



วิธีการวัดสีของภาพถ่ายเป็นเครื่องมือทางเลือกสำหรับการประเมินสีเนื้อไก่

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี^{1, #} สิริวิญญู ศรีตุลนันท¹ สรณกร คุณขาว¹ ณภัทร์ คนชาน¹ ออมสิน สระโพธิ์ทอง¹
สรณัฐ โชตินิพัทธ์¹ ภูธฤทธิ์ วิทยาพัฒนานุรักษ์ รักษาศิริ¹ จินดา กลิ่นอุบล² ชาญชัย อรรถผาติ³ และอรรพรรณ เขาวลิต⁴

¹คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120

²ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

³คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120

⁴ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อ.เมืองนครปฐม จ.นครปฐม 73000

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มุ่งทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่วัดได้วิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่จากการวัดด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop นอกจากนี้การศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำจากเครื่องวัดสีและเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสำหรับการประเมินสีเนื้อไก็ยังถูกทดสอบในการทดลองนี้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นสหสัมพันธ์เชิงบวกของค่าความสว่างของเนื้อไก่จากวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีกับค่าสีเขียว จากวิธีการวัดสีของภาพถ่าย ($r=0.576$) ($P<0.01$) ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย $y = 0.1033(x) + 37.389$ ($R^2 = 0.3321$) ($P<0.0001$) นอกจากนี้ยังพบสหสัมพันธ์เชิงลบของค่าความเป็นสีแดงของเนื้อไก่จากวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีกับค่าสีเขียวจากวิธีการวัดสีของภาพถ่าย ($r=-0.647$) ($P<0.01$) ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย $y = -0.078x + 10.066$ ($R^2 = 0.4193$) ($P<0.0001$) นอกจากนี้การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการประเมินสีมีความใกล้เคียงกันระหว่างค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง องศา และ ความเข้มสีของเนื้อไก่จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายร่วมกับสมการและวิธีการวัดสีเนื้อไก่ด้วยเครื่องวัดสี ($P>0.05$)

คำสำคัญ: การวัดสีของภาพถ่าย เนื้อไก่ การประเมินสี

[#]ผู้รับผิดชอบบทความ

สัตวแพทยมหาวิทยาลัย. 2564. 16(1): 147-158.

E-mail address: Nopparatmaitree_m@silpakorn.edu

The Photocolorimetric Methodology as an Alternative Tool for Chicken Meat Color Assessment

Manatsanun Nopparatmaitree^{1,#}, Sirawit Sritulanond¹, Salankorn Khunkhao¹, Napat Konchan¹, Aomsin Srapothong¹, Soranot Chotnipat¹, Bhutharit Vittayaphathananurak Raksasiri¹, Jinda Glinubon², Chanchai Arkaphati³, and Orawan Chaowalit⁴

¹Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Cha-am, Phetchaburi 76120; ²Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchatani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190; ³Faculty of Information and Communication Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Cha-am, Phetchaburi 76120; ⁴Department of Computing, Faculty of Sciences, Silpakorn University, Sanam Chandra Palace Campus, Muang, Nakhon Pathom 73000

Abstract: This study was to determine if a relationship exists between chicken meat color values from colorimeter and photocolorimetric values from generated by the software Adobe Photoshop. In addition, Comparisons of accuracy from the colorimeter and a technique for image analysis in evaluating the color of chicken meat were investigated in this experiment. The result showed that the lightness values of chicken meat from colorimeter was positively correlated with green values from photocolorimetric method ($r = 0.576$) ($P < 0.01$) with the form of the linear regression equation, $y = 0.1033(x) + 37.389$ ($R^2 = 0.3321$) ($P < 0.0001$). Additionally, redness values of chicken meat from colorimeter were negatively correlated with green values from photocolorimetric method ($r = -0.647$) ($P < 0.01$) with the form of the linear regression equation, $y = -0.078x + 10.066$ ($R^2 = 0.4193$) ($P < 0.0001$). Moreover, this experiment shows that the color assessment was similar between lightness, redness, chroma and hue angle values both generated by photocolorimetric method with equation and chicken meat color values read by the colorimeter ($P > 0.05$).

Keywords: Photocolorimetric, Chicken meat, Color assessment

#Corresponding author

J. Mahanakorn Vet. Med. 2021 16(1): 147-158.

E-mail address: Nopparatmaitree_m@silpakorn.edu

บทนำ

ในปี 2562 ประเทศไทยสามารถผลิตเนื้อไก่ประมาณ 2.36 ล้านตัน เพื่อส่งออกเนื้อไก่สดและแปรรูปประมาณ 8.50 แสนตัน (Sowcharoensuk, 2020) ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของสินค้าดังนั้นผู้ผลิตและ

ผู้บริโภคเนื้อสัตว์ปีกจึงมีความต้องการประเมินลักษณะทางกายภาพเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของเนื้อไก่ จากการศึกษาท่อนำรายงานถึงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อต่อความผันแปรของคุณภาพเนื้อไก่ (Smith and Northcutt,

2009) โดยลักษณะปรากฏของอาหารที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภคมีหลายลักษณะ เช่น รูปร่าง โครงสร้าง สี และองค์ประกอบโดยรวม เป็นต้น (Girolami et al., 2013) ทั้งนี้สีของเนื้อ คือ ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญที่สุดต่อระดับความพึงพอใจ การยอมรับ และการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค (Pathare et al., 2013) อีกทั้งยังสามารถบ่งชี้ถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาและการเน่าเสียของเนื้อ (Tapp et al., 2013) โดยปกติสีของเนื้อมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ประเภทของเนื้อ ชนิดสัตว์ เพศ อายุของสัตว์ และกระบวนการฆ่าชำแหละอย่างมีมนุษยธรรม เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อปริมาณรงควัตถุไมโอโกลบิน (Myoglobin pigments) และกระบวนการทางชีวเคมีในเนื้อ (Jaturasitha, 2012) ปัจจุบันการวัดสีของเนื้อสัตว์ด้วยเครื่องวัดสี (Chromameter) ระบบ CIE L* a* และ b* ถือเป็นวิธีมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในวงวิชาการ และโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์เพื่อใช้ในการวัดสีเนื้อ สีหนัง และอื่นๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการพิจารณาถึงปริมาณไขมันในเนื้อแดงด้วยการหาปริมาณของไขมันที่แทรกอยู่ในกล้ามเนื้อ หากแต่เครื่องวัดสีระบบนี้ยังมีข้อจำกัด คือ มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นในปัจจุบันจึงเกิดแนวคิดที่หลากหลายในการพัฒนางานวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการวัดและประเมินสีของเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์ และอื่นๆ โดยอาศัยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ร่วมกับการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อให้ได้วิธีการที่ง่าย แม่นยำ และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น (Trinderup et al., 2015; Mancini and Hunt, 2005) กอปรกับด้วยการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดของเทคโนโลยีสารสนเทศและดิจิทัลส่งผลให้โทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์เนกประสงค์ที่เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตอย่างมากในยุคปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรแกรมสำหรับถ่ายภาพของโทรศัพท์มือถือที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากใช้งานง่ายและสะดวก รวมทั้งยังมีฟังก์ชันและหรือแอปพลิเคชันจำนวน

มากที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านต่างๆ รวมถึงการพัฒนาสู่การชั่ง ตวง วัด ในเชิงวิทยาศาสตร์ เช่น การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัลสำหรับการหาปริมาณของซัลไฟต์ในเครื่องดื่ม (Benedetti et al., 2015) การใช้แพลตฟอร์มโทรศัพท์มือถือเป็นเครื่องวิเคราะห์เคมีแบบพกพา (García et al., 2011) และการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของสารเมทแอมเฟตามีน (ยาบ้า) ด้วยแอปพลิเคชัน RGB ในโทรศัพท์มือถือ (Choodum et al., 2013) เป็นต้น ดังนั้นโทรศัพท์มือถือจึงเป็นหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้ในการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้วิธีการตรวจสอบสีของเนื้อไก่ในครั้งนี้ โดยมุ่งหวังประโยชน์ให้ผู้ประกอบการรายย่อยหรือผู้บริโภคสามารถเข้าถึงและใช้งานได้ ทั้งนี้งานวิจัยนี้จะนำไปสู่การอธิบายถึงสมมติฐานของการเชื่อมโยงประเด็นการวัดสีของเนื้อไก่กับการวัดสีภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือเพื่อพัฒนาเป็นวิธีตรวจวัดสีของเนื้อไก่ที่สามารถใช้งานง่าย มีความสะดวก รวดเร็ว ต้นทุนต่ำ และเป็นเทคโนโลยีที่ทุกคนสามารถเข้าถึงได้ (Technology for all)

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สีของเนื้อไก่ด้วยวิธีการวัดสีภาพถ่าย (Photocolorimetric method) จากโทรศัพท์มือถือ โดยมุ่งศึกษาการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างค่าสีวัดจากวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือ รวมถึงการเปรียบเทียบวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ต่อค่าสีของเนื้อไก่ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสู่การพัฒนาแอปพลิเคชันในการวัดสีเนื้อไก่ในอนาคต

วิธีการทดลอง

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างค่าสีเนื้อไก่จากเครื่องวัดสีและค่าสีเนื้อไก่ที่ได้จากการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่

ทำการวัดค่าสีของเนื้อไก่ด้วย Mini Scan ZX chromameter ซึ่งแสดงผลความสว่าง (Lightness; L^*) มีค่าในช่วง 0-100 (โดยค่า L^* มีค่าเป็น 0 หมายถึง สีดำ (Darkness) ถ้ามีค่าเป็น 100 หมายถึง สว่าง (Lightness) ส่วนค่าความเป็นสีแดง-น้ำเงิน (Redness: a^*) (โดยค่า $+a^*$ วัดดูแสดงผลเป็นสีแดง (Red) และ $-a^*$ แสดงผลเป็นสีเขียว (Green)) และค่าความเป็นสีเหลือง-เขียว (Yellowness: b^*) (โดยค่า $+b^*$ วัดดูแสดงผลเป็นสีเหลือง (Yellow) และ $-b^*$ แสดงผลเป็นสีน้ำเงิน (Blue)) (Kralik G. et al, 2017) โดยเริ่มต้นการสอบเทียบด้วยแผ่นสอบเทียบสีขาว ($L^* = 97.83$, $a^* = -0.45$, $b^* = +1.88$) จากทำการวัดค่าสีของตัวอย่างชิ้นส่วนเนื้อไก่จำนวน 552 ตัวอย่าง แบ่งเป็น เนื้ออก สันใน และสะโพก ชิ้นส่วนละ 184 ตัวอย่าง (ไก่ 184 ตัว) ตัวอย่างละ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย โดยทำการตัดชิ้นส่วนเนื้อไก่หนา 2 เซนติเมตร และตั้งทิ้งไว้ให้เนื้อไก่สัมผัสกับอากาศประมาณ 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ($36 \pm 2^\circ\text{C}$) เพื่อให้เม็ดสีทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ (Bloomng) แล้วจึงทำการวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ตามวิธีของ Petracci et al. (2004); Quevedo et al. (2010) นอกจากนี้ทำการถ่ายภาพเนื้อไก่ด้วยโทรศัพท์มือถือ Iphone 8 plus โดยทำมุม 90 องศา กับตัวอย่างเนื้อและกำหนดระยะการถ่ายภาพ 20 เซนติเมตร ภายใต้แสงไฟภายในห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้จากมือถือไปวัดค่าสีแดง (Red: R), ค่าสีเขียว (Green: G), ค่าสีฟ้า/น้ำเงิน (Blue: B), L^* , a^* และ b^* ด้วยวิธีการวัดสีภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ตัวอย่างละ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย ตามวิธีของ Girolami et al. (2013)

นำข้อมูลสีจากวิธีการวัดทั้งสองวิธีมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson's (Pearson's correlation analysis) ระหว่างสองตัวแปรระหว่างค่า L^* , a^* และ b^* ของเนื้อไก่ที่วัดจากเครื่องวัดสี Mini Scan ZX chromameter (ตัวแปร y) และ ค่า R, G, B, L^* , a^* และ b^* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์

Adobe Photoshop (ตัวแปร x) รวมทั้งทำการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992) โดยใช้โปรแกรม SAS (University Edition) ตามวิธีของ SAS (1998)

การเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าสีเนื้อไก่จากเครื่องวัดสีและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่

การทดลองนี้ใช้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent group) ประกอบด้วย 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซ้ำ

กลุ่มที่ 1 คือ การวัดค่าสีเนื้อไก่ด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX Chromameter

กลุ่มที่ 2 คือ การวัดค่าสีเนื้อไก่ด้วยการวัดสีภาพถ่ายร่วมกับสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

ทำการวัดค่าสีของตัวอย่างเนื้ออกและเนื้อสะโพกด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX Chromameter คือ L^* , a^* และ b^* ตามวิธีของ Petracci et al. (2004) และทำการวัดค่าสีของตัวอย่างเนื้ออกและเนื้อสะโพกด้วยวิธีการวัดสีของภาพถ่าย โดยทำการถ่ายภาพเนื้อไก่ด้วยโทรศัพท์มือถือ Iphone 8 plus โดยทำมุม 90 องศา กับตัวอย่างเนื้อและกำหนดระยะการถ่ายภาพ 20 เซนติเมตร ภายใต้แสงไฟภายในห้องปฏิบัติการ แล้วจึงนำภาพถ่ายที่ได้จากโทรศัพท์มือถือไปวัดค่าสี R, G, B, L^* , a^* และ b^* (ตัวแปร x) จากการวัดสีของภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ตามวิธีของ Girolami et al. (2013) จากนั้นคำนวณหาค่า L^* , a^* และ b^* ของวิธีการวัดสีของภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ร่วมกับการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยทำการแทนค่าตัวแปร x (ค่าสี R, G, B, L^* , a^* หรือ b^* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ที่แสดงสหสัมพันธ์ (r) สูงสุด) ในสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (โดยเลือกใช้สมการที่แสดงค่า R^2 สูงสุดจากผลการทดลองที่ 1) เพื่อหาคำนวนหาค่าตัวแปร y (ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของเนื้อไก่ที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Mini Scan ZX Chromameter) ทั้งนี้

เมื่อได้ค่า L^* , a^* และ b^* จากทั้ง 2 วิธีการแล้วคำนวณหาองศาสี (Hue angle) ที่เป็นค่าแสดงถึงมุมในการตกกระทบของค่า a^* ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0-360 องศา และความเข้มสี (Chroma) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความอิ่มตัวของสี ตามวิธีของ Pathare et al. (2013)

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

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างค่าสีเนื้อไก่จากการวัดสีและค่าสีเนื้อไก่ที่ได้จากการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่

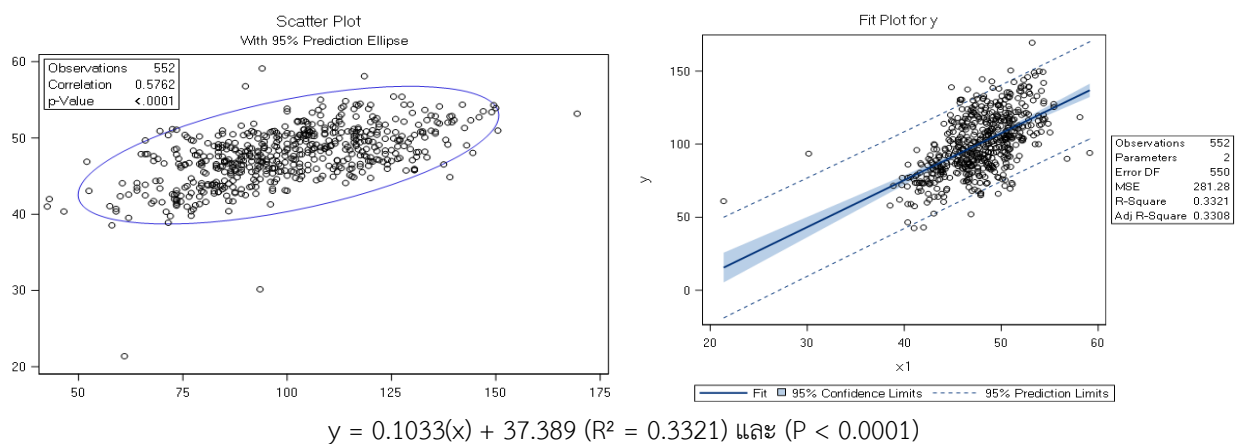
การทดลองนี้ทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างค่าสีเนื้อไก่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีและค่าสีจากการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop พบว่าค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient: r) ระหว่าง L^* ของเนื้อไก่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX เป็นบวกกับค่า L^* , b^* , R , G และ B จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($P < 0.01$) โดยค่า L^* ของเนื้อไก่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมีสหสัมพันธ์สูงสุดกับ G จากวิธีการวัดค่าสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop และมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $r = 0.576$ ($P < 0.01$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ $y = 0.1033(x) + 37.389$ และสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงเส้น $R^2 = 0.3321$ ($P < 0.0001$) เมื่อ y คือ ค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อไก่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี และ x คือ ค่าสีเขียว (G) จากวิธีการวัดค่าสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วย

ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 1

นอกจากนี้ พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่าง a^* ของเนื้อไก่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX เป็นลบกับค่า L^* , b^* , R , G และ B จากวิธีการวัดค่าสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($P < 0.01$) โดยค่า a^* ของเนื้อไก่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมีสหสัมพันธ์สูงสุดกับ G จากวิธีการวัดค่าสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop และมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $r = -0.647$ ($P < 0.01$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ $y = -0.078x + 10.066$ และสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงเส้น $R^2 = 0.4193$ ($P < 0.0001$) เมื่อ y คือ ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของเนื้อไก่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี และ x คือ ค่าสีเขียว (G) จากวิธีการวัดค่าสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 2 ส่วนค่า b^* ของเนื้อไก่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ b^* จากวิธีการวัดค่าสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop และมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $r = 0.363$ ($P < 0.01$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ $y = 0.1333x + 11.266$ และสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงเส้น $R^2 = 0.1322$ ($P < 0.0001$) เมื่อ y คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของเนื้อไก่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี และ x คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) จากวิธีการวัดค่าสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 3 ผลการทดลองครั้งนี้ให้ผลการศึกษาในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Sun et al., (2016) ที่รายงานถึงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าสี L^* (0.91) a^* (0.80) และ b^* (0.66) ของค่าสีของเนื้อหมูที่วัดจากเครื่องวัดสีและค่าสีเนื้อหมูที่วัดโดยใช้ CVS อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานทดลองของ Barbin et al., (2016) ที่วิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการวัดสีเนื้อไก่ด้วยเครื่องวัดสีและค่าสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัล

Table 1 Correlation between meat color from colorimeter (Mini Scan ZX) and meat color from photocolorimetric method

Meat color from photocolorimetric method	Meat color from colorimeter (Mini Scan ZX)					
	Lightness (L*)		Redness (a*)		Yellowness (b*)	
	Correlation	P-value	Correlation	P-value	Correlation	P-value
	Coefficients (r)		Coefficients (r)		Coefficients (r)	
Lightness (L*)	0.5580	<.0001	-0.6281	<.0001	-0.0310	0.4659
Redness (a*)	-0.4010	<.0001	0.5240	<.0001	0.1990	<.0001
Yellowness (b*)	0.1700	<.0001	-0.2824	<.0001	0.3640	<.0001
Red (R)	0.4610	<.0001	-0.5554	<.0001	0.0740	0.0804
Green (G)	0.5760	<.0001	-0.6480	<.0001	-0.0620	0.1443
Blue (B)	0.4630	<.0001	-0.4730	<.0001	-0.2680	<.0001

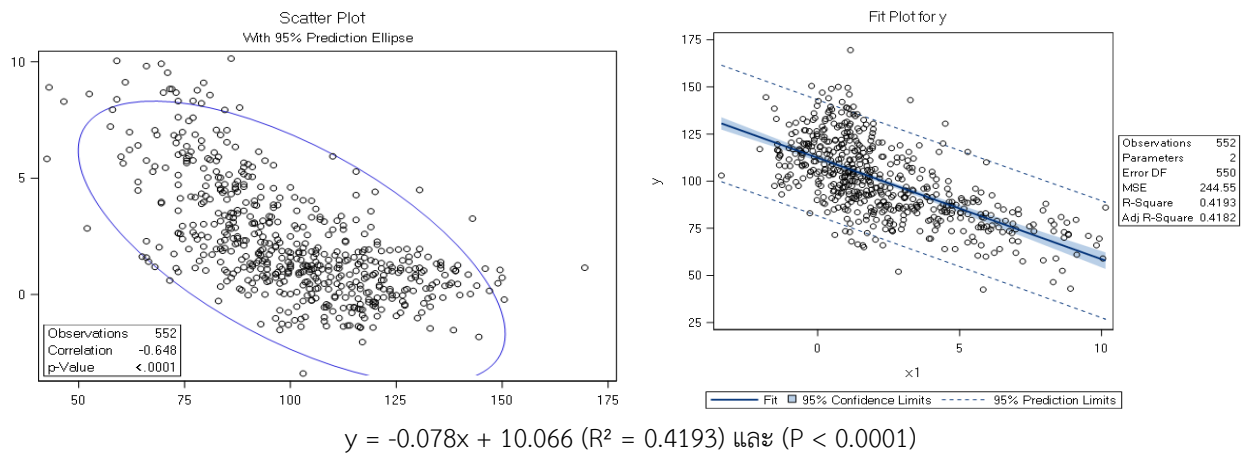


y = Lightness (L*) from colorimeter and x = G value from generated by the software Adobe Photoshop

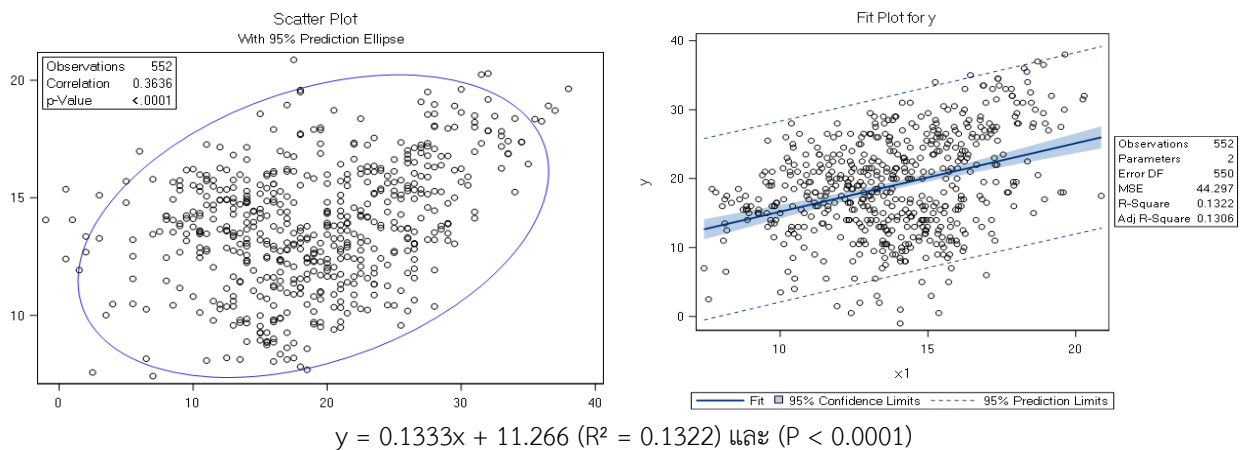
Figure 1 Correlation and regression analysis between Lightness (L*) from colorimeter and G value from photocolorimetric method

พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย $R^2=0.99$ สำหรับค่าสี L* ส่วนค่าสี a* และ b* ค่าสัมประสิทธิ์ $R^2=0.74$ และ 0.88 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสีของเนื้อส่วนใหญ่แปรผันตรงตามปริมาณไมโอโกลบินใน Sarcoplasm ของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งไมโอโกลบินจัดเป็นโปรตีนนี้ เป็นสารประกอบทางเคมีที่ไม่เสถียรและเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนไมโอโกลบินจะเปลี่ยนเป็นออกซีไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ส่งผลให้เนื้อมีสีแดงสดในทางตรงกัน

ข้ามถ้าความสามารถในการดึงของออกซิเจนต่ำจะส่งผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นน้อยและทำให้มีเมพไมโอโกลบินที่มีสีน้ำตาลก่อตัวขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้นสามารถย้อนกลับได้ โดยสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนบนผิวของเนื้อ (Girolami et al. 2013) นอกจากนี้สีของเนื้อจะแปรผันตามปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น เพศ อายุ ความเป็นกรดต่าง และลักษณะโครงสร้างของกล้ามเนื้อ เป็นต้น (Tuntivisoottikul and Chaosa, 2005) ความ



y = Redness (a^*) from colorimeter and x = G value from generated by the software Adobe Photoshop
Figure 2 Correlation and regression analysis between Redness (a^*) from colorimeter and G value from generated by photocolometric method



y = Yellowness (b^*) from colorimeter and x = b^* value from generated by the software Adobe Photoshop
Figure 3 Correlation and regression analysis between Yellowness (b^*) from colorimeter and b^* value from photocolometric method

สว่างของเนื้อ (Minolta L^*) เป็นค่าบ่งบอกความเข้มของแสง ซึ่ง L^* จะบอกถึงลักษณะความซีดจางของเนื้อในทางตรงข้ามระดับค่า L^* ที่ต่ำจะบอกถึงระดับความเข้มของเนื้อมาก ค่า L^* สามารถบ่งชี้ลักษณะเนื้อผิดปกติ ลักษณะซีด เหลว ไม่คงรูป (Pale soft exudative: PSE) หรือ เนื้อที่มีลักษณะผิดปกติคล้ำ แข็งและแห้ง (Dark Firm Dry; DFD) (Tomovic et al., 2014) สอดคล้องกับรายงานของ Zhang and Barbut (2005) พบว่า ในเนื้อไก่ควรมีค่า L^* ระหว่าง 46-53 ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะสี

เนื้อปกติ แต่ถ้าเนื้อมีค่า L^* สูงกว่า 53 จะเป็นลักษณะเนื้อผิดปกติ PSE และในทางตรงกันข้าม ถ้าค่า L^* มีค่าต่ำกว่า 46 จะเป็นลักษณะเนื้อผิดปกติ DFD และ Kissel et al. (2009) ได้ทำศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของลักษณะเนื้อ PSE ในเนื้อไก่ โดยสามารถจำแนกเนื้อไก่ที่มีลักษณะเนื้อปกติจากวัดค่าสีได้เท่ากับ L^* เท่ากับ 51.42, a^* เท่ากับ 7.26 และ b^* เท่ากับ 6.74 ตามลำดับ และเนื้อไก่ที่มีลักษณะผิดปกติ PSE ซึ่งมีค่า L^* เท่ากับ 57.63, a^* เท่ากับ 2.11 and b^* เท่ากับ 5.46 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่า ความเครียดต่อคุณภาพเนื้อสัตว์ ทางด้านสีของเนื้อ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความเหนียวนุ่มของเนื้อ เป็นต้น ลักษณะเนื้อผิดปกติ เป็นสัญญาณบ่งบอกถึงคุณภาพของเนื้อสัตว์ที่แสดงถึงความเครียดและสวัสดิภาพสัตว์ก่อนฆ่า (Carvalho et al., 2015) โดยปกติหลังจากที่สัตว์ถูกฆ่าเอาเลือดออก เกิดการย่อยสลายพลังงานที่สะสมในกล้ามเนื้อสัตว์แบบ ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic glycolysis) เปลี่ยนแปลง ไกลโคเจนเป็นกรดแลคติก ทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ มีผลทำให้ pH ของกล้ามเนื้อลดลง จากสภาพปกติ (pH 7) เป็น pH 5.6-5.8 ภายใน 24 ชั่วโมงหลังฆ่า ซึ่งทำการวัดค่า pH คือ 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังฆ่า หากค่า pH ต่ำกว่า 5.8 ภายใน 45 นาที กล้ามเนื้อสัตว์เกิดเป็นลักษณะ PSE ซึ่งการเกิดลักษณะที่ผิดปกตินี้อาจเนื่องจากสภาวะความเครียดของสัตว์จะทำให้มีการหลั่งกรดแลคติกออกมามากในกล้ามเนื้อ ซึ่งกรดแลคติกจะทำให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อลดลง ส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวทำให้มีการสูญเสียน้ำออกจากกล้ามเนื้อ และค่า pH สูงกว่า 6.0 หลังการฆ่าใน 24 ชั่วโมง พบว่า กล้ามเนื้อสัตว์เกิดลักษณะเนื้อผิดปกติ DFD (Jaturasitha, 2012) นอกจากนี้การทดลองครั้งนี้ยังแสดงความสหสัมพันธ์เป็นลบระหว่างค่า L^* และ a^* ทั้งนี้ L^* และ a^* จากวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีจะมีความสัมพันธ์ที่ตรงข้ามกันกับค่า G ที่ได้จากวิธีการวัดค่าสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($P < 0.01$) สีในเนื้อเกิดจากเม็ดสีที่ให้สีแดงในเนื้อ 2 ชนิด คือ ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) และไมโอโกลบิน (Myoglobin) โดยฮีโมโกลบินจะอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนในกระแสเลือด ส่วนไมโอโกลบินจะกระจายอยู่ทั่วไปในกล้ามเนื้อและทำหน้าที่ในการเก็บสะสมและดูดซึมออกซิเจนจากเส้นเลือดฝอยไปยังเซลล์ต่างๆ ที่ต้องการใช้ออกซิเจนในกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ไมโอโกลบินจะมีปริมาณมากในกล้ามเนื้อที่มีสีเข้ม หรือที่เรียกว่า กล้ามเนื้อแดง (Red

muscle) มากกว่ากล้ามเนื้อที่มีสีจางหรือกล้ามเนื้อขาว (White muscle) (Jaturasitha, 2012) ดังนั้นเนื้อที่มีสีเข้มหรือค่า a^* มาก จะมีปริมาณฮีโมโกลบิน หรือ heme ในเส้นใยกล้ามเนื้อสูง (Heyer et al., 2005) เกิดจากกล้ามเนื้อที่มีการใช้ออกซิเจนแบบเข้มข้น มีเส้นใยกล้ามเนื้อออกซิเดทีฟ (Oxidative fiber type) มาก ส่งผลให้ค่า L^* ลดต่ำลง (Park et al., 2007) ซึ่งค่า L^* และ a^* มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน เมื่อทำการวัดค่า a^* ของเนื้อ พบว่า มีค่าลดลงแปรผกผันกับค่า L^* ที่เพิ่มขึ้น จากรายงานของ Jaturasitha (2012) รายงานถึงเนื้อสัตว์มีการสูญเสียน้ำออกมาส่งผลเนื้อมีลักษณะสีซีดจางหรือค่า L^* เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อสูญเสียออกมากับน้ำส่งผลให้เนื้อมีลักษณะของสีที่ซีดจางลง

ผลการเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าสีเนื้อไก่จากเครื่องวัดสี และวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่

การทดลองครั้งนี้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีและวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ร่วมกับการใช้ค่าสีที่วัดได้แทนค่าในสมการใน Figure 1 2 และ 3 พบว่าวิธีการวัดสีของเนื้อไก่และเนื้อสะโพกด้วยวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ให้ผลตรวจวัดสีเนื้อ คือ ค่าสว่างของเนื้อ ค่าความเป็นสีแดง ค่าองศาสี และความเข้มสีใกล้เคียงกันกับวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX ($P > 0.05$) หากแต่วิธีการตรวจวัดสีของเนื้อไก่และเนื้อสะโพกด้วยวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ให้ผลตรวจวัดค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อที่แตกต่างกันกับวิธีการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Mini Scan ZX ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 2 โดยสีของเนื้อเป็นความรู้สึกประการแรกสำหรับผู้บริโภคสามารถสัมผัสได้ และเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจในการซื้อหรือไม่ตามมาตรฐานสีเนื้อการทดลองนี้พบว่าอุปกรณ์ทั้งสองชนิดรายงานค่าสีของเนื้อที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

Table 2 Effect of method of color assessment on chicken meat color

Chicken meat color	Method of color assessment		P-value	SEM*
	Colorimeter	Photocolorimetric		
	(Mini Scan ZX)	method with equation		
Brest				
-Lightness (L [*])	46.745 ± 3.839	48.309±1.988	0.109	0.814
-Redness (a [*])	1.045 ± 0.316	1.008±0.681	0.072	0.330
-Yellowness (b [*])	10.376 ± 1.367	12.002±0.195	0.017	0.337
-Hue angle	1.468 ± 0.037	1.487±0.058	0.533	0.213
-Chroma	0.012 ± 0.009	0.009±0.013	0.804	0.009
Tight				
-Lightness (L [*])	46.880 ± 1.837	46.883 ± 0.826	0.997	0.334
-Redness (a [*])	3.882 ± 0.815	2.897 ± 0.624	0.065	0.216
-Yellowness (b [*])	14.449 ±0.619	11.628 ± 0.452	<0.0001	0.308
-Hue angle	1.309 ± 0.051	1.328 ± 0.046	0.568	0.006
-Chroma	0.075 ± 0.026	0.064 ± 0.025	0.533	0.012

* Standard error of mean

โดยทั่วไปค่า L* เท่ากับ 37-49 ถือเป็นลักษณะของสีเนื้อปกติ (Girolami et al., 2013) ส่วนค่าความเป็น สีเหลือง ซึ่งวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ให้ผลที่แตกต่างจากการวัดด้วยเครื่องวัดสี เนื่องจากการกระจายตัวของข้อมูลสูง เนื่องจากการวัดสีของเนื้อมักจะประเมินโดยมีพื้นผิวประมาณ 2-5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเครื่องวัดสีที่ไม่สามารถวัดสีทั้งหมดได้ พื้นผิวถ้าไม่เป็นเนื้อเดียวกันในการวัดครั้งเดียว (Kang et al. 2008) นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Dvořák et al., 2009 รายงานว่า ค่าสีเหลือง (b*) มีความสัมพันธ์กับความสว่าง (L*) สูง ($r = 0.927$) ทั้งนี้มีการทดลองก่อนหน้านี้ที่อธิบายถึงปฏิสัมพันธ์ของแสงที่ปล่อยออกมาจากพื้นผิวที่จะวิเคราะห์สีขึ้นอยู่กับกายภาพและเคมีลักษณะของลำแสงที่สามารถส่งผ่านหักเหสะท้อนกระจายและดูดซับโดยวัตถุตัวกลางที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันทางแสง เช่น เนื้อสัตว์ (ดัชนีการหักเหของแสงไม่สม่ำเสมอ) มีอากาศ

ของเหลวและเม็ดของวัสดุต่างๆ กระจัดกระจายอยู่ภายใน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของแสงหลายครั้งในกรณีที่มีความไม่ต่อเนื่องของแสงทำให้เกิดการกระเจิงของแสง (O'Sullivan et al., 2003) นอกจากนี้เครื่องวัดสีจะวัดการสะท้อนแสงของส่วนที่กำหนดของเมทริกซ์โดยให้การประเมินสีโดยไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความแปรปรวนในพื้นที่ (Antonelli et al., 2004) โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Somnam and Kanna (2019) รายงานถึง การวิเคราะห์ความเป็นกรดในกาแฟสังเกตสีที่จุดยุติโดยใช้โทรศัพท์มือถือโดยค่าสีที่วัดได้จากการใช้โทรศัพท์มือถือและเครื่องวัดสี Hunter Lab ให้ผลค่าสี RGB ที่สอดคล้องกันแม้ว่าค่าที่ได้จะไม่เท่ากัน นอกจากนี้เครื่องวัดสี Hunter Lab ยังวัดค่าสีในรูปของ L* a* และ b* ยังสามารถแปลงข้อมูล RGB ได้อีกด้วย ทั้งนี้การวัดค่าแม่สีโดยใช้โทรศัพท์มือถือสามารถใช้ทดแทนเครื่องวัดสีได้ อีกทั้งยังให้ผลการ

ทดลองในทิศทางเดียวกันกับ Choodum et al., (2014) ที่รายงานถึงการทดสอบข้อมูลสีพื้นฐาน RGB โดยใช้แอปพลิเคชันที่ติดตั้งบนโทรศัพท์มือถือและอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม RGB กับผลิตภัณฑ์สีของสารเมตาเมทาเมทิน ทั้งนี้ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์สีด้วยกล้องดิจิทัลในตัวบนโทรศัพท์มือถือมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ในการทดสอบภาคสนามได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เปรียบเทียบวิธีการวัดสีระหว่างเครื่องวัดสีมาตรฐานกับการวิเคราะห์สีของภาพด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วัตถุที่ใช้วัด คือ เนื้อไก่ (Barbin et al., 2004) เนื้อสุกร (Sun et al., 2004) และเนื้อโค (Sadd et al., 2016) ผลการทดลองชี้ให้เห็นศักยภาพของการวิเคราะห์สีของเนื้อทั้งสามชนิดการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยคอมพิวเตอร์สามารถใช้เป็นวิธีการทางเลือกได้เทียบเท่ากับวิธีการวัดสีระหว่างเครื่องวัดสีมาตรฐาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

ค่าความสว่าง L^* ของเนื้อไก่ที่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมีความสัมพันธ์เป็นบวกของสีกับค่า Green จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($r=0.576$) ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย $y = 0.1033(x) + 37.389$ ($R^2 = 0.3321$) ส่วนค่าความเป็นสีแดง a^* ของเนื้อไก่ที่จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมีความสัมพันธ์เป็นบวกกับค่า Green จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($r=-0.647$) ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย $y = -0.078x + 10.066$ ($R^2 = 0.4193$) นอกจากนี้การพัฒนาวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ร่วมกับการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายสามารถใช้เป็นเครื่องมือทางเลือกสำหรับการวัดสีเนื้อไก่ได้ โดยสามารถแสดงผลค่า L^* , a^* Chroma และ Hue angle ที่มีความคล้อยคลึงกันกับสีของเนื้อไก่ที่วัดได้จากเครื่องวัดสี หากแต่การประเมินความเป็นสีเหลือง b^*

จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายเนื้อไก่ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ร่วมกับการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นมีความแตกต่างจากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าสีที่วัดได้ที่ไม่สะท้อนความจริง ดังนั้นจึงอาจต้องใช้การคำนวณโดยสมการรูปแบบอื่นในการอธิบาย เช่น Artificial neural network: ANN หรือ เทคโนโลยี AI เพื่อเพิ่มความแม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

- Antonelli, A., M. Cocchi, P. Fava, G. Foca, G.C. Franchini, D. Manzini and A. Ulrici. 2004. Automated evaluation of food colour by means of multivariate image analysis coupled to a wavelet-based classification algorithm. *Analytica Chimica*. 515: 3–13.
- 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 Chem*. 168: 554-560.
- Benedetti, L.P.S., V. B. dos Santos, T. A. Silva, E. Benedetti-Filho, V. L.Martinsc and O. Fatibello-Filhoa. 2015. A digital image analysis method for quantification of sulfite in beverages. *Anal. Methods*. 7: 7568–7573.
- Carvalho, R.H., A.L. Soares, M. Grespan, R.S. Spurio, F.A.G. Coro and A. Oba. 2015. The effects of the dark house system on growth, performance and meat quality of broiler chicken. *Anim. Sci. J*. 86: 189-193.
- Chmiel, M., M. Stowiński and K. Dasiewicz. 2011. Lightness of the color measured by computer image analysis as a factor for

- assessing the quality of pork meat. *Meat Sci.* 88: 566–570.
- 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 sci. int.* 235: 8-13.
- Dvořák, P., J. Doležalová and P. Suchý. 2009. Photocolorimetric determination of yolk colour in relation to selected quality parameters of eggs. *J. Sci. Food. Agric.* 89: 1886–1889.
- García, A., M.M. Erenas, E.D. Marinetto, C.A. Abada, I.de Orbe-Paya, A.J. Palma, L.F. Capitán-Vallvey. 2011. Mobile phone platform as portable chemical analyzer. *Sensors and Actuators B.* 156(2011): 350–359.
- Girolami, A., F. Napolitano, D. Faraone and A. Braghieri. 2013. Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Sci.* 93: 111–118.
- Heyer, A., K. Andersson, S. Leufvén, L. Rydhmer and K. Lundström. 2005. The effects of breed cross on performance and meat quality of once-bred gilts in a seasonal outdoor rearing system. *Arch. Tierz.* 48: 359-371.
- Jaturasitha, S. 2012. *Meat Technology*. (4th ed.). Chiang Mai, Thailand: Mingmuang Press. 367 p.
- Kang, S.P., A.R. East and F.J. Trujillo. 2008. Colour vision system evaluation of bicolour fruit: A case study with ‘B74’ mango. *Postharvest Biology and Technology.* 49: 77–85.
- Kissel, C., A. L. Soares, A. Rossa and M. Shimokomaki. 2009. Functional properties of PSE (Pale, Soft, Exudative) broiler meat in the production of mortadella. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 52: 213-217.
- Kralik, G. Z. Kralik, M. Grcević and D. Hanzek. 2018. Quality of chicken meat. Chapter 4. *Animal husbandry and nutrition.* 63–94. doi:<https://doi.org/10.5772/intechopen.72865>.
- Mancini, R. and M. Hunt. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.* 71: 100–121.
- O'Sullivan, M.G., D.V. Byrne, H. Martens, L.H. Gidskehaug, H.J. Andersen and M. Martens. 2003. Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis. *Meat Sci.* 65: 909–918.
- Park, B.Y., N.K. Kim, C.S. Lee and I.H. Hwang. 2007. Effect of fiber type on postmortem proteolysis in longissimus muscle of Landrace and Korean native black pigs. *Meat Sci.* 77: 482-491.
- 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 Tech.* 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. *Poult. Sci.* 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 Technol.* 3: 637-643.
- R Core Team. R. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Austria. 2020; URL <http://www.R-project.org/>
- SAS. 1998. User's Guide: V.6.12.SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Smith, D.P. and J.K. Northcutt. 2009. Pale poultry muscle syndrome. *Poult. Sci.* 88: 1493-1496.
- Somnam, S. and M. Kanna. 2019. The Application of Mobile Phone as the Chemical Detector for the Determination of Acidity in Coffee with Flow-based Titrimetric Analysis. Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Chaingmai Rajabhat University. 50 p. (In Thai)
- Sowcharoensuk, C. 2020. Industry Outlook 2020-2022: Chilled, Frozen and Processed Chicken. *Krungsri Research* 1-10. (In Thai)
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1992. Principles and Procedure Statistics. 2nd Edn. 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 Sci.* 113: 62–64.
- Tapp, W.N., J.W.S. Yancey and J.K. Apple. 2011. How is the instrumental color of meat measured. *Meat Sci.* 89L–5.
- Tomovic, V.M., B.A. Zlender, M.R. Jokanovic, M.S. Tomovic, B.V. Sojic, S.B. Skaljic, T.A. Tasic, P.M. Ikonc, M.M. Soso and N.M. Hromis. 2014. Technological quality and composition of the *M. semimembranosus* and *M. longissimus dorsi* from Large White and Landrace Pigs. *J. Agric. Food Sci.* 23: 9-18.
- Trinderup, C.H. and Y.H.B. Kim. 2015. Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system. *Food Res. Int.* 71: 100–107.
- Tuntivisoottikul, K. and C. Chaosap. 2005. Meat quality of Thai native pigs, wild pigs and European crossbreds. *Proceedings of 44th Kasetsart University Annual Conference: Animal, Veterinary Medicine, Bangkok.* 407-415 pp. (In Thai)
- Zhang, L., and S. Barbut. 2005. Effects of regular and modified starches on cooked PSE, normal and DFD chicken breast meat batters. *Poult Sci.* 84: 789-796.

