การประยุกต์ใช้เทคนิคคลื่นอัลตราโซนิคสำหรับการดองไข่เค็มขมิ้น
Application of Ultrasonication Technique for Salting Duck Egg with Turmeric

ณัฐฌา เหล่ากุลดิลก[1*] นภาพร ปันทอง[2] สาริกา กิตติพนาไพร[2] ทิพรัตน์ ติฆะปัญญา[1] และ พรพิมล เตาคำ[2]

[1]สาขาวิชานวัตกรรมและธุรกิจอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
[*]Email: nutchahula@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาผลของการใช้เทคนิคคลื่นอัลตราโซนิคสำหรับการดองไข่เค็มขมิ้น ทำการผันแปรระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคสำหรับแทรกซึมขมิ้นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ U1 ระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิค 5 นาที สลับกับการพัก 55 นาที ต่อเนื่องกัน 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 3 วัน คิดเป็นระยะเวลาในการแทรกซึมด้วยคลื่นอัลตราโซนิคเท่ากับ 120 นาที, U2 ระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิค 12.5 นาที สลับกับการพัก 47.5 นาที ต่อเนื่องกัน 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 3 วัน คิดเป็นระยะเวลาในการแทรกซึมด้วยคลื่นอัลตราโซนิคเท่ากับ 300 นาที และ U3 ระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิค 20 นาที สลับกับการพัก 40 นาที ต่อเนื่องกัน 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 3 วัน คิดเป็นระยะเวลาในการแทรกซึมด้วยคลื่นอัลตราโซนิคเท่ากับ 480 นาที เปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุมที่ดองด้วยวิธีการแช่แบบดั้งเดิม นำไข่เค็มขมิ้นมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ค่าสีของไข่ขาวและไข่แดง ค่าร้อยละสัดส่วนไข่แข็งที่แข็ง ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของไข่ขาวและไข่แดงสุก ปริมาณสารเคอร์คูมิน ความชอบทางประสาทสัมผัส และการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ผลการทดลองพบว่า ไข่เค็มขมิ้นที่ดองด้วยเทคนิคอัลตราโซนิคที่ระยะเวลานานขึ้น จะมีค่าความสว่าง (L^*) ของไข่ขาวลดลง ส่วนค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละสัดส่วนไข่แดงที่แข็งและปริมาณเกลือมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้วิธีการดองแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของไข่ขาวและไข่แดงสุกมีค่าลดลงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการใช้คลื่นอัลตราโซนิคนานขึ้น อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบที่มีต่อตัวอย่างไข่เค็มสมุนไพรขมิ้นที่ใช้เทคนิคอัลตราโซนิคที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ด้านใน พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการใช้เทคนิคอัลตราโซนิคนานขึ้น จะพบการแตกร้าวบริเวณเปลือกไข่ด้านในมากขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคคลื่นอัลตราโซนิคสามารถเร่งการซึมผ่านสารละลายออสโมติกเพื่อใช้ในการดองไข่เค็มขมิ้นได้

คำสำคัญ : ไข่เค็มสมุนไพร, คลื่นอัลตราโซนิค, ขมิ้น

Abstract

This research was aimed to study the application of ultrasonication technique for salting duck egg with turmeric. The duration of ultrasonic treatment was varied under three different process conditions; U1 run 5 min.hr^{-1} during a 8 hr day over three consecutive days with a total running time of 120 min, U2 run 12.5 min.hr^{-1} during a 8 hr day over three consecutive days with a total running time of 300 min and U3 run 20 min.hr^{-1} during a 8 hr day over three consecutive days with a total running time of 480 min. The imitated traditional process was used for control treatment. The salted-turmeric egg ducks were analysed for colour values, hardening ratio of egg yolk, salt contents, hardness of cooked salted egg, curcumin content, sensory evaluation and morphology of egg shell using Scanning Electron Microscopy (SEM). The results showed that when ultrasonic treatment was applied, L* value of egg white was significantly decreased while a*, b* of egg white and hardening ratio of egg yolk were significantly increased compared to the traditional pickling. Moreover, an increased duration of ultrasonication led to a decreased hardness of cooked egg white and egg yolk. However, duration of ultrasonication had no significant effect on overall liking score of salted eggs ($p>0.05$). The morphology analysed by SEM showed that inside of eggshell treated with longer duration of ultrasonication had more cracks. This study can be concluded that the ultrasonic treatment led to accelerate the permeation of turmeric-osmotic solution for pickling duck eggs.

Keywords : Herbal salted egg, Ultrasound, Turmeric

1.บทนำ (Introduction)

ไข่เค็มเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้วิธีการดองในการถนอมอาหาร กระบวนการดองจะอาศัยหลักการออสโมซิส (osmosis) เพื่อแทรกซึมสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงผ่านเข้าสู่เนื้ออาหาร และน้ำภายในเซลล์อาหารจะแพร่ออกสู่สารละลายภายนอกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ที่มีสมบัติเป็นเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (semi permeable membrane) หลักการนี้ใช้ในการดึงน้ำออกจากวัตถุดิบซึ่งจะช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity, a_w) และควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (pathogen) ทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารไว้ได้นาน นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี-กายภาพ รวมถึงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารนั้นๆ อีกด้วย สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่พบได้จากการดองไข่เค็มคือ ไข่แดงจะค่อยๆ กลายเป็นของแข็ง มีสีส้ม พบการไหลเยิ้มขององค์ประกอบประเภทไขมัน และมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเม็ดๆ ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าวเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของไข่แดงเค็มที่ผู้บริโภคนิยมนำไปใช้ในการประกอบอาหาร ส่วนไข่ขาวดิบจะสูญเสียความหนืดลง ซึ่งเป็นผลจากการแพร่ซึมผ่านของสารละลายเกลือเข้าสู่ไข่ และการเคลื่อนย้ายน้ำและความชื้นของไข่ผ่านเยื่อหุ้มและเปลือกออกสู่บรรยากาศภายนอก ซึ่งกระบวนการทั้งสองดังกล่าวจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน

สำหรับสารละลายเกลือที่ใช้ในการดองไข่เค็มจะมีความเข้มข้นร้อยละ 25 โดยจะใช้ระยะเวลาในการดอง 20 – 30 วันที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของไข่เค็มที่ต้องการ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาที่ใช้ในการดอง มีรายงานการใช้เทคโนโลยีสำหรับการแปรรูปไข่เค็มโดยใช้ความดันเป็นช่วงๆ สลับกับการคลายความดัน (pulsed pressure) ในการดองไข่เค็ม พบว่าเทคนิคดังกล่าวช่วยเพิ่มความสามารถในการแพร่ซึมผ่านของสารละลายเกลือถึง 2.92 – 15.63 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้วิธีการดองแบบดั้งเดิม [1] นอกจากนี้ มีศึกษากระบวนการเร่งการดองไข่เค็มโดยใช้เทคนิคคลื่นอัลตราโซนิค พบว่าระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคนานขึ้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของโซเดียมคลอไรด์สูงกว่าการดองแบบดั้งเดิม 45 – 46 เท่า [2]

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่เค็มเสริมสมุนไพรขมิ้น โดยเตรียมสารละลายเกลือผสมขมิ้นสำหรับแช่ไข่ และใช้คลื่นอัลตราโซนิคในการแทรกซึมสารละลายดังกล่าวผ่านเปลือกไข่ มีงานวิจัยรายงานว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของขมิ้นมีคุณสมบัติในการต้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ และต้านการเกิดมะเร็งได้ [3] ดังนั้น การพัฒนาไข่เค็มเสริมขมิ้นจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประโยชน์ทางสุขภาพแก่ผู้บริโภคด้วยสมุนไพร งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงผลของการใช้คลื่นอัลตราโซนิคในการเสริมขมิ้นในผลิตภัณฑ์ไข่เค็ม และสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทแช่อิ่มหรือดอง ที่ต้องการเสริมประโยชน์ด้วยสมุนไพรและลดระยะเวลาในการผลิตลงได้

2.ขอบเขตการทดลอง

ทำการศึกษาผลของการใช้คลื่นอัลตราโซนิคในการแทรกซึมสารละลายเกลือผสมขมิ้นต่อคุณลักษณะต่างๆ ของไข่เค็ม ได้แก่ ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ ค่าสีในเทอม L^* a^* และ b^* ค่าร้อยละสัดส่วนไข่แดงที่แข็งตัว ปริมาณสารเคอร์คูมิน เนื้อสัมผัสด้านความแข็งของไข่เค็มต้มสุก การทดสอบความชอบของผู้บริโภค และตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.อุปกรณ์และวิธีการวิจัย/ทดลอง (Materials and Methods)

3.1 การเตรียมวัตถุดิบไข่เป็ดและสารละลายออสโมติก

ไข่เป็ดที่ใช้ในการทดลองนี้ซื้อจากตลาดเมืองใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีน้ำหนักต่อลูกประมาณ 70 กรัม และมีความกว้าง 45 – 55 มิลลิเมตร นำไข่เป็ดมาล้างให้สะอาด แล้วพักรอไว้

การเตรียมสารละลายเกลือผสมขมิ้น ทำได้โดยต้มขมิ้นผงในน้ำสะอาดที่ปริมาณขมิ้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก พอน้ำขมิ้นเริ่มเดือดให้จับเวลาต้มต่อไปอีก 10 นาที แล้วนำมากรองผ่านผ้าขาวบางที่ซ้อนกัน 2 ชั้น ชั่งน้ำหนักน้ำขมิ้นที่ได้ จากนั้นเติมเกลือลงไป ให้สารละลายสุดท้ายมีความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก (สัดส่วนน้ำหนักเกลือต่อน้ำหนักน้ำขมิ้นเท่ากับ 25 : 75) ทิ้งไว้ให้สารละลายเย็นก่อนนำมาใช้

3.2 การดองไข่เป็ดโดยใช้เทคนิคคลื่นอัลตราโซนิค

สำหรับการแทรกซึมผ่านภายใต้เทคนิคคลื่นอัลตราโซนิค กำหนดให้ใช้ไข่เป็ด 9 ฟองต่อสารละลาย 2 ลิตร เพื่อควบคุมให้ปริมาณสารละลายออสโมติกมากเพียงพอกับการแช่ไข่เป็ดได้อย่างทั่วถึง และเพื่อควบคุมให้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นเพียงพอตลอดเวลาการแช่ นำไข่เป็ดแช่ในสารละลายออสโมติกที่ถูกบรรจุอยู่ในเครื่องอัลตราโซนิค (GT sonic-D3, China) ที่มีความถี่ (frequency) 40 kHz และกำลังงาน (power) 100 วัตต์

3.3 การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 3 สิ่งทดลอง ได้แก่ 1) U1 = ระยะเวลาในการสั่นสะเทือนด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 5 นาที สลับกับการพัก 55 นาที ต่อเนื่องกัน 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 3 วัน คิดเป็นระยะเวลาในการแทรกซึมด้วยคลื่นอัลตราโซนิคเท่ากับ 120 นาที; 2) U2 = ระยะเวลาในการสั่นสะเทือนด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 12.5 นาที สลับกับการพัก 47.5 นาที ต่อเนื่องกัน 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 3 วัน คิดเป็นระยะเวลาในการแทรกซึมด้วยคลื่นอัลตราโซนิคเท่ากับ 300 นาที; 3) U3 = ระยะเวลาในการสั่นสะเทือนด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 20 นาที สลับกับการพัก 40 นาที ต่อเนื่องกัน 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 3 วัน คิดเป็นระยะเวลาในการแทรกซึมด้วยคลื่นอัลตราโซนิคเท่ากับ 480 นาที

สำหรับตัวอย่างควบคุม จะเทสารละลายออสโมติกในโหลแก้ว แล้วแช่ไข่เป็ดให้จมอยู่ในสารละลายออสโมติกตลอดเวลา และปิดฝา

ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แช่ที่อุณหภูมิห้อง (30±1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 วัน

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพไข่เค็มขมิ้น

เมื่อครบเวลาสุ่มตัวอย่าง จึงนำไข่ที่ผ่านการทดลองมาล้างด้วยน้ำสะอาด ซับให้แห้ง แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ดังนี้

3.4.1 การวัดค่าสีในเทอม L^* (ความสว่าง) a^* (ค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน) ของไข่แดงและไข่ขาวดิบ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Colorimeter (Konica Minolta CR-410, Japan)

3.4.2 สัดส่วนไข่แดงที่แข็งตัว (hardening ratio) โดยนำไข่แดงมากลิ้งเบาๆ บนกระดาษกรอง (Whatman No.1) เพื่อกำจัดส่วนที่เป็นไข่ขาวออกไป จากนั้นชั่งน้ำหนักของไข่แดงทั้งลูก (W_o) แล้วใช้มีดผ่ากลางเพื่อให้ไข่แดงส่วนที่นุ่มและเป็นของเหลวที่อยู่ภายในไหลออกมา ชั่งเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็ง (W_{ex}) นำค่าที่ได้มาคำนวน [4] ดังนี้

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

3.4.3 ความแข็งของไข่แดงและไข่ขาวสุก ด้วยเครื่อง TAXT2i texture analyzer (Stable Micro Systems, Surrey, England) นำไข่ที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองไปนึ่งสุกเป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนที่เป็นไข่แดงและไข่ขาวออกจากกัน เตรียมตัวอย่างไข่แดงโดยใช้มีดหั่นครึ่ง ส่วนไข่ขาวสุกหั่นเป็นสีเหลี่ยมลูกเต๋าขนาด 1 x 1 x 1 เซนติเมตร ทำการทดสอบตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง โดยตัวอย่างจะถูกกดด้วยหัววัดทรงกระบอก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร) ลึกลงไปร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่างเริ่มต้น ค่าแรงสูงสุดที่ได้จากกราฟ Force – Deformation แสดงถึงค่าความแข็งของแต่ละตัวอย่าง ทำการทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง

3.4.4 ปริมาณเกลือด้วยวิธีการไทเทรต [5] โดยแยกไข่ขาวและไข่แดงออกจากกัน นำแต่ละส่วนไปชั่ง (ประมาณ 1 กรัม) แล้วเติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) ความเข้มข้น 0.1 N ปริมาณ 20 มิลลิลิตร และกรดไนตริก (HNO_3) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆ ให้ความร้อนจนกระทั่งส่วนผสมทั้งหมด ยกเว้นสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ละลายหมด (ใช้เวลาประมาณ 10 นาที) แล้วทำให้เย็นด้วยการใช้น้ำไหลผ่าน เติม Ferric alum indicator ความเข้มข้น 5% ปริมาณ 5 มิลลิลิตรลงไป นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (KSCN) ที่ผ่านการหาความเข้มข้นมาตรฐาน 0.1 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน คำนวณปริมาณเกลือ ดังสมการ

$$\text{ปริมาณเกลือ (ร้อยละ)} = 5.8 \times [(V_1 \times N_1) - (V_2 \times N_2)]/ W$$

โดย V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (ml)

N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (N)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (ml)

N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (N)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (g)

3.4.5 ปริมาณสารเคอร์คูมินในไข่ขาวด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยนำไข่ขาวไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จากนั้นบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างผงใส่หลอดปั่นเหวี่ยงจำนวน 0.50 กรัม เติมสารละลายเมธานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ลงไปในปริมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้น นำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 30 นาที แล้วปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายออกจากตะกอนที่ระดับความเร็ว 5,000g เป็นเวลา 10 นาที ดูดเอาเฉพาะสารละลายที่อยู่ด้านบนมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 421 nm [6] เทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานของสารเคอร์คูมินที่ระดับความเข้มข้น 0 – 50 ppm

3.4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบความชอบ (9-point hedonic scale) ด้วยผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำไข่เค็มมาล้างให้สะอาด จากนั้นนำไปนึ่งเป็นเวลา 18 นาที (จับเวลาหลังจากน้ำเดือด) แล้วบรรจุในถ้วยพลาสติกทนร้อนที่มีฝาปิดสนิท ตัวอย่างจะถูกนำเสนอต่อผู้ทดสอบทีละ 1 ตัวอย่างด้วยรหัสเลขสุ่ม 3 ตัว โดยมีการสุ่มลำดับนำเสนอ และให้ผู้ทดสอบบ้วนปากระหว่างรอการประเมินตัวอย่างต่อไป คุณลักษณะที่ทดสอบ ได้แก่ สี กลิ่น รสเค็ม รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม

3.4.7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ด้วยวิธี Scanning Electron Microscopy (SEM) (JSM 5901 LV; JEOL, Tokyo, Japan) นำตัวอย่างเปลือกไข่ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มาติดบนแท่นวางตัวอย่าง ใช้ carbon tape ในการเชื่อมติดตัวอย่างกับแท่นวาง จากนั้นนำไปเคลือบทองคำ และนำไปตรวจสอบภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 10.0 kV (กำลังขยาย 1,000x)

4. ผลการทดลองและอภิปราย (Results and Discussion)

จาก Table 1 พบว่า เมื่อระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคช่วยในการดองไข่เค็มขมิ้นนานขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ของไข่ขาวมีค่าลดลง ส่วนค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ไข่ขาวมีทิศทางของสีแดงอมเหลืองและค่อนไปทางมืด เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของตัวอย่างไข่ขาวที่ผ่านการดองด้วยเทคนิคอัลตราโซนิคกับไข่ขาวของตัวอย่างควบคุมที่ใช้วิธีการดองแบบดั้งเดิม จะเห็นว่า ค่าความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างที่ใช้เทคนิคคลื่นอัลตราโซนิคมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้ อาจเกิดจากสีเหลืองของขมิ้นที่แทรกซึมผ่านเข้าสู่เปลือกไข่ได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าสีของไข่แดง พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการทดลองนี้พบว่า ค่าสีของไข่แดงมีแนวโน้มคล้ำขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคเพิ่มมากขึ้น

Table 1 The color value in terms of *L**, *a** and *b** for egg white and egg yolk and hardening ratio of egg yolk

Treatment	Color value of egg white			Color value of egg yolk			Hardening ratio of egg yolk (%)
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
U1	54.99±0.31^{a}	-1.21±0.06^{d}	9.21±0.05^{b}	33.91±5.77^{a}	14.25±0.02^{a}	24.22±0.02^{a}	15.47±0.07^{b}
U2	53.50±0.07^{b}	2.77±0.02^{b}	9.46±0.03^{b}	37.31±0.10^{ab}	12.07±0.22^{b}	21.90±0.04^{b}	27.84±0.48^{a}
U3	38.09±0.00^{c}	8.22±0.03^{a}	24.53±0.22^{a}	29.42±0.02^{b}	6.50±0.04^{c}	9.42±0.00^{d}	28.41±1.42^{a}
Control	54.04±0.64^{b}	-0.81±0.31^{c}	7.85±1.21^{c}	33.27±0.01^{ab}	14.23±0.01^{a}	19.15±0.01^{c}	0.00±0.00^{c}

Values are mean ± SD (*n*=2). Data were analysed by ANOVA. Within each column different letters indicate statistically different values according to post hoc comparison (Duncan's multiple range test) at $p \leq 0.05$.

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของไข่แดงสอดคล้องกับปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น โดยการแทรกซึมเกลือเข้าสู่ไข่จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเคลื่อนย้ายน้ำภายในไข่ออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการสูญเสียความชื้นของไขในระหว่างการดอง ส่งผลให้ไข่แดงจะมีสีเหลืองคล้ำ [7]

โดยทั่วไป เมื่อใช้คลื่นอัลตราโซนิคช่วยในการดองไข่จะพบว่า ไข่แดงจะมีค่าความสว่างลดลงและมีสีส้มเข้มขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าสีของไข่แดงระหว่างการดองเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้น รวมถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณเกลือ ปริมาณไขมันอิสระ (free lipid) รงควัตถุ และการเสียสภาพของโปรตีนโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณชั้นผิวด้านนอกของไข่แดง ความชื้นที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเม็ดสีที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อระยะการดองนานขึ้น ปริมาณไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นและเกิดการเคลื่อนย้ายบริเวณชั้นผิวด้านนอกของไข่แดง ส่งผลให้เกิดการไหลเยิ้มของไขมันมากขึ้น ปริมาณไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นยังสามารถเป็นตัวทำละลายรงควัตถุที่อยู่ในไข่แดงซึ่งอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์และไรโบฟลาวิน [8] นอกจากนี้ ระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคนานขึ้น จะทำให้เกิดความร้อนเล็กน้อย ซึ่งจะช่วยเร่งให้เกิดการแพร่และเพิ่มการสูญเสียน้ำออกจากไข่และเป็นสาเหตุให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน การเสียสภาพของโปรตีนที่มีรงควัตถุที่ละลายได้และปริมาณความชื้นที่ต่ำอาจทำให้เกิดสีคล้ำที่บริเวณชั้นผิวด้านนอกของไข่แดง เป็นผลให้ตัวอย่างมีค่าการกระจายแสงลดลง

สำหรับค่าร้อยละสัดส่วนไข่แดงที่แข็งตัว สามารถคำนวณได้จากร้อยละโดยน้ำหนักของไข่แดงด้านนอกที่แข็ง ใช้เป็นดัชนีบอกระดับการดองที่สมบูรณ์ จากการทดลองพบว่า ไข่แดงของตัวอย่างควบคุมไม่พบลักษณะการเป็นก้อนแข็ง กล่าวคือ ไข่แดงยังคงเหลวข้น แต่เมื่อระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคเพิ่มขึ้น สัดส่วนไข่แดงที่แข็งตัวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เป็นผลจากปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำภายในไข่ที่ลดลงจากกระบวนการออสโมซิส งานวิจัยรายงานว่า สัดส่วนไข่แดงที่แข็งที่ผ่านการดอง 7 วัน จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 66.61 ซึ่งต่ำกว่าเมื่อดอง 14 วัน (ร้อยละ 88.22) [9] โดยในระหว่างการดอง การแข็งของไข่แดงจะเริ่มต้นจากบริเวณใกล้เยื่อหุ้มไข่แดงแล้วแล้วค่อยๆ เคลื่อนเข้าสู่ตรงกลาง โดยไข่แดงด้านในจะยังคงเป็นของเหลวและมีความหนืดเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นไข่แดงเค็มจะมีลักษณะภายนอกที่แห้ง และเมื่อโปรตีนไข่แดงเริ่มเข้นข้นขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของโปรตีน รวมทั้งลิโปโปรตีน (lipoprotein) เป็นผลให้เกิดโครงข่ายคล้ายเจล (gel network) อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้ ใช้ระยะเวลาในการดอง 3 วัน จึงยังไม่เพียงพอต่อการเกิดการแข็งอย่างสมบูรณ์ของไข่แดง

Table 2 NaCl content, hardness of cooked egg white and egg yolk and curcumin content in raw egg white

Treatment	NaCl content (%)		Hardness (N)		Curcumin content in raw egg white (mg/g dry egg white)
	Raw egg white	Raw egg yolk	Cooked egg white	Cooked egg yolk	
U1	0.868±0.026^{c}	0.376±0.014^{c}	0.152±0.006^{a}	0.354±0.044^{a}	1.385±0.012^{c}
U2	1.031±0.015^{b}	0.666±0.014^{b}	0.114±0.004^{c}	0.329±0.012^{ab}	2.190±0.029^{b}
U3	2.120±0.001^{a}	0.915±0.016^{a}	0.076±0.002^{d}	0.298±0.019^{b}	4.436±0.039^{a}
Control	0.521±0.000^{d}	0.328±0.027^{c}	0.136±0.003^{b}	0.377±0.002^{a}	0.039±0.011^{d}

Values are mean ± SD (*n*=2). Data were analysed by ANOVA. Within each column different letters indicate statistically different values according to post hoc comparison (Duncan's multiple range test) at $p \leq 0.05$.

เมื่อระยะเวลาในการใช้คลื่นอัลตราโซนิคนานขึ้น ปริมาณเกลือในไข่ขาวและไข่แดงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (Table 2) โดยเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาเดียวกัน พบว่า ปริมาณเกลือในไข่ขาวจะมีค่าสูงกว่าปริมาณเกลือในไข่แดง เนื่องจากกระบวนการออสโมซิสทำให้น้ำภายในไข่ค่อยๆ เคลื่อนที่ออกมาด้านนอกเปลือกไข่ ในขณะที่สารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะซึมผ่านเข้าไปในไข่ โดยจะค่อยๆ แพร่ผ่านบริเวณของไข่ขาวที่อยู่รอบนอกก่อนเข้าไปสู่ไข่แดง ทำให้ไข่ขาวมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์สูงกว่า [10] ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในการทดลองนี้สอดคล้องกับการวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่า การแพร่ของเกลือมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้คลื่นอัลตราโซนิคช่วยในการดองไข่ โดยปริมาณเกลือในไข่ขาวและไข่แดงที่ผ่านการดองด้วยการใช้คลื่นอัลตราโซนิคเป็นระยะเวลารวม 720 นาที มีค่าเท่ากับการดองแบบดั้งเดิมเป็นเวลา 12 วัน โดยเมื่อระยะเวลาในการใช้คลื่นอัลตราโซนิคนานขึ้นอาจช่วยเพิ่มความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกเปลือกไข่ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดองได้ ช่วยลดระยะเวลาการดองลงได้เมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิม [4]

Table 2 พบว่า เมื่อระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคช่วยในการดองนานขึ้น ค่าความแข็งของไข่แดงสุกทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยไข่แดงเค็มสุกมีลักษณะคล้ายเจลนิ่ม ส่วนแนวโน้มของเนื้อสัมผัสของไข่ขาวสุก พบว่า ไข่ขาวสุกมีค่าความแข็งลดลงเมื่อระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคนานขึ้น ทั้งนี้ เป็นผลมาจากปริมาณเกลือในไข่ขาวที่มากขึ้น การดองด้วยเกลือส่งผลให้ความหนืดของไข่ขาวดิบมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาของโปรตีนอัลบูมิน มีรายงานว่า ความหนืดของไข่ขาวดิบเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 90.55 cP และเมื่อเวลาการดองผ่านไป 4 สัปดาห์ ความหนืดมีค่าลดลงเป็น 42.19 cP ทำให้ไข่ขาวเค็มจะมีความนุ่มมากกว่าไข่ขาวปกติ และสามารถแยกไข่ขาวออกจากไข่แดงได้ง่าย ทั้งในลักษณะของไข่เค็มดิบและไข่เค็มสุก [4]

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมินในไข่ขาวผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 421 nm เทียบกับสารมาตรฐานสารเคอร์คูมินที่ช่วงความเข้มข้น 0 - 50 ppm พบว่าปริมาณสารเคอร์คูมินที่วิเคราะห์ได้ในไข่ขาวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

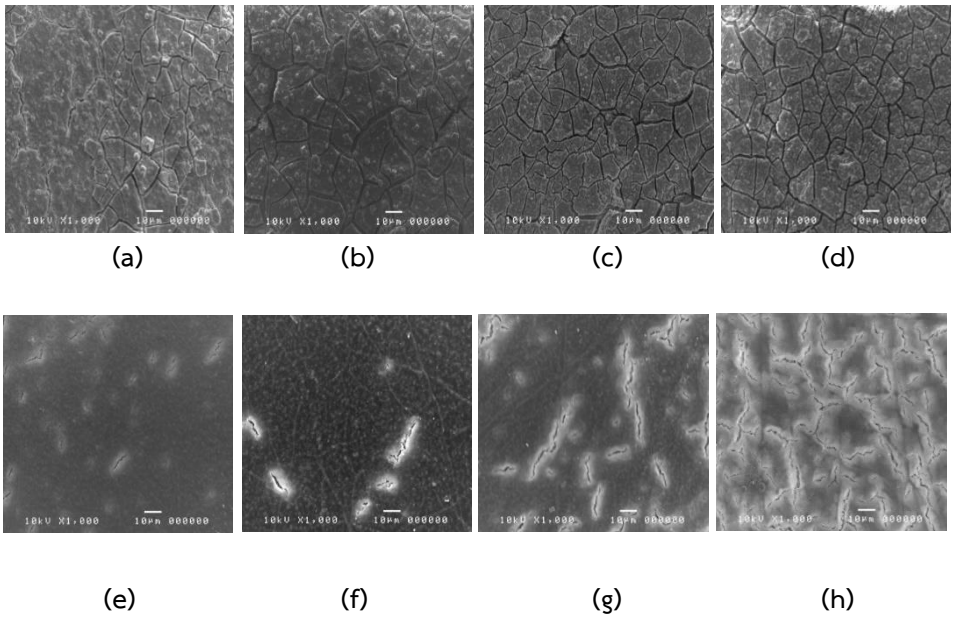
จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Table 3) พบว่า ไข่เค็มที่ผ่านการดองด้วยเทคนิคอัลตราโซนิคมีคะแนนความชอบมากกว่าไข่เค็มที่ผ่านการดองด้วยวิธีดั้งเดิมในทุกคุณลักษณะที่ทดสอบ ยกเว้นด้านกลิ่นที่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไข่แดงมีสีส้มเข้มและมีรสเค็มกว่า เนื่องจากการดองด้วยเทคนิคอัลตราโซนิคส่งผลให้ปริมาณเกลือแทรกซึมเข้าไปได้มากกว่าวิธีดั้งเดิมที่ใช้ระยะเวลาในการดองเพียง 3 วัน และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อไข่เค็มที่ผ่านการดองด้วยคลื่นอัลตราโซนิคทั้ง 3 สภาวะ พบว่า ไข่เค็มที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคที่ระยะเวลารวม 480 นาที (U3) มีแนวโน้มของคะแนนความชอบสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในทุกคุณลักษณะ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นคุณลักษณะด้านรสเค็มที่มีคะแนนแตกต่างจากตัวอย่างที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิคที่ระยะเวลารวม 300 นาที (U2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางสัณฐานวิทยาด้วยวิธี SEM (Figure 1) จะเห็นได้ว่า เปลือกไข่ด้านนอกที่ผ่านการใช้เทคนิคอัลตราโซนิคช่วยในการดองมีลักษณะไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากนัก โดยมีรอยร้าวขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไป แต่เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายของเปลือกไข่ด้านในแล้ว พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการใช้คลื่นอัลตราโซนิคนานขึ้น จะปรากฏรอยร้าวเพิ่มมากขึ้น และแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมที่ดองด้วยวิธีดั้งเดิมอย่างชัดเจน ทั้งนี้ การใช้คลื่นอัลตราโซนิคนั้น นอกจากจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของเกลือที่อยู่ภายในและภายนอกเปลือกไข่แล้ว ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของรูพรุนและโครงสร้างของเปลือกไข่และเยื่อหุ้มเปลือกไข่ในระหว่างการดอง ทั้งนี้ ลักษณะความแตกต่างของรูพรุนและโครงสร้างของเปลือกไข่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปริมาณความชื้นของไข่ขาวลดลง [1] นอกจากนี้ คลื่นอัลตราโซนิคทำให้เกิดสภาวะการบีบอัดและการขยายตัวที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว คล้ายคลึงกับเมื่อบีบฟองน้ำแล้วคลายออกอย่างซ้ำๆ (หรือเรียกว่าปรากฏการณ์ฟองน้ำ) คลื่นอัลตราโซนิคทำให้เกิดปรากฏการณ์การเกิดโพรงอากาศ (cavitation) ซึ่งช่วยลดการจับตัวของน้ำ ช่วยเพิ่มอัตราการลดลงของความชื้นภายในไข่ได้ [10]

Table 3 Sensory scores (9-point hedonic scale) of salted-turmeric duck egg with different ultrasonic conditions

Treatment	Egg yolk color	Aroma	Saltiness	Overall taste	Overall liking
U1	7.20 ± 0.86^{ab}	6.33 ± 0.97^{ns}	5.80 ± 1.56^{ab}	6.20 ± 1.56^{ab}	7.27 ± 6.33^{ab}
U2	7.27 ± 0.70^{ab}	6.20 ± 1.32^{ns}	5.53 ± 1.68^{b}	5.93 ± 1.62^{ab}	6.13 ± 1.35^{ab}
U3	7.80 ± 0.56^{a}	6.67 ± 1.23^{ns}	6.80 ± 0.77^{a}	7.07 ± 0.79^{a}	7.00 ± 0.75^{a}
Control	6.93 ± 0.96^{b}	6.40 ± 1.84^{ns}	5.13 ± 2.03^{b}	5.53 ± 1.88^{b}	5.67 ± 1.91^{b}

The values are mean ± SD (n=20). The means with different letters within the same column are significantly different ($p\leq0.05$).



รูปที่ 1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ (a) เปลือกไข่ด้านนอกของไข่เค็มที่ดองด้วยวิธีดั้งเดิม (b) เปลือกไข่ด้านนอกของไข่เค็มที่ดองด้วยวิธี U1 (c) เปลือกไข่ด้านนอกของไข่เค็มที่ดองด้วยวิธี U2 (d) เปลือกไข่ด้านนอกของไข่เค็มที่ดองด้วยวิธี U3 (e) เปลือกไข่ด้านในของไข่เค็มที่ดองด้วยวิธีดั้งเดิม (f) เปลือกไข่ด้านในของไข่เค็มที่ดองด้วยวิธี U1 (g) เปลือกไข่ด้านในของไข่เค็มที่ดองด้วยวิธี U2 และ (h) เปลือกไข่ด้านในของไข่เค็มที่ดองด้วยวิธี U3

5.บทสรุป

จากการประยุกต์ใช้เทคนิคอัลตราโซนิคช่วยในการดองไข่เค็มสมุนไพร พบว่า สามารถช่วยเพิ่มการแทรกซึมของเกลือและสารในกลุ่มเคอร์คูมินได้ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆ ของไข่เค็ม เช่น ค่าสี สัดส่วนไข่แดงที่แข็ง เนื้อสัมผัสของไข่เค็มสุก ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการดองไข่ลงได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาในการใช้คลื่นอัลตราโซนิคนานมากเกินไปจะทำให้ไข่แดงที่อยู่ภายในเปลือกไข่แตกและจับตัวกับไข่ขาวร่วมกับเกลือ ทำให้เกิดการเสียสภาพและเป็นก้อนแข็ง ดังนั้น ในการทดลองนี้ จึงเสนอแนะให้ใช้สภาวะ U2 คือ การระยะเวลาในการสั่นสะเทือนด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 12.5 นาที สลับกับการพัก 47.5 นาที ต่อเนื่องกัน 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 3 วัน คิดเป็นระยะเวลาในการแทรกซึมด้วยคลื่นอัลตราโซนิคเท่ากับ 300 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ลดระยะเวลาการดองจากวิธีการดั้งเดิมลงได้

ข้อเสนอแนะ

ควรวิเคราะห์หาปริมาณสารเคอร์คูมินด้วยเทคนิค HPLC ต่อไป เพื่อให้ทราบค่าที่แน่นอนกว่าการใช้เครื่อง spectrophotometer

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง (Matching Funds) ภายใต้โครงการ การพัฒนาทุนทางสังคมสู่ความมั่นคงของเศรษฐกิจฐานรากด้วยนวัตกรรม ประจำปี พ.ศ.2561

เอกสารอ้างอิง

[1] X. Wang, Z. Gao, H. Xiao, Y. Wang and J. Bai. “Enhanced mass transfer of osmotic dehydration and changes in microstructure of pickled salted egg under pulsed pressure”, Journal of Food Engineering, 117, pp.141–150. 2013.

[2] K. L. Mai Dang, T.Q. Le and S. Songsermpong. “Effect of ultrasound treatment in the mass transfer and physical properties of salted duck eggs”, Kasetsart Journal (Natural Science), 48, pp. 942 – 953. 2014.

[3] R. Anto, J. George, K. Babu, K. Rajasekharan and R. Kuttan. “Antimutagenic and anticarcinogenic activity of

natural and synthetic curcuminoids”, Mutation Research, 370, pp.127–131. 1996.

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

[5] AOAC. Official method of analytical chemists (17th ed.). Arlington: The Association of Official Analytical Chemists Inc. 2000.

[6] K. Hazra, R. Kumar, B.K. Sarkar, Y. A. Chowdary, M. Devgan and M. Ramaia. “UV-Visible Spectrophotometric Estimation of Curcumin in Nanoformulation”, International Journal of Pharmaconosy, 2(3), pp.127-130. 2015.

[7] C. W. Lin. “The storage of egg. In the chemistry and utility of egg”, Taipei: Hua shiang Yuan publishing Co. pp.98–121. 1983.

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

[9] T. Kaewmanee, S. Benjakul and W. Visessanguan. “Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting”, Food Chemistry, 112, pp. 560–569. 2009.

[10] S. Benjakul and T. Kaewmanee. “Sodium chloride preservation in duck eggs”. In: Patricia Hester, editors: Egg Innovation and Strategies for Improvement, Oxford: Academic Press; p. 415-426. 2017.

[11] Fernandes F.A.N., M.I. Gallão and S. Rodrigues. “Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration”, Journal of Food Engineering, 90, pp.186–190. 2009.