



วารสารแก่นเกษตร

Khon Kaen Agriculture Journal SUPPL. Agricultural Conference

Journal Home Page : <https://ag2.kku.ac.th/kaj>

JOURNAL
KAJ

การพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดนโนโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการวัดสีของ
ถ่ายภาพและเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

Development of technique for measuring non protein nitrogen in soybean
meal by spectrophotometer and photocolometric methodology

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี^{1*}, ปณัดดา วงศ์แว่น¹, พัชรารัตน์ เรียบร้อย¹, สรณัฐ โชตนิพัทธ์¹, ยุภา ปูแต่งอ่อน¹,
จินดา กลิ่นอุบล², วุฒิกร สระแก้ว³, ชาญชัย อรรคผาติ⁴ และ อรวรรณ ชาวลิต⁵

Manatsanun Nopparatmaitree^{1*}, Panudda Wongwean¹, Patcharawadee Riab-Roi¹,
Soranot Chotnipat¹, Yupa Pootaeng-On¹, Jinda Glinubon², Wuttikron Srakaew³,
Chanchai Arkaphati⁴ and Orawan Chaowalit⁵

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี จังหวัด เพชรบุรี 76120

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

² ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

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

³ สาขาวิชาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน จังหวัด น่าน 55000

³ Department of Animal Science and Fisheries, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangal University of Technology Lanna, Nan Campus, Nan 55000

⁴ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

⁴ Faculty of Information and Communication Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Cha-am, Phetchaburi 76120

⁵ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม 73000

⁵ Department of Computing, Faculty of Sciences, Silpakorn University, Sanam Chandra Palace Campus, Nakhon Pathom 73000

บทคัดย่อ: งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดนโนโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการวัดสีของถ่ายภาพ
และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษานี้เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณนโนโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองกับ
ค่าดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และค่าสีจากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือ ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ
โปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ($r = 0.92051$; $P < 0.01$)
ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย $y = 4.3169x + 0.0061$ ($R^2 = 0.9047$; $P < 0.01$) นอกจากนี้ปริมาณนโนโปรตีนไนโตรเจน
ในกากถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความเป็นสีเขียว (G) ของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือโดยรวม ($r = -0.76823$; $P < 0.01$)
โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = -0.0261x + 3.8385$ ($R^2 = 0.5902$; $P < 0.01$)

การทดลองที่ 2 การศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณนโนโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วย
เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และการวัดสีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือกับการวิเคราะห์ค่านโนโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลือง
โดยวิธีทางห้องปฏิบัติการเคมี ผลการทดลอง พบว่า วิธีการวิเคราะห์ปริมาณนโนโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยเครื่องสเปกโตร
โฟโตมิเตอร์ให้ค่าปริมาณนโนโปรตีนไนโตรเจนและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสัมพันธ์ใกล้เคียงกันกับวิธีการการวิเคราะห์ค่านโนโปรตีน
ไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองโดยวิธีทางห้องปฏิบัติการเคมี ($P > 0.05$)

คำสำคัญ: นโนโปรตีนไนโตรเจน; วิธีการวัดสีของถ่ายภาพ; สเปกโตรโฟโตมิเตอร์; กากถั่วเหลือง

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

ABSTRACT: This research aimed to create a detection method for measuring non-protein nitrogen content in soybean meals using a spectrophotometer and photocolometric method. The research was divided into two trials;

Experiment 1: This study determined a relationship between soybeans' non-protein nitrogen content and the spectrophotometer's absorbance values, and color values generated by the software Adobe Photoshop from the picture of mobile phones. The result showed that the non-protein nitrogen content of soybeans was positively correlated with absorbance values from the spectrophotometer ($r = 0.92051$; $P < 0.01$) with the form of the linear regression equation, $y = 4.3169x + 0.0061$ ($R^2 = 0.9047$; $P < 0.01$). In additionally, non-protein nitrogen content was negatively correlated with the green (G) values from mobile ($r = -0.76823$; $P < 0.01$) with the form of the linear regression equation, $y = -0.0261x + 3.8385$ ($R^2 = 0.5902$; $P < 0.01$).

Experiment 2: This study compared methods for determining non-protein nitrogen content of soybeans by spectrophotometer and photocolometric method compared with chemical laboratory method. The results demonstrated that a technique for determining the non-protein nitrogen content of soybeans using spectrophotometer analysis had a similar non-protein nitrogen content and relative accuracy percentage to the chemical laboratory method ($P > 0.05$).

Keywords: non-protein nitrogen; photocolometric method; spectrophotometer; soybean meal

บทนำ

ท่ามกลางพลวัตการเปลี่ยนแปลงของโลกบนสถานการณ์ผันผวน ไม่แน่นอน ซับซ้อน และคลุมเครือที่ท้าทายการวางแผนรับมือ (volatility, uncertainty, complexity and ambiguity world: VUCA world) องค์การสหประชาชาติจึงกำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development goals agenda: SDGs) โดยมุ่งหวังเพื่อแก้ปัญหาสำคัญที่โลกกำลังเผชิญอยู่ เช่น การขจัดความหิวโหย การสร้างความมั่นคงทางอาหาร การยกระดับโภชนาการอาหาร การส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน และการสร้างหลักประกันให้มีรูปแบบการผลิตเพื่อการบริโภคที่ยั่งยืน เป็นต้น (นิรุฒ, 2565) ดังนั้นประเทศไทยจึงต้องปรับตัวต่อบริบทการเปลี่ยนแปลงนี้อย่างเร่งด่วนในฐานะผู้ผลิตอาหารโปรตีนจากไก่เนื้อและไก่ไข่รายใหญ่เป็นอันดับ 8 และ อันดับ 4 ของโลก ตามลำดับ ทั้งนี้มีการคาดการณ์ว่าในปี 2564 ถึง 2566 ประเทศไทยมีความสามารถในการผลิตไก่ไข่คิดเป็นปริมาณ 900,000 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 100,000 ล้านบาท (Chaiwat, 2563) อีกทั้งจากสถานการณ์ปัจจุบันของการผลิตอาหารไก่เนื้อเพื่อส่งออกที่มีการยกเลิกการใช้โปรตีนจากสัตว์ส่งผลให้มีการใช้ข้าวโพดและถั่วเหลืองเป็นอาหารพื้นฐาน (corn-soy diet) ในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น โดยกากถั่วเหลือง (soybean meal) และ ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soy bean) ถือเป็นวัตถุดิบแหล่งโปรตีนหลักคิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของอาหารไก่เนื้อ จากรายงานของ Tanong et al. (2021) พบว่า ในปี 2562 ประเทศไทยมีการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศสูงถึง 99 % ของปริมาณการใช้ทั้งหมดพร้อมทั้งยังถูกจัดให้เป็นประเทศผู้นำเข้าถั่วเหลืองรายใหญ่อันดับ 6 ของโลก ด้วยปริมาณการนำเข้าประมาณ 4.89 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 50,493 ล้านบาท เนื่องจากข้อจำกัดด้านอุปทานของผลผลิตภายในประเทศ คือ สภาพแวดล้อมและช่วงแสงยาวในช่วงที่ถั่วเหลืองออกดอกไม่เหมาะสมส่งผลต่อปริมาณการผลิตถั่วเหลือง ส่งผลให้มีปริมาณถั่วเหลืองไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ เนื่องจากอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ยังมีการขยายตัวต่อเนื่องจึงก่อให้เกิดจากความผันผวนของอุปสงค์และอุปทานการผลิตถั่วเหลือง อีกทั้งการพึ่งพาการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศจำนวนมากจึงส่งผลต่อความผันผวนของราคาและคุณภาพของถั่วเหลือง

กากถั่วเหลืองจัดเป็นวัตถุดิบประเภทโปรตีนที่มาจากพืชที่มีปริมาณโปรตีนที่สูงถึง 44 % ทั้งนี้ในแต่ละปีพบว่ามีความต้องการกากถั่วเหลืองจำนวนมากที่ไม่ได้คุณภาพและ/หรือมีการปลอมปนด้วยวัตถุดิบอื่น นอกจากนี้ยังมักพบการปลอมปนของโปรตีนไนโตรเจนหรือสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non-protein nitrogen: NPN) (Islam et al., 2016) ในกากถั่วเหลืองและกากถั่วเหลืองคุณภาพต่ำ เช่น กากถั่วเหลืองที่มีโปรตีนไม่ตรงตามมาตรฐาน กากถั่วเหลืองเสื่อมคุณภาพ และ กากถั่วเหลืองไหม้จาก

กระบวนการผลิตที่ให้ความร้อนสูงหรือนานเกินไป เป็นต้น เพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนหรือปริมาณโปรตีนอันเป็นกลไกในการเพิ่มราคาขายถั่วเหลืองให้สูงขึ้น ทั้งนี้โปรตีนไนโตรเจนมีอยู่หลายชนิด เช่น ยูเรีย เมลามีน สารพวกเอมีน แอมโมเนียมซัลเฟต ไบยูเรต ฟอสเฟต เป็นต้น หากแต่นั่นโปรตีนไนโตรเจนไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้และพิษกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Sinaga et al., 2016) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจวัดปริมาณโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองก่อนที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์ ปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพกากถั่วเหลืองในโรงงานอาหารสัตว์นิยมใช้วิธีการตรวจอย่างง่ายและตรวจสอบด้วยสารละลาย Nessler reagent อย่างรวดเร็ว (Quick test spot test) ซึ่งเป็นการตรวจเชิงคุณภาพหากแต่ไม่สามารถอ่านผลเชิงปริมาณได้ (Khajareern, 2017) ส่วนวิธีการตรวจวัดปริมาณโปรตีนไนโตรเจนเชิงปริมาณในห้องปฏิบัติการนั้นมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก ต้องอาศัยผู้วิเคราะห์ที่มีความเชี่ยวชาญ และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงต้องจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดค่าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองเชิงปริมาณที่มีความสะดวก รวดเร็ว ประหยัด และใช้สารเคมีเดิมที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ทั้งนี้มีหลายงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้นำเสนอวิธีการวัดสีของภาพถ่าย (Photocolorimetric method) เพื่อใช้ประโยชน์ด้านการชั่ง ตวง วัด อย่างแพร่หลาย โดยอาศัยหลักการตรวจสอบคุณสมบัติสีของวัตถุ สเปกตรัมของสี การสะท้อนแสงสเปกตรัมหรือการซึมผ่านของวัสดุ (Dvořák et al., 2001) เช่น การปริมาณสารเคมี การวัดสีความสุกดิบของผลไม้ และการวัดสีไข่แดง (ยุทธศักดิ์และคณะ 2562; Choodum et al., 2014; Sadd et al., 2016) ทั้งนี้วิธีการอย่างง่ายในการวิเคราะห์สีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์นิยมใช้วิธีการอ่านค่าความเข้มสีตามระบบ RGB (Red Green Blue value) และระบบ CIE (Commission internationale de l'éclairage)

โดยการทดลองครั้งนี้มุ่งวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าสีจริงที่เกิดจากการปฏิยาระหว่างสารละลายที่ตรวจวัดความเข้มข้นของโปรตีนไนโตรเจนที่แตกต่างกันในกากถั่วเหลืองกับการดูกลืนแสงที่วิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และค่าสีที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายจากโทรศัพท์รวมถึงการวิเคราะห์ผลการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายในการแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ดังกล่าว อีกทั้งยังมุ่งศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ค่าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองโดยวิธีทางห้องปฏิบัติการเคมีกับวิธีวิเคราะห์ปริมาณการดูกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณค่าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลือง เพื่อให้เป็นประโยชน์สำหรับประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพกากถั่วเหลืองเชิงปริมาณด้วยวิธีการอย่างง่าย สะดวก และรวดเร็ว

วิธีการศึกษา

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างค่าสีวัดจากเครื่องวัดสีและค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัลจากโทรศัพท์มือถือด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop

การทดลองครั้งนี้ใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นตัวแทนของโปรตีนไนโตรเจน และทำการเตรียมตัวอย่างกากถั่วเหลือง 50 กรัม ที่ผสมแอมโมเนียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.1, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 และ 4.0% จากนั้นนำตัวอย่างกากถั่วเหลืองเข้าไอบอนตูบ (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น

ทำการเตรียมสารละลาย Nessler reagent ด้วยการชั่งสารเมอคิวริกคลอไรด์ 1.25 กรัม ใส่ลงในขวดปริมาตรเติมน้ำลงไปละลาย 5 มิลลิลิตร แล้วเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 3.5 กรัม และ เติมน้ำกลั่นให้เต็มขวด (12 กรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากันแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ดัดแปลงจาก Khajareern (2017)

ชั่งตัวอย่างกากถั่วเหลืองที่ผสมแอมโมเนียมซัลเฟต (จากข้อ 1) ทุกความเข้มข้น ตัวอย่างละ 1 กรัม ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นดูดส่วนของเหลวใส 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเปล่าแล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จึงหยดสารละลาย Nessler reagent 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วเขย่าให้เข้ากันเพื่อให้สารละลายเกิดปฏิกิริยา

นำสารละลายจากข้อ 3 ไปวัดค่าดูกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร (AOAC, 2012) และถ่ายภาพของสารละลายจากข้อ 3 ด้วยโทรศัพท์มือถือภายใต้แสง LED ภายในกล่องสำหรับถ่ายภาพที่มีพื้นสีขาว

และการวัดสีของภาพถ่ายตามระบบ RGB คือ สีแดง (Red: R) สีเขียว (Green: G) และ สีน้ำเงิน (Blue: B) รวมถึงค่าเฉลี่ยความเข้มสีตามระบบ CIE คือ ค่าความสว่าง (Lightness: L^*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness: a^*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness: b^*) ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ตามวิธีของ Girolami et al. (2013)

ทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson's correlation analysis ระหว่างปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตในกากถั่วเหลือง (ตัวแปร y) กับค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และ ค่าสี R, G, B, L^* , a^* และ b^* จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (ตัวแปร x) รวมทั้งวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ระหว่างตัวแปร x และ y โดยใช้โปรแกรม SAS (University Edition) ตามวิธีของ มนต์ชัย (2544)

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลือง

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) ประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ละ 10 ซ้ำ

ทรีทเมนต์ที่ 1 วิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยวิธีทางห้องปฏิบัติการเคมี

ทรีทเมนต์ที่ 2 วิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ทรีทเมนต์ที่ 3 วิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการวัดสีของภาพถ่าย

เตรียมตัวอย่างกากถั่วเหลือง (Unknown) จำนวน 3 ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมซัลเฟต 0.25, 0.50, และ 1.00 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำตัวอย่างกากถั่วเหลืองดังกล่าวไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีทางห้องปฏิบัติการเคมี ตามวิธีการของ Sinaga et al. (2016)

ชั่งตัวอย่างกากถั่วเหลือง (Unknown) ตัวอย่างละ 1 กรัม ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นดูดส่วนของเหลวใส 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเปล่า แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 9 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน จึงหยดสารละลาย Nessler reagent 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วเขย่าให้เข้ากันเพื่อให้สารละลายเกิดปฏิกิริยา

นำสารละลายไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่วัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร (AOAC, 2012) และถ่ายภาพของสารละลายจากข้อ 3 ด้วยโทรศัพท์มือถือและการวัดสีของภาพถ่าย คือ ค่าสี R, G, B, L^* , a^* และ b^* ด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop ตามวิธีของ Girolami et al. (2013)

จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงและค่าสี R, G, B, L^* , a^* และ b^* จากการวัดสีของภาพถ่ายที่ได้มาแทนค่าในสมการเชิงเส้นอย่างง่ายที่มีค่า R^2 สูงที่สุดจากการทดลองก่อนหน้านี้เพื่อคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนของกากถั่วเหลืองที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และวิธีการวัดสีของภาพถ่าย

นำค่าไนโตรเจนในโตรเจนที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสัมพัทธ์ (% Relative accuracy) จากสูตรความถูกต้องสัมพัทธ์ = (ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ $\times 100$) / ค่าจริง (Choodum et al., 2014)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) ภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomized design) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป R version 4.0.3 ตามวิธีของ R Core Team (2020)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

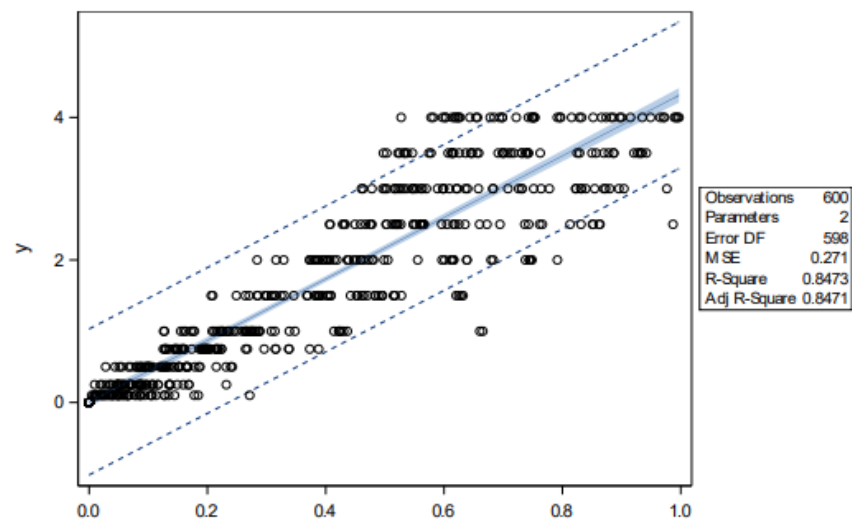
การทดลองนี้ทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลืองกับค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ($r = 0.92051$; $P < 0.01$) ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย $y = 4.3169x + 0.0061$ ($R^2 = 0.9047$; $P < 0.01$) เมื่อ y คือ ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลือง และ x คือ ค่าการดูดกลืนแสงจาก

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 1 นอกจากนี้การทดลองครั้งนี้ยังพบว่า ปริมาณนํ้าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงสุดกับค่าความเป็นสีเขียวหรือ G จากวิธีการวัดสีของภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Photoshop (-0.76823 ; $P < 0.01$) โดยมีรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = -0.0261x + 3.8385$ ($R^2 = 0.5902$; $P < 0.0001$) เมื่อ y คือ ปริมาณนํ้าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลือง และ x คือ ค่า G ของภาพถ่ายสารละลายตัวอย่างถั่วเหลืองมาตรฐานจากโทรศัพท์มือถือ ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 2

การทดลองครั้งนี้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณนํ้าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์สีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ค่านํ้าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยวิธีทางห้องปฏิบัติการเคมี พบว่า วิธีการวิเคราะห์ปริมาณนํ้าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แสดงค่าปริมาณนํ้าโปรตีนไนโตรเจนและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสัมพันธ์ใกล้เคียงกันกับวิธีการวิเคราะห์ค่านํ้าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองโดยวิธีทางห้องปฏิบัติการเคมี ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 2, และ 3 ทั้งนี้วิธีการวัดปริมาณนํ้าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยทั้งสองวิธีดังกล่าวแสดงค่าปริมาณนํ้าโปรตีนไนโตรเจนและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสัมพันธ์ที่แตกต่างกับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณนํ้าโปรตีนไนโตรเจนในกากถั่วเหลืองด้วยการวิเคราะห์สีของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือ ($P < 0.01$) ผลการทดลองนี้ให้ผลที่แตกต่างจากการทดลองก่อนหน้านี้ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของ Nessler reagent กับแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นตัวแทนของนํ้าโปรตีนไนโตรเจนที่เกิดตะกอนขึ้นส่งผลต่อความสัมพันธ์ของของนํ้าโปรตีนไนโตรเจนกับสีที่วัดได้จากภาพถ่ายของสารละลาย สอดคล้องกับการทดลองของ Shane et al. (2006) ที่กล่าวว่า การวิเคราะห์ภาพโดยใช้เฉพาะข้อมูลความเข้ม R G และ B ไม่สามารถแยกความแตกต่างของการดูดซับสีที่คมชัดของสารละลายที่ซับซ้อน ดังนั้นการวิเคราะห์กล้องและภาพโดยทั่วไปจึงไม่สามารถแทนสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ได้ เนื่องจากไม่สามารถแยกความแตกต่างของการดูดซับสีที่คมชัดของสารละลายที่ซับซ้อนได้ ส่วนการทดลองอื่นๆยังถือว่าวิธีการวัดสีของภาพถ่ายสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสารต่างๆได้ Choodum et al. (2014) รายงานถึงการทดสอบสีร่วมกับ

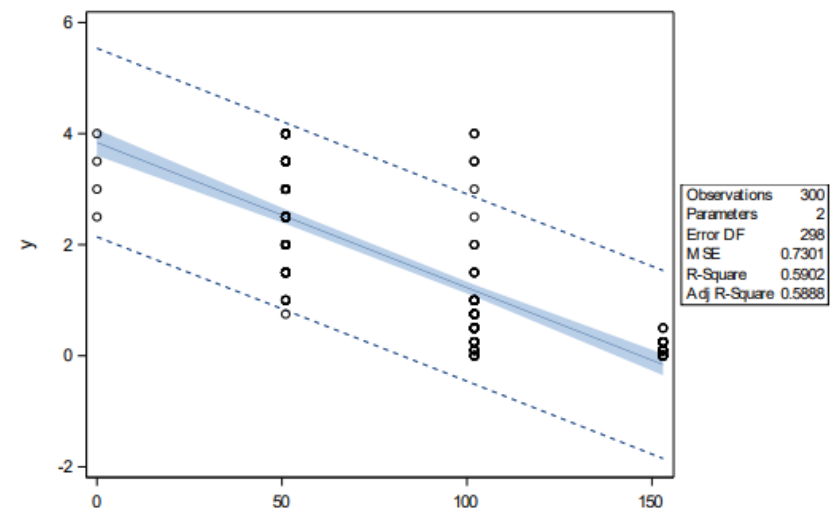
Table 1 Correlation analysis between non-protein nitrogen content with absorbance value from spectrophotometer and color value from photocolormetric method

y	Assessment method	x	Correlation analysis		Regression analysis		
			Correlation Coefficient (r)	P-value	Linear regression equation	R ²	P-value
Urease Activity of soybean (%)	Mobile phone	Spectrophotometer Absorbance	0.92051	P<0.01	$y = 4.3169x + 0.0061$	$R^2 = 0.9047$	P<0.01
		Red (R)	-0.02500	P<0.01	$y = -0.0015x + 1.7467$	$R^2 = 0.0006$	P<0.01
		Green (G)	-0.76823	P<0.01	$y = -0.0261x + 3.8385$	$R^2 = 0.5902$	P<0.01
		Blue (B)	-0.67555	P<0.01	$y = -0.0156x + 2.6943$	$R^2 = 0.4564$	P<0.01
		Lightness (L*)	-0.68886	P<0.01	$y = -0.0824x + 6.9012$	$R^2 = 0.4745$	P<0.01
		Redness (a*)	0.72632	P<0.01	$y = 0.0600x + 0.7723$	$R^2 = 0.5275$	P<0.01
		Yellowness (b*)	0.50320	P<0.01	$y = 0.0327x + 0.0291$	$R^2 = 0.2532$	P<0.01



$$y = 4.3169x + 0.0061 \text{ (} r = 0.92051, R^2 = 0.8473 \text{) และ (} P < 0.0001 \text{)}$$

y = Non protein nitrogen and x = Absorbance value from spectrophotometer

Figure 1: Correlation and regression analysis between non-protein nitrogen and absorbance value from spectrophotometer

$$y = -0.0261x + 3.8385 \text{ (} r = -0.76823, R^2 = 0.5902 \text{) และ (} P < 0.0001 \text{)}$$

y = Non protein nitrogen and x = G value from generated by the software Adobe Photoshop

Figure 2: Correlation and regression analysis between non-protein nitrogen and b value from photocolormetric method by mobile phone

กล้องดิจิทัลในตัวบนโทรศัพท์มือถือเพื่อตรวจหาสารเมทแอมเฟตามีน โดยใช้ข้อมูลสีพื้นฐาน RGB โดยใช้แอปพลิเคชันที่ติดตั้งบนโทรศัพท์มือถือและอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม RGB กับผลิตภัณฑ์สีของสารเมทแอมเฟตามีน โดยผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์สีกล้องดิจิทัลในตัวบนโทรศัพท์มือถือมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ในการทดสอบภาคสนามได้ จากรายงานของ Firdaus et al., (2014) พบว่า ค่าสี R, G และ B มีความแม่นยำวิธีนี้ได้รับการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นวิธี ส่วน Dhruv et al. (2016) สรุปได้ว่ากล้อง SLR ที่มี Adobe Photoshop CS5.1 สามารถใช้เป็นทางเลือกแทนเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อให้ได้ค่า L^* และ b^* ได้อย่างแม่นยำ จากรายงานของ Is-haak et al. (2015) พบว่า การใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำเฉลี่ย 70.54 % ส่วนวิธีการที่ประยุกต์ใช้อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำเฉลี่ย 99.65 % จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัลอลมาประเมินความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและไนโตรเจนในน้ำจืดได้

Table 2 Effect of assessment method on non-protein nitrogen percentage of soybean meal

Soybean meal	Non-protein nitrogen percentage (%)				
	Standard method	Spectro photometer	Mobile phone	P-value	CV
Sample 1	0.25 ^A	0.26 ^A	0.11 ^B	P<0.01	16.40
Sample 2	0.75 ^A	0.72 ^A	0.91 ^B	P<0.01	19.95
Sample 3	1.00 ^A	0.99 ^A	2.11 ^B	P<0.01	13.33

Table 3 Effect of assessment method on relative accuracy percentage

Soybean meal	Relative accuracy percentage (%)				
	Standard method	Spectro photometer	Mobile phone	P-value	CV
Sample 1	100.00 ^A	104.00 ^A	44.00 ^C	P<0.01	16.40
Sample 2	100.00 ^A	96.00 ^{AB}	121.33 ^C	P<0.01	19.95
Sample 3	100.00 ^A	99.00 ^A	211.00 ^C	P<0.01	13.33

สรุป

ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ($r = 0.92051$) โดยมีรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจน = 4.3169 (ค่าดูดกลืนแสง) + 0.0061 ($R^2 = 0.9047$) นอกจากนี้ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความเป็นสีเขียว (G) ของภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือโดยรวม ($r = -0.76823$) โดยมีรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจน = -0.0261 (ค่าความเป็นสีเขียว (G)) + 3.8385 ($R^2 = 0.5902$) อีกทั้งการทดลองนี้ยังชี้ให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ให้ผลการวัดค่าไนโตรเจนในโตรเจนในกากถั่วเหลืองและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสัมพัทธ์ที่ใกล้เคียงกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางห้องปฏิบัติการเคมี

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณกองทุนวิจัย นวัตกรรม และสร้างสรรค์ คณะสัตวศาสตร์เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากรที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2563 ภายใต้โครงการ “การวิจัยและพัฒนาวิธีการตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอส

ในถั่วเหลืองแบบแม่นยำโดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยปัญญาประดิษฐ์” รวมทั้งขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ห้องปฏิบัติการเคมี คณะสัตวศาสตร์เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่อำนวยความสะดวกจนโครงการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- นิรุทธ์ บุตรแสนลี. 2565. การเปลี่ยนผ่านสู่ความเป็นดิจิทัลของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา: การผลิตกำลังคนสมรรถนะสูง แห่งศตวรรษที่ 21. วารสารวิจัยและนวัตกรรม สถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร. 5(1): 1-11.
- มนต์ชัย ดวงจินดา. 2544. การใช้โปรแกรม SAS เพื่อวิเคราะห์งานวิจัยทางสัตว. ภาควิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ยุทธศักดิ์ แซ่มมุย ทศพล ตะเกาทอง และ จิระพงษ์ เจริญลา. 2562. การใช้โทรศัพท์มือถือเป็นเครื่องมือสำหรับตรวจวัดที่รวดเร็วของ โครเมียมเฮกซาวาเลน: การหาสภาวะที่เหมาะสม. น. 2687-2693. ใน: รายงานสืบเนื่องการประชุมสัมมนาวิชาการ (Proceedings) การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17. 21 กรกฎาคม 2560. ณ ศูนย์วัฒนธรรมภาคเหนือตอนล่าง วังจันทน์เวอร์วี่ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. พิษณุโลก.
- AOAC. 2012. Official method of analysis association of analytical chemists. 19th Edition, Washington DC, 121-130.
- Chaiwat Sowcharoensuk. 2563. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-2565: ไก่แช่เย็น แช่แข็ง และแปรรูป. บทวิเคราะห์จำแนก ตามอุตสาหกรรม. งานวิจัยธนาคารกรุงศรีอยุธยา.
- 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.
- Dhruv, A., G.P.K. Surenda, Y.A. Devanshi, K.S. Manoj, S. Rahul, and G. Amit. 2016. Shade selection: spectrophotometer vs digital camera – a comparative in-vitro study. Annals of Prosthodontics & Restorative Dentistry, July-September. 2(3):73-78.
- Dvořák, P., H. Musilov, and I. Svarcov. 2001. On-line measurements of colour of pork. Fleischwirtschaft. 81: 8 9–91.
- Firdaus, M.L., A. Wiwit., T. Ferli, R. Iman, R. Lena, and W. Kancono. 2014. Determination of Chromium and Iron Using Digital Image-based Colorimetry. Procedia Environmental Sciences. 20: 298 – 304.
- Girolami, A., F. Napolitano, D. Faraone, and A. Braghieri. 2013. Measurement of meat color using a computer vision system. Meat Science. 93: 111–118.
- Is-haak, J., W. Taparhudee, R. joongjaraunsuk, T. biakaew, and T. Pandee. 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.
- Islam, MD.S., MD.M. Haque, and MD. S.T Hossain. 2016. Non-Protein Nitrogen (NPN) Test Protocol for Raw Materials of Feed. International Journal of Pharmacological Research. 6(3): 129-140.
- Khajarn, J. 2017. Manual of feed microscopic and quality control. 2nd ed. Khon Kean: Thai Society of Animal Nutritionists National Farmers Council of Thailand.
- R Core Team. R. 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: 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.

- Shane K.K., J.D. Landmark, and D.F. Stickle. 2006. Demonstration of absorbance using digital color image analysis and colored solutions. *Journal of Chemical Education*. 4(83): 644-646.
- Sinaga, S.M., I.Y. Lubis, and J. Silalahi. 2016. Analysis of total protein and non protein nitrogen in Pakkat (*Calamus caesius* Blume.) as a traditional food of mandailing natal by using Kjeldahl method. *International Journal of PharmTech Research*. 9(12): 543-549.
- Steel, R.G.D., and J.H. Torrie. 1992. *Principles and Procedure Statistics*. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill Book Co., Inc.
- Tanong, K., C. Jatuporn, V. Suvanvihok, and N. Seerasarn. 2021. Forecasting import demand for soybean meal in Thailand using box-jenkins method. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*. 48(5): 58-65.