



อิทธิพลของความดันต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของไข่เยี่ยวม้า

Influence of Pressure on Physicochemical Properties Changing of Century Egg

เบญจวรรณ วานมนตร์¹, เทวรัตน์ ตรีอำรรค^{1*}, กระวี ตรีอำรรค²Benjawan Vanmontree¹, Tawarat Treeamnuk^{1*}, Krawee Treeamnuk²¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา 30000¹School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา 30000²School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000*Corresponding author: Tel: +66-4-694-2933, E-mail: tawarat@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงภายในของไข่เป็ดในกระบวนการผลิตไข่เยี่ยวม้าภายใต้สภาวะความดัน 1 2 3 และ 4 บาร์ ในสารละลายต่าง ตัวอย่างไข่ถูกสุ่มขึ้นมาเพื่อทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ความถ่วงจำเพาะ ความแข็งแรงไข่ขาว ค่า pH ของไข่แดงและไข่ขาว และลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายทุกๆ 2 วัน เป็นเวลา 12 วัน ผลจากการศึกษาพบว่าค่าร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่า pH ของไข่ขาวและไข่แดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาที่แช่ในสารละลายต่าง ส่วนความแข็งแรงเจลไข่ขาวมีแนวโน้มลดลง ลักษณะปรากฏด้านสีของไข่พบว่าเมื่อจำนวนวันในการแช่เพิ่มขึ้น ไข่ขาวมีแนวโน้มเป็นสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นและการแช่ไข่เป็ดในสารละลายต่างที่ความดัน 2 บาร์ เป็นระยะเวลา 6 วัน มีความเหมาะสมต่อการผลิตไข่เยี่ยวม้า

คำสำคัญ: ไข่เยี่ยวม้า, ความดัน, สมบัติทางเคมีกายภาพ

Abstract

The objective of this research was to study on internal changing of century egg in production process under high pressure conditions. The samples of duck egg that used in century egg production were soaked in alkali solution at pressure conditions of 1, 2, 3 and 4 bars. The samples of egg were random sampling to evaluate internal change of physical and chemical properties in term of percentage of weight increase, specific gravity, hardness of albumen, pH of albumen and yolk, and visible changing with image analysis in every 2 days for 12 days. The results of this study indicate that percentage of weight increase, specific gravity, pH of albumen and yolk are increase when pressure and time of soaking increased, but by contrast, the hardness of albumen is decreased. The soaking time affect to change the color of albumen from transparent gel to dark brown in all pressure conditions. In addition, the eggs that soaked in alkaline at 2 bars for 6 days were suitable for produce century egg.

Keywords: Century egg, Pressure, Physico-chemical properties

1 บทนำ

ไข่เป็ดสดเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วไป เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามไข่เสื่อมเสียและเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คุณภาพของไข่ลดลงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในของไข่ ได้แก่ การสูญเสียน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านรูของเปลือกไข่ (Wardy et al., 2011) การชะลอการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

ระหว่างเก็บรักษาไข่ทำได้หลายวิธี เช่นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ต่ำ แต่ผู้ค้าปลีกส่วนใหญ่ในประเทศไทยยังนิยมเก็บไข่ระหว่าง ขยายไว้ที่อุณหภูมิห้อง (27-28°C) ดังนั้นจึงพบการเสื่อมเสียของไข่ เกิดขึ้นอยู่เสมอและเหตุผลดังกล่าวก่อให้เกิดความเสียหายทาง เศรษฐกิจต่ออุตสาหกรรมการผลิตไข่มาอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามนอกจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำแล้วยังอาจชะลอการ เปลี่ยนแปลงในไข่ได้โดยการเคลือบผิวหน้าของเปลือกไข่ด้วยสาร ประเภทไฮโดรคอลลอยด์(Suppakul et al., 2010) เช่นไฮดรอกซีโพรพิลเมทิล เซลลูโลส (hydroxypropylmethyl cellulose, HPMC) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่เกิดเจลและขึ้นรูปเป็นฟิล์ม

ได้ดี การเคลือบผิวหน้าของเปลือกไข่ให้เป็นฟิล์มบางๆ ช่วยป้องกันการซึมผ่านเข้าออกของความชื้น ซึ่งอาจช่วยให้คุณภาพในการเก็บรักษาของไข่ทั้งด้าน เคมี กายภาพ และชีวภาพดีขึ้น (Torricco et al., 2014) การศึกษาผลของการเคลือบผิวหน้าเปลือกไข่ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไข่ยังมีอยู่อย่างจำกัด สำหรับวิธีในการยืดอายุการเก็บรักษาไข่เปิดที่นิยมกันมากคือการผลิตเป็นไข่เค็มและไข่เยี่ยวม้า เพราะนอกจากจะเป็นการยืดอายุของไข่เปิดแล้วยังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเนื่องจากสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลาย โดยกระบวนการแปรรูปไข่เปิดสดเป็นไข่เยี่ยวม้า มีวิธีการแปรรูปได้หลายวิธี เช่นการพอกด้วยดินสอพอง การแช่ในสารละลายและการประยุกต์ใช้วิธีการแช่ร่วมกับการพอกดินสอพอง ซึ่งวิธีที่น่าสนใจได้แก่ การแช่ในสารละลายต่าง เพราะเป็นกระบวนการที่ประหยัด มีต้นทุนการผลิตไม่สูง ง่ายต่อกระบวนการผลิต สามารถผลิตได้ปริมาณมากต่อครั้ง ใช้ระยะเวลาเร็วกว่าวิธีการพอก ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ความดันสูงรวมกับการแช่ไข่ในสารละลายต่างโดยความดันมีผลต่อการแพร่โมเลกุลน้ำหรือสารละลายเข้าสู่เปลือกไข่เปิด ทำให้ไข่อยู่ในสภาวะความดันที่ต่างกันด้วยการอัดอากาศเข้าไปในช่องว่างเหนือผิวสารละลาย จึงเกิดความดันในสารละลายเพิ่มขึ้นเป็นการย่นระยะเวลากระบวนการผลิตไข่เยี่ยวม้า และเร่งการแปรรูปของไข่เยี่ยวม้า (ณัฐดนัยและสุวรรณ, 2554; เบญจวรรณและเทวรัตน์, 2558) แต่อย่างไรก็ตามการผลิตไข่เยี่ยวม่านั้นมีช่วงสภาวะของการเป็นไข่เยี่ยวม้าที่เหมาะสมคือ ค่า pH อยู่ในช่วง 11.0-11.6 ซึ่งจะทำให้เกิดการแข็งตัวของไข่ขาว และหากค่า pH สูงเกินกว่า 11.9 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของเจลไปเป็นของเหลวใสอย่างสิ้นเชิง (สุนทนา, 2550; ทรงพลและคณะ, 2532) ซึ่งการติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของไข่เยี่ยวม้าในระหว่างกระบวนการผลิตภายใต้สภาวะความดันยังไม่มีข้อมูลการศึกษาที่ชัดเจนดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของความดันและระยะเวลาในการแช่สารละลายต่างต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและเคมีของไข่เยี่ยวม้าในระหว่างกระบวนการผลิตภายใต้สภาวะความดัน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ไข่เปิด

ไข่เปิดที่ใช้ในการทดลองซื้อจากตลาดเคหะ อำเภอมือง จังหวัดนครราชสีมา ก่อนการผลิตไข่เยี่ยวม้า ทำการตรวจสอบรอยร้าว ล้างทำความสะอาด ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นทำการหาค่าฮอกยูนิตเพื่อตรวจสอบความสดของไข่ โดยการสุ่มตัวอย่างไข่เปิดมาทำการวัดความสูงไข่ขาวของไข่เปิดสดด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักไข่เปิดสดทั้งฟองแล้วคำนวณค่าดังสมการ (1)

$$HU = 100 \times \log(H + 7.57 - 1.7W^{0.37}) \quad (1)$$

เมื่อ HU คือค่าฮอกยูนิต, H คือความสูงของไข่ขาว (mm), W คือน้ำหนักฟองไข่ (g)

2.2 การผลิตไข่เยี่ยวม้าภายใต้สภาวะความดัน

นำไข่เปิดที่ผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วจำนวน 60 ฟอง แช่สารละลายต่างซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 240 g โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 600 g น้ำเปล่า 6,000 g (ประเวทย์ และคณะ, 2544) ทำการเพิ่มความดันในถังโดยการอัดอากาศเหนือสารละลายให้มีความดัน 1 2 3 และ 4 bar ทำการควบคุมความดันโดยใช้วาล์วควบคุมแบบโซลินอยด์ (VXD2130-03-5 DZ1-B, SMC (Thailand) Ltd., Nakhonracharsima, Thailand) ที่แต่ละความดันเมื่อครบกำหนด 2 4 6 8 10 และ 12 วัน นำไข่ออกมาตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไข่ขาว ไข่แดง สำหรับการตรวจสอบความแข็งแรงเจลไข่ขาวจะแบ่งตัวอย่างไข่ออกมาจำนวน 10 ฟองหนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 20 นาที

2.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมี

2.3.1 ร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

กำหนดหมายเลขไข่เปิดตัวอย่างจำนวน 10 ฟอง แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างไข่เปิดสดก่อนการแช่สารละลายต่าง บันทึกค่าทัศนีย 2 ตำแหน่ง และเมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างไข่เปิดชุดเดิมซึ่งบันทึกน้ำหนักสุดท้ายที่ระดับความดัน 1 2 3 และ 4 bar แล้วคำนวณค่าดังสมการ (2)

$$W_{ad} = \frac{W_f - W_i}{W_f} \times 100\% \quad (2)$$

W_{ad} คือร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น, W_i คือน้ำหนักไข่เปิดก่อนการอัดความดัน (g), W_f คือน้ำหนักไข่เปิดหลังการอัดความดัน (g)

2.3.2 ความถ่วงจำเพาะ

หาค่าความถ่วงจำเพาะโดยการแทนที่น้ำ (บัณฑิตและอุดมศักดิ์, 2547) ทำการชั่งน้ำหนักไข่ในอากาศแล้วบันทึกค่า จากนั้นนำไข่จุ่มลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 ml ภายในบรรจุน้ำเปล่า 900 ml โดยมีอุปกรณ์ช่วยพยุงไข่ไม่ให้จุ่มลงก้นบีกเกอร์จากนั้นอ่านค่ามวลที่แทนที่น้ำแล้วจดบันทึกเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ (S.G) ดังสมการ (3)

$$S.G = \frac{W_p}{W_T - W_B} \quad (3)$$

W_p คือน้ำหนักของไข่ที่ชั่งในอากาศ (g), W_b คือน้ำหนักน้ำและบีกเกอร์ก่อนจุ่มไข่ (g), W_T คือน้ำหนักรวมของน้ำ บีกเกอร์และไข่ขณะจุ่ม (g)

2.3.3 วัดความเป็นกรดเบส

ค่า pH เป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเจลไข่ขาว และไข่แดงในผลิตภัณฑ์ไข่เยี่ยวม้า วัดค่าโดยใช้เครื่อง pH meter ยี่ห้อ Mettler toledo รุ่น Specifications - S4 7 - K sevenMulti™ dual meter pH/conductivity (Kit version), UK

2.3.4 การหาค่าความแข็งแรงของเจลไข่เยี่ยวม้า

ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร(Texture analyser) รุ่น TA-XT plus (Stable micro systems, UK) ด้วยหัวกด Spherical probe part No. P/0.25S Crosshead speed 0.8 mm s⁻¹ กดลงไปเป็นระยะ 70 mm (Li et al., 2010) บนตัวอย่างไข่เยี่ยวม้าที่เตรียมไว้บริเวณด้านแหลมของไข่เยี่ยวม้า ทำการบันทึกค่า F_{max} เป็นค่าความแข็งแรงของเจลไข่เยี่ยวม้า

2.3.5 การวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย

วัดค่าสีด้วยระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย ทำการทดสอบความเข้มแสง ณ ตำแหน่งที่กำหนดจากนั้นปรับโหมดกล้องดิจิทัล (Olympus, รุ่น STYLUS XZ-2, Japan) ฟังก์ชัน Macro มีค่ารูรับแสงที่ f = 1.8 speed 1/2000 ไม่มีการซูมภาพไม่ใช้แฟลช ความละเอียด 3968×2976 pixels จัดเก็บไฟล์ภาพในรูปแบบ JPEG และนำมาวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ 1.42q, USA) ในรูปอัสโตแกรมของสีที่แสดงในระบบ RGB จากนั้นแปลงค่าสีจากระบบ RGB ไปเป็นระบบ CIELAB; L*, a*, b* (color transformation) ซึ่งค่า L* คือความสว่าง (lightness) จากค่า +L* ที่แสดงสีขาวไปจนถึง -L* แสดงถึงสีดำ ค่า a* คือแกนสีจากสีเขียว (-a*) ไปเป็นสีแดง (+a*) ค่า b* คือ แกนสีจากสีน้ำเงิน (-b*) ไปเหลือง (+b*) โดยใช้สมการ direct model ที่กำหนดโดย IEC 61966-2-1 (1999) และ International Telecommunication Union (Rec. ITU-R BT.709-5, 2002) ค่าสีที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าสีของไข่ขาวและไข่แดงของไข่เยี่ยวม้าที่วางจำหน่ายแบบมีเครื่องหมายการค้าในรูปของความแตกต่างค่าสีดังสมการ (4)

$$\Delta E = \sqrt{(L_p^* - L_0^*)^2 + (a_p^* - a_0^*)^2 + (b_p^* - b_0^*)^2} \quad (4)$$

เมื่อ ΔE คือค่าความแตกต่างของสี, L_p^*, a_p^*, b_p^* คือค่าสีของไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากกระบวนการผลิตภายใต้ความดัน และ L_0^*, a_0^*, b_0^* คือค่าสีของไข่เยี่ยวม้าในท้องตลาดซึ่งมีเครื่องหมายการค้า

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ภายหลังจากการกระบวนการตรวจวัดค่าคุณสมบัติของไข่เยี่ยวม้าแล้วจากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Two way ANOVA โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics 20 ทำการ

วิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงพหุคูณแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ไข่เป็ดสด

จากการตรวจสอบคุณภาพของไข่เป็ดสดพบว่าไข่เป็ดที่ใช้ในการทดสอบมีค่าฮอกยูนิตเฉลี่ยอยู่ที่ 76.04±6.7 จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าไข่เป็ดที่นำมาใช้ในการทดสอบในทุกการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 1) แสดงให้เห็นว่าระดับความสดของไข่เป็ดที่นำมาใช้อยู่ในเกณฑ์เดียวกันเนื่องจากความสดของไข่ส่งผลกระทบต่อการเป็นไข่เยี่ยวม้า (พญงค์ดี, 2542) สำหรับค่าน้ำหนักของไข่เป็ดสดเฉลี่ยที่นำมาทดลองถึงแม้จะซื้อไข่เบอร์เดียวกันแต่ก็มีความแปรปรวนของน้ำหนักไข่

Table 1 The Averange of initial properties of fresh duck eggs.

Experiment Condition	HU*	Weight(g)*
1bar2day	79.07 ^a	60.50 ^{ab}
1bar4day	74.21 ^a	60.18 ^a
1bar6day	73.42 ^a	73.52 ^k
1bar8day	80.93 ^a	70.70 ^{jk}
1bar10day	79.71 ^a	61.24 ^{abc}
1bar12day	75.46 ^a	62.11 ^{abcde}
2bar2day	80.02 ^a	64.38 ^{cdefg}
2bar4day	73.68 ^a	66.71 ^{fghi}
2bar6day	75.45 ^a	65.50 ^{efgh}
2bar8day	73.10 ^a	68.38 ^{hij}
2bar10day	73.64 ^a	61.69 ^{abcd}
2bar12day	79.37 ^a	62.95 ^{abcdef}
3bar2day	72.77 ^a	63.53 ^{abcdef}
3bar4day	78.91 ^a	63.85 ^{abcdef}
3bar6day	78.70 ^a	65.37 ^{defgh}
3bar8day	76.85 ^a	64.84 ^{cdefgh}
3bar10day	72.89 ^a	65.20 ^{defgh}
3bar12day	78.19 ^a	65.62 ^{efgh}
4bar2day	80.84 ^a	64.05 ^{bcdefg}
4bar4day	71.39 ^a	67.73 ^{ghij}
4bar6day	70.07 ^a	69.33 ^{ij}
4bar8day	74.17 ^a	65.77 ^{efghi}
4bar10day	78.73 ^a	65.93 ^{efghi}
4bar12day	73.46 ^a	63.38 ^{abcdef}
mean±SD	76.42±3.17	65.10±4.14

*Different letters in the same column indicate significate differences (p<0.05)

3.2 สมบัติทางกายภาพและเคมี

3.2.1 ปริมาณร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาปริมาณร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของไข่เยี่ยวม้าในระหว่างกระบวนการผลิตพบว่าทั้งความดันและระยะเวลาในการแช่ไข่เยี่ยวม้าในสารละลายต่างมีผลต่อปริมาณร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของไข่ทั้งนี้เนื่องจากความดันมีส่วนในการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับอนุภาคของสารละลายต่างทำให้เกิดการแพร่ผ่านผิวเปลือกไข่ได้ดีขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก Figure 1 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันขึ้นค่าร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มจำนวนวันในการแช่สารละลายต่าง ค่าร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของไข่ก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

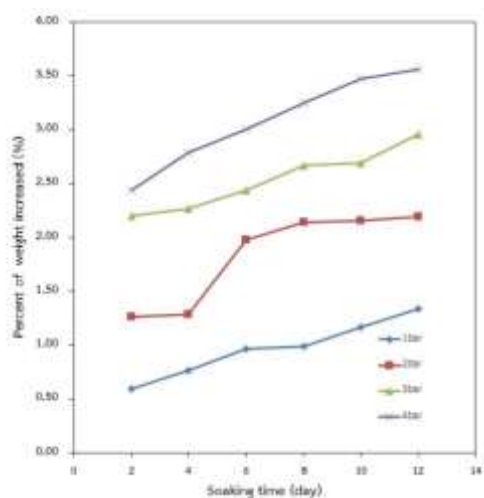


Figure 1 The influence of pressure and soaking time on weight increase of egg.

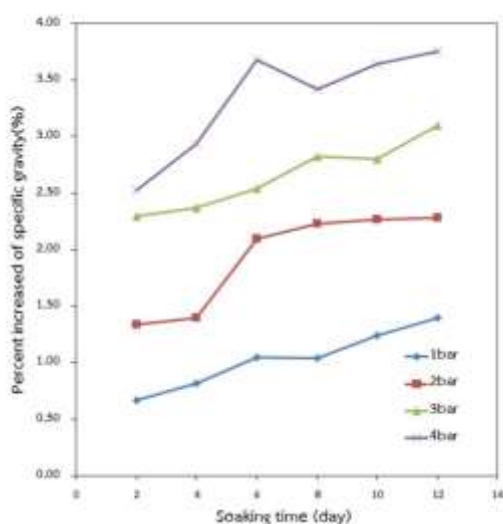


Figure 2 The influence of pressure and soaking time on specific gravity increased of egg.

3.2.2 ความถ่วงจำเพาะ

เมื่อทำการหาค่าความถ่วงจำเพาะของไข่ก่อนและหลังการแช่สารละลายต่างที่ความดันและจำนวนวันที่แช่ต่างกันไปแล้ว

คำนวณเป็นร้อยละของค่าความถ่วงจำเพาะที่เพิ่มขึ้นพบว่าร้อยละถ่วงจำเพาะที่เพิ่มขึ้นของไข่เยี่ยวม้าในระหว่างกระบวนการผลิตแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความดันและเวลาในการแช่สารละลายเพิ่มขึ้น (Figure 2) ซึ่งลักษณะการเพิ่มขึ้นนี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความดันและระยะเวลาในการแช่ส่งผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรไข่

3.2.3 ความเป็นกรดเบส

เมื่อทำการวัดค่าความเป็นกรดเบสของไข่ขาวและไข่แดงโดยใช้ pH มิเตอร์พบว่าค่า pH ของไข่ขาวที่ความดันเดียวกันมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณวันที่แช่ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของความดันพบว่าค่าการเพิ่มขึ้นของความดันส่งผลให้ค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย (Figure 3) ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นกับไข่แดง (Figure 4) เช่นเดียวกันโดยค่า pH ของไข่แดงจะมีค่าต่ำกว่า pH ของไข่ขาว ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ของไข่เยี่ยวม้าจากท้องตลาดและจากของงานวิจัยที่ผ่านมา (เบญจวรรณและเทวรัตน์, 2558; สุมนทา, 2550) ค่า pH เป็นค่าที่สำคัญต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าโดยค่า pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 11.00 - 11.6 จากรายงานวารุณีและคณะ (2532) พบว่าถ้าปรับ pH ของไข่ขาวให้เท่ากับ 11.9 หรือสูงกว่าไข่ขาวจะเปลี่ยนสภาพจากเจลใสในระยะเวลาหนึ่งแล้วเกิดการคืนตัวกลายเป็นของเหลว ดังนั้นจึงควรควบคุมให้ค่า pH ของไข่ขาวไม่เกิน 11.9 ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก Figure 3 จะเห็นว่าที่ความดัน 2 bar ระยะเวลาในการแช่ 8 วันนั้นเป็นระยะเวลาที่ทำให้ไข่ขาวเปลี่ยนสภาพเป็นเจลได้ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายตามที่กำหนดถ้าหากเพิ่มความดันเป็น 3 bar นั้นจะใช้เวลาดลดลงเหลือ 6 วัน และไม่ควรแช่ทั้งวันเกิน 8 วันเนื่องจากจะทำให้เกิดการคืนตัวเป็นของเหลว และหากความดันสูงขึ้นเป็น 4 bar ควรแช่สารละลายทิ้งไว้ไม่เกิน 6 วัน

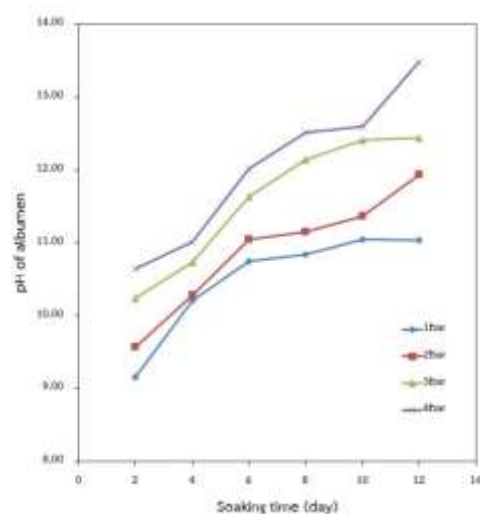


Figure 3 The influence of pressure and soaking time on pH of albumen.

สำหรับไข่แดง สุนทหา (2550) ได้แสดงให้เห็นว่าค่า pH ที่ทำให้ไข่แดงเกิดการแข็งตัวมีค่าตั้งแต่ 9.3 เป็นต้นไปซึ่งเมื่อพิจารณา Figure 4 พบว่าการแช่ไข่ในสารละลายต่างที่สภาวะ 2 bar 8 วัน 3 bar 2 วัน และ 4 bar 2 วัน นั้นสามารถทำให้ไข่แดงเกิดการแข็งตัวได้ ดังนั้นหากต้องการให้เกิดการแข็งตัวของไข่ขาวและไข่แดงจึงควรแช่สารละลายต่างที่สภาวะ 2 bar 8 วัน เพราะจะทำให้เกิดการแข็งตัวที่สมบูรณ์ของทั้งไข่แดงและไข่ขาว นอกจากนี้เมื่อพิจารณา Figure 3 ร่วมกับ Figure 4 พบว่าที่ความดัน 2 bar นั้นจะให้ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการผลิตไข่เยี่ยวม้า มากกว่าที่ความดันอื่นๆ เพราะค่า pH ในไข่ขาวยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการแข็งตัวของเจลไข่ขาว ส่วนที่ความดัน 3 และ 4 bar นั้นหากแช่ไข่ในสารละลายนานเกินไปจะทำให้โปรตีนในไข่ขาวเปลี่ยนจากเจลใสแข็งกลายเป็นของเหลวใส ซึ่งหากต้องการใช้ความดันสูงเพื่อเร่งการปรับค่า pH อาจทำได้โดยใช้เวลาในการแช่สารละลายต่างที่ความดัน 3 bar 5 วัน และ 4 bar 4 วัน จากนั้นนำขึ้นจากต้มมาต้มทิ้งไว้จนออกถึงเพื่อให้เกิดเปลี่ยนแปลงเป็นไข่เยี่ยวม้าที่สมบูรณ์ทั้งด้านเนื้อสัมผัสและสีเนื่องจากหากนำขึ้นมาจากสารละลายต่างแล้วทำการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการสูญเสียในเนื้อไข่แล้วจะทำให้ค่า pH ของไข่มีความคงที่และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ความดันที่สูงจะส่งผลต่อเยื่อหุ้มไข่แดงและการควบคุมความดัน

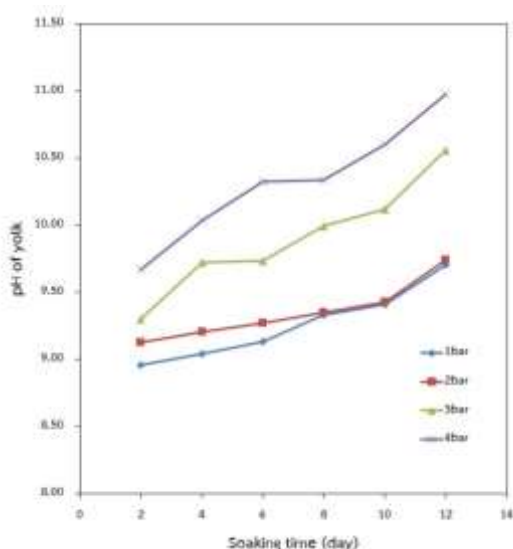


Figure 4 The influence of pressure and soaking time on pH of yolk.

3.2.4 ค่าความแข็งแรงเจลไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้า

ค่าความแข็งแรงเจลไข่ขาวของไข่เยี่ยวม้าที่ผ่านการนึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่สารละลายต่างเพิ่มขึ้นที่ความดัน 2 3 และ 4 bar ส่วนที่ความดัน 1 bar ไม่ปรากฏแนวโน้มที่ชัดเจนมากนัก (Figure 5) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความดันเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการแช่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่า pH ของไข่

ขาวมีค่ามากขึ้นจึงเกิดการเปลี่ยนสภาพของไข่ขาวโดย สุนทหา (2550) ได้ศึกษาการเปลี่ยนสภาพของไข่ขาวที่ค่า pH ต่างๆ กันพบว่าที่ pH เกินกว่า 8.6 ไข่ขาวจะเริ่มเกิดการเปลี่ยนสภาพมีความข้นหนืดมากขึ้น และมีลักษณะเป็นก้อนเมื่อ pH เท่ากับ 11 และเมื่อ pH สูงกว่า 11.6 ลักษณะของก้อนเจลจะเกิดการคลายตัวเป็นเจลเหลว โดยปกติไข่ขาวที่ไม่มีการปรับสภาพด้วยด่างจะแข็งตัวเมื่อโดนความร้อน แต่ในการศึกษานี้พบว่าไข่ขาวที่ถูกปรับสภาพด้วยด่างจนค่า pH สูงเกินกว่า 11.6 มีการสลายตัวของก้อนเจล เมื่อให้ความร้อนที่เท่ากับการแข็งตัวของไข่จะเป็นไปได้ยากกว่าซึ่งสอดคล้องกับที่รุจิ (2530) ได้รายงานไว้ว่า ถ้าให้ pH สูงกว่า 11.7 จะทำให้ไข่ขาวที่แข็งตัวกลายเป็นของเหลวและเมื่อนำไปให้ความร้อน 100°C ก็ไม่สามารถทำให้ไข่ขาวแข็งตัวได้อีกเนื่องจาก pH สูงเกินไปทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีน

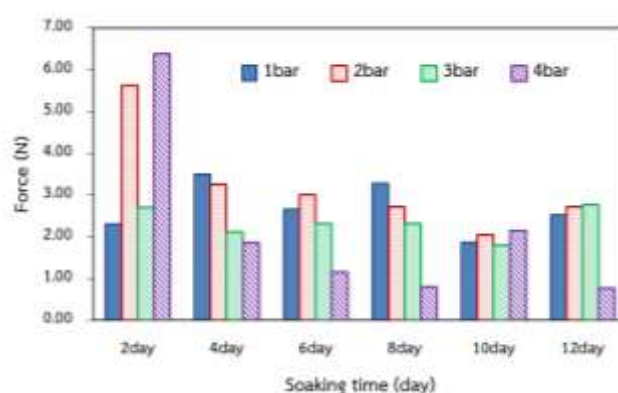


Figure 5 The influence of pressure and soaking time on hardness of albumen.

3.2.5 ผลการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย

ลักษณะปรากฏของไข่เยี่ยวม้าดิบที่ความดันต่างๆ แสดงใน Figure 6 จะพบว่าความดันนั้นจะช่วยเร่งให้ไข่เกิดการแข็งตัวเป็นเจลแข็งได้เร็วขึ้นโดยที่ความดัน 1 และ 2 bar ใช้เวลา 6 วันไข่ขาวมีลักษณะเป็นเจลใสสีน้ำตาล ไข่แดงแข็งมีสีส้มที่ความดัน 1 bar และมีสีเขียวอมเทาเมื่อใช้ความดัน 2 bar ส่วนที่ความดัน 3 และ 4 bar นั้นจะเริ่มมองเห็นการสลายตัวของเจลไข่ขาวที่เวลาในการแช่ 6 วัน เมื่อพิจารณาจากลักษณะปรากฏและค่า pH ของไข่ขาวและไข่แดงแล้วพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไข่เยี่ยวม้าจะอยู่ที่ความดัน 2 bar และระยะเวลาแช่สารละลายต่าง 6 วัน คือให้ค่าเฉลี่ย pH อยู่ที่ 11.05 และ 9.27 สำหรับไข่ขาวและไข่แดงตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของ pH ไข่แดงมีค่าต่ำกว่าของสุนทหา (2550) แต่เมื่อพิจารณาช่วงในการทดลองของสุนทหา (2550) แล้วพบว่าได้ทำการทดลองที่ค่า pH 6.0 9.3 9.5 และ 10.5 จึงอาจเป็นไปได้ว่าการแข็งตัวของไข่แดงอาจเกิดขึ้นได้ก่อนค่า pH 9.3 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการผลิตไข่เยี่ยวม้าทั่วไปจะต้องใช้เวลาในการแช่สารละลายต่างเป็นเวลานานถึง 28 วัน (พยุศักดิ์, 2542)

สำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้านสีโดยเทียบกับผลิตภัณฑ์ไข่เยี่ยวม้าที่ระบุเครื่องหมายการค้าในท้องตลาดจำนวน 3 ผลิตภัณฑ์ (MK1, MK2, MK3) พบว่ามีค่าความแตกต่างด้านสีของไข่ขาวและไข่แดง (Table 2) โดยที่ระดับความดัน 2 bar มี

ค่าความแตกต่างของสีไข่ขาวน้อยกว่าที่ความดันอื่นๆ ซึ่งค่าความแตกต่างสีน้อยที่สุดอยู่ที่วันที่ 12 ส่วนไข่แดงนั้นที่ความดัน 1 bar มีค่าความแตกต่างจาก MK1 น้อยที่สุดเนื่องจากลักษณะของไข่แดงมีสีออกส้มเช่นกันซึ่งสีของไข่แดงของไข่เยี่ยวม้าในท้องตลาด

Table 2 Comparison of color difference of albumen from various trademark with test samples

Experiment Conditions	MK1		MK2		MK3	
	Al	Yk	Al	Yk	Al	Yk
1bar4day	49.63	27.72	57.46	35.82	61.70	41.83
1bar6day	37.12	6.51	41.35	15.09	44.70	23.57
1bar8day	29.99	23.23	32.05	29.82	34.88	34.64
1bar10day	28.54	7.35	32.82	16.86	36.28	25.13
1bar12day	28.62	11.27	33.19	19.66	36.74	28.14
2bar4day	19.31	22.67	27.09	28.94	31.13	37.10
2bar6day	11.85	27.23	17.40	30.35	21.34	37.20
2bar8day	17.95	26.56	20.71	28.54	23.97	34.90
2bar10day	13.17	19.21	14.20	20.88	17.19	27.50
2bar12day	13.69	18.72	11.18	20.35	13.42	26.95
3bar4day	31.22	14.94	38.32	23.92	42.46	32.15
3bar6day	35.40	4.29	39.89	9.21	43.39	17.75
3bar8day	35.58	3.01	39.52	11.20	42.86	19.68
3bar10day	26.86	24.65	26.32	25.40	28.29	31.25
3bar12day	24.65	26.48	23.64	27.00	25.54	32.65
4bar4day	37.58	25.14	45.30	34.32	49.45	42.39
4bar6day	26.70	16.98	25.06	25.53	25.84	34.05
4bar8day	28.18	20.11	28.72	19.95	31.06	25.71
4bar10day	37.14	23.04	34.14	25.96	34.20	32.91
4bar12day	31.49	36.87	25.36	39.90	24.35	46.38

ก็จะมีความแตกต่างกัน (Figure 6) แต่เมื่อพิจารณาค่าต่างๆร่วมกับลักษณะปรากฏแล้วจะพบว่าเมื่อแช่ไข่นานถึง 10 วันเจลไข่ขาวจะเกิดการสลายตัวกลับเป็นของเหลวหนืดอีกครั้ง ดังนั้นระยะเวลาในการแช่ที่เหมาะสมจึงเป็น 6 วันและ 8 วัน ซึ่งเป้าหมายของงานวิจัยต้องการลดระยะเวลาในการแช่สารละลายต่างดังนั้นที่สภาวะ 2 bar 6 วัน จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสม



Figure 6 The color of century egg under pressure and soaking time compare with trademark samples.

4 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภายในของไข่เยี่ยวม้าในระหว่างกระบวนการผลิตภายใต้ความดันพบว่าความดันและระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี

ของไข่โดยมีค่าร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่า pH เพิ่มขึ้นตามความดันและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแข็งแรงเจลไข่ขาวมีแนวโน้มลดลง เจลไข่ขาวมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นที่

ทุกความดันเมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นโดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไข่เยี่ยวม้าภายใต้ความดันคือ 2 bar 6 วัน

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนทุนวิจัย และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

6 เอกสารอ้างอิง

ณัฐดนัย ตัณฑวิรุฬห์, และสุวรรณ หอมหวาน. 2554. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับเร่งกระบวนการผลิตไข่เยี่ยวม้าในระดับอุตสาหกรรม, การประชุมวิชาการ.วารสารวิทยาการกำแพงแสน 9,1: 27-40.

ทรงพล รัตนพันธ์, ทิพย์ ปาณะโตชะ, วารุณี เสนสุภา. 2332. การผลิตไข่เยี่ยวม้าให้ปราศจากสารตะกั่ว. วารสารอาหาร, ปีที่ 19(4), 225-238.

เบญจวรรณ วานมนตรี, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2558. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงภายในไข่เยี่ยวม้าที่ผลิตภายใต้สภาวะความดันสูงเทียบกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, 17-19 มีนาคม 255 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร, หน้า 475-479.

บัณฑิต จริโมภาส, อุดมศักดิ์ กิจทวี. 2547. ระบบเครื่องมือวัดหาความถ่วงจำเพาะและปริมาตรผลไม้อัดโนมิตี. วารสารวิทยาการกำแพงแสน, ปีที่ 2(3), 137-143.

ประเวทย์ ตั้วเต็มวงศ์, ปวีณา จิตปลื้ม, พรรณชينا เอี่ยมโสภณกุล, กิตติมา ขวาลรติกุล. 2544. การผลิตไข่เยี่ยวม้าโดยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 3 หน้า.

พยุงค์ดี มโนชัย. 2542. การผลิตไข่เยี่ยวม้าโดยไม่ใช้โลหะหนัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 101 หน้า.

รุจี วานิชยาการ. 2530. ไข่เยี่ยวม้า. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่3(1), 7-13.

สุนทรา วาจาบัณฑิตย์. 2550. การใช้เทคนิคทางเคมีพัฒนากระบวนการผลิตไข่เยี่ยวม้าไร้สารตะกั่ว. รายงานวิจัยฉบับ

สมบูรณ์, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 63 หน้า.

IEC 61966-2-1. 1999. Multimedia systems and equipment–Colour measurements and management–Part 2-1: Colour management–Default RGB color space–sRGB’. International Electrotechnical Commission, Geneva, 51p.

Li, C., Shi, P., Xu, C., Xu, X., Zhou, G. 2010. Tracing processes of rigor mortis and subsequent resolution of chicken breast muscle using a texture analyzer. J. Food Engineering. 100: 388–391.

Rec. ITU-R BT.709-5. 2002. Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange (1990, revised 2002). International Telecommunication Union, 1211 Geneva 20, Switzerland.

Suppakul, P., Jutakorn, K, Bangchokedee, Y. (2010). Efficacy of cellulose-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs. Journal of Food Engineering, Vol. 98(2), 207-213.

Torrico, D. D., Wardy, W., Carabante, K. M., Pujols, K. D., Xu, Z., No, H. K., Prinyawiwatkul, W. 2014. Quality of eggs coated with oilechitosan emulsion: Combined effects of emulsifier types, initial albumen quality, and storage. LWT-Food Science and Technology, Vol. 57(1), 35-41.

Wardy,W., Torrico D. D., Jirangrat W., No H. K., Saalia F. K., Prinyawiwatkul W. 2011. Chitosan-soybean oil emulsion coating affects physico-functional and sensory quality of eggs during storage. LWT-Food Science and Technology, Vol. 44(10), 2349-2355.