

การวัดสีของเนื้อโคโดยการเปรียบเทียบระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายและเครื่องวัดสี

สุพัตรา สุขเจริญ

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

สัมนานฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวัดสีของเนื้อโคโดยการเปรียบเทียบระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายและเครื่องวัดสี ได้ทำการรวบรวมและศึกษาจากเอกสารวิชาการจำนวน 10 ฉบับ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 - 2562 ซึ่งมีการวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสีและระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย (CVS) จะอธิบายถึงสีของเนื้ออยู่ในรูปของ CIELAB โดย L^* คือค่าความสว่าง a^* คือค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว b^* คือค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ค่าความเข้มสี (Chroma) และค่าความอึมครึมของสี (Hue angle) พบว่าการวัดสีโดยใช้ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายสามารถให้ค่าสีที่ชัดเจนและแม่นยำกว่าเครื่องวัดสี ภาพที่ได้จากระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายยังสามารถจัดเก็บไว้เพื่อใช้เปรียบเทียบการทดสอบครั้งต่อไปได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวัดสีของเนื้อ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถใช้ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายในการวัดสีของเนื้อหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ แทนเครื่องวัดสีได้

คำสำคัญ : สีของเนื้อ เครื่องวัดสี ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย

บทนำ

สีของเนื้อ (Meat color) เป็นสิ่งชี้วัดลักษณะทางคุณภาพเนื้อโคที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค สำหรับตัดสินใจก่อนการเลือกซื้อ โดยปกติสีของเนื้อจะมีสีชมพูออกเทาจนถึงสีแดงออกม่วงแตกต่างกันออกไปตามประเภทของเนื้อ ชนิดสัตว์ เพศ และอายุของสัตว์ เนื่องมาจากปริมาณรงควัตถุไมโอโกลบิน (Myoglobin pigments) ที่อยู่ในกล้ามเนื้อของสัตว์ เช่น เนื้อสุกร เนื้อแกะ และเนื้อโคมีปริมาณไมโอโกลบินเท่ากับ 0.06% 0.25% และ 0.6% โดยน้ำหนักเนื้อสด ตามลำดับ ในสัตว์ชนิดเดียวกันที่มีอายุแตกต่างกันจะมีปริมาณไมโอโกลบินในเนื้อแตกต่างกัน เนื้อที่ได้จากสัตว์ที่มีอายุนานจะมีสีเนื้อเข้มกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย (Eisel et al., 1997 อ้างโดย ธันวา ไวยบท, 2557) การประเมินลักษณะสีของเนื้อมีหลายวิธี ได้แก่ การประเมินด้วยสายตามนุษย์ การวัดด้วยเครื่องวัดสี หรือการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล โดยแสดงในรูปของค่า L^* , a^* , b^* , Hue angle และ Chroma (León et al., 2006 อ้างโดย ขวัญชัย ขอบสำราญ และคณะ, 2559) เครื่องวัดสีเป็นเครื่องมือที่ใช้งบประมาณการลงทุนสูง เครื่องชนิดนี้ไม่สามารถให้ค่าสีที่เกิดขึ้นอย่างถูกต้อง เนื่องจากการใช้เครื่องวัดสีเป็นเพียงการวัดในลักษณะของจุด (Spot measurement) ที่พื้นผิวของชิ้นเนื้อ (ประมาณ 2 ตารางเซนติเมตร)

เครื่องวัดสีแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดบางอย่างคือ ไม่สามารถวัดสีของเนื้อที่มีลักษณะของพื้นผิวไม่สม่ำเสมอได้ และยังให้ค่าสีที่เป็นเพียงค่าเฉลี่ยของพื้นที่เล็กๆ ของชิ้นเนื้อ ตำแหน่งในการวัดสีที่ได้อาจไม่ใช่สีที่แท้จริงของสีเนื้อทั้งหมด จึงมีการมีการศึกษาหลายอย่างเพื่อใช้ประโยชน์จากระบบคอมพิวเตอร์ในการวัดสี คือระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย (CVS) สำหรับการประเมินสีเนื้อ โดยนำข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลมาผ่านการวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ของภาพ ผ่านการพัฒนาคุณสมบัติของภาพด้วยการประมวลผลทางภาพถ่ายสถิติ เทคนิคนี้เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีคุณภาพ (Elmasry et al., 2009 อ้างโดย ศศิกานต์ กอวยพร, 2554)

ดังนั้นสัมมนาฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวัดสีของเนื้อโคโดยการเปรียบเทียบระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายและเครื่องวัดสี

สีของเนื้อ (Meat color)

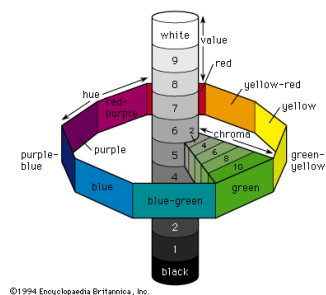
เนื้อปกติมีสีชมพูออกเทาจนถึงสีแดงออกม่วงแตกต่างกันออกไปตามประเภทของเนื้อ ชนิดสัตว์ เพศ และอายุของสัตว์ ทั้งนี้มาจากปริมาณรงควัตถุไมโอโกลบิน (Myoglobin pigments) ที่อยู่ในกล้ามเนื้อของสัตว์นั่นเอง ในสัตว์ชนิดเดียวกันที่มีอายุแตกต่างกันจะมีปริมาณไมโอโกลบินในเนื้อแตกต่างกัน เนื้อที่ได้จากสัตว์ที่มี

อายุมากจะมีเนื้อเข้มกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย (Eisel et al., 1997 อ้างโดย ธันวา ไวยบท, 2557) สีของเนื้อสัตว์อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไมโอโกลบินได้ เมื่อสัตว์ตายจะไม่มีออกซิเจนส่งมายังกล้ามเนื้อไมโอโกลบินจึงอยู่ในรูปปราศจากออกซิเจน (Deoxymyoglobin) ถ้าตัดชิ้นเนื้อไมโอโกลบินจะได้รับออกซิเจนจากอากาศรอบ ๆ ทำให้ไมโอโกลบินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปออกซิไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ถ้าชิ้นเนื้อสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานานเกินไปอาจทำให้เหล็กในฮีมถูกออกซิไดส์เป็นเฟอร์ริก (Fe^{++}) และไมโอโกลบิน จะเปลี่ยนเป็นเมทไมโอโกลบินซึ่งเป็นสีน้ำตาลออกแดง ทำให้เนื้อกลายเป็นสีน้ำตาลแดงซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้ซื้อ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และนิธิยา รัตนานนท์, 2556)

พื้นฐานของสีหรือการสะท้อนแสง (Basis of color/reflectance)

สีสามารถอธิบายลักษณะของช่องว่างในภาพสามมิติ หรือของแข็งที่สีเข้าไปเกี่ยวข้อง ด้วยการอธิบายถึงสีของเนื้อที่มีอยู่ในรูปของ CIELAB หรือ L^* , a^* , และ b^* (สัญญาชัย จตุรสิทธิ์, 2555)

ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ เป็นการกำหนดค่าสีโดยใช้หลักการตามทฤษฎีคู่ตรงข้าม ซึ่งมีอยู่ 3 คู่ คือ สีแดงกับสีเขียว สีเหลืองกับสีน้ำเงิน และสีชาวกับสีดำ ค่าสีในระบบ L^* , a^* , b^* , Chroma และ Hue angle นี้พัฒนาขึ้นมาใช้โดยกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ซึ่งรวมกันเป็นคณะกรรมการสร้างและพัฒนาระบบกำหนดสีให้เป็นมาตรฐานสากล (CIE) โดยค่าความสว่าง (L^*) เป็นค่าบอกความสว่างของสีมีตั้งแต่ 0 ถึง 100 ค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a^*) มีค่าตั้งแต่ -120 ถึง 120 ค่าความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b^*) มีค่าตั้งแต่ -120 ถึง 120 (วรรณกานต์ โสภา 2556 อ้างโดย ศศิภา เต็กอวยพร, 2554) จะแสดงใน (ภาพที่ 1) สีจะแปรเปลี่ยนจากขาวไปจนถึงดำ ส่วนค่าฮู (Hue angle) หมายถึงชื่อของสี (แดงหรือเขียว) ค่าฮูมีมุมกว้างขึ้นจึงสามารถเห็นสีในลักษณะของสเปกตรัม (แดง, เหลือง, เขียว, น้ำเงิน และสีอื่นๆ) เนื้อโคจะมีช่วงของความสว่าง การอึดตัวและค่าสีน้อย ค่า L^* เกิดความแปรปรวน 5 หน่วยในเนื้อโค (Sardi et al. 2006 อ้างโดย สัญชัย จตุรสิทธิ์, 2555)



ภาพที่ 1 คุณสมบัติของสี 3 ลักษณะ คือ Hue angle ความสว่างของสี และความอึดตัวของสี
ที่มา : ศศิภา เต็กอวยพร (2554)

เครื่องวัดสี (colorimeter)

อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้งานง่ายซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงตัวยึดตัวอย่าง (Cuvette) เซ็นเซอร์ความเข้มแสงและวิธีการควบคุมแหล่งกำเนิดแสงและการรวมความเข้มของแสงที่ส่งเข้ามา แสงที่ตกกระทบมักจะถูกกรองเพื่อให้มีวงแคบ วิธีการวัดสีใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิจัยและอุตสาหกรรมรวมถึงการตรวจสอบสีของเนื้อ สีของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา (Anzalone et al., 2013) เครื่องมือวัดค่าสีที่นิยมใช้ได้แก่ Minolta, Chroma meter, Hunter Lab คือ เครื่องวัดสีไม่สามารถนำไปใช้ได้กับวัตถุดิบและอาหารที่มีพื้นผิวโค้ง พื้นผิวของวัตถุที่วัดต้องมีสีสม่ำเสมอ หรือเป็นสีเดียวกันทุกตำแหน่งบนวัตถุที่วัดเท่านั้น ค่าสีที่ได้ยังไม่ใกล้เคียงกับสีที่สายตามนุษย์รับรู้ได้ จึงมีการศึกษาการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพเพื่อการวัดสี ในภาพที่ 2 จะแสดงการเปรียบเทียบการวัดสีของผลิตภัณฑ์สัตว์โดยระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย(CVS) และเครื่องวัดสี



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบการวัดสีของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์โดยระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย(CVS) และเครื่องวัดสี
ที่มา : Tomasevic et al. (2019)

ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย (CVS)

การนำข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลมาผ่านการวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ของภาพ ผ่านการพัฒนาคุณสมบัติของภาพด้วยการประมวลผลทางภาพถ่าย (Image Processing) ซึ่งขั้นตอนการประมวลผลมีหลายขั้นตอน เช่น การปรับปรุงภาพ การแยกภาพ เป็นต้น จากนั้นนำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์และแสดงผลออกมาในรูปแบบทางสถิติ เทคนิคนี้เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีคุณภาพ (Elmasry et al., 2009 อ้างโดย ศศิกา เต็กอวยพร, 2554) สามารถใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพระหว่างการผลิตแบบต่อเนื่องได้ เนื่องจากสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนหรือข้อผิดพลาดที่เกิดจากความเหนื่อยล้า หรือเกณฑ์การตัดสินใจที่มีเฉพาะของบุคคลได้ (Igathinathane et al., 2009 อ้างโดย ศศิกา เต็กอวยพร, 2554) พื้นฐานของระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายจะประกอบด้วย กล้องดิจิทัล และกล้องวิดีโอสำหรับการดึงข้อมูลภาพ แหล่งกำเนิดแสง อุณหภูมิสีที่ D65 จะให้ค่าสีที่ใกล้เคียงกับค่าสีที่รับรู้โดยมนุษย์มากที่สุด และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ภาพ (Papadakis et al., 2000; Brosnan and Sun 2004 อ้างโดย ศศิกา เต็กอวยพร, 2554) ขั้นตอนการเก็บรวบรวมภาพจะต้องกำหนดและออกแบบชุดควบคุมแสง เนื่องจากเป็นส่วนที่สำคัญที่ส่งผลต่อสีที่ปรากฏของวัตถุ ส่วนประกอบสุดท้ายของระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ภาพเป็นวิธีสำหรับการประมวลผลภาพเบื้องต้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ภาพมีหลายแบบ แต่โดยส่วนใหญ่มักจะใช้ MATLAB 6.5 หรือ Photoshop ตัวอย่างการติดตั้งระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย (CVS) ในการวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อโคแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การติดตั้งระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย (CVS) ในการวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อโค

ที่มา : Girolami et al. (2013)

วิธีการ

จัดการวางชิ้นเนื้อลงในกล่องควบคุมแสงเพื่อควบคุมให้สภาวะแสงคงเดิมสำหรับทุกการทดลอง และบันทึกภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิตอลปรับตั้งแบบ manual ไม่ใช่แฟลช โดยกำหนดเงื่อนไขการทำงานของกล้องเหมือนกันทุกครั้งภายในกล่องควบคุมแสง ติดแผ่นพลาสติกสีดำเพื่อลดการสะท้อนแสงที่ผิว แหล่งกำเนิดที่ใช้ Illuminant D โดยมีอุณหภูมิสีที่แตกต่างกัน เช่น D65 และ D75 ซึ่งอุณหภูมิสี D65 จะให้ค่าสีที่ได้ใกล้เคียงค่าสีที่รับรู้โดยมนุษย์มากที่สุด ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของสีเช่นเดียวกับการประเมินผลด้วยสายตาและวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม ImageJ 1.5b (National Institute of Health, USA) โดยวัดค่าสีอยู่ในระบบสี RGB เทคนิควิธีหรือขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิตอลประกอบด้วย การนำเข้าข้อมูลภาพภาพที่สนใจโดยตัดส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากภาพ (ROI) แยกองค์ประกอบของสีในรูปแบบ RGB และแปลงเป็น L^*, a^*, b^* เพื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงของสีกับวิธีอื่น แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ภาพโดยใช้ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop CS3 ค่า L^* , a^* และ b^* วัดจากภาพดิจิตอลของตัวอย่างที่มองเห็นบนจอภาพ

ที่มา : Girolami et al. (2013)

ศึกษาผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ภาพจากการวัดสีของเนื้อโคโดยใช้เครื่องวัดสีและระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย(CVS)

การวัดค่าสีของเนื้อแบบ CIELAB มีการใช้ค่าวัดอยู่ 3 ลักษณะคือ ค่าความสว่าง(L^*) ค่า (a^*) แสดงความเป็นสีแดงและเขียว ค่าบวกเป็นสีแดง ค่าลบเป็นสีเขียว หรือเนื้อเน่า และ ค่า (b^*) แสดงความเป็นสีเหลืองของเนื้อ หากค่าเป็นบวก คือ สีเหลือง มีค่าเป็นลบ คือ สีน้ำเงิน

จากงานทดลองของ Girolami et al. (2013) ทำการวัดสีของเนื้อโคโดยใช้ทั้งเครื่องวัดสีและระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย(CVS) โดยนำกล้ามเนื้อโคส่วนสันนอกมาทำการวัดสี พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ที่วัดด้วยเครื่องวัดสีสูงกว่าค่าที่วัดได้จากระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย เนื่องจากเครื่องวัดสีมีวิธีการวัดโดยการสัมผัสชิ้นเนื้อโดยตรงทำให้แสงแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างเนื้อ ดังนั้นการหักเหของแสงไม่สม่ำเสมอ การหักเหของแสงมีค่าสูงจะเกิดการสะท้อนกลับไปยังพื้นผิวของเนื้อสัตว์มากขึ้นดังนั้นจึงมีค่าความสว่าง (L^*) สูงกว่า (Swatland, 2002 อ้างโดย Girolami et al. 2013) แสงที่สะท้อนและหักเหได้จากชั้น Metmyoglobin และ Myoglobin ทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ค่าด้วย ค่าสีที่สูงในระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายให้ข้อมูลที่สอดคล้องกับสีที่แท้จริงของเนื้อสัตว์สามารถช่วยในการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภค

ซึ่งงานทดลองของ Trinderup C. H. and Brad Kim H. Y. (2015) พบว่าค่าความสว่าง (L^*) และค่าความอิ่มตัวของสี (hue angle) จากเครื่องวัดสีและระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ติดลบ แต่ก็ยังมีค่ามากกว่าจากระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย สาเหตุที่ค่าความเป็นสีแดงติดลบเนื่องจากการบ่มเนื้อก่อนแล้วจึงนำมาทำการวัดสี ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความอิ่มตัวของสี(Chroma) จากระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายสูงกว่าค่าจากเครื่องวัดสี โดยรวมแล้วค่าสีที่ได้จากระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายก็ยังคงมีความใกล้เคียงกับสีจริงของตัวอย่างมากกว่าที่ได้จากเครื่องวัดสี

และงานทดลองของ Tomasevic et al. (2019) พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ที่ได้จากอุปกรณ์วัดสีทั้งสองเครื่องไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) , ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความเข้มสี ที่ได้จากระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายมีค่ามากกว่าเครื่องวัดสี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$)

เห็นได้ว่าจากทั้ง 3 งานทดลองมีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน แม้ว่าค่าสีบางค่าให้ผลไม่ตรงกัน อาจเป็นเพราะแต่ละงานทดลองใช้เนื้อโคที่อายุต่างกัน วิธีการเก็บรักษาเนื้อก่อนการวัดไม่เหมือนกันงานของ Tomasevic et al. (2019) ใช้ผลิตภัณฑ์จากเนื้อเป็นสิ่งที่ทดลอง ซึ่งแตกต่างจากงานของ Girolami et al. (2013) และงานของ Trinderup, C. H. and Brad Kim H. Y. (2015) ที่ใช้เนื้อโคส่วนสันนอกในการทดลองวัดค่าสี และยังใช้กล้องดิจิทัลที่มีเซ็นเซอร์รับภาพต่างกันด้วย จึงส่งผลให้ที่ได้ไม่เหมือนกัน

เครื่องวัดสียังมีข้อจำกัดคือ คือไม่สามารถวัดสีของเนื้อที่มีลักษณะของพื้นผิวไม่สม่ำเสมอได้ และยังให้ค่าสีที่เป็นเพียงค่าเฉลี่ยของพื้นที่เล็กๆ ของชิ้นตัวอย่าง ตำแหน่งในการวัดสีที่ได้ อาจไม่ใช่สีที่แท้จริงของตัวอย่างทั้งหมด ในส่วนของการวัดสีโดยใช้ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย (CVS) นั้นสามารถแสดงค่าสีที่มีความคล้ายคลึงกับสีของตัวอย่างเนื้อโค

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าสีโดยการวัดจากระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายและเครื่องวัดสี

ค่าที่วัด	เครื่องมือ		Level of Significance <i>P</i>	อ้างอิง
	ระบบวิเคราะห์ เชิงภาพถ่าย (CVS)	เครื่องวัดสี		
เนื้อโค				
L*	32.59 ± 0.95	36.70 ± 0.95	**	Girolami et al. (2013)
a*	32.84 ± 1.22	19.24 ± 1.22	***	
b*	22.54 ± 0.68	7.85 ± 0.68	***	
Hue angle	34.51 ± 0.88	22.27 ± 0.88	***	
Chroma	39.88 ± 1.33	20.82 ± 1.33	***	
L*	49.7 ± 5.3	44.3 ± 1.5	NS	Trinderup, C. H. and Brad Kim H. Y. (2015)
a*	-13.8 ± 3.3	-17.1 ± 2.3	*	
b*	14.2 ± 1.9	8.2 ± 0.9	*	
Hue angle	19.8 ± 3.5	18.9 ± 2.4	NS	
Chroma	46.4 ± 4.3	25.7 ± 1.7	*	
L*	54.7 ± 0.7	53.5 ± 0.2	NS	Tomasevic et al. (2019)
a*	43.4 ± 1.0	30.3 ± 0.6	***	
b*	45.6 ± 1.5	39.2 ± 0.4	**	
Hue angle	46.3 ± 0.5	52.3 ± 0.6	***	
Chroma	63.0 ± 1.7	49.6 ± 0.1	**	

หมายเหตุ ; * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$, NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Girolami et al. (2013), Trinderup, C. H. and Brad Kim H. Y. (2015), Tomasevic et al. (2019)

สรุป

การใช้ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย (CVS) ในการวัดสีสามารถแสดงค่าสีที่มีความแม่นยำและใกล้เคียงกับสีที่แท้จริงของเนื้อมากที่สุด ระบบนี้นำเสนอความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์พื้นผิวทั้งหมดของอาหาร และภาพของตัวอย่างสามารถบันทึกเพื่อการตรวจสอบและเปรียบเทียบในภายหลังได้ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถใช้ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายในการวัดสีของเนื้อหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ แทนเครื่องวัดสีได้

เอกสารอ้างอิง

- ขวัญชัย ขอบสำราญ และคณะ. 2559. “ผลของแสงสว่างที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอกหมูในระหว่างการจัดเก็บ”. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 319-326.
- ชันว ไวยบท. 2557. “การศึกษาคุณภาพเนื้อโคและการยอมรับของผู้บริโภคต่อสายพันธุ์โคเนื้อในเขตจังหวัดนครสวรรค์”. วารสารแก่นเกษตร. 42 (1): 312-316
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และนิธิยา รัตนูปนนท์. 2556. “เกรดคุณภาพซากวัว”. <http://www.foodnetworksolution.com>. (วันที่สืบค้น 22 มกราคม 2562)
- ศศิภา เต็กอวยพร. 2554. การพัฒนาระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายเพื่อตรวจติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต: มหาลย์ศิลปากร. 87 หน้า
- สัญญา จตุรติทรา. 2555. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. เชียงใหม่. ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 355 หน้า
- Anzalone, and et al., 2013. “Open-Source Colorimeter” **Sensors**. 13(4), 5338-5346.
- Girolami, A. and et al. 2013. “Measurement of meat color using a computer vision system” **Meat Science**. 93: 111-118.
- Trinderup, C. H. and Brad Kim H. Y. 2015. “Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system”. **Food Research International**. 71: 100-107.
- Tomasevic, I. and et al. 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.