏของไข่เค็ม

ลักษณะปรากฏของไข่เค็มที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคสุสวิดที่ระยะเวลาในการดองวันที่ 0 (ไข่ดิบ), 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 พบว่าลักษณะปรากฏของไข่แดงและไข่ขาวมีลักษณะที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 1 เมื่อใช้ตัวอย่างระยะเวลาการดองในวันที่ 0 (ไข่ดิบ)

จากการเปลี่ยนของไข่เค็มดิบที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคสุญญากาศในระยะเวลาการดองที่ต่างกัน จากลักษณะปรากฏสังเกตได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้น ไข่แดงจะมีสีแดงเข้มขึ้น มีลักษณะกลมมนสูงขึ้น เนื้อสัมผัสแข็งขึ้น ส่วนไข่ขาวชั้นในมีความข้นหนืดลดลงและมีความขุ่นบาง ไข่ขาวชั้นนอกมีความใสและสีเข้มขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการที่สารละลายเกลือซึมผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์ไข่ รวมทั้งสารที่ละลายน้ำได้ในไข่ซึมออกจากภายในเซลล์ไข่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (แพร่ออกจากโปรตีนไข่ขาว) สู่ภายนอกเซลล์ทำให้โปรตีนเสียสภาพ เนื่องจากเซลล์สูญเสียน้ำโดยกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นทั้งในไข่แดงและไข่ขาว [5,9]

3.2 ผลการวัดค่าความสูง (ความนูน) ของไข่แดงเค็ม

ค่าความสูงของไข่แดงที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคสุญญากาศที่ระยะเวลาในการดองวันที่ 0 (ไข่ดิบ), 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีความสูงในช่วง 16.16-26.27 มิลลิเมตร โดยการดองไข่วันที่ 3, 4, 5 และ 6 มีความสูงเพิ่มขึ้นจากไข่ดิบ (วันที่ 0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และการดองไข่วันที่ 4, 5 และ 6 มีความสูงต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของไข่แดงเค็ม แสดงดังตารางที่ 1 กล่าวคือ ไข่แดงเริ่มมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลมมนและสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 3 และความสูงของไข่แดงเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยลงจนกระทั่งสังเกตไม่พบการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะหลังของกระบวนการดอง (ช่วงระยะเวลาในการดองวันที่ 4-6) โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่าง ความกลม ความสูง (ความนูน) ของไข่แดง ในระหว่างกระบวนการดองเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีนภายในไข่แดงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว [2,15]

ตารางที่ 1 ลักษณะปรากฏของไข่เค็มที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคสุญญากาศที่ระยะเวลาในการดองต่างกัน

วันที่	ลักษณะปรากฏ	คำอธิบาย
0 (ไข่ดิบ)		ไข่แดง: มีรูปทรงแบนนูน มีสีเหลือง-แดง ไข่ขาว: ไข่ขาวชั้นในมีความข้นหนืด ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใสมีความใสและโปร่งแสง
1		ไข่แดง: มีรูปทรงแบนนูน มีสีส้ม-แดงเข้มขึ้น ไข่ขาว: ไข่ขาวชั้นในมีความข้นหนืด ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใสมีความใสและโปร่งแสง
2		ไข่แดง: มีรูปทรงกลมมน สูงขึ้น มีสีแดง ไข่ขาว: ไข่ขาวชั้นในมีความข้นหนืด ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใสมีความใสและโปร่งแสง
3		ไข่แดง: มีรูปทรงกลม นูน สูง มีสีแดงเข้ม ผิวของไข่เริ่มมีความแข็ง ด้านในของไข่แดงยังคงเป็นของเหลว ไข่ขาว: ไข่ขาวชั้นในมีความข้นหนืดลดลง ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใสมีความใสและมีสีเข้มขึ้น

วันที่	ลักษณะปรากฏ	คำอธิบาย
4		ไข่แดง: มีรูปทรงกลม นูน สูง มีสีแดงเข้ม ผิวของไข่มีความแข็ง ด้านในของไข่แดงยังคงเป็นของเหลว ไข่ขาว: ไข่ขาวชั้นในมีความข้นหนืดลดลง ขุ่น ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใสมีความใสและมีสีเข้มขึ้น
5		ไข่แดง: มีรูปทรงกลม นูน สูง มีสีแดงเข้ม ผิวของไข่มีความแข็ง ด้านในของไข่แดงยังคงมีของเหลวอยู่เล็กน้อย ไข่ขาว: ไข่ขาวชั้นในมีความข้นหนืดลดลง ขุ่น ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใสมีความใสและมีสีเข้มขึ้น
6		ไข่แดง: มีรูปทรงกลม นูน สูง มีสีแดงเข้ม ผิวของไข่มีความแข็ง ด้านในของไข่แดงมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งแข็งกึ่งเหลว ไข่ขาว: ไข่ขาวชั้นในมีความข้นหนืดลดลง ขุ่น ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใสมีความใสและมีสีเข้มขึ้น

3.3 ผลการวัดค่าสีของไข่แดงเค็ม

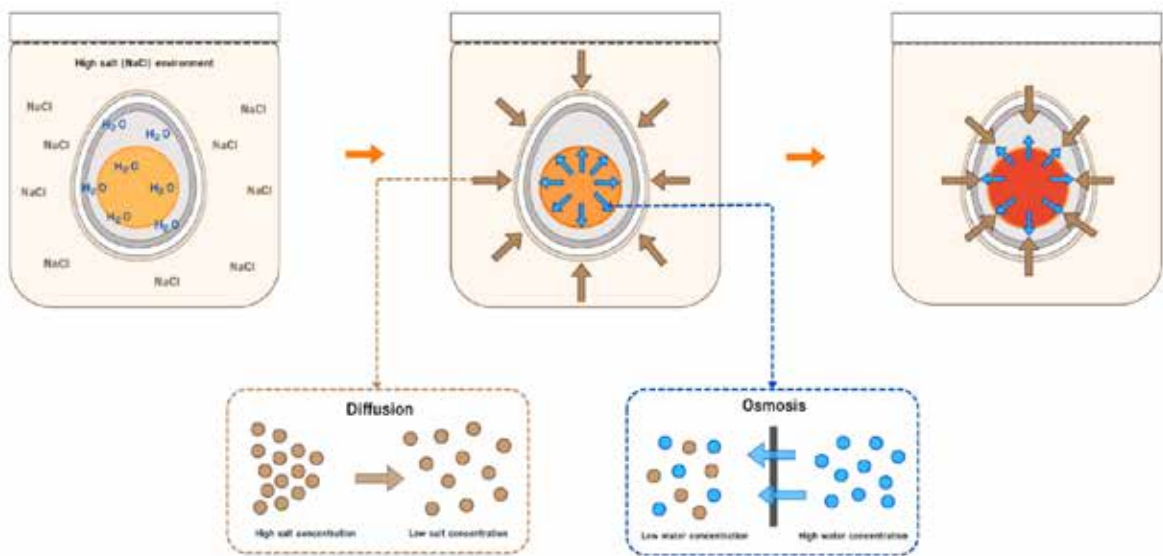
การเทียบค่าสีของไข่แดงด้วย Munsell book ของไข่เค็มที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคสุสวิด ที่ระยะเวลาในการดองวันที่ 0 (ไข่ดิบ), 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 พบว่าค่าสีของไข่แดงมีค่าสีอยู่ในช่วงสีเหลืองแดง-แดง แสดงดังตารางที่ 2 ค่าสีของไข่แดงในวันที่ 0 มีสีอยู่ในช่วงสีเหลือง-แดง โดยมีค่า Hue เท่ากับ 1.25 YR ค่าของ Value เท่ากับ 6 และค่า Chroma เท่ากับ 14 เมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้นส่งผลให้ค่าสีของไข่แดงเปลี่ยนจากช่วงสีเหลืองแดงเป็นสีแดง โดยสีของไข่แดงมีสีแดงที่เข้มขึ้น และคงที่ในระยะเวลาในการดองวันที่ 5 และ วันที่ 6 โดยมีค่า Hue เท่ากับ 8.75 R ค่าของ Value เท่ากับ 5 และค่า Chroma เท่ากับ 16 จากการศึกษาวิจัยรายงานว่าสีของไข่แดงเค็มมีสีอยู่ในช่วงสีส้ม-แดงเข้ม ซึ่งเกิดจากรังควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ 2 กลุ่ม ที่ให้สีเหลือง-ส้ม และ ส้ม-แดง คือ กลุ่มที่ให้สีเหลืองประกอบด้วย ลูทีน (Lutein) และ ซีแซนทีน (Zeaxanthin) และกลุ่มที่ให้สีแดงคือ แอสตาแซนทีน (Astaxanthin) ทำให้สีของไข่แดงที่เทียบค่าสีด้วย Munsell book มีช่วงสีอยู่ในช่วงสีเหลืองแดง-แดง ซึ่งสีของไข่แดงขึ้นกับชนิดและปริมาณของรังควัตถุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น สภาพแวดล้อม และอาหารที่เลี้ยงเป็ด [6,13] นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการดองไข่ด้วยเทคนิคสุสวิด สีของไข่แดงเปลี่ยนจากช่วงสีเหลือง-แดง เป็นสีแดงเข้ม เมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้น เนื่องจากระหว่างกระบวนการดองไข่เกิดกระบวนการออกซิเดชันเป็นการแพร่ของสารละลายเกลือ (น้ำเกลือที่ใช้ในการดองไข่) ที่มีความเข้มข้นสูง ไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ (ไข่ขาวและไข่แดง) แสดงดังรูปที่ 3 ส่งผลให้ปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น ความชื้นและน้ำ ภายในไข่ลดลง ส่งผลต่อลูทีน (Lutein) ซีแซนทีน (Zeaxanthin) และแอสตาแซนทีน (Astaxanthin) ที่ละลายอยู่ในไขมันในไข่แดง มีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สีของไข่แดงเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มและคล้ำขึ้น [8,16-18] การเปลี่ยนแปลงสีของไข่แดงในระหว่างกระบวนการดอง แสดงดังรูปที่ 3

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไข่เค็มหลังผ่านการดองในวันที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ด้วยเทคนิคชูสวิต

วันที่	ความสูงของไข่แดง (มิลลิเมตร)	ค่าสีของไข่แดง	ร้อยละปริมาณเกลือ	
			ไข่แดง	ไข่ขาว
0	17.31±0.78 ^c	1.25 YR 6/14	0.44±0.07 ^d	0.42±0.08 ^e
1	16.16±1.42 ^c	2.5 YR 5/14	0.42±0.05 ^d	1.90±0.50 ^d
2	16.89±2.45 ^c	10 R 5/4	0.71±0.11 ^c	2.15±0.16 ^d
3	23.76±3.45 ^b	8.75 R 5/14	0.82±0.06 ^b	3.28±0.18 ^c
4	25.77±1.50 ^a	8.75 R 5/14	0.97±0.12 ^a	4.12±0.08 ^b
5	26.27±0.96 ^a	8.75 R 5/16	0.95±0.03 ^a	4.00±0.23 ^b
6	26.03±1.80 ^a	8.75 R 5/16	0.91±0.09 ^{ab}	4.88±0.08 ^a

* หมายเหตุ: แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean±SD) โดยตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์ (a-e) แสดงความแตกต่างของผลทดสอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 ($p<0.05$)

: Y หมายถึง สีเหลือง R หมายถึง สีแดง



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของไข่เค็มในระหว่างกระบวนการดองด้วยเทคนิคชูสวิต

3.4 ผลการตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็ม

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีทดสอบแบบ TPA ของไข่แดงเค็มที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคชูสวิต ในวันที่ 0 (ไข่ดิบ), 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 รายงานผลเป็นค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าความเหนียวและความหยุ่นตัว (Gumminess) แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า ค่า Hardness หรือค่าที่บ่งบอกแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกด ซึ่งเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรกโดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.71 นิวตัน เป็น 5.22 นิวตัน ที่ระยะเวลาการดองในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 แสดงดังรูปที่ 4(a) ค่า Hardness ที่ระยะเวลาการดองในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 3 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในช่วงเริ่มต้นของระยะการดองสารละลายเกลือที่มี

ความเข้มข้นสูงกว่าจะแพร่ไปในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ (ไข่ขาวและไข่แดง) แสดงดังรูปที่ 4 ส่งผลให้ระยะเวลาในการคองระหว่างวันที่ 1 ถึงวันที่ 3 ที่เปลือกนอกของไข่แดงเริ่มมีความแข็งแต่ด้านในยังคงเป็นของเหลว เมื่อระยะเวลาในการคองระหว่างวันที่ 4 ถึงวันที่ 6 การแพร่ของสารละลายเกลือในไข่แดงเพิ่มสูงขึ้นควบคู่กับการลดลงของน้ำภายในไข่ ทำให้ไข่แดงมีการแข็งตัวเพิ่มสูงขึ้น ส่วนที่เป็นของเหลวในไข่แดงมีปริมาณลดลง ส่งผลให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้น [8,19-21] นอกจากนี้ปัจจัยหลักดังกล่าวยังส่งผลให้ค่า Hardness ของไข่แดงเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นในไข่แดงที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้เนื้อไข่แดงเกิดการอัดรวมตัวกันแน่นขึ้น ส่งผลให้ค่า Hardness ของไข่แดงเพิ่มขึ้น และทำให้ไข่แดงมีลักษณะเนื้อสัมผัสมีความกระด้างเป็นเนื้อทราย (Gritty) [19,22-23] ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์ไข่เค็มที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค [14]

ค่าการยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร (Cohesiveness) แสดงถึงความสามารถขององค์ประกอบในเนื้ออาหารในการต้านการเสียสภาพจากการกดครั้งที่สอง ซึ่งค่า Cohesiveness ของไข่แดงเค็มที่ผ่านกระบวนการคองด้วยเทคนิคทุสวิดที่ระยะเวลาในการคองที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า Cohesiveness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.22-0.37 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ai et al. [21] พบว่า ในระหว่างกระบวนการคองไข่เกิดกระบวนการออสโมซิสของสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน โมเลกุลของน้ำในเซลล์มีการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำมากไปบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำน้อยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และทำให้เกิดแรงดันออสโมซิส (Osmotic pressure) หรือแรงดันในการออสโมซิสระหว่างกระบวนการคองไข่ที่เกิดขึ้นภายนอกและภายในของไข่แดง ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการรักษาโครงสร้างภายในของไข่แดงลดลง จึงทำให้ค่า Cohesiveness มีค่าน้อย

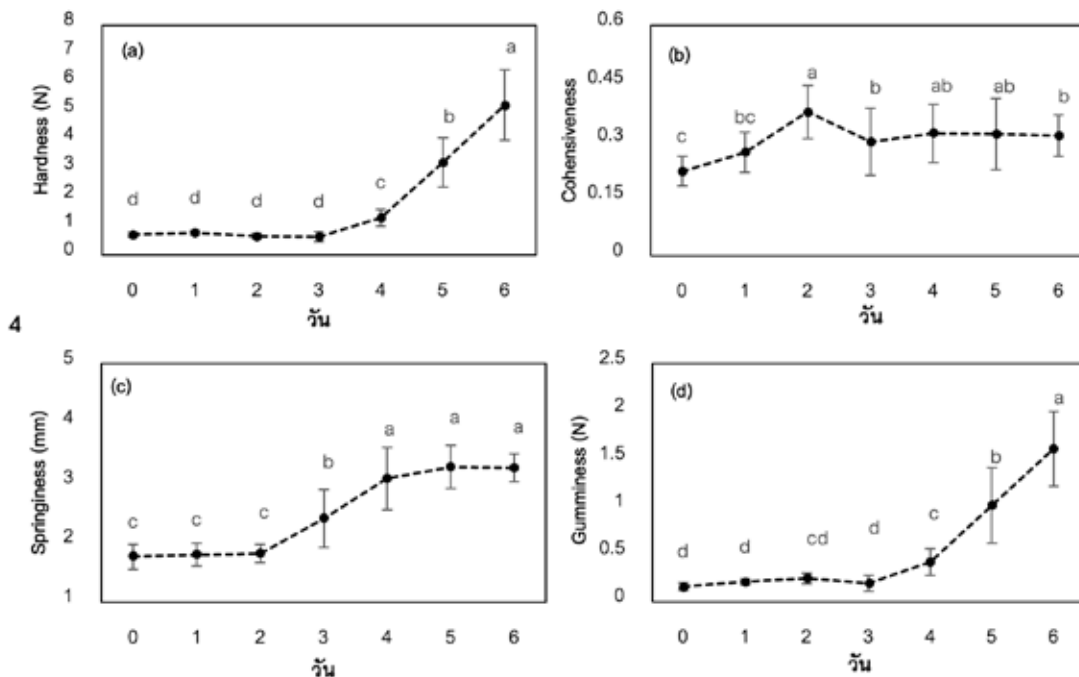
ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) แสดงถึงความสามารถในการคืนตัวกลับมาเหมือนเดิมเมื่อมีการถอนแรงออกจากการกดตัวอย่างอาหารที่ทำทดสอบ จากการตรวจสอบค่า Springiness ของไข่แดง พบว่ามีค่า Springiness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อระยะเวลาในการคองนานขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.76-3.27 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4(c) ค่า Springiness ที่ช่วงระยะเวลาการคองในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 2 มีค่า Springiness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระยะเวลาการคองวันที่ 3 ($p>0.05$) จนกระทั่งมีค่าคงที่ระยะเวลาในช่วงการคองวันที่ 4 ถึงวันที่ 6 ในระหว่างกระบวนการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ TPA ด้วยการกดวัดตัวอย่าง 2 ครั้ง ในการกดวัดตัวอย่างครั้งแรกทำให้โครงสร้างของไข่แดงที่ยึดเกาะกันแตกออกเป็นชั้นแยกจากกัน จากนั้นกดตัวอย่างในครั้งที่ 2 โดยใช้ตัวอย่างที่แตกออกจากกันจากการกดในครั้งที่ 1 ทำให้โครงสร้างที่แตกออกจากกันในครั้งแรกมีการแตกเพิ่มขึ้นและมีขนาดที่เล็กลง จากการเพิ่มสูงขึ้นของค่า Springiness ที่ระยะเวลาในช่วงการคองวันที่ 4 ถึงวันที่ 6 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของไข่แดงเค็มมีการแตกออกจากกันออกเป็นชั้นเล็ก ๆ จำนวนเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการทดสอบ เนื่องจากการสูญเสียน้ำ (Dehydration) และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไข่แดงที่ทำให้ผิวนอกของไข่แดงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งหรือของแข็ง [21,24]

ค่าความเหนียวและความหยุ่นตัว (Gumminess) คำนวณได้จากการคูณค่าความแข็งกับค่าการยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร ($\text{Hardness} \times \text{cohesiveness}$) แสดงถึงพลังงานที่ทำให้อาหารกึ่งแข็ง ซึ่งมีค่าความแข็งน้อยแต่มีพลังงานยึดเกาะกันภายในสูง แตกออกจนสามารถกลืนได้ จากการตรวจสอบค่า Gumminess พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อระยะเวลาในการคองนานขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.16 นิวตัน เป็น 1.61 นิวตัน ที่ระยะเวลาในช่วงการคองวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 แสดงดังรูปที่ 4(d) ค่า Gumminess ที่ระยะเวลาในช่วงการคองวันที่ 0 ถึงวันที่ 2 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระยะเวลาการคองวันที่ 4 ถึงวันที่ 6 ($p<0.05$)

3.5 การตรวจวัดปริมาณเกลือในไข่เค็มที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคชูสวิต

ผลการตรวจวัดปริมาณเกลือในไข่แดงและไข่ขาวของไข่เค็มดิบที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคชูสวิตในวันที่ 0 (ไข่ดิบ), 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 พบว่าปริมาณเกลือที่วิเคราะห์ได้ในไข่แดงและไข่ขาวมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้น แสดงดังตารางที่ 2 ปริมาณเกลือของไข่แดงและไข่ขาวมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.44-0.97 และร้อยละ 0.42-4.88 ตามลำดับ ปริมาณเกลือในไข่ขาวมีค่าสูงกว่าไข่แดงตลอดระยะเวลาการดอง เนื่องจากในระหว่างกระบวนการดองไข่ เกลือจะค่อย ๆ แพร่เข้าไปในไข่ขาว จากนั้นจะเข้าไปในไข่แดงทำให้ปริมาณเกลือที่ตรวจวัดได้ในไข่ขาวมีปริมาณสูงกว่าไข่แดงที่ระยะเวลาการดองในวันเดียวกัน โดยปริมาณเกลือในไข่แดงมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่น้อยกว่าไข่ขาว เนื่องจากปริมาณไขมันที่เป็นส่วนประกอบในไข่แดงทำให้การซึมผ่านของสารละลายยากขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณเกลือที่ตรวจวัดได้ในไข่แดงมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นที่น้อยกว่าไข่ขาว [2,25] โดยปริมาณเกลือในไข่แดงสดที่ระยะเวลาการดองในวันที่ 0 มีค่าร้อยละ 0.44 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระยะเวลาการดองในวันที่ 1 ($p > 0.05$) และปริมาณเกลือมีค่าเพิ่มสูงขึ้นที่ระยะเวลาในการดองในวันที่ 2 และเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาการดองในวันที่ 4 ในขณะที่ปริมาณเกลือในไข่ขาวสดระยะเวลาการดองในวันที่ 0 มีค่าร้อยละ 0.42 และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นที่ระยะเวลาการดองในวันที่ 1 และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้น จนกระทั่งที่ระยะเวลาการดองในวันที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.88

Chenga et al. [15] ได้ศึกษาปริมาณเกลือที่ตรวจวัดได้ในไข่แดงและไข่ขาวภายหลังกระบวนการดองแบบวิธีทั่วไป (ดองน้ำเกลือ) โดยศึกษาผลของกระบวนการดองไข่เค็มที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือร้อยละ 30 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของไข่เค็ม พบว่าการดองไข่เค็มที่ระยะเวลาการดอง 6 สัปดาห์ มีปริมาณเกลือในไข่แดงและไข่ขาวอยู่ระหว่างร้อยละ 0.23-2.85 และ 0.23-8.04 ตามลำดับ และที่ระยะเวลาการดองสัปดาห์ที่ 4 มีปริมาณเกลือในไข่แดงเท่ากับร้อยละ 1.08 และไข่ขาวเท่ากับร้อยละ 5.11 ตามลำดับ นอกจากนี้ ภูธฤทธิ์ และคณะ [26] ได้ศึกษากระบวนการดองไข่เค็มโดยใช้สารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 20 (โดยน้ำหนัก) พบว่าปริมาณเกลือในไข่แดงและไข่ขาวเท่ากับร้อยละ 0.71 และ 6.05 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาในการดอง 15 วัน และ Xu et al. [25] ได้รายงานการตรวจวัดปริมาณเกลือในไข่แดงเท่ากับร้อยละ 8.23 และในไข่ขาวเท่ากับร้อยละ 2.25 ในระยะเวลาในการดอง 35 วัน ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือร้อยละ 30 จากการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคชูสวิตร่วมกับกระบวนการดองไข่เค็มส่งผลให้ปริมาณเกลือที่ตรวจวิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกันกับการดองไข่เค็มด้วยวิธีการดองแบบทั่วไปซึ่งใช้ระยะเวลาในการดองที่มากกว่า ด้วยเทคนิคชูสวิตเป็นการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิที่คงที่ตลอดกระบวนการดองภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งการใช้ความร้อนเป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาอนุภาคของสารละลายเกลือสามารถเคลื่อนที่ได้รวดเร็วขึ้นจากการได้รับพลังงานจลน์ที่สูงขึ้น ทำให้อัตราการแพร่ของสารละลายเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้สารละลายเกลือสามารถแพร่เข้าไปในไข่ขาวและไข่แดงได้เร็วกว่าสภาวะปกติ [6,11,25] แสดงดังรูปที่ 3 นอกจากนี้ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับการรายงานการผลิตไข่แดงเค็มในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 40-60 องศาเซลเซียส สามารถช่วยให้อัตราการแพร่ของสารละลายเกลือเข้าสู่ไข่แดงเกิดขึ้นเร็วกว่าการผลิตไข่แดงเค็มในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0-10 องศาเซลเซียส และเกิดการเปลี่ยนแปลงของไข่แดงเร็วกว่า [13]



รูปที่ 4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็มที่ผ่านกระบวนการดองด้วยเทคนิคชูสวิต ประกอบด้วย

(a) ค่า Hardness (b) ค่า Cohesiveness (c) ค่า Springiness และ (d) ค่า Gumminess

*หมายเหตุ: แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean±SD) โดยตัวอักษร (a-d) แสดงความแตกต่างของผลทดสอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

4. สรุป (Conclusion)

การใช้เทคนิคชูสวิตในกระบวนการดองไข่เค็ม ร่วมกับอ่างที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้พัฒนาขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านทางเคมีและด้านกายภาพของไข่เค็ม ที่ระยะเวลาในการดองในวันที่ 0 (ไข่ดิบ), 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ระยะเวลาในการดองนานขึ้นส่งผลให้ไข่แดงเปลี่ยนจากสีเหลือง-แดง (ไข่ดิบ) เป็นสีแดงและมีสีเข้มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้น มีความกลมมนสูงขึ้น และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น ในขณะที่ไข่ขาวชั้นในมีความหนืดลดลงและมีความชุ่มชื้น ส่วนไข่ขาวชั้นนอกมีลักษณะชุ่มชื้น ผลการเปรียบเทียบค่าสีของไข่แดงด้วย Munsell book ไข่แดงมีค่าสีอยู่ในช่วงเหลืองแดง-แดง และค่าความสูงของไข่แดงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาในการดองนานขึ้น ส่งผลให้ค่า Hardness Springiness และ Gumminess มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อค่า Cohesiveness ปริมาณความเข้มข้นของเกลือที่ตรวจวิเคราะห์ได้ในไข่แดงและไข่ขาวมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการดองนานขึ้น โดยมีร้อยละปริมาณเกลือของไข่แดงและไข่ขาวอยู่ระหว่างร้อยละ 0.42-0.97 และ 0.42-4.88 ตามลำดับ เนื่องจากการใช้เทคนิคชูสวิตมีการใช้อุณหภูมิในการเร่งปฏิกิริยา ช่วยให้อนุภาคของสารละลายเกลือสามารถเคลื่อนที่ได้รวดเร็วขึ้นแทรกซึมเข้าไปภายในเซลล์ไข่ได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้กระบวนการดองไข่เค็มเกิดขึ้นได้เร็วยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการดองไข่แบบดั้งเดิม แสดงให้เห็นว่าการผลิตไข่ด้วยเทคนิคชูสวิต ช่วยพัฒนากระบวนการผลิตไข่เค็มให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถผลิตได้ปริมาณมากและรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้เวลาในการดอง 15-30 วัน เหลือเพียง 6 วัน โดยสามารถผลิตไข่เค็มได้มากกว่าวิธีดั้งเดิม (วิสาหกิจชุมชนเศรษฐกิจพอเพียงกลุ่มรักษ์ถิ่นเกิดจังหวัดพัทลุง) เฉลี่ย 15,336 ฟอง/ปี และมีกำไรเฉลี่ยต่อเดือนได้มากกว่า 25,052 บาทต่อเดือน (คำนวณจากกำลังการผลิต 420 ฟองต่อรอบการผลิต) และสามารถคงรักษาลักษณะทั่วไปของไข่เค็ม (ภายนอกเปลือก ไม่แตก ร้าวหรือบวม ลักษณะภายในไข่ขาวมีสีขาวปกติ ไข่แดงมีสีเข้ม มีความมันวาว และไม่มีกลิ่นผิดปกติ ด้านรสชาติไข่ขาวมีรสเค็ม ไข่แดงมีรสมัน) ทั้งนี้คุณภาพผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องไข่เค็ม (มผช. 27/2550) ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้าและเพิ่มโอกาสทางการตลาดให้แก่ผู้ประกอบการ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้นิพนธ์บทความวิชาการขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ภายใต้โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์สินค้าชุมชน (ตามแนวทางคูปองวิทย์เพื่อโอท็อป) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Li Q, Jin H, Zhang X, Hu G, Lei C, Sun H, et al. Effect of salt penetration and water migration on cooked salted egg yolk gel during storage: physicochemical properties, structural characteristics and flavor changes. *Food Chem.* 2023;404:134510.
- [2] Xu L, Zhao Y, Xu M, Yao Y, Nie X, Du H, et al. Changes in aggregation behavior of raw and cooked salted egg yolks during pickling. *Food Hydrocoll.* 2018;80:68-77.
- [3] ศุภักษร มาแสวง, กุลพร พงษ์ไพโร, อัมพวัน สุขนิล. กระบวนการผลิตและการพัฒนากระบวนการผลิตไข่เค็ม. *วารสารเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.* 2565;4(1):93-105.
- [4] Tan J, Liu T, Yao Y, Wu N, Du H, Xu M, et al. Changes in physicochemical and antioxidant properties of egg white during the Millard reaction induced by alkali. *LWT.* 2021;143:111151.
- [5] Taichan K, Asavasanti S, Tangduangdee C. Browning kinetics of egg white during high-temperature process. *Bull App Sci.* 2023;12(2):23-34.
- [6] ณัฐมา เหล่ากุลดิลก, นภาพร ปันทอง, สารีกา กิตติพนาไพร, ทิพรรัตน์ ติมะปัญญา, พรพิมล เตาคำ. การประยุกต์ใช้เทคนิคคลื่นอัลตราโซนิกสำหรับการดองไข่เค็มขมิ้น. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏกรุงเทพฯ “ท้องถิ่นก้าวไกล ด้วยวิจัยและนวัตกรรม; วันที่ 12-13 ธ.ค. 2562; [พระนครศรีอยุธยา]. พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา; 2562. น. 324-330.
- [7] Kaewmanee T, Benjakul S, Visessanguan W. Effects of salting processes and time on the chemical composition, textural properties, and microstructure of cooked duck egg. *J Food Sci.* 2011;76(2):139-47.
- [8] Li X, Chen S, Yao Y, Wu N, Xu M, Zhao Y, et al. The quality characteristics formation and control of salted eggs: a review. *Foods.* 2022;11(9):2949.
- [9] Schellekens M. New research sous-vide issues in cooking. *Trends Food Sci Technol.* 1996;7:256-62.
- [10] Baldwin DE. Sous vide cooking: a review. *Int J Gastron Food Sci.* 2012;1(1):15-30.
- [11] เสาวภา ยววุฒโฒ. การพัฒนาดินสำเร็จรูปในการผลิตไข่เค็ม [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2538.
- [12] คัดคนัฐ ชื่นวงศ์อรุณ. วิทยาศาสตร์น่ารู้ เรื่อง การแพร่ของสาร (Diffusion) [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 5 ธันวาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://ngthai.com>
- [13] สุพัฒน์นา โนทะนะ. การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของไข่เค็มด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2552.
- [14] AOAC International. AOAC Official Methods of Analysis. Chloride in Eggs. 17th ed. Washington (DC): AOAC Publication; 2000.
- [15] Cheng S, Zhanga T, Wang X, Song Y, Wang H, Wang H, et al. Influence of salting processes on water and lipid dynamics, physicochemical and microstructure of duck egg. *LWT.* 2018;95:143-9.

- [16] สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์. การพอกไข่เค็มไชยาด้วยกากชาเพื่อทดแทนดินจอมปลวกบางส่วน. วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร. 2560;11(1):111-25.
- [17] Chi SP, Tseng KH. Physicochemical properties of salted pickled yolks from duck and chicken eggs. J Food Sci. 1998;63(1):27-30.
- [18] Dang KLM, Le TQ, Songsermpong S. Effect of ultrasound treatment in the mass transfer and physical properties of salted duck eggs. Kasetsart J Nat Sci. 2014;48:942-53.
- [19] ธนาวิทย์ กุลรัตนรักษ์. ผลของการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและระยะเวลาในการผลิตไข่เค็ม. [รายงานการวิจัยสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร]. [นครราชสีมา]: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2563.
- [20] Kaewmanee T, Benjakul S, Visessanguan W. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting. Food Chem. 2009;122(3):560-9.
- [21] Ai MM, Guo SG, Zhou Q, Wu WL, Jiang AM. The investigation of the changes in physicochemical, texture and rheological characteristics of salted duck egg yolk during salting. LWT. 2017;88(3):119-25.
- [22] Kaewmanee T, Benjakul S, Visessanguan W. Effects of salting processes and time on the chemical composition, textural properties, and microstructure of cooked duck egg. J Food Sci. 2011;74(2):139-47.
- [23] Wang X, Gao Z, Xiao H, Bai J. Enhanced mass transfer of osmotic dehydration and changes in microstructure of pickled salted egg under pulsed pressure. J Food Eng. 2013;117(1):141-50.
- [24] Lau MH, Tang J, Paulson AT. Texture profile and turbidity of 471 gellan/gelatin mixed gels. Food Res Int. 2000;33(8):665-71.
- [25] Xu L, Zhao Y, Xu M, Yao Y, Nie X, Du H, et al. Effects of salting treatment on the physicochemical properties, textural properties, and microstructures of duck eggs. PLoS One. 2017;12(8):e0182912.
- [26] ภูธฤทธิ์ วิทยาพัฒนานุรักษ์ รักษาศิริ, สิริพร คงเกิด, วชิรา ปิ่นทอง, มณีนันท์ นพรัตน์ไมตรี, เสาวภา เขียนงาม, อภิญา รัตนไชย, และคณะ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่เค็มด้วยสารละลายเกลือปรงรส. แก่นเกษตร. 2565;1:15-22.