

การพัฒนาวิธีการวัดสีของภาพถ่ายสำหรับประเมินสีไข่แดงของไก่ไข่เพื่อเป็นแพลตฟอร์มการเรียนรู้ในช่วงสถานการณ์การระบาดโควิด-19

The development of photolorimetric methodology for determining egg yolk color of laying hens as learning platform during the COVID-19 outbreak situation

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี^{1*}, พิชญา มณฑิราช¹, สรณัฐ โชตินิพัทธ์¹, ภูธฤทธิ์ วิทยาพัฒนานุรักษ์ รักษาศิริ¹, จินดา กลินอุบล², ชาญชัย อรรถผาติ³, และ อรวรรณ เชาวลิต⁴

Manatsanun Nopparatmaitree^{1*}, Pichaya Montirach¹, Soranot Chotnipat¹, Bhutharit Vittayaphathananurak Raksasiri¹, Jinda Glinubon², Chanchai Arkaphati³, and Orawan Chaowalit⁴

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

¹ Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Cha-am, Phetchaburi 76120

² ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

² Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchatani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

³ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

³ Faculty of Information and Communication Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Cha-am, Phetchaburi 76120

⁴ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

⁴ Department of Computing, Faculty of Sciences, Silpakorn University, Sanam Chandra Palace Campus, Muang, Nakhon Pathom 73000

บทคัดย่อ: สีของไข่แดงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของไข่ที่ไข่เป็นองค์ประกอบด้านคุณภาพของไข่และผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไข่ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้มุ่งทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดมาตรฐาน (พัลสีและเครื่องวัดสี) และค่าสีจากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำจากอุปกรณ์วัดมาตรฐานและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายในการประเมินสีไข่แดงของไข่ไก่ในการทดลองนี้ ผลการทดลองครั้งนี้ พบว่า ค่าคะแนนสีของไข่แดงจากพัลสีมีสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างกับค่า a* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($r = 0.923, P < 0.01$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ $y = 0.1033(x) + 37.389$ ($R^2 = 0.851, P < 0.001$) อีกทั้งยังพบสหสัมพันธ์ระหว่างค่า L*, a* และ b* จากเครื่องวัดสีกับค่า G, a* และ B จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของเครื่องวัดสีและสีจากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเท่ากับ 0.694, 0.869, และ -0.563 ตามลำดับ ($P < 0.001$) นอกจากนี้ยังใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อประเมินผลการทำนายคุณลักษณะของสีไข่แดงโดยสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายแสดงสัมประสิทธิ์การถดถอย (R^2) เท่ากับ 0.481, 0.742, และ 0.317 ตามลำดับ ($P < 0.001$) อีกทั้งการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการประเมินสีไข่แดงมีความใกล้เคียงกันของค่า L*, a*, b*, องศาสี และ ความเข้มสีระหว่างวิธีการวัดสีของภาพถ่ายร่วมกับสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายและวิธีการวัดด้วยอุปกรณ์วัดมาตรฐาน (พัลสีและเครื่องวัดสี) ($P > 0.05$)

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ภาพดิจิทัล; การประเมินสี; สีไข่แดง; ไข่ไก่

* Corresponding author: Nopparatmaitree_m@silpakorn.edu

ABSTRACT: The egg yolk color is an important quality feature of the egg, being attributed to the high quality of eggs and egg products. The objective of this study was to determine a relationship exists between color values from standard measuring tools (color fan and colorimeter) and color values from photocolometric method by the Adobe Photoshop software. In addition, comparisons of accuracy from the standard measuring tools and a technique of photocolometric method in evaluating the egg yolk color were investigated in this experiment. The result showed that the yolk color score from yolk color fan was positively correlated with a^* values from photocolometric method generated by the Adobe Photoshop software ($r = 0.923$, $P < 0.01$) with the form of the linear regression equation, $y = 0.1033(x) + 37.389$ ($R^2 = 0.851$, $P < 0.001$). In addition, there were correlations between L^* , a^* and b^* value from colorimeter and G , a^* and B values performed by photocolometric method with the Adobe Photoshop software. Coefficients of correlation between the colorimeter score and color from photocolometric method were 0.694, 0.869 and -0.563 respectively ($P < 0.001$). Furthermore, simple linear regression models were used to evaluate the prediction results of yolk color attributes. The proposed linear regression model had a coefficient of determination (R^2) of 0.481, 0.742, and 0.317 respectively ($P < 0.001$). Moreover, this experiment shows that the yolk color assessment was similar between L^* , a^* , b^* , hue angle, and chroma values both photocolometric method with simple linear regression equation and using standard measuring tool (color fan and colorimeter). ($P > 0.05$).

Keywords: digital image analysis; color assessment; yolk color; egg

บทนำ

สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อโควิด-19 ส่งผลให้เกิดการพัฒนาาระบบพื้นฐาน (Gómez-García et al., 2020) และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางการศึกษา แพลตฟอร์มการเรียนรู้ และนวัตกรรมสำหรับสร้างระบบการเรียนออนไลน์เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดการเรียนการสอนในช่วงวิกฤตการณ์ครั้งนี้ (Govindasamy et al., 2019; Liu and Zhang, 2019) อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนการสอนออนไลน์กลับพบปัญหาเกี่ยวกับการพัฒนาด้านทักษะพิสัย (Psychomotor skill) ของผู้เรียนผ่านการเรียนการสอนปฏิบัติการด้วยระบบออนไลน์ เนื่องจากผู้เรียนไม่สามารถเข้าถึงการใช้งานอุปกรณ์ สารเคมี และ/หรือเครื่องมือที่ใช้สำหรับการจัดการเรียนการสอนปฏิบัติการ ดังนั้นเพื่อให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพและสัมฤทธิ์ผลตามการเปลี่ยนแปลงรูปแบบวิถีใหม่ทางการเรียนรู้ (Learning in new normal) จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาและสร้างสรรค์นวัตกรรมทางการศึกษาให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ควบคู่กับการพัฒนาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักศึกษาผ่านการเรียนรู้ผ่านออนไลน์ (Zlatev and Baycheva, 2018; Liu, 2020) ปัจจุบันการพัฒนาด้านดิจิทัลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้โทรศัพท์อัจฉริยะ (Smart phone) เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิต รวมถึงการนำใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเป็นเครื่องมือในการจัดการเรียนรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอปพลิเคชันการถ่ายภาพของโทรศัพท์มือถือจัดเป็นแอปพลิเคชันที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายจากรายงานก่อนหน้านี้มีการประยุกต์ใช้กล้อง/วิดีโอของโทรศัพท์มือถือเพื่อเป็นแหล่งข้อมูลในการประมวลผลการวิเคราะห์สี ลักษณะสเปกตรัมและประเมินองค์ประกอบหรือคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (Gábor and Péter, 2015; Zlatev and Baycheva, 2017; Gómez-García et al., 2020) รวมถึงการใช้ประโยชน์ด้านการชั่ง ตวง และวัดในเชิงวิทยาศาสตร์ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการวัดสีของภาพถ่าย (Photocolometric method) โดยอาศัยหลักการในการวัดสีและจากการรับรู้ได้ที่แตกต่างจากคุณสมบัติสีของวัตถุ สเปกตรัมองค์ประกอบของรังสี การสะท้อนแสงสเปกตรัมหรือการซึมผ่านของวัสดุ (Dvořák et al., 2001) เช่น การวัดสีของภาพถ่ายเพื่อตรวจสอบปริมาณสารเคมี (ยูทศศักดิ์และคณะ 2562; Choodum et al., 2014) การใช้โทรศัพท์มือถือในการวัดคุณภาพของกาแฟ (รุจิราและคณะ 2562) การใช้แอปพลิเคชัน RGB ในโทรศัพท์มือถือเพื่อการวัดสีความสดชื่นของผลไม้ (Mendoza and Aguilera, 2004; Sadd et al., 2016) รวมทั้งการใช้แท็บเล็ตและโทรศัพท์มือถือเป็นเครื่องมือในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของไข่ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของข้อมูลแสงสีแดงสำหรับสีสเปกตรัมแปลงไปสู่ X,Y,Z จากการสะท้อนของแสงและการส่องผ่านแสงแบบสเปคโตรโพลิตเมตริก (Georgieva-Nikolova and Stoykova, 2020) ดังนั้นหากมีพัฒนาวิธีการวัดสีของภาพถ่ายด้วยโทรศัพท์มือถือที่สามารถแปลงข้อมูลเป็นค่าสีของไข่แดงที่อธิบายผลได้ง่าย แม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือสำหรับผู้ใช้งานจึงน่าเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีความน่าสนใจสำหรับใช้ในการวัดสีของไข่แดง

ทั้งนี้สีไข่แดงจัดเป็นพารามิเตอร์ทางชีวฟิสิกส์ (Biophysical parameter) ที่สำคัญในการชี้วัดคุณภาพของไข่ โดยสีของไข่แดงแปรผันตรงกับชนิดและปริมาณของแซนโทฟิลล์ในอาหารไก่ไข่รวมถึงรูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ไก่ไข่ที่เลี้ยงบนกรงดับจะมีการให้อาหารที่มีการเพิ่มแซนโทฟิลล์เพื่อให้ได้สีไข่แดงที่มีความเข้มตามต้องการ ส่วนการเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยไก่ไข่สามารถฉีกกินหญ้า ดอกไม้ และแมลง ส่งผลทำให้ไข่แดงของไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยมีการสะสมสารสีที่เกิดจากธรรมชาติ จากงานวิจัยของ Dvořák et al. (2010) รายงานว่า ระบบหรือรูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่ส่งผลต่อคุณภาพของไข่ นอกจากนี้ Wan Den Brand et al. (2004) รายงานว่าระบบการเลี้ยงแบบปล่อยและการเลี้ยงบนกรงดับส่งผลต่อน้ำหนักไข่ ไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่ ปัจจุบันวิธีการประเมินเพื่อวัดสีของไข่แดงที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ วิธีการประเมินโดยสายตาด้วยการใช้พัดสี (Yolk color fan) ที่เป็นสเกลมาตรฐานในการอ่านค่าสีไข่แดงเป็นระดับคะแนน 1 ถึง 15 หากแต่มีข้อจำกัด คือ ความแปรปรวนในการประเมินค่าของแต่ละบุคคลที่อาจส่งผลต่อความแม่นยำในการตรวจวัด เนื่องจากการรับรู้เกี่ยวกับสีขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุ คุณภาพและความเข้มของแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสง รวมถึงความสามารถของผู้สังเกตในการรับรู้ (Dvořák et al., 2009) และอีกหนึ่งวิธี ซึ่งถือเป็นวิธีมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในวงวิชาการ คือ การใช้เครื่องวัดสี (Chromameter) ซึ่งจัดเป็นอุปกรณ์เซนเซอร์อย่างง่ายที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง Cuvette สำหรับยึดตัวอย่าง เช่น เซอร์ความเข้มแสง รวมทั้งตัวควบคุมแหล่งกำเนิดแสงและการรวมความเข้มของแสง (Anzalone et al., 2013) ทั้งนี้การทำงานของเครื่องวัดสีอาศัยหลักการพื้นฐานของสีหรือการสะท้อนแสง (Basis of color/reflectance) ซึ่งสีสามารถอธิบายลักษณะของช่องว่างในภาพสามมิติในรูปแบบของ CIELAB หรือ Lightness (L^*), Redness (a^*) และ Yellowness (b^*) กล่าวคือ ระบบ CIE L^* , a^* , b^* เป็นการกำหนดค่าสีโดยใช้หลักการตามทฤษฎีคู่ตรงข้าม (CIE Colorimetry, 1986) ซึ่งมีอยู่ 3 คู่ คือ สีขาวกับสีดำ สีแดงกับสีเขียว และสีเหลืองกับสีน้ำเงิน อีกทั้งยังให้คำอธิบายเกี่ยวกับค่าองศาสี (Hue angle) และ ความเข้มสี (Chroma) (สัญญาชัย, 2555) แม้ว่าวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีจะมีประโยชน์และความแม่นยำสูง หากแต่วิธีการใช้เครื่องวัดสีก็ยังมีข้อจำกัดด้านราคาที่สูงส่งผลให้มีเครื่องวัดสีใช้ในวงจำกัดเฉพาะในห้องปฏิบัติการในสถาบันการศึกษาและบริษัทเอกชนเท่านั้น จากความจำเป็นข้างต้นจึงเกิดแนวคิดพัฒนาวิธีการวัดและประเมินสีด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลร่วมกับการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อให้ได้วิธีการที่แม่นยำและมีความสม่ำเสมอ (Mancini and Hunt, 2005; Trinderup and Kim 2015) โดยมุ่งหวังประโยชน์ในการใช้งานเป็นเครื่องมือสำหรับการเรียนการสอนทางไกลของนักศึกษา รวมถึงการใช้ประโยชน์ของผู้ประกอบการและ/หรือเกษตรกรที่สามารถเข้าถึงแพลตฟอร์มนี้ได้ในอนาคต

จากข้อมูลข้างต้นนำสู่งานวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการอธิบายสมมติฐานในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของค่าสีของไข่แดงจากการวัดด้วยวิธีการวัดสีภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือกับอุปกรณ์วัดสีมาตรฐานเพื่อพัฒนาเป็นแพลตฟอร์มสำหรับการวัดสีของไข่แดงด้วยวิธีการวัดสีภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือที่สามารถใช้งานง่าย สะดวก รวดเร็วต้นทุนต่ำ และเป็นนวัตกรรมสำหรับทุกคน (Innovation for all) โดยวัตถุประสงค์ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งศึกษาความสัมพันธ์และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างค่าสีของไข่แดงจากการวัดด้วยอุปกรณ์วัดสีมาตรฐาน (พัดสีและเครื่องวัดสี) กับค่าสีวัดจากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือที่อ่านค่าด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop รวมถึงศึกษาเปรียบเทียบผลการวัดสีไข่แดงของไข่ไก่ระหว่างวิธีการวัดสีด้วยอุปกรณ์วัดสีมาตรฐานและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายร่วมกับสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

วิธีการศึกษา

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างค่าสีไข่แดงจากเครื่องวัดสีและค่าสีไข่แดงที่ได้จากวิธีการวัดสีของภาพถ่าย

การทดลองนี้ทำการวัดค่าคะแนนสีและสีจากตัวอย่างไข่ไก่จากหลายฟาร์มที่มีระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันจำนวน 530 ตัวอย่างละ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย โดยคัดเลือกจากฟาร์มเกษตรกรที่ได้รับมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) จากกรมปศุสัตว์ จากนั้นทำการวัดค่าคะแนนสีไข่แดงของไข่ไก่ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้องด้วย พัดสี DSM® ที่มีค่าคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 15 คะแนน โดยเริ่มจาก

สีเหลืองอ่อน (คะแนน 1) และสิ้นสุดที่สีส้มแดง (คะแนน 15) ตามวิธีของ Barbosa et al. (2011) และวัดค่าความสว่าง (Lightness: L^* (0 = black, 100 = white)) ค่าความเป็นสีแดงและเขียว (Redness: a^* (-100 = green, 100 = red)) และ ค่าความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (Yellowness: b^* (-100 = blue, 100 = yellow)) ด้วย Mini Scan ZX Chromameter ที่ทำการสอบเทียบด้วยแผ่นสอบเทียบสีขาว (L^* : 97.83, a^* : -0.45, b^* : +1.88) แล้วทำการวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ตามวิธีของ Petracci et al. (2004) แล้วคำนวณหาค่า Hue angle และ Chroma ตามวิธีของ Pathare et al. (2013) จากนั้นทำการถ่ายภาพไข่แดงด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยกำหนดระยะเวลาการถ่ายภาพ 10 เซนติเมตรและขนาดภาพ 1108 x 1478 pixels รวม 530 ภาพ จากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้จากมือถือไปอ่านค่าสีแดง (Red: R), ค่าสีเขียว (Green: G), ค่าสีฟ้า/น้ำเงิน (Blue: B), L^* , a^* และ b^* ด้วยวิธีการวัดสีของภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย ตามวิธีของ Girolami et al. (2013) และ Quevedo et al. (2010)

นำข้อมูลสีที่ได้จากการวัดวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson's (Pearson's correlation analysis) ระหว่างสองตัวแปรระหว่างค่าคะแนนสีไข่แดงของไข่ไก่ รวมถึง ค่า L^* , a^* และ b^* ของไข่ไก่จากเครื่องวัดสี Mini Scan ZX Chromameter (ตัวแปร y) กับค่า R, G, B, L^* , a^* และ b^* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (ตัวแปร x) และทำการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992) โดยใช้โปรแกรม SAS (University Edition) ตามวิธีของ มนต์ชัย (2544)

การเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าคะแนนสีไข่แดงจากพัลส์และวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงเพื่อประเมินสีไข่แดงของไข่ไก่

การทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบค่าคะแนนสีของไข่แดงและค่าสีไข่แดงจากวิธีการวัดที่แตกต่างกันสองวิธี โดยทำการเก็บไข่ไก่จากฟาร์มไก่ที่มีระบบการเลี้ยงที่ต่างกัน 4 รูปแบบ คือ ไข่ไก่จากฟาร์มทั่วไป (Conventional farm) ไข่ไก่จากฟาร์มไก่ที่เลี้ยงปล่อยอิสระภายในโรงเรือน (Free cage farm) ไข่ไก่จากฟาร์มไก่ที่เลี้ยงปล่อยอิสระ (Free range farm) และไข่ไก่จากฟาร์มไก่ที่เลี้ยงไก่อินทรีย์ (Organic farm) โดยคัดเลือกจากฟาร์มเกษตรกรที่ได้รับมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) และเครื่องหมายการรับรองมาตรฐานฟาร์มไก่แบบไม่ใช้กรง (Cage free) รวมถึงฟาร์มที่ได้รับการรับรองระบบการผลิตปศุสัตว์อินทรีย์ (Layer chicken and chicken egg organic production system) จากกรมปศุสัตว์ โดยการทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent group) ประกอบด้วย 2 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ซ้ำ (ตัวอย่าง 15 ฟอง)

กลุ่มที่ 1 คือ การวัดสีไข่ไก่ด้วยวิธีการมาตรฐาน (ใช้พัลส์และวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี)

กลุ่มที่ 2 คือ การวัดสีไข่ไก่ด้วยวิธีการวัดสีของภาพถ่ายร่วมกับการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

ทำการวัดค่าคะแนนสีของไข่แดงด้วยพัลส์ DSM[®] (มีค่าคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 15 คะแนน) ตามวิธีของ Barbosa et al. (2011) และวัดค่าสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยการใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพ แล้วนำไปอ่านค่าสี R, G, B, L^* , a^* และ b^* ด้วยวิธีการวัดสีของภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ตามวิธีของ Girolami et al. (2013) (วัดตัวอย่างละ 10 ซ้ำ) จากนั้นคำนวณหาค่าคะแนนสีไข่แดงของวิธีการวัดสีของภาพถ่ายร่วมกับการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยทำการแทนค่าตัวแปร x คือ ค่าสี R, G, B, L^* , a^* หรือ b^* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่าย โดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ที่แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงสุดลงในสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (โดยเลือกใช้สมการที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงเส้น (R^2) สูงสุด) เพื่อคำนวณหาค่าตัวแปร y คือ ค่าคะแนนสีไข่แดงของวิธีการวัดสีของภาพถ่ายร่วมกับการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

นอกจากนี้ทำการวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ของไข่แดงด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX Chromameter ตามวิธีของ Petracci et al. (2004) และวัดค่าสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยการใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพ แล้วจึงนำไปอ่านค่าสี R, G, B, L^* , a^* และ b^* โดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ตามวิธีของ Girolami et al. (2013) จากนั้นคำนวณหาค่าสี L^* , a^* และ b^* ของไข่แดงของวิธีการวัดสีของภาพถ่ายร่วมกับการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายโดยทำการแทนค่าตัวแปร x คือ ค่าสี R, G, B, L^* , a^* หรือ b^* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่าย โดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ที่แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงสุดลงในสมการถดถอยเชิงเส้น อย่างง่าย (โดยเลือกใช้สมการ

ที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงเส้น (R^2 สูงสุด) เพื่อคำนวณหาค่าตัวแปร y คือ ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของวิธีการวัดสีของภาพถ่ายรวมกับการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ทั้งนี้เมื่อได้ค่า L^* , a^* และ b^* จากทั้ง 2 วิธีการแล้วจึงนำมาคำนวณหาองศาสีและความเข้มสีตามวิธีของ Pathare et al. (2013)

นำข้อมูลสีจากทั้งการวัดสีทั้งสองวิธีมาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันด้วย Student t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป R version 4.0.3 ตามวิธีของ R Core Team (2020) กำหนด คำนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ $P < 0.05$ และ $P < 0.01$

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างค่าสีไข่แดงจากเครื่องวัดสีและค่าสีไข่แดงที่ได้จากวิธีการวัดสีของภาพถ่าย

การทดลองครั้งนี้ได้ทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนสีและความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) รวมถึงค่าองศาสีและความเข้มสีของไข่แดงที่วัดได้จากวิธีมาตรฐาน ดังแสดงใน Table 1 ทั้งนี้การทดลองนี้ทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างค่าสีจากวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีและค่าสีจากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop พบว่า คะแนนสีของไข่แดงที่ได้จากการวัดด้วยพัตสี DSM[®] มีสหสัมพันธ์เป็นบวกกับค่า a^* และ R จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($P < 0.01$) รวมทั้งคะแนนสีของไข่แดงที่ได้จากการวัดด้วยพัตสี DSM[®] มีสหสัมพันธ์เป็นลบกับค่า L^* b^* G และ B จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop โดยค่าคะแนนสีของไข่แดงที่ได้จากการวัดด้วยพัตสี DSM[®] มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงสุดกับค่า a^* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($r = 0.923$, $P < 0.01$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = 0.2865(x) + 3.6331$ ($R^2 = 0.851$, $P < 0.001$) เมื่อ y คือ ค่าคะแนนสีของไข่แดงจากการวัดด้วยพัตสี DSM[®] และ x คือ ค่าความเป็นสีแดง (a^*) จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ดังแสดงใน Table 2 และ Figure 1

Table 1 Mean \pm SD of yolk color score and yolk color value measured by standard measuring tools (color fan and colorimeter)

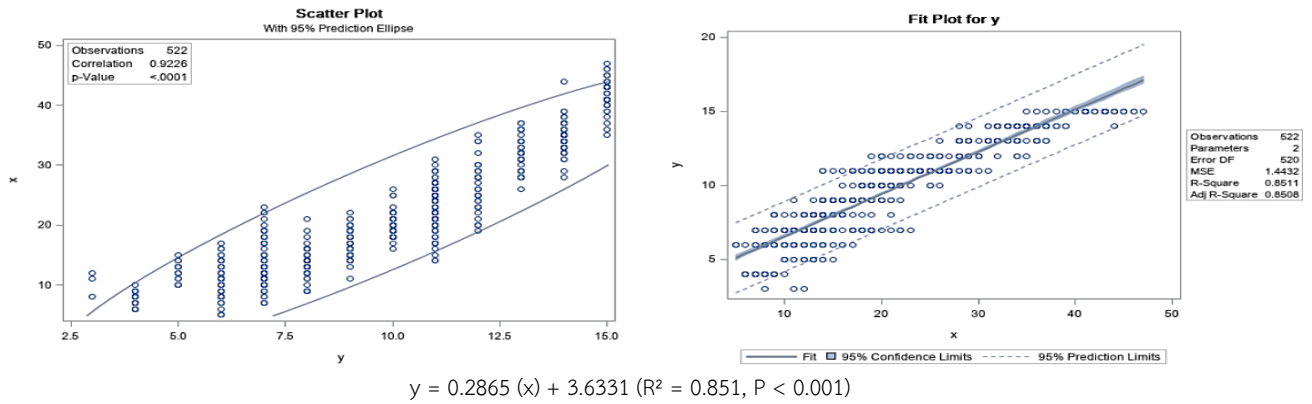
Variable	Mean \pm SD	Minimum	Maximum
Yolk color score	9.833 \pm 3.110	3.000	15.000
Lightness (L^*)	55.321 \pm 5.788	37.840	67.720
Redness (a^*)	16.280 \pm 5.142	4.430	30.150
Yellowness (b^*)	46.147 \pm 11.804	14.420	89.440
Hue angle	1.218 \pm 0.138	0.660	1.450
Chroma	0.171 \pm 0.165	0.010	1.650

Table 2 Correlation between yolk color score from yolk color fan and yolk color value from colorimeter (Mini Scan ZX) with yolk color score from photocolorimetric method*

Yolk color from photocolorimetric method	Yolk color measuring tool							
	Yolk color fan		Colorimeter (Mini Scan ZX)					
	Color score		Lightness (L*)		Redness (a*)		Yellowness (b*)	
	r	P-value	r	P-value	r	P-value	r	P-value
Lightness (L*)	-0.530	<0.001	0.611	<0.001	-0.494	<0.001	0.287	<0.001
Redness (a*)	0.923	<0.001	-0.688	<0.001	0.869	<0.001	-0.408	<0.001
Yellowness (b*)	-0.259	<0.001	0.105	<0.001	0.088	<0.001	-0.562	<0.001
Red (R)	0.148	<0.001	0.155	<0.001	0.154	<0.001	0.532	<0.001
Green (G)	-0.695	<0.001	0.694	<0.001	-0.651	<0.001	0.343	<0.001
Blue (B)	-0.285	<0.001	0.320	<0.001	-0.361	<0.001	-0.563	<0.001

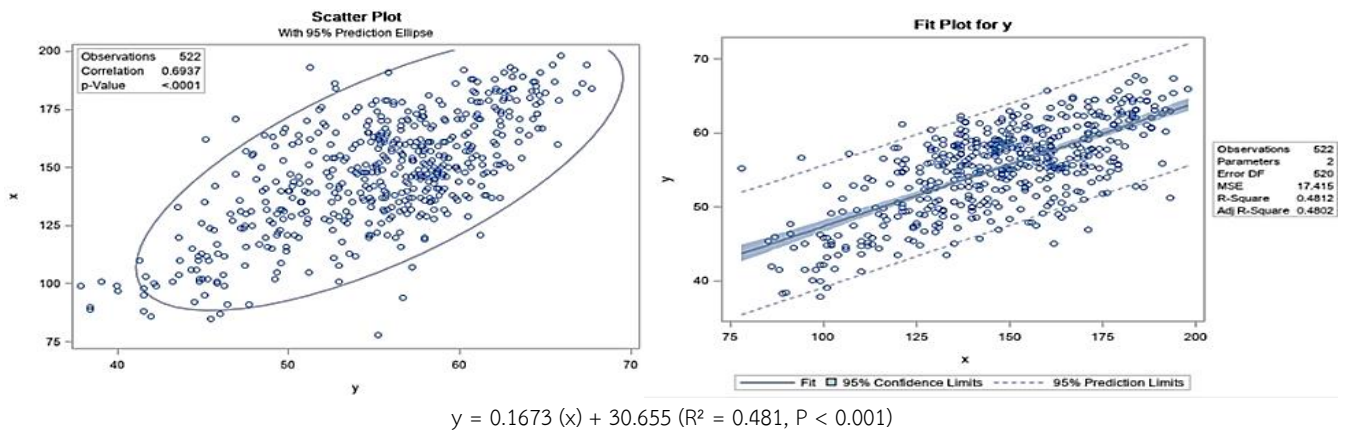
*r = Correlation coefficient

นอกจากนี้การทดลองครั้งนี้ยังทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าสีไข่แดงจากเครื่องวัดสีและค่าสี จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop พบว่า ค่า L* ของไข่แดงจากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX มีสหสัมพันธ์เป็นบวกกับค่า L*, b*, R, G และ B จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (P<0.01) และมีสหสัมพันธ์เป็นลบกับค่า a* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (P < 0.01) โดยค่า L* ที่ได้จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดกับ G ที่มาจากการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (r = 0.694, P < 0.01) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = 0.1673(x) + 30.655$ ($R^2 = 0.481$, P < 0.001) เมื่อ y คือ ค่าความสว่าง (L*) ของไข่แดงจากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX และ x คือ ค่าสีเขียว (G) จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ดังแสดงใน **Table 2** และ **Figure 2** อีกทั้งยัง พบว่า ค่า a* ของไข่แดงจากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX มีสหสัมพันธ์เป็นบวกกับค่า a*, b* และ R จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (P<0.01) และ a* ของไข่แดงจากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX มีสหสัมพันธ์เป็นลบกับค่า L*, G และ B จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (P<0.01) โดยค่า a* ที่ได้จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดกับ a* ที่มาจากการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (r = 0.694, P< 0.01) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = 0.4452(x) + 6.7128$ ($R^2 = 0.742$, P<0.001) เมื่อ y คือ ค่าเป็นสีแดง (a*) ของไข่แดงที่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX และ x คือ ค่าเป็นสีแดง (a*) จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ดังแสดงใน **Table 2** และ **Figure 3** และเมื่อทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่า b* ของไข่แดงจากเครื่องวัดสีและค่าสีจากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop พบว่า ค่า b* ของไข่แดงจากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX มีสหสัมพันธ์เป็นบวกกับค่า L*, R, และ G จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (P<0.01) และ b* ของไข่แดงจากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX มีสหสัมพันธ์เป็นลบกับค่า a*, b* และ B จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (P<0.01) โดยค่า b* ที่ได้จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดกับ B จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (r=0.694, P < 0.01) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = -0.3147(x) + 56.418$ ($R^2 = 0.317$, P < 0.001) เมื่อ y คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของไข่แดงที่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX และ x คือ ค่าสีฟ้า/น้ำเงิน (B) จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ดังแสดงใน **Table 2** และ **Figure 4**



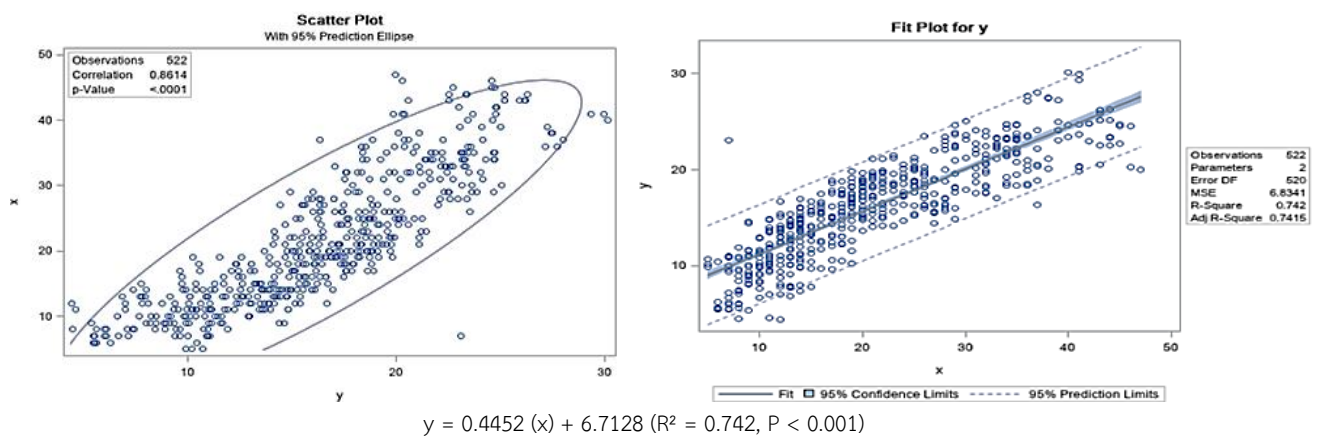
y = yolk color score from yolk color fan and x = a* value generated by the software Adobe Photoshop

Figure 1 Correlation and regression analysis between yolk color score from yolk color fan and a* value from photocolometric method



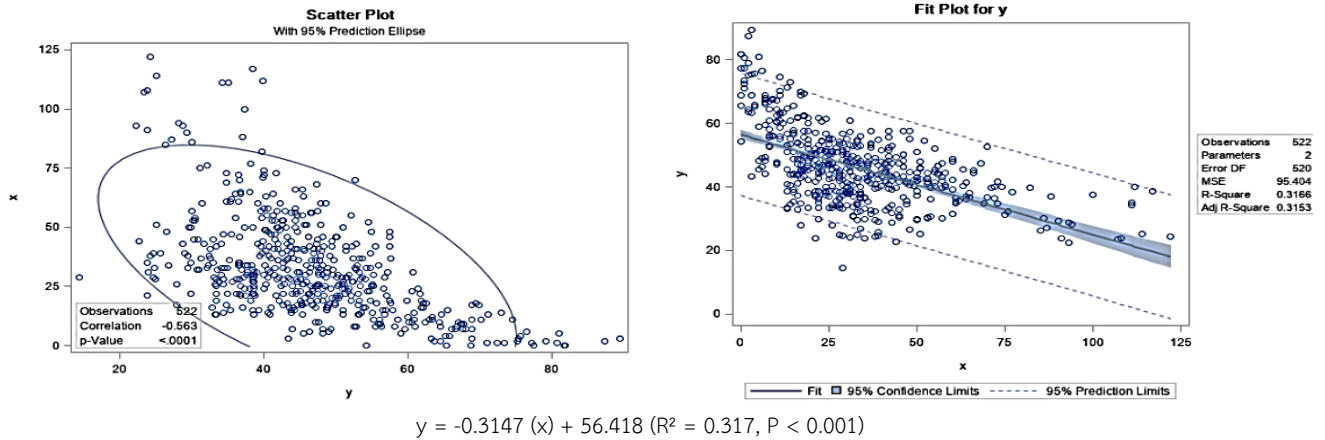
y = Lightness (L*) from colorimeter and x = G value generated by the software Adobe Photoshop

Figure 2 Correlation and regression analysis between Lightness (L*) from colorimeter and G value from photocolometric method



y = Redness (a*) from colorimeter and x = a* value generated by the software Adobe Photoshop

Figure 3 Correlation and regression analysis between Redness (a*) from colorimeter and a* value from photocolometric method



y = Yellowness (b*) from colorimeter and x = B value generated by the software Adobe Photoshop

Figure 4 Correlation and regression analysis between Yellowness (b*) from colorimeter and B value from photocolometric method

การทดลองก่อนหน้าที่ยพยายามพัฒนาวิธีการตรวจวัดสีด้วยการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย โดยการนำข้อมูลของภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลในหลายรูปแบบจากการวิเคราะห์คุณลักษณะของภาพ รวมถึงการพัฒนาคุณสมบัติของภาพด้วยการประมวลผลทางภาพถ่าย (Image processing) หลายขั้นตอน เช่น การปรับปรุงภาพและการแยกภาพ เป็นต้น จากนั้นจึงนำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์และแสดงผลออกมาในรูปแบบทางสถิติ (Tomasevic et al., 2019) แล้วนำสีที่ได้จากการประเมินด้วย CVS มาใช้เปรียบเทียบกับค่าสีที่วัดจากเครื่องวัดสีมาตรฐานซึ่งให้ผลของค่าสีที่แตกต่างกัน โดย Girolami et al. (2013) ทำการเปรียบเทียบวิธีวัดสีของเนื้อโค เนื้อสุกร และเนื้อไก่ โดยใช้ทั้งเครื่องวัดสีและระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย (CVS) พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ที่วัดด้วยเครื่องวัดสีสูงกว่าค่าที่วัดได้จากระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย ทั้งนี้มีคำอธิบายที่น่าสนใจเกี่ยวกับการวัดสี ที่เชื่อมโยงกับแสงโดยการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวัดสีโดยใช้ทั้งเครื่องวัดสีมีการสัมผัสวัตถุโดยตรงเพื่อให้แสงจากเครื่องวัดสีแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างวัตถุ ทั้งนี้หากดัชนีการหักเหของแสงไม่สม่ำเสมอ การหักเหของแสงมีค่าสูง และเกิดการสะท้อนกลับไปยังพื้นผิวของวัตถุแสงที่สะท้อนและหักเหได้ อาจส่งผลให้แสงมีการเปลี่ยนแปลงและมีผลต่อการวัดค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงด้วย ดังนั้นในการทดลองนี้ได้พยายามลดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวโดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจากสองแหล่ง คือ ข้อมูลระหว่างวิธีการวัดสีมาตรฐานและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ซึ่งแม้ว่าสีของภาพถ่ายจะมีการสะท้อนและหักเหของแสง หากแต่การมีภาพถ่ายจำนวนมากที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองได้ ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองสามารถใช้อ้างอิงในการวัดสีของภาพถ่ายที่แม่นยำในครั้งถัดไปได้ ทั้งนี้ผลการทดลองนี้พบความสัมพันธ์ของสีของไข่แดงกับค่าสี L* a* และ b* สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่อธิบายความสัมพันธ์ของสีวัตถุกับค่าสี L*, a* และ b* จากการทดลองของอรุณทิพย์และคณะ (2555) รายงานถึงสหสัมพันธ์ทางลบของลักษณะปริมาณแอนโทไซยานินกับค่าสี L* และ b* อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (r = -0.69 และ -0.61) ตามลำดับ ส่วนค่าสี a* มีสหสัมพันธ์ทางบวกของลักษณะปริมาณแอนโทไซยานิน (r = 0.60) นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงสหสัมพันธ์ทางบวกระหว่างสีของสโตรเบอร์รี่กับค่าสี a* และ b* (Hernanz et al., 2008) นอกจากนี้การทดลองนี้ยังแสดงความสัมพันธ์ของค่าสี L*, a* และ b* จากเครื่องวัดสีกับของค่าสี G a* และ B ของวิธีการวัดสีของภาพถ่ายตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Dvořák et al., (2009) ที่รายงานถึงความสัมพันธ์ของสีไข่แดง คือ ค่าความสว่างมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นสีเหลือง ซึ่งค่าความเป็นสีเหลืองระบบ CIEAB ก็สามารถเทียบเคียงได้กับค่าสีเขียว (G) ในระบบ RGB ผลการทดลองครั้งนี้ยังแสดงความสัมพันธ์ของสีที่วัดได้จากวิธีมาตรฐานและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าของ Mendoza and Aguilera (2004) ที่รายงานถึงสหสัมพันธ์ของค่าสี L*, a* และ b* ของ

กล้วยสุกที่วัดด้วยเครื่องวัดสี (Hunter lab) และ ค่าสี L*, a* และ b* ของกล้วยสุกจาก Computer vision system (CVS) (ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย $R^2 = 0.804, 0.972$ และ 0.609 ตามลำดับ) นอกจากนี้ Sun et al. (2016) รายงานถึงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของค่าสีของเนื้อหูกที่วัดด้วยเครื่องวัดสีและค่าสีที่วัดโดยใช้ CVS คือ ค่าสี L* (0.91), a* (0.80) และ b* (0.66) ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับงานทดลองของ Barbin et al., (2015) ที่วิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการวัดสีเนื้อไก่ด้วยเครื่องวัดสีและค่าสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัล พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย $R^2 = 0.99$ สำหรับค่าสี L* ส่วนค่าสี a* และ b* มีค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย $R^2 = 0.74$ และ 0.88 ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าคะแนนสีไข่แดงจากพัคสีและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงเพื่อประเมินสีไข่แดงของไก่ไข่

การทดลองครั้งนี้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ร่วมกับการใช้ค่าสีที่วัดได้แทนค่าในสมการใน Figure 1, 2, 3 และ 4 พบว่า วิธีการวัดสีของไข่แดงด้วยการวัดสีของภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ให้ผลตรวจวัดค่าคะแนนสีไข่แดง รวมถึงค่าสี L*, a*, และ b* ที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับวิธีการตรวจวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 3 ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับหลายงานการทดลองก่อนหน้านี้ กล่าวคือ Choodum et al. (2014) รายงานถึงการทดสอบสีร่วมกับกล้องดิจิทัลในตัวบนโทรศัพท์มือถือเพื่อตรวจสอบหาสารเมทแอมเฟตามีน โดยใช้ข้อมูลสีพื้นฐาน RGB โดยใช้แอปพลิเคชันที่ติดตั้งบนโทรศัพท์มือถือและอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม RGB กับผลิตภัณฑ์สีของสารเมทแอมเฟตามีน ซึ่งผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์สีกล้องดิจิทัลในตัวบนโทรศัพท์มือถือมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ในการทดสอบภาคสนามได้ อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่เปรียบเทียบวิธีการวัดสีระหว่างเครื่องวัดสีมาตรฐานกับการวิเคราะห์สีของภาพด้วยคอมพิวเตอร์โดยวัตถุที่ใช้วัด คือ กล้วยสุก (Mendoza and Aguilera, 2004) และผลมะเขือเทศ (Sadd et al., 2016) พบว่า การวิเคราะห์สีของภาพ กล้วยสุกและผลมะเขือเทศด้วยคอมพิวเตอร์สามารถใช้เป็นวิธีการทางเลือกได้เทียบเท่ากับวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐาน

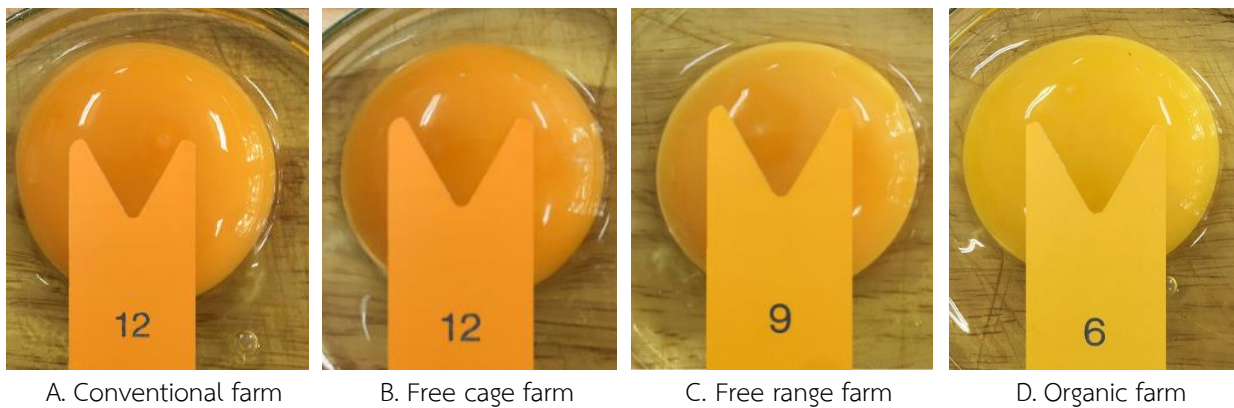


Figure 5 Yolk color of laying hens from different rearing systems

Table 3 Effect of method assessment on egg yolk color of laying hens

Egg yolk color	Yolk color assessment		P-value	SEM*
	Standard method: Yolk color fan and Colorimeter (Mini Scan ZX)	Photocolorimetric method with equation		
Conventional farm				
-Yolk color score	11.669 ± 0.542	11.391 ± 0.510	0.187	0.102
-Lightness (L*)	55.326 ± 1.043	56.253 ± 1.499	0.061	0.264
-Redness (a*)	18.439 ± 1.106	18.377 ± 1.172	0.887	0.339
-Yellowness (b*)	45.594 ± 3.976	46.620 ± 1.412	0.517	0.741
-Chroma	0.166 ± 0.015	0.157 ± 0.017	0.155	0.007
-Hue angle	0.185 ± 0.016	1.194 ± 0.018	0.151	0.003
Free cage farm				
-Yolk color score	12.204 ± 1.416	11.625 ± 0.730	0.237	0.228
-Lightness (L*)	54.680 ± 1.869	54.591 ± 1.472	0.896	0.314
-Redness (a*)	19.771 ± 1.191	19.643 ± 1.768	0.815	0.252
-Yellowness (b*)	45.822 ± 4.020	46.168 ± 2.827	0.809	0.661
-Chroma	0.190 ± 0.033	0.183 ± 0.033	0.587	0.006
-Hue angle	1.162 ± 0.030	1.247 ± 0.263	0.155	0.028
Free range farm				
-Yolk color score	9.026 ± 0.679	9.580 ± 0.780	0.054	0.137
-Lightness (L*)	59.490 ± 1.797	58.113 ± 2.300	0.082	0.374
-Redness (a*)	13.931 ± 1.375	15.139 ± 2.311	0.090	0.327
-Yellowness (b*)	39.105 ± 3.521	40.397 ± 4.057	0.391	0.673
-Chroma	0.129 ± 0.017	0.140 ± 0.023	0.128	0.004
-Hue angle	0.178 ± 0.224	1.213 ± 0.023	0.642	0.033
Organic farm				
-Yolk color score	6.943 ± 0.974	7.222 ± 0.697	0.422	0.162
-Lightness (L*)	58.826 ± 1.306	59.800 ± 1.267	0.072	0.247
-Redness (a*)	10.937 ± 2.134	11.793 ± 0.977	0.241	0.297
-Yellowness (b*)	46.463 ± 3.496	47.075 ± 5.197	0.704	0.741
-Chroma	0.058 ± 0.017	0.064 ± 0.057	0.323	0.003
-Hue angle	1.341 ± 0.037	1.324 ± 0.031	0.212	0.007

* Standard error of mean

ในการทดลองครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นถึงผลการทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของการวัดสีไข่แดงของไข่ไก่ที่แตกต่างกันหลายระดับจากไข่ไก่ที่มาจากระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน เช่น การเลี้ยงไก่ไขบนกรงตับ การเลี้ยงไก่แบบปล่อยอิสระภายในโรงเรือน การเลี้ยงแบบปล่อยอิสระ และการเลี้ยงไก่แบบอินทรีย์ เป็นต้น พบว่า วิธีการวัดค่าสีทั้งสองวิธี คือ วิธีการวัดด้วยเครื่องวัดสีและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ร่วมกับการใช้ค่าสีที่วัดได้แทนค่าในสมการให้ผลการวัดค่าคะแนนสี รวมถึงค่า L^* , a^* , และ b^* ของไข่แดงจากระบบการเลี้ยงที่ใกล้เคียงกัน โดยปัจจุบันสีของไข่แดงถูกนำไปใช้ในการเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของไข่ไก่และมีผลโดยตรงต่อความต้องการไข่ไก่ ทั้งนี้ไข่แดงที่มีสีเข้มมากหรือซีดเกินไปเป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสม หลายงานวิจัยก่อนหน้านี้ชี้ให้เห็นว่าอาหารของไก่ไข่ คือ ปังจี้หลักที่มีผลต่อสีของไข่แดง กล่าวคือ สีไข่แดงแปรผันโดยตรงต่อปริมาณของเม็ดสีแคโรทีนอยด์ที่แม่ไก่ได้รับจากอาหาร (Georgieva-Nikolova and Stoykova, 2020) จากรายงานก่อนหน้านี้กล่าวถึงลักษณะสเปกตรัมของไข่แดงที่มองเห็นได้อยู่ระหว่างช่วง 500-780 นาโนเมตร (Lukanov et al., 2019) จากรายงานของอัจฉราและมณฑล (2556) กล่าวว่า ปังจี้ที่มีผลต่อสีของไข่แดง เช่น ปริมาณของไขมัน วิตามินเอ แคลเซียมการเกิดกระบวนการออกซิเดชันในอาหาร และฤดูกาลที่เลี้ยง ทั้งนี้การสะสมสารสีในส่วนของไข่แดงเกิดจากสารที่เรียกว่าแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) และโครโมพลาสต์ (Chromoplast) ของผลไม้ ดอกไม้ และใบพืช รวมถึงพบได้ในสัตว์จุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสงได้ (Laudadio et al., 2014) โดยปกติแล้วร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้เองในร่างกาย ดังนั้นการเพิ่มสีของไข่แดงจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยสารสีที่อยู่ในอาหาร ทั้งนี้แหล่งของแคโรทีนอยด์ในอาหารตามธรรมชาติมาจากข้าวโพดในสูตรอาหาร นอกจากนี้แคโรทีนยังสามารถมาจากหญ้าในกรณีการเลี้ยงไก่แบบปล่อย รวมถึงแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ (เช่นแคโรทีลล์สีเหลืองและสีแดง) และ/หรือแคโรทีนอยด์จากธรรมชาติ (เช่น ดาวเรือง) ที่สามารถเพิ่มเข้าไปในอาหารเพื่อเพิ่มสีไข่แดงได้ ทั้งนี้สารกลุ่มแคโรทีนอยด์เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอสามารถละลายในไขมันและดูดซึมเข้าไปในลำไส้เล็กจากนั้นจึงส่งผ่านกระแสเลือดมายังตับและสะสมสารสีในไข่แดง (อัจฉรา และมณฑล, 2556) อีกทั้งแคโรทีนอยด์มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (free radical) (Englmaierová et al., 2014) นอกจากนี้หลายงานวิจัยยังชี้ให้เห็นถึงผลของระบบการเลี้ยงไก่ไข่ที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อความแตกต่างของลักษณะสเปกตรัมของไข่แดง (Titova et al., 2015) จากงานวิจัยของ Krawczyk and Gornowicz (2010) รายงานว่า ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยภายในโรงเรือนด้วยอาหารสำเร็จรูปมีคะแนนสีของไข่แดงสูงกว่าไข่ไก่จากการเลี้ยงไก่แบบปล่อย อย่างไรก็ตาม Castellini et al. (2006) รายงานว่า ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยมีสีของไข่แดงเข้มกว่าไข่ไก่จากการเลี้ยงบนกรงตับ เนื่องจากไก่ที่เลี้ยงแบบปล่อยมีการจิกกินหญ้า ดอกไม้ และได้รับปริมาณสารแคโรทีนอยด์จากแหล่งสารสีธรรมชาติเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในช่วงฤดูร้อนมีผลต่อค่าสีของไข่แดงของไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อย เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีผลต่อปริมาณการกินได้ของไก่ หากแต่ไม่ส่งผลต่อค่าสีของไข่แดงของไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกรงตับหรือภายในโรงเรือน อนึ่งรูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่ตามหลักสวัสดิภาพสัตว์ได้รับความนิยมนำมาทดแทนการเลี้ยงไก่ไขบนกรงตับแบบดั้งเดิม (Conventional system) (Englmaierová et al., 2014) เนื่องจากช่วยลดความเครียดของไก่และส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัวไก่ ผลผลิตไข่ และคุณภาพของไข่ไก่ได้ดีกว่าการเลี้ยงไก่ไขบนกรงตับที่เลี้ยงไก่แบบประหยัดพื้นที่แต่ส่งผลให้ไก่ไข่ไม่สามารถขยับตัว หรือแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้ (สุชาติและคณะ, 2558) โดยมีรูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่ทางเลือกต่างๆ เช่น การเลี้ยงแบบปล่อยภายในโรงเรือน (Free cage system) (Dikmen et al., 2016) การเลี้ยงไก่ไขแบบปล่อยอิสระ (Free range system) ให้มีความเป็นอยู่อย่างธรรมชาติ รวมถึงการเลี้ยงแบบอินทรีย์ (Organic system) ซึ่งเป็นการเลี้ยงไก่ไขแบบปล่อยอิสระในพื้นที่อินทรีย์ที่ไก่ไข่สามารถแหล่งสารสีธรรมชาติการจิกกินหญ้า ดอกไม้ และใบไม้ นอกเหนือจากการได้รับน้ำและอาหารอินทรีย์ที่มีสารสีจากวัตถุดิบอาหาร เช่น ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองอินทรีย์ เป็นต้น (Anderson, 2009) ทั้งนี้ในปัจจุบันมีแนวโน้มของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์โดยคำนึงถึงสวัสดิภาพสัตว์ที่มาจากกรเลี้ยงแบบปล่อยอิสระตามธรรมชาติและ การเลี้ยงแบบอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น (Singh et al., 2009)

สรุป

ค่าคะแนนสีของไข่แดงจากพัคสีมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า a^* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($r = 0.923$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ $y = 0.1033(x) + 37.389$ ($R^2 = 0.851$) อีกทั้งค่า L^* , a^* และ b^* จากเครื่องวัดสีมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า G , a^* , และ B จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop. โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.694, 0.869, และ -0.563 ตามลำดับ และ การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายแสดงสัมประสิทธิ์การถดถอย (R^2) เท่ากับ 0.481, 0.742, และ 0.317 ตามลำดับ นอกจากนี้การทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าวิธีการวัดสีของภาพถ่ายร่วมกับสมการสำหรับการประเมินสีไข่แดงให้ผลการวัดค่า L^* , a^* , b^* องศาสี และความเข้มสีจากมีค่าใกล้เคียงกันกับการวัดด้วยอุปกรณ์วัดมาตรฐาน (พัคสีและเครื่องวัดสี) องค์ความรู้นี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือทางเลือกในการวัดค่าคะแนนสีและสีไข่แดงได้ ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนทางไกลในช่วงสถานการณ์โควิด 19 ทดแทนการใช้เครื่องวัดสีที่มีราคาแพง รวมถึงสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการวัดสีไข่แดงที่มีความแม่นยำสำหรับการเรียนรู้ต่อไปในอนาคต

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณศูนย์นวัตกรรมการศึกษาแห่งมหาวิทยาลัยศิลปากรที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนโครงการพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2563-2564 ภายใต้โครงการ “การพัฒนาวิธีการวัดสีของภาพถ่ายสำหรับประเมินสีไข่แดงของไข่ไก่เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนของนักศึกษาสัตวศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากรในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อโควิด-19” รวมทั้งขอขอบคุณนักศึกษารายวิชา 710 372 เทคโนโลยีโรงพักและการจัดการฟักไข่ที่ให้ความร่วมมือในการกระบวนกรวิจัยในระหว่างการเรียนการสอน ทั้งยังขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ห้องปฏิบัติการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่อำนวยความสะดวกจนโครงการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- มนต์ชัย ดวงจินดา. 2544. การใช้โปรแกรม SAS เพื่อวิเคราะห์งานวิจัยทางสัตว์. ปรับปรุงครั้งที่ 2. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.
- ยุทธศักดิ์ แซ่ม่วย ทศพล ตะเกาทอง และจิระพงษ์ เจริญลา. 2562. การใช้โทรศัพท์มือถือเป็นเครื่องมือสำหรับตรวจวัดที่รวดเร็วของโครเมียมเยกขาวาเลน: การหาสภาวะที่เหมาะสม. น. 2687-2693. ใน: รายงานสืบเนื่องการประชุมสัมมนาวิชาการ (Proceedings) การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17. 21 กรกฎาคม 2560. ณ ศูนย์วัฒนธรรมภาคเหนือตอนล่าง วังจันทน์ริเวอร์วิว มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก.
- รุจิรา เปียงใจ ปัทมาภรณ์ ทองแก้ว สรวุฒิ สมนาม และ มิกิ กัณณะ. 2562. ศึกษาการวิเคราะห์ความเป็นกรดในกาแพโดยวิธีการไทเทรตแบบอาศัยการไหลและสังเกตสีที่จุดยุติโดยการใช้โทรศัพท์มือถือ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- สัญญา จตุรสิทธิ์ธา. 2555. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- สุชาดา ยอดพรม, สุวิมล เมืองชุม, สุภารักษ์ คำพูน, สโรช แก้วมณี และ จำเริญ เทียงธรรม. 2558. อิทธิพลของความหนาแน่นและกรดทับเสริมคอนต่อการแสดงพฤติกรรมในช่วงวันและประสิทธิภาพการผลิตในระบบการเลี้ยงแบบกรงตับในไก่ไข่. น. 865-872. ใน: เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53: สาขาพืช, สาขาสัตว์, สาขาสัตวแพทยศาสตร์, สาขาประมง, สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์. 3-6 กุมภาพันธ์ 2558. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร.

- อรุณทิพย์ เหมะจุลิน สกฤตกานต์ สิมลา สุรศักดิ์ บุญแต่ง และสุดาทิพย์ อินทร์ชื่น. 2555. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (L^* , a^* และ b^*) กับปริมาณแอนโทไซยานินในเชื้อพันธุ์กรรมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง. แก่นเกษตร. 40(ฉบับพิเศษ 4): 59-64.
- อัจฉรา นิยมเดชา และมงคล คงเสน. 2556. เมทาบอลิซึมและคุณสมบัติของแคโรทีนอยด์ในการเพิ่มความเข้มสีไข่แดง. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์. 5: 112-121.
- Anderson, K.E. 2009. Overview of natural and organic egg production: Looking back to the future. *Journal of Applied Poultry Research*. 18: 348–354.
- Anzalone, G.C., A.G. Glover, and J.M. Pearce 2013. Open-Source Colorimeter. *Sensors*. 13: 5338-5346.
- Barbin, D.F., Kaminishikawahara, C.M. Soares, A.L. Mizubuti, I.Y. Grespan and M. Shimokomaki. 2015. Prediction of chicken quality attributes by near infrared spectroscopy. *Food Chemistry*. 168: 554-560.
- Barbosa, V. C., A. Gaspar, L.F.L. Calixto, and T.S.P. Agostinho. 2011. Stability of the pigmentation of egg yolks enriched with omega-3 and carophyll stored at room temperature and under refrigeration. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40: 1540-1544.
- Castellini, C., F. Perella, C. Mugnai and A. Dal Bosco. 2006. Welfare, productivity and qualitative traits of egg in laying hens reared under different rearing systems. p.p.1-6. In: *Proceedings of the 12th European conference on poultry*. 10-14 September 2006. Verona Italy.
- Choodum, A., K. Parabun, N. Klawach, N. N. Daeid, P. Kanatharana, and W. Wongniramaikul. 2014. Real time quantitative colorimetric test for methamphetamine detection using digital and mobile phone technology. *Forensic Science International*. 235: 8-13.
- CIE. 1986. CIE Colorimetry. 2nd Edition. Commission Internationale de l'Eclairage, Vienna.
- Dikmen, B.Y., A. Ipek, Ü. Şahan, M. Petek, and A. Sözcü. 2016. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poultry Science*. 95: 1564–1572.
- Dvořák, P., H. Musilová, and I. Svarcov. 2001. On-line measurements of colour of pork. *Fleischwirtschaft*. 81: 89–91.
- Dvořák, P., J. Doležalová and P. Suchý. 2009. Photocolorimetric determination of yolk colour in relation to selected quality parameters of eggs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89: 1886–1889.
- Dvořák, P., P. Suchý, E. Straková, and J. Doležalová. 2010. Variation in egg yolk colour in different systems of rearing laying hens. *Acta Veterinaria Brno*. 79: S13–S19.
- Englmaierová, M., E. Tumová, V. Charvátová, and M. Skřivan. 2014. Effects of laying hens housing system on laying performance, egg quality characteristics, and egg microbial contamination. *Animal Science*. 9: 345–352.
- Gábor, K., and E. Péter. 2015. Implementation of mobile phones in education. *Research in Pedagogy*. 5: 98-108.
- Georgieva-Nikolova, M., and V. Stoykova. 2020. Application of mobile devices in distance learning. pp. 1-6. In: 348-354. *The 15th international conference on virtual learning ICVL*. 31 October 2020. University of Bucharest, Bucharest, Romania.
- Girolami, A., F. Napolitano, D. Faraone, and A. Braghieri. 2013. Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science*. 93: 111–118.

- Gómez-García, M., R. Soto-Varela, J. Morón-Marchena, and M. del Pino-Espejo. 2020. Using mobile devices for educational purposes in compulsory secondary education to improve student's learning achievements. *Sustainability*. 12: 3724.
- Govindasamy, P., M. Yunus, and H. Hashim. 2019. Mobile assisted vocabulary learning: examining the effects on students' vocabulary enhancement. *Universal Journal of Educational Research*. 7: 85-92.
- Hernanz, D., Á.F. Recamales, A.J. Meléndez-Martínez, M.L. González-Miret, and F.J. Heredia. 2008. Multivariate statistical analysis of the color-anthocyanin relationships in different soilless-grown strawberry genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 2735–2741.
- Krawczyk, J., and E. Gornowicz. 2010. Quality of eggs from hens kept in two different free-range systems in comparison with a barn system. *European Poultry Science*. 74: 151-157.
- Laudadio, V., E. Ceci, N.M.B. Lastella, M. Introna, and V. Tufarelli. 2014. Low-fiber alfalfa (*Medicago sativa* L.) meal in the laying hen diet: Effects on productive traits and egg quality. *Poultry Science*. 93: 1868–1874.
- Liu, D., and Q. Zhang. 2019. Mobile learning and evaluation in college teaching. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. 351: 687-690.
- Liu, Y. 2020. Use of mobile phones in the classroom by college students and their perceptions in relation to gender: A case study in China. *International Journal of Information and Education Technology*. 10: 320-326.
- Lukanov, H., A. Genchev, and P. Kolev. 2019. Egg quality traits in WG, GG and GL Japanese quail populations. *Trakia Journal of Sciences*. 1: 49-55.
- Mancini, R. and M. Hunt. 2005. Current research in meat color. *Meat Science*. 71: 100–121.
- Mendoza, F., and J.M. Aguilera. 2004. Application of image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of Food Science*. 69: 471-477.
- Pathare, P.B., U.L. Opara and F.A. Al-Said. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food Bioprocess Technology*. 6: 36–60.
- Petracci, M., M. Betti, M. Bianchi and C. Cavani. 2004. Color variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. *Poultry Science*. 83: 2086–2092.
- Quevedo, R. A., J. M. Aguilera and F. Pedreschi. 2010. Color of salmon fillets by computer vision 5 and sensory panel. *Food Bioprocess Technology*. 3: 637-643.
- R Core Team. 2020. R. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Austria.
- Saad, A.G., A. Iberahim, and N. El-Biale. 2016. Internal quality assessment of tomato fruits using image colour analysis. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 18: 339-352.
- Singh, R, K. M. Cheng and F. G. Silversides. 2009. Production performance and egg quality of four strains of laying hens kept in conventional cages and floor pens. *Poultry Science*. 88: 256–264.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie (1992). *Principles and Procedure Statistics*. 2nd Edition. McGraw-Hill Book Co., Inc., Singapore.

- Sun, X., J. Young, J.H. Liu, L. Bachmeier, R.M. Somers, K.J. Chen, and D. Newman. 2016. Prediction of pork color attributes using computer vision system. *Meat Science*. 113: 62–64.
- Titova, T., V. Nachev, and Ch. Damyanov, 2015. Non-destructive diagnosis of food products using neural-genetic algorithm. *International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems*. 7: 55-61.
- Tomasevic, I., V. Tomovic, B. Milovanovic, J. Lorenzo, V. Đorđević, N. Karabasil, and I. Djekic. 2019. Comparison of a computer vision system vs. traditional colorimeter for color evaluation of meat products with various physical properties. *Meat Science*. 148: 5-12.
- Trinderup, C.H. and Y.H.B. Kim. 2015. Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system. *Food Research International*. 71: 100–107.
- Wan Den Brand, H., H.K. Parmentier, and B. Kemp. 2004. Effects of housing system (outdoor vs cages) and age of laying hens on egg characteristics. *British Poultry Science*. 45: 745-752.
- Zlatev, Z., and S. Baycheva. 2017. Application of educational technical tools for analysis the color of essential oils from white oregano. p.p. 141-144. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Virtual learning (ICVL 2017)*, Sibiu, Romania.