

การประยุกต์ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และวิธีการวัดสีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือ สำหรับการวัดความดิบในกากถั่วเหลือง

Application of Spectrophotometer and Photocolorimetric Method from Mobile Phone for Soybean Meal Rawness Measurement

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี^{1*}, ณัฐมน คงสบาย¹, ยาดา สุขชี¹, สรณัฐ โชตินิพัทธ์¹, ยุภา ปู่แดงอ่อน¹,
อติชาต ทองน้ำ², จินดา กลินอุบล³, ชาญชัย อรรคมาติ⁴ และ อรวรรณ เชาวลิ⁵

Manatsanun Nopparatmaitree^{1*}, Nuttamon Kongsabai¹, Yada Sukkee¹, Soranot Chotnipat¹, Yupa Pootaeng-on¹,
Atichat Thongnum², Jinda Glinubon³, Chanchai Arkaphati⁴, and Orawan Chaowalit⁵

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดความดิบของกากถั่วเหลืองด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และการวิเคราะห์สีของภาพถ่าย โดยเริ่มจากการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความดิบของกากถั่วเหลืองด้วยการใช้ฟีนอลเรดเป็นอินดิเคเตอร์เพื่อตรวจสอบปริมาณเอนไซม์ยูรีเอส จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และการวิเคราะห์สีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือ IOS และ Android พบว่าเปอร์เซ็นต์ความดิบมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับค่าดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ($r = 0.942$; $P < 0.01$), ($y = 33.738x - 13.236$; $R^2 = 0.886$) และเปอร์เซ็นต์ความดิบมีสหสัมพันธ์ทางลบกับค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) จากโทรศัพท์มือถือ IOS ($r = -0.955$; $P < 0.01$), ($y = -0.3001x + 12.645$; $R^2 = 0.912$) อีกทั้งเปอร์เซ็นต์ความดิบมีสหสัมพันธ์ทางลบกับค่าความเป็นสีเขียว (G) จากโทรศัพท์มือถือ Android ($r = -0.964$; $P < 0.01$), ($y = -0.1119x + 18.395$; $R^2 = 0.929$) ส่วนเปอร์เซ็นต์ความดิบมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความเป็นสีเขียว (G) จากโทรศัพท์มือถือโดยรวม ($r = -0.941$; $P < 0.01$), ($y = -0.1093x + 17.727$; $R^2 = 0.886$) จากนั้นเปรียบเทียบวิธีการวัดความดิบของกากถั่วเหลือง 5 ตัวอย่าง โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 4 ทรีทเมนต์ (10 ซ้ำ) (วิธีการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วิธีการวัดสีของภาพถ่ายดิจิทัลจากโทรศัพท์มือถือ IOS, Android, และโทรศัพท์มือถือ) พบว่า วิธีการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และวิธีการวัดสีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือให้ผลการวัดแตกต่างกัน ($P < 0.01$) และการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าวิธีการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ให้ผลการวัดที่ใกล้เคียงกับค่าเปอร์เซ็นต์ความดิบจริง

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัล, กากถั่วเหลือง, ความดิบ, กิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอส

Abstract

This study aimed to create a detection method for measuring rawness of soybean meals using a spectrophotometer and photocolorimetric method. A relationship between the percentage of the rawness of soybeans was studied by the detection of urease content using phenol red as an indicator. Absorbance values from the spectrophotometer, and color values generated by the Adobe Photoshop software from the picture of IOS and Android mobile phones were then measured. The results showed that the percentage of the rawness of soybeans was positively correlated with absorbance values from the spectrophotometer ($r = 0.942$; $P < 0.01$), ($y = 33.738x - 13.236$; $R^2 = 0.886$). In addition, the percentage of the rawness of soybeans was negatively correlated with the yellow (b^*) values from IOS ($r = -0.955$; $P < 0.01$), ($y = -0.3001x + 12.645$; $R^2 = 0.912$). Furthermore, the percentage of the rawness of soybeans was negatively correlated with the green (G) values from Android ($r = -0.964$; $P < 0.01$), ($y = -0.1119x + 18.395$; $R^2 = 0.929$). Moreover, the percentage of the rawness

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

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

² สาขาวิชาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อำเภอเมือง 65000

Department of Animal science and Fishery, Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna (Phitsanulok Campus) Phitsanulok, Thailand, 65000

³ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

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

⁴ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

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

⁵ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม 73000

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

* Corresponding author: Nopparatmaitree_m@su.ac.th or Nopparatmaitree_m@silpakorn.edu

of soybeans was negatively correlated with the green (G) values from Mobile ($r = -0.941$; $P < 0.01$), ($y = -0.1093x + 17.727$; $R^2 = 0.886$). The rawness of soybeans by spectrophotometer and photocolometric methods were then compared. This experimental design was a completely randomized design (CRD) consisting of 4 treatments (spectrophotometer analysis and photocolometric method from IOS Android, and mobile phones), (10 replications per treatment). The results showed a statistically significant difference between a method for determining rawness in soybean meal based on spectrophotometer analysis and a photocolometric method ($P < 0.01$). The results from the spectrophotometer analysis method for measuring the rawness of soybean meal produced were close to the actual rawness value and can be used to inspect the quality of soybean meal.

Keywords: Digital Image-Based Analysis, Soybean meal, Rawness, Urease activity

คำนำ

การผลิตอาหารสัตว์ในปัจจุบันนิยมใช้สูตรอาหารที่มีข้าวโพดและถั่วเหลืองเป็นพื้นฐาน (corn-soy diet) ซึ่งกากถั่วเหลือง (soybean meal) และ ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soy bean) จัดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งโปรตีนและมีสัดส่วนประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยประเทศไทยมีการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ของถั่วเหลืองที่ใช้ทั้งหมด และจัดเป็นประเทศผู้นำเข้ารายใหญ่เป็นอันดับ 6 ของโลก ซึ่งในปี 2562 มีการนำเข้าถั่วเหลืองประมาณ 4.89 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 50,493 ล้านบาท (Tanong et al., 2021) ทั้งนี้การใช้ประโยชน์ได้ของถั่วเหลืองในสูตรอาหารสัตว์มีความผันผวนตามค่าความดิบของถั่วเหลือง กล่าวคือ ในถั่วเหลืองดิบมักพบสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ (anti-nutritional factor) เช่น trypsin inhibitors, urease, lectins, goitrogens และ phytates เป็นต้น (Rocha et al., 2014) โดยทริปซินอินฮิบิเตอร์ (trypsin Inhibitor) คือ สารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะหลักที่นักวิชาการอาหารสัตว์ต้องเผารวังอย่างมาก เนื่องจากทริปซินอินฮิบิเตอร์จะขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ทริปซินในกระบวนการย่อยโปรตีน โดยการรวมตัวกับทริปซินเอนจินจากตับอ่อนทำให้เอนไซม์เอนเทอโรโคเนสจากลำไส้เล็กไม่สามารถเปลี่ยนทริปซินเอนจินไปเป็นทริปซินได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารและการเจริญเติบโตของสัตว์ลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้ตับอ่อนผลิตและหลั่งเอนไซม์มากขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ที่ผลิตออกมาจะถูกจับโดยทริปซินอินฮิบิเตอร์และถูกขับออกนอกร่างกายสัตว์ จึงทำให้ร่างกายสัตว์ขาดกรดอะมิโนซิสเทอีน (cysteine) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเอนไซม์ทริปซินและไมโครทริปซิน ส่งผลให้ร่างกายสัตว์ต้องมีการเปลี่ยนเมทไธโอนีนไปเป็นซิสเทอีนนำสู่การขาดแคลนเมทไธโอนีน (Caprita et al., 2010) ทั้งนี้เมื่อสัตว์มีการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในถั่วเหลืองลดลงจะนำไปสู่การสูญเสียโภชนะเหลือทิ้งในรูปของเสียที่ส่งผลต่อการเพิ่มมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม (Ayilara et al., 2020) อย่างไรก็ตามข้อเสนอแนะทางวิชาการ ก่อนหน้าสำหรับวิธีการลดปริมาณทริปซินอินฮิบิเตอร์อย่างง่ายและเป็นที่ยอมรับอย่างมาก คือ การใช้ความร้อนจากการต้มหรือนึ่งเมล็ดถั่วเหลือง การเอ็กซ์ทรูดแบบชื้น และการคั่วเมล็ดถั่วเหลืองหรือการเอ็กซ์ทรูดแบบแห้ง เป็นต้น อย่างไรก็ตามข้อกำหนดตามมาตรฐานกากถั่วเหลืองสามารถยอมรับได้ โดยให้ถั่วเหลืองที่มีปริมาณทริปซินอินฮิบิเตอร์ประมาณ 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่ส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตต่อสัตว์และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการให้ความร้อนสูงเกินไปในกระบวนการผลิตถั่วเหลืองจนเกิดการไหม้โปรตีนมีการเสียสภาพ (protein denature) และ ค่า protein stability ลดลงส่งผลให้คุณค่าของโภชนะเสียไป โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์ได้ของ lysine และ arginine ลดลง (Thaenthanee et al., 2006)

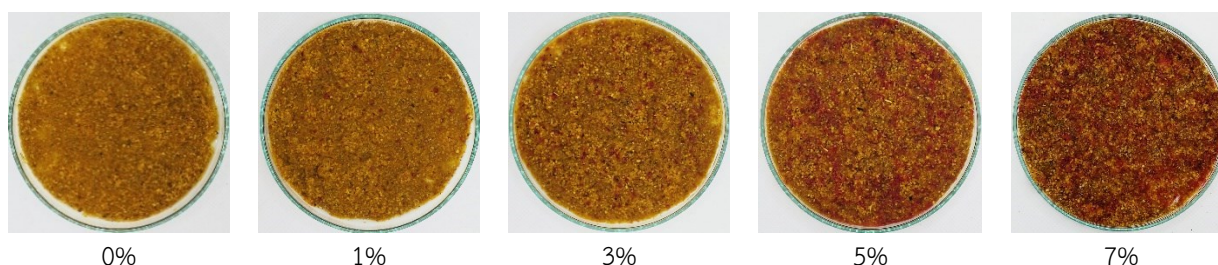


Figure 1 Soybean rawness percentage.

การตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสนิยมใช้ในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์เพื่อประเมินความดิบของถั่วเหลืองในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์และเป็นวิธีที่สามารถวัดปริมาณทริปซินอินฮิบิเตอร์โดยทางอ้อม ดังแสดงใน Figure 1 เนื่องจากเอนไซม์ยูรีเอสในถั่วเหลืองมีคุณสมบัติในการถูกทำลายหรือเสียสภาพด้วยความร้อนเช่นเดียวกันกับทริปซินอินฮิบิเตอร์ (Caprita et al., 2010) ทั้งนี้การทราบค่าความดิบของถั่วเหลืองสามารถบ่งบอกได้ว่าถั่วเหลืองผ่านกระบวนการผลิตมีคุณภาพและมีปริมาณของทริปซินอินฮิบิเตอร์อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังแสดงถึงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของถั่วเหลืองที่จะนำไปใช้สำหรับผลิตอาหารสัตว์ที่มีโภชนาการ การย่อยได้ การดูดซึมโภชนาการ และการใช้ประโยชน์ได้ตามความต้องการของสัตว์ ซึ่งปัจจุบันการตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอส (urease activity) ในถั่วเหลืองสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตรวจวัดปริมาณยูรีเอสอย่างง่าย (quick test) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการจัดซื้อถั่วเหลืองเข้าสู่โรงงานอาหารในปัจจุบัน โดยอาศัยหลักการสังเกตปฏิกิริยาของยูรีเอสที่สามารถย่อยยูเรียได้และสามารถมองเห็นปฏิกิริยาได้ด้วยการใช้ฟีนอลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ในการตรวจสอบหาปริมาณเอนไซม์ยูรีเอสที่เหมาะสมในถั่วเหลือง (Khajareen, 2017) หากแต่วิธีการนี้ยังมีข้อด้อยเกี่ยวกับความแม่นยำและการอ่านผลด้วยสายตาที่ต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์ในการประเมินที่อาจผิดพลาดได้ง่าย รวมถึงไม่สามารถระบุเป็นตัวเลขเชิงปริมาณเชิงขนาดความแม่นยำและน่าเชื่อถือทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีวิธีการตรวจสอบสารยับยั้งทริปซินอินฮิบิเตอร์หรือกิจกรรมของยูรีเอสทางห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่าหากแต่มีความยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายสูง ปัจจุบันจึงมีหลายงานวิจัยที่ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดกิจกรรมยูรีเอสในถั่วเหลืองอย่างแม่นยำ (precision urease activity) จากการทดลองของ Liu et al. (2021) รายงานว่า วิธีวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) วิธีการไทเทรต และวิธีการใช้สารละลายรีเอเจนต์ของ Nash ให้ผลการทดสอบและไม่สามารถใช้แทนกันได้ นอกจากนี้ Thaenthanee et al. (2006) ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสในกากถั่วเหลืองที่สะดวก รวดเร็ว และแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยการใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และการเขียนกราฟค่าดูดกลืนแสงเพื่อเทียบหาระดับความดิบของถั่วเหลือง หากแต่วิธีการนี้ยังมีความยุ่งยาก ซับซ้อน และยังต้องจัดหาสารเคมีเพิ่มเติมนอกเหนือจากที่ใช้อย่างสม่ำเสมอในโรงงานอาหารสัตว์ ปัจจุบันที่โทรศัพท์อัจฉริยะ (smart phone) และ แอปพลิเคชันการถ่ายภาพเข้าบาทบาทสำคัญและได้รับความนิยมอย่างมากในชีวิตประจำวัน ส่งผลให้มีหลายงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้พยายามศึกษาและวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพหรือวิดีโอของโทรศัพท์มือถือร่วมกับการประมวลผลด้วยวิธีการวัดสีของภาพถ่าย (photocolorimetric method) โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของสีหรือการสะท้อนแสง (basis of color/reflectance) การอธิบายลักษณะของภาพในรูปแบบสีสามมิติ เช่น ระบบ CIELAB ระบบสี RGB หรือ ระบบสี HSB เป็นต้น (Trinderup & Kim, 2015) เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการอ่านค่า การหาความสัมพันธ์ และการแปลผลทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพสำหรับประเมินองค์ประกอบหรือคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (Gabor & Péter, 2015; Zlatev & Baycheva, 2017; Gómez-García et al., 2020) เช่น การวัดปริมาณสารเคมี (Choodum et al., 2014; Nopparatmaitree et al., 2023) การวัดสีความดิบของผลไม้ (Saad et al., 2016) การวิเคราะห์ข้อมูลสีของเนื้อไก่ (Nopparatmaitree et al., 2021) และการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของไข่และสีไข่แดง (Georgieva-Nikolova & Stoykova., 2020; Nopparatmaitree et al., 2022) เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงเกิดแนวคิดในการศึกษาครั้งนี้ในการให้คำอธิบายที่ชัดเจนมากขึ้นถึงสมมติฐานเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วิธีการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และวิธีวัดสีของภาพถ่ายเพื่อทำการประเมินกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสที่เป็นตัวชี้วัดถึงค่าความดิบของกากถั่วเหลืองที่มีความสะดวก รวดเร็ว และยืดหยุ่นในการทำงาน รวมทั้งมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือเทียบเท่าการตรวจสอบทางห้องปฏิบัติการ โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างความดิบของกากถั่วเหลืองกับค่าสีวัดจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และค่าสีที่ได้จากวิธีการวัดสีภาพถ่าย รวมถึงศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวัดความดิบของกากถั่วเหลืองเพื่อให้ได้วิธีการตรวจวัดคุณภาพกากถั่วเหลืองเชิงปริมาณที่มีความแม่นยำและเป็นนวัตกรรมสำหรับทุกคน (innovation for all)

วิธีการศึกษา

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างปริมาณความดิบในกากถั่วเหลืองกับค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และค่าสีจากวิธีการวัดสีของภาพ

ทำการเตรียมตัวอย่างกากถั่วเหลืองโดยนำกากถั่วเหลืองไปอบที่ 100 องศาเซลเซียสและตรวจสอบความดิบทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งกากถั่วเหลืองสุกทั้งหมด จากนั้นนำมาพักไว้ให้เย็นแล้วทำการบดละเอียดที่ 20 เมชส์ แล้วทำการเตรียมกากถั่วเหลืองมาตรฐานจากการผสมกากถั่วเหลืองสุกและกากถั่วเหลืองดิบ โดยมีสัดส่วนของกากถั่วเหลืองดิบ คือ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0, 13.0 และ 15.0 เปอร์เซ็นต์ ด้วยทำการผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมนาน 10 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างกากถั่วเหลืองมาตรฐานใส่ขวด

ทำการเตรียมสารละลายยูเรียฟีนอลเรด (urea phenol red solution) ด้วยการละลายฟีนอลเรด 0.14 กรัม ในสารละลายมาตรฐาน 0.1 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ 7 มิลลิลิตร และ น้ำกลั่น 35 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งยูเรีย 2 กรัม แล้วละลายใน น้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร แล้วทำการผสมสารละลายที่เตรียมนี้เข้าด้วยกัน จากนั้นทำการปรับสารละลายยูเรียฟีนอลเรดให้เป็นสี อัมพันด้วย 0.1 นอร์มอล ของกรดซัลฟิวริก ตามวิธีของ Khajarn (2017)

ทำการตรวจสอบความดิบในกากถั่วเหลืองด้วยเตรียมสารละลายและการเก็บข้อมูล โดยทำการเก็บข้อมูลจากตัวอย่าง กากถั่วเหลืองมาตรฐานที่มีสัดส่วนกากถั่วเหลืองดิบ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0, 13.0 และ 15.0 เปอร์เซ็นต์ (ตัวอย่างละ 100 กรัม) โดยชั่งกากถั่วเหลืองตัวอย่างใส่หลอดทดลอง 1 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงให้ เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้กากถั่วตกตะกอน จากนั้นดูดสารใส่หลอดทดลอง 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เพื่อเจือจางสารละลาย จากนั้นหยดสารละลายยูเรียฟีนอลเรด 0.1 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้น เมื่อครบ 15 นาที นำสารละลายไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer และบันทึกภาพจากกล้องโทรศัพท์มือถือ IOS และ Android ภายใต้กล้องสำหรับถ่ายภาพพื้นสีขาวและใช้แสงไฟ LED จากนั้นนำถ่ายภาพสารละลายที่ได้จาก โทรศัพท์มือถือไปวัดค่าสีแดง (red: R), ค่าสีเขียว (green: G), ค่าสีน้ำเงิน (blue: B), ค่าความสว่าง (lightness: L*), ค่าความเป็น สีแดง (redness: a*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness: b*) โดยวิธีการวัดสีภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และ หาค่าเฉลี่ย ตามวิธีของ Girolami et al. (2013)

การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยนำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson's (Pearson's correlation analysis) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรต้น คือ ค่าดูดกลืนแสงที่ได้จาก Spectrophotometer และค่าความเข้มสี RGB และค่าความเข้มสี L* a* b* ของสารละลายของตัวอย่างกากถั่วเหลืองมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วย ซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (ตัวแปร x) และ ตัวแปรตาม คือ ค่าความดิบของกากถั่วเหลือง (ตัวแปร y) จากนั้นทำการ วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) โดยใช้โปรแกรม SAS (University Edition) ตามวิธีของ SAS (1996)

การเปรียบเทียบวิธีการวัดปริมาณความดิบในกากถั่วเหลือง

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ประกอบด้วยวิธีการวัด ปริมาณความดิบในกากถั่วเหลืองจำนวน 4 ทริทเมนต์ ทริทเมนต์ละ 10 ซ้ำ

ทริทเมนต์ที่ 1 คือ วิธีการวัดความดิบในกากถั่วเหลืองด้วย Spectrophotometer

ทริทเมนต์ที่ 2 คือ วิธีการวัดความดิบในกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการวัดสีของภาพจาก IOS mobile phone

ทริทเมนต์ที่ 3 คือ วิธีการวัดความดิบในกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการวัดสีของภาพจาก Android mobile phone

ทริทเมนต์ที่ 4 คือ วิธีการวัดความดิบในกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการวัดสีของภาพจาก Mobile phone

ทำการเตรียมตัวอย่างกากถั่วเหลืองจำนวน 5 ตัวอย่าง โดยมีสัดส่วนกากถั่วเหลืองดิบ 2.4, 4.6, 8.3, 9.4 และ 12.7 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นชั่งกากถั่วเหลืองตัวอย่าง 1 กรัม ใส่หลอดทดลอง จำนวน 10 หลอด เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่น เหวี่ยงให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อรอการตกตะกอน จากนั้นดูดสารละลายถั่วเหลืองหลังเกิดการตกตะกอน 1 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เพื่อเจือจางนำไปปั่นให้เข้ากัน แล้วหยดสารละลายยูเรียฟีนอลเรดหลอดละ 0.1 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นเมื่อครบ 15 นาที นำสารละลายไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer และบันทึกภาพจากกล้องโทรศัพท์มือถือ IOS และ Android ภายใต้กล้องสำหรับถ่ายภาพพื้นสีขาวและ ใช้แสงไฟ LED จากนั้นนำถ่ายภาพสารละลายที่ได้จากโทรศัพท์มือถือไปวัดค่าสีแดง (red: R), ค่าสีเขียว (green: G), ค่าสีน้ำเงิน (blue: B), ค่าความสว่าง (lightness: L*), ค่าความเป็นสีแดง (redness: a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness: b*) โดยวิธีการวัดสีภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย ตามวิธีของ Girolami et al. (2013)

ทำการเทียบหาระดับความดิบของกากถั่วเหลือง โดยใช้กราฟการดูดกลืนของกากถั่วเหลืองตามสมการถดถอยเชิงเส้น อย่างง่าย จากการทดลองที่ 1 ที่มีค่า R² สูงสุด (ที่เลือกมาเป็นตัวแทนของวิธีการวัดค่ายูรีเอสแอดคิตีวี่ในกากถั่วเหลืองจากการ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง spectrophotometer และการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือ) เพื่อเทียบหาระดับความดิบของ กากถั่วเหลือง (ตัวแปร y) กับค่าดูดกลืนแสงที่ได้จาก spectrophotometer และค่าความเข้มสีที่ได้จากการวิเคราะห์การวัดสีของ ภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (ตัวแปร x) จากนั้นทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสัมพัทธ์ (% Relative accuracy) จากสูตร ความถูกต้องสัมพัทธ์ = (ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ × 100) / ค่าจริง และ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (% Relative error) จากสูตร ความผิดพลาดสัมพัทธ์ = {(ค่าจริง-ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์) × 100} / ค่าจริง (Choodum et al., 2014)

การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์ยูริเอสแอกติวิตีมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Turkey's honestly significant test ตามวิธี Steel & Torrie (1992) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป R version 4.0.3 ตามวิธีของ R Core Team (2020) กำหนดค่านัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ $P < 0.05$ และ $P < 0.01$

ผลการศึกษาและวิจารณ์

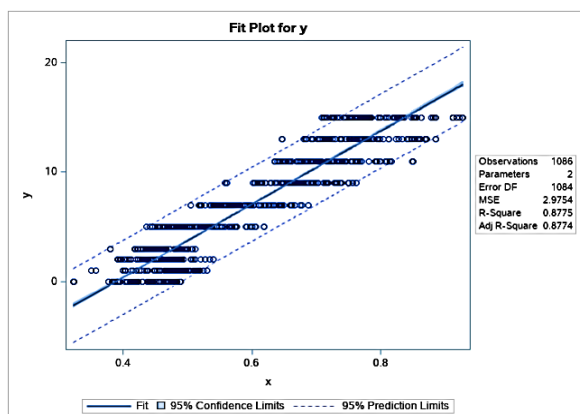
ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างปริมาณความดิบในกากถั่วเหลืองกับค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และค่าสีจากวิธีการวัดสีของภาพ

การทดลองนี้ทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างเปอร์เซ็นต์ความดิบในกากถั่วเหลืองกับค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า เปอร์เซ็นต์ความดิบของกากถั่วเหลืองมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ($r = 0.942$) ($P < 0.01$) โดยมีรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ $y = 33.738x - 13.236$ ($R^2 = 0.886$) เมื่อ y คือ เปอร์เซ็นต์ความดิบในกากถั่วเหลือง และ x คือ ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 2

Table 1 Correlation analysis between soybean rawness with absorbance value from spectrophotometer and color value from photocolormetric method.

Dependent Variable (y)	Assessment method	Independent Variable (x)	Correlation Coefficient (r)	P-value
Soybean rawness (%)	Spectrophotometer	Absorbance	0.9430	<0.001
		Lightness	-0.9181	<0.001
		Redness	0.9391	<0.001
	Photocolormetric method by IOS mobile phone	Yellowness	-0.9473	<0.001
		Red	0.7425	<0.001
		Green	-0.9368	<0.001
		Blue	-0.2232	<0.001
	Photocolormetric method by Android mobile phone	Lightness	-0.9379	<0.001
		Redness	0.9463	<0.001
		Yellowness	-0.9479	<0.001
		Red	0.4955	<0.001
		Green	-0.9519	<0.001
		Blue	-0.7588	<0.001
	Photocolormetric method by mobile phone	Lightness	-0.9131	<0.001
		Redness	0.9382	<0.001
		Yellowness	-0.9307	<0.001
		Red	0.5621	<0.001
		Green	-0.9410	<0.001
		Blue	-0.5453	<0.001

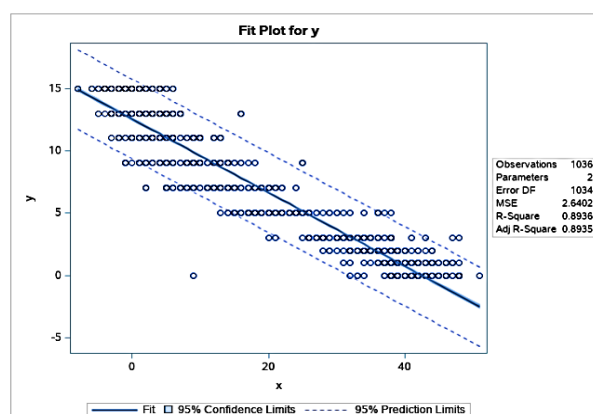
นอกจากนี้การทดลองครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างเปอร์เซ็นต์ความดิบในกากั่วเหลืองกับสีภาพถ่ายสารละลายตัวอย่างั่วเหลืองมาตรฐานจากโทรศัพท์มือถือและวัดสีด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop พบว่าเปอร์เซ็นต์ความดิบในกากั่วเหลืองมีสหสัมพันธ์ทางลบกับค่า L^* b^* G และ B ของภาพถ่ายสารละลายตัวอย่างั่วเหลืองมาตรฐานจากโทรศัพท์มือถือ IOS และวัดสีด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop โดยเปอร์เซ็นต์ความดิบในกากั่วเหลืองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงสุดกับค่าความเป็นสีเหลืองหรือ b^* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($r = -0.947$, $P < 0.01$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = -0.2954x + 12.549$ ($R^2 = 0.897$; $P < 0.0001$) เมื่อ y คือ เปอร์เซ็นต์ความดิบในกากั่วเหลือง และ x คือ ค่าความเป็นสีเหลืองของภาพถ่ายสารละลายตัวอย่างั่วเหลืองมาตรฐานจากโทรศัพท์มือถือ IOS ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 3



$$y = 33.406x - 12.975 \quad (R^2 = 0.8775; P < 0.0001)$$

y = Soybean rawness and x = Absorbance value from spectrophotometer

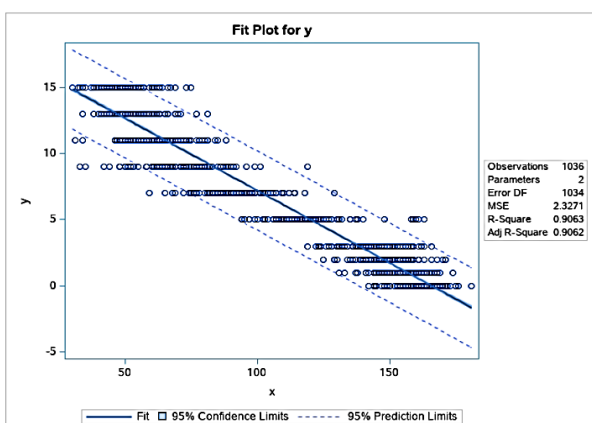
Figure 2 Correlation and regression analysis between soybean rawness and absorbance value from spectrophotometer.



$$y = -0.2954x + 12.549 \quad (R^2 = 0.8974; P < 0.0001)$$

y = Soybean rawness and x = b^* value from generated by the Adobe Photoshop software

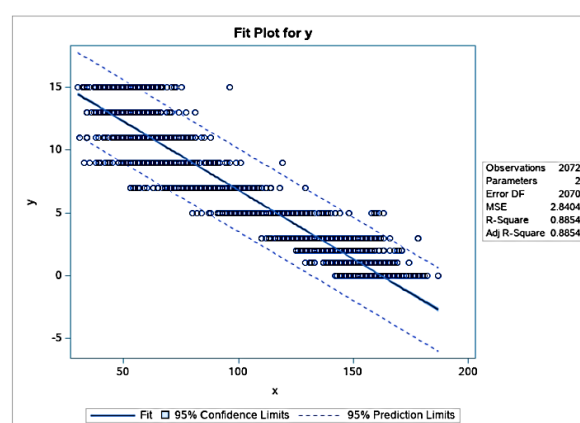
Figure 3 Correlation and regression analysis between soybean rawness and G value from photocolometric method by IOS mobile phone.



$$y = -0.1091x - 18.009 \quad (R^2 = 0.9063; P < 0.0001)$$

y = Soybean rawness and x = G value from generated by the Adobe Photoshop software

Figure 4 Correlation and regression analysis between soybean rawness and G value from photocolometric method by Android mobile phone.



$$y = -0.1093x + 17.727 \quad (R^2 = 0.8855; P < 0.0001)$$

y = Soybean rawness and x = G value from generated by the Adobe Photoshop software

Figure 5 Correlation and regression analysis between soybean rawness and G value from photocolometric method by mobile phone.

อีกทั้งการทดลองครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นถึงสหสัมพันธ์ทางลบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความดิบในกากถั่วเหลืองกับค่า L^* , b^* , G และ B ของภาพถ่ายสารละลายตัวอย่างถั่วเหลืองมาตรฐานจากโทรศัพท์มือถือ Android โดยเปอร์เซ็นต์ความดิบในกากถั่วเหลืองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงสุดกับค่าสีเขียว หรือ G จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($r = -0.952$, $P < 0.01$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = -0.1091x - 18.009$ ($R^2 = 0.9063$; $P < 0.0001$) เมื่อ y คือ เปอร์เซ็นต์ความดิบในกากถั่วเหลือง และ x คือ ค่าความเป็นสีเขียว (G) ของภาพถ่ายสารละลายตัวอย่างถั่วเหลืองมาตรฐานจากโทรศัพท์มือถือ Android ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 4 นอกจากนี้ พบว่า เปอร์เซ็นต์ความดิบในกากถั่วเหลืองมีสหสัมพันธ์ทางลบกับค่า L^* , b^* , G และ B ของภาพถ่ายสารละลายตัวอย่างถั่วเหลืองมาตรฐานจากโทรศัพท์มือถือและวัดสีด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop โดยเปอร์เซ็นต์ความดิบในกากถั่วเหลืองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงสุดกับค่าสีเขียว หรือ G จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายไข่แดงด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ($r = -0.941$, $P < 0.01$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น $y = -0.1093x + 17.727$ ($R^2 = 0.886$; $P < 0.0001$) เมื่อ y คือ เปอร์เซ็นต์ความดิบในกากถั่วเหลือง และ x คือ ค่าสีเขียว (G) ของภาพถ่ายสารละลายตัวอย่างถั่วเหลืองมาตรฐานจากโทรศัพท์มือถือ ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 5 ทั้งนี้การทดลองครั้งนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายและการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์กับค่าความดิบของกากถั่วเหลือง ซึ่งมีสอดคล้องกับหลายการทดลองที่ได้นำหลักการวิเคราะห์สีของภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ กล่าวคือ Thongchai et al., (2019) ทำการศึกษาการใช้กล้องดิจิทัลร่วมกับกราฟวิเคราะห์ทางด้านสีสำหรับการตรวจวัดคุณภาพดินอย่างง่ายในสวนมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่า การใช้ค่า R , G , B และพื้นที่สี L^* , a^* , b^* สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทำนายคุณภาพของดินที่มีเมทริกซ์สหสัมพันธ์ต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โพแทสเซียม ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Hamatuln et al., (2012) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (L^* , a^* และ b^*) กับปริมาณแอนโทไซยานินในเชื้อพันธุ์กรรมข้าวโพด พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเมล็ดมีสหสัมพันธ์ทางลบกับค่าสี L^* และ b^* (-0.69^{**} และ -0.61^{**}) และมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับค่าสี a^* (-0.60^{**}) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แสดงให้เห็นว่าลักษณะค่าสี (L^* , a^* และ b^*) สามารถนำมาใช้คัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดทางอ้อมเพื่อเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานินได้ โดยการคัดเลือกพันธุ์ที่มีค่า L^* ต่ำ ค่า a^* สูง และ ค่า b^* ต่ำ จะทำให้มีโอกาสได้พันธุ์ข้าวโพดที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากการวัดสีเพื่อเป็นตัวแทนการวัดปริมาณความดิบในกากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการประเมินเบื้องต้นของการจัดซื้อและการตรวจสอบคุณภาพของถั่วเหลืองเพื่อผลิตอาหารสัตว์

ผลการเปรียบเทียบวิธีการวัดปริมาณความดิบในกากถั่วเหลือง

การทดลองครั้งนี้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าความดิบของกากถั่วเหลืองด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และการวิเคราะห์สีของภาพถ่าย (IOS, Android, และโทรศัพท์มือถือ) โดยแทนค่าในสมการใน Figure 2, 3, 4 และ 5 พบว่า การวัดค่าความดิบของกากถั่วเหลืองด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกันกับค่าความดิบของกากถั่วเหลืองจริง ซึ่งถือว่าแม่นยำกว่าวิธีการวิเคราะห์สีของภาพถ่าย (IOS, Android, และโทรศัพท์มือถือ) ดังแสดงใน Table 2, 3 และ 4

Table 2 Effect of assessment method on rawness percentage.

Rawness soybean meal (%)	Soybean meal rawness measurement				CV	P-value
	Spectrophotometer	Photocolorimetric method				
		IOS	Andriod	Mobile phone		
2.4	2.426 ^B	3.105 ^A	2.512 ^B	2.518 ^B	9.158	0.0005
4.6	4.741 ^B	5.812 ^A	5.294 ^A	5.299 ^A	8.361	0.0019
8.3	8.738 ^B	9.868 ^A	9.892 ^A	9.822 ^A	4.556	<0.0001
9.4	9.593 ^B	10.979 ^A	1.959 ^A	10.728 ^A	6.599	0.0002
12.7	12.808	12.432	12.442	12.380	4.876	0.3865

CV=coefficient of variation.

Table 3 Effect of assessment method on relative accuracy percentage.

Rawness	Soybean meal rawness measurement				CV	P-value
soybean meal (%)	Spectrophotometer	Photocolorimetric method				
		IOS	Andriod	Mobile phone		
2.4	101.095 ^B	129.412 ^A	104.643 ^B	104.925 ^B	9.459	<0.001
4.6	103.066 ^B	126.352 ^A	115.086 ^A	115.203 ^A	8.361	0.0019
8.3	105.279 ^B	118.899 ^A	119.191 ^A	118.346 ^A	4.818	<0.0001
9.4	102.058 ^B	116.799 ^A	116.586 ^A	114.128 ^A	6.599	0.0002
12.7	100.852	97.894	97.967	97.483	4.876	0.3865

CV=coefficient of variation.

Table 4 Effect of assessment method on relative error percentage.

Rawness	Soybean meal rawness measurement				CV	P-value
soybean meal (%)	Spectrophotometer	Photocolorimetric method				
		IOS	Andriod	Mobile phone		
2.4	-0.026 ^A	-0.705 ^B	-0.111 ^A	-0.118 ^A	-121.360	0.0005
4.6	-0.141 ^A	-1.212 ^B	-0.694 ^B	-0.699 ^B	-81.156	0.0019
8.3	-0.438 ^A	-1.568 ^B	-1.592 ^B	-1.522 ^B	-36.432	<0.0001
9.4	-0.193 ^A	-1.579 ^B	-1.559 ^B	-1.328 ^B	-59.850	0.0002
12.7	-0.108	0.267	0.258	0.319	291.228	0.3865

CV=coefficient of variation.

โดยเมื่อทำวัดค่าความดิบของกากถั่วเหลืองที่ระดับ 2.4 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การวัดค่าด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกันกับการวัดค่าความดิบของกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการวิเคราะห์สีของภาพถ่ายของ Android และ โทรศัพท์มือถือ ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานการทดลองก่อนหน้านี้ กล่าวคือ Choodum et al. (2014) รายงานถึงการทดสอบสีร่วมกับกล้องดิจิทัลในตัวบนโทรศัพท์มือถือเพื่อตรวจหาสารเมทแอมเฟตามีน โดยใช้ข้อมูลสีพื้นฐาน RGB จากแอปพลิเคชันที่ติดตั้งบนโทรศัพท์มือถือและอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม RGB กับผลิตภัณฑ์สีของสารเมทแอมเฟตามีน ทั้งนี้ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์สีจากกล้องดิจิทัลในตัวบนโทรศัพท์มือถือมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ในการทดสอบภาคสนามได้ อีกทั้งยังมีการวิจัยที่เปรียบเทียบวิธีการวัดสีระหว่างเครื่องวัดสีมาตรฐานกับการวิเคราะห์สีของภาพถ่ายด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้กล้วยสุก (Mendoza & Aguilera, 2004) และผลมะเขือเทศ เป็นวัตถุที่ใช้วัด (Saad et al., 2016) พบว่า การวิเคราะห์สีของภาพถ่ายกล้วยสุกและผลมะเขือเทศด้วยคอมพิวเตอร์สามารถใช้เป็นวิธีการทางเลือกที่ให้ผลการวัดเทียบเท่ากับวิธีการวัดด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐาน นอกจากนี้ Firdaus et al. (2014) พบว่า การวิเคราะห์สี R, G และ B ของภาพถ่ายมีความแม่นยำเมื่อได้รับการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นวิธีอ้างอิง หากแต่การทดลองของ Shane et al. (2006) ให้ผลการทดลองที่ขัดแย้งคือการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยข้อมูลความเข้มสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินไม่สามารถแยกความแตกต่างของการดูดซับสีที่คมชัดของสารละลายที่ซับซ้อน ดังนั้นการวิเคราะห์กล้องและภาพถ่ายทั่วไปจึงไม่สามารถแทนสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ได้ อีกทั้งการทดลองของ Dhruv et al. (2016) พบว่า กล้อง SLR ที่มี Adobe Photoshop CS5.1 สามารถใช้เป็นทางเลือกแทนเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อให้ได้ค่า L* และ b* ได้อย่างแม่นยำ รวมถึงการทดลองของ Is-haak et al., (2015) พบว่า การใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำเฉลี่ย 70.54 % ส่วนวิธีการที่ประยุกต์ใช้อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำเฉลี่ย 99.65 % จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัลมาประเมินความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและไนโตรเจนน้ำจืดได้ จากการทดลองของ Chang (2012) รายงานถึง การวัดค่าสีด้วยสมาร์ตโฟนที่มีกล้องในตัวในการวิเคราะห์ค่าสี โดยการถ่ายภาพด้วย CCD camera และวิเคราะห์ในรูปค่า Hue เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีและความเข้มข้น โดยการทดสอบด้วยการวัดค่าสีของกระดาษวัด pH ด้วยสมาร์ตโฟน พบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำสมาร์ตโฟนมาใช้ในการ

การวิเคราะห์ค่าสีอย่างง่ายและราคาถูก ส่วนการทดลองของ Franco et al., (2017) ได้ทำการพัฒนาขั้นตอนการวิเคราะห์อย่างง่าย แม่นยำ และต้นทุนต่ำสำหรับการวัดระดับเมทานอลในสุราอ้อย โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ภาพดิจิทัลจากโทรศัพท์อัจฉริยะ (Smart phone) ด้วยด้วยระบบสี RGB พบว่า วิธีการที่พัฒนาขึ้นมีประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีสารเคมีในการวิเคราะห์ต่ำ คือ ปริมาณการใช้ 800 ไมโครลิตรต่อจุดที่วัดและใช้อุปกรณ์ราคาถูกและใช้งานง่ายสำหรับเกษตรกรรายย่อย และอุตสาหกรรมการผลิตอ้อยรวมถึงมีการควบคุมคุณภาพของสารปนเปื้อนที่เป็นพิษและไม่พึงประสงค์

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้พบสหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความดิบของกากอ้อยเหลือทิ้งกับค่าดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และการวิเคราะห์สีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือระบบ IOS และ Android รวมถึงโทรศัพท์มือถือโดยรวม ทั้งนี้วิเคราะห์ผลการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่มีความน่าเชื่อถือในการนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ค่าความดิบของกากอ้อยเหลือทิ้งด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และการวิเคราะห์สีของภาพถ่าย นอกจากนี้การทดลองนี้ยังชี้ให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดความดิบของกากอ้อยเหลือทิ้งด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ให้ผลการทดสอบที่แตกต่างจากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือระบบ IOS ระบบ Android และ โทรศัพท์มือถือทุกระบบ ยกเว้นการวัดความดิบของกากอ้อยเหลือทิ้งในกากอ้อยเหลือทิ้งที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์ที่วิธีการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วิธีการวัดสีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือ ระบบ Android และ โทรศัพท์มือถือให้ผลการวัดที่ใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าวิธีการวัดความดิบของกากอ้อยเหลือทิ้งจากวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ให้ผลการวัดที่ใกล้เคียงกับค่าความดิบจริงและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของกากอ้อยเหลือทิ้งได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณกองทุนวิจัย นวัตกรรม และสร้างสรรค์ คณะสัตวศาสตร์เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2563 ภายใต้โครงการ “การวิจัยและพัฒนาวิธีการตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสในอ้อยเหลือทิ้งแบบแม่นยำโดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยปัญญาประดิษฐ์” รวมทั้งขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ห้องปฏิบัติการเคมี คณะสัตวศาสตร์เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่อำนวยความสะดวกจนโครงการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalol, O. O. & Odeyemi, O. (2020). Waste management through composting: challenges and potentials. **Sustainability**. 12, 4456.
- Caprita, R., Caprita, A., Ilia, G., Cretescu, I. & Simulescu, V. O. (2010). Laboratory procedures for assessing quality of soybean meal. In **Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2010**. San Francisco: International association of engineer, USA.
- Chang, B. Y. (2012). Smartphone-based chemistry instrumentation: digitization of colorimetric measurements. **Bulletin of the Korean Chemical Society**. 33(2), 549-552.
- Choodum, A., Parabun, K., Klawach, N., Daeid, N. N., Kanatharana, P. & Wongniramaikul, W. (2014). Real time quantitative colorimetric test for methamphetamine detection using digital and mobile phone technology. **Forensic Science International**. 235, 8-13.
- Dhruv, A., Surendra, K. G. P., Devanshi, Y. A., Manoj, K. S., Rahul, S. & Amit, G. (2016). Shade selection: spectrophotometer vs digital camera – a comparative in-vitro study. **Annals of Prosthodontics & Restorative Dentistry**. 2(3), 73-78.
- Firdaus, M. L., Alwi, W., Trinoveldi, F., Rahayu, I., Rahmidar, L. & Warsito, K. (2014). Determination of chromium and iron using digital image-based colorimetry. **Procedia Environmental Sciences**. 20, 298-304.
- Franco, M. O. K, Suarez, W. T., Maia, M. V. & Santos, V. B. (2017). Smartphone application for methanol determination in sugar cane spirits employing digital image-based method. **Food Analysis Methods**. 10, 2102-2109.
- Gabor, K. & Péter, E. (2015). Implementation of mobile phones in education. **Research in Pedagogy**. 5, 98-108.
- Georgieva-Nikolova, M. & Stoykova, V. (2020). Application of mobile devices in distance learning. In **The 15th international conference on virtual learning ICVL**. (pp. 272-277). University of Bucharest, Bucharest, Romania.
- Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D. & Braghieri, A. (2013). Measurement of meat color using a computer vision system. **Meat Science**. 93, 111-118.
- Gómez-García, M., Soto-Varela, R., Morón-Marchena, J. & del Pino-Espejo, M. (2020). Using mobile devices for educational purposes in compulsory secondary education to improve student's learning achievements. **Sustainability**. 12, 3724.

- Hamathulin, A., Simla, S., Boontang, S. & Inchuen, S. 2012. Relationship between color value and anthocyanin content in purple waxy corn germplasm. **Khon Kaen AGR. J.** 40 (Suppl.4), 59-64. (in Thai).
- Is-haak, J., Taparhudee, W., Joongjaraunsuk, R., Biakaew, T. & Pandee, T. (2015). Application of a webcam and image processing techniques for measuring total ammonia and nitrite concentrations in fresh water. **RMUTSB Academic Journal.** 2(3), 129-136. (in Thai).
- Khajareern, J. (2017). **Manual of feed microscopic and quality control.** 2nd ed. Khon Kean: Thai Society of Animal Nutritionists National Farmers Council of Thailand.
- Liu, F., Cheng, X., Miu, J., Li, X., Yin, R., Wang, J. & Qu, Y. (2021). Application of different methods to determine urease activity in enzyme engineering experiment and production. **E3S Web of Conferences.** 251, 02057.
- Mendoza, F. & Aguilera, J. M. (2004). Application of image analysis for classification of ripening bananas. **Journal of Food Science.** 69, 471-477.
- Nopparatmaitree, M., Montirach, P., Chotnipat, S., Raksasiri, B. V., Glinubon, J., Arkaphati, C. & Chaowalit, O. (2022). The development of photocolometric methodology for determining egg yolk color of laying hens as learning platform during the COVID-19 outbreak situation. **Khon Kaen Agriculture Journal.** 50(1), 62-75. (in Thai).
- Nopparatmaitree, M., Sritulanond, S., Khunkhao, S., Konchan, N., Srapothong, A., Chotnipat, S., Raksasiri, B. V., Glinubon, J., Arkaphati, C. & Chaowalit, O. (2021). The photocolometric methodology as an alternative tool for chicken meat color assessment. **Journal Mahanakorn Veterinary Medicine.** 16(1), 147-158.
- Nopparatmaitree, M., Wongwean, P., Riab-Roi, P., Chotnipat, S., Pootaeng-On, Y., Glinubon, J., Srakaew, W., Arkaphati, C. & Chaowalit, O. (2023). Development of technique for measuring non protein nitrogen in soybean meal by spectrophotometer and photocolometric methodology. **Khon Kaen Agriculture Journal.** 51(Suppl.1), 31-39. (in Thai).
- R Core Team. R. (2020). **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Rocha, C., Durau, J. F., Barrilli, L. N. E., Dahlke, F., Maiorka, P. & Maiorka, A. (2014). The effect of raw and roasted soybeans on intestinal health, diet digestibility, and pancreas weight of broilers. **Journal of Applied Poultry Research.** 23(1), 71-79.
- Saad, A. G., Ibrahima, A., & El-Biale, N. (2016). Internal quality assessment of tomato fruits using image colour analysis. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal.** 18, 339-352.
- SAS. (1996). **SAS User's guide: a basic version 6.** 4th edition. North Carolina: SAS institute inc, USA.
- Shane K. K., Landmark, J. D. & Stickle, D. F. (2006). Demonstration of absorbance using digital color image analysis and colored solutions. **Journal of Chemical Education.** 4(83), 644-646.
- Steel, R. G. D. & Torrie, J. H. (1992). **Principles and Procedure Statistics.** 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill Book Co., Inc, Singapore.
- Tanong, K., Jatuporn, C., Suvanvihok, V. & Seerasarn, N. (2021). Forecasting import demand for soybean meal in thailand using box-jenkins method. **Journal of Hunan University (Natural Sciences).** 48(5), 58-65.
- Thaenthanee, W., Dechoswang, K. & Pongpiachan, P. (2006). Soybean rawness measurement by spectrophotometer. **Kamphaengsaen Academic Journal.** 4(1), 8-14. (in Thai).
- Thongchai, W., Chammui, Y., Poolprasert, P. & Thongchai, S. (2019). Using a digital image camera and colorimetric analysis for simple detecting soil quality in Nam Dok Mai mango orchards. **Agricultural Science Journal.** 50(2), 211-223. (in Thai).
- Trinderup, C. H. & Kim, Y. H. B. (2015). fresh meat color evaluation using a structured light imaging system. **Food Research International.** 71, 100-107.
- Zlatev, Z. & Baycheva, S. (2017). Application of educational technical tools for analysis the color of essential oils from white oregano. In **Proceedings of the 12th International Conference on Virtual learning (ICVL 2017).** (pp. 144-144). Sibiu: University of Bucharest, "Lucian Blaga" University of Sibiu in cooperation with SIVECO Romania.

วันรับบทความ (Received date) : 20 มิ.ย. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 7 เม.ย. 66

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 1 พ.ค. 66

<https://doi.org/10.55003/kmaj.2023.08.31.007>