

การพัฒนาแผ่นเทียบสีเพื่อประเมินธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน

Development of Leaf Color Chart for Evaluating Nitrogen in Oil Palm Leaves

สุชาดา โภชาดอม^{1/} สัญชัย ขวัญเกื้อ^{1/} จินตนาพร โคตรสมบัติ^{1/} สมคิด ดำน้อย^{2/}
อุดมพร เสือมาก^{3/} สุธีรา ถาวรรัตน์^{1/} สุรกิตติ ศรีกุล^{2/} ฉันทนา คงนคร^{1/}
Suchada Pochadom^{1/} Sonchai Kwankuae^{1/} Jintanaporn Kodsombut^{1/} Somkid Damnoi^{2/}
Udomporn Suamag^{3/} Suteera Thawornrat^{1/} Surakitti Srikul^{2/} Chuntana Kongnakhon^{1/}

บทคัดย่อ

การใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมันตามผลการวิเคราะห์ใบเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการจัดการธาตุอาหาร อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ใบในห้องปฏิบัติการยังมีข้อจำกัดด้านต้นทุน เวลา และการเข้าถึงบริการ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันสำหรับประเมินสถานะธาตุไนโตรเจนที่สามารถใช้งานได้ในสภาพแปลง ดำเนินการในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ระหว่างปี พ.ศ. 2560-2564 โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับวิธี K-means clustering เพื่อจัดกลุ่มค่าสีและสกัดค่าสีหลักของภาพ (dominant colors) จากภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17 พันธุ์สุราษฎร์ธานี 2 จำนวน 450 ตัวอย่าง จำนวน 3,600 ภาพ และผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนจากห้องปฏิบัติการเป็นข้อมูลอ้างอิง ภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันจะถูกตัดพื้นหลังออกก่อนเข้าสู่กระบวนการจัดกลุ่มค่าสี ผลการทดลองพบว่า จำนวนกลุ่มสีที่เหมาะสมสำหรับการแทนโทนสีใบปาล์มน้ำมันในแต่ละระดับธาตุไนโตรเจน คือ $K = 5$ เมื่อนำค่าสีตัวแทนจากแต่ละระดับธาตุไนโตรเจนไปสร้างแผ่นเทียบสี มีระดับขาดไนโตรเจนมากและขาดน้อย จำนวนระดับละ 3 สี ระดับไนโตรเจนเหมาะสม จำนวน 2 สี และระดับไนโตรเจนเกินมาตรฐาน จำนวน 1 สี ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแผ่นเทียบสีด้วยวิธี Confusion matrix จากจุดตรวจสอบ 40 จุด ให้ค่าความถูกต้องรวม (overall accuracy) เท่ากับร้อยละ 80 โดยค่าความถูกต้องของผู้ผลิตในระดับขาดมาก ขาดน้อย เหมาะสม และเกินมาตรฐาน เท่ากับร้อยละ 90, 80, 58 และ 100 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แผ่นเทียบสีที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือประเมินสถานะธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีศักยภาพต่อการประยุกต์ใช้ในภาคสนามเพื่อสนับสนุนการจัดการปุ๋ยและการผลิตปาล์มน้ำมันอย่างยั่งยืนในระดับแปลงได้ ผลงานนี้ได้ดำเนินการยื่นขอรับความคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอนุสิทธิบัตรต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญากระทรวงพาณิชย์ เมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2567 เลขที่คำขอ 2403000731

คำหลัก: ปาล์มน้ำมัน ธาตุไนโตรเจน การประมวลผลภาพ การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบค่าเฉลี่ย K แผ่นเทียบสี

^{1/} สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

^{1/} Office of Agricultural Research and Development Region 7, Kanchanadit District, Surat-Thani province

^{2/} สำนักผู้เชี่ยวชาญ กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ

^{2/} Office of Senior Expert, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok

^{3/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุราษฎร์ธานี อำเภотаาชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

^{3/} Surat-Thani Agricultural Research and Development Center, Tha Chana District, Surat-Thani province

ABSTRACT

Fertilizer management in oil palm based on leaf analysis is an effective approach for nutrient management; however, laboratory-based leaf analysis is often constrained by cost, time, and limited accessibility. This study aimed to develop an oil palm leaf color chart for in field assessment of nitrogen status. The study was conducted in Upper Southern Thailand during 2017–2021. Image processing techniques combined with the K-means clustering algorithm were applied to classify color values and extract dominant colors from photographs of oil palm leaf number 17 (cultivar Surat Thani 2). A total of 450 leaf samples (3,600 images) were collected, with laboratory determined nitrogen concentrations used as reference data. Prior to clustering, image backgrounds were removed. The results indicated that five clusters ($K = 5$) were optimal for representing leaf color variation associated with nitrogen status. The resulting color chart comprised three representative colors for severe nitrogen deficiency, three for moderate deficiency, two for adequate nitrogen status, and one for excessive nitrogen status. Validation using a confusion matrix with 40 independent samples yielded an overall accuracy of 80%. Producer's accuracies for severe deficiency, moderate deficiency, adequate, and excessive nitrogen classes were 90%, 80%, 58%, and 100%, respectively. The findings demonstrate that the developed leaf color chart is an effective tool for assessing nitrogen status in oil palm leaves and has strong potential for field application to support fertilizer management and promote sustainable oil palm production at the farm level. The innovation has been submitted for petty patent protection to the Department of Intellectual Property, Ministry of Commerce, Thailand (application no. 2403000731, filed on 15 March 2024).

Key words: Oil palm, Nitrogen, Image processing, K-mean clustering, Color chart

คำนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ซึ่งเป็นแหล่งผลิตหลักของประเทศ อย่างไรก็ตาม รายงานการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันที่ปลูกในเขตภาคใต้ตอนบนส่วนใหญ่พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่าค่ามาตรฐานอ้างอิงของใบอันดับที่ 17 (Fairhurst and Mutert, 1991) โดยธาตุที่มีแนวโน้มขาดมาก ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) และธาตุโพแทสเซียม (K) ซึ่งมีบทบาทโดยตรงต่อการเจริญเติบโต การสร้างผลผลิต และความสมบูรณ์แข็งแรงของต้นปาล์มน้ำมัน การขาดธาตุไนโตรเจนส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง และเริ่มแสดงอาการที่ใบ โดยใบมีสีเขียวเหลือง (chlorosis) หากขาดรุนแรงปลายใบจะตายเกิดอาการไหม้ (necrosis) โดยมักเริ่มจากใบล่างก่อน ในทางกลับกัน การได้รับไนโตรเจนมากเกินไปอาจกระตุ้นการเจริญเติบโตทางใบและลำต้นมากเกินไป ความเหมาะสม ส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง ทำให้ผลผลิตลดลง และอาจชักนำให้เกิดการขาดธาตุโบรอน (B) ร่วมด้วย (กรมวิชาการเกษตร, 2554) เมื่อปาล์มน้ำมัน

แสดงอาการขาดธาตุอาหารดังกล่าว ย่อมส่งผลกระทบต่อผลผลิตและรายได้ของเกษตรกรโดยตรง ดังนั้น การประเมินสถานะธาตุอาหารและการวินิจฉัยอาการขาดธาตุอย่างถูกต้องจึงเป็นขั้นตอนสำคัญ สำหรับการวางแผนจัดการธาตุอาหารในสวนปาล์มน้ำมันให้มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม วิธีการประเมินธาตุอาหารตามหลักปฏิบัติทั่วไปยังอาศัยการส่งตัวอย่างใบเพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่าย ระยะเวลา และความสะดวกในการเข้าถึง ส่งผลให้เกษตรกรจำนวนมากไม่สามารถติดตามสถานะธาตุอาหารได้อย่างต่อเนื่อง ปัญหาการขาดธาตุไนโตรเจน ส่งผลกระทบต่อผลผลิตและรายได้ของเกษตรกรโดยตรง ดังนั้นการประเมินสถานะธาตุอาหารอย่างแม่นยำและการวินิจฉัยอาการขาดธาตุในระยะเริ่มต้นจึงเป็นขั้นตอนสำคัญต่อการจัดการธาตุอาหารเชิงป้องกันและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบด้วยวิธีมาตรฐานจำเป็นต้องพึ่งพาห้องปฏิบัติการ มีข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่าย ระยะเวลา และการเข้าถึงบริการ ส่งผลให้การติดตามสถานะธาตุอาหารของสวนปาล์มน้ำมันยังไม่ต่อเนื่องและไม่ครอบคลุมในระดับพื้นที่

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศทางการเกษตรมีบทบาทเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลภาพ (image processing) เนื่องจากเป็นวิธีแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive) สามารถวิเคราะห์ลักษณะที่ปรากฏของพืช (phenotype) ที่สัมพันธ์กับสุขภาพพืชและสถานะธาตุอาหารในพืช อีกทั้งยังเป็นแนวทางที่มีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับวิธีการตรวจวิเคราะห์แบบดั้งเดิม การวิเคราะห์ภาพถ่ายสี (RGB image) ของใบพืชสามารถใช้ประเมินระดับธาตุอาหาร สถานะน้ำ โรคพืช และความแก่ของใบได้ (Gupta *et al.*, 2013) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นเทียบสีสำหรับประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันจากกระบวนการประมวลผลภาพ สำหรับเป็นทางเลือกในการประเมินสถานะธาตุไนโตรเจนอย่างง่าย รวดเร็ว และเหมาะสมต่อการนำไปใช้จริงในระดับเกษตรกร ซึ่งสามารถช่วยสนับสนุนการวางแผนจัดการธาตุอาหารในสวนปาล์มน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17
2. อุปกรณ์ถ่ายภาพ ได้แก่ เครื่องสแกนภาพ Epson perfection V600 photo scanner มีความละเอียดขนาด 6400 จุดต่อนิ้ว และ optical density ขนาด 3.4 DMax และกล้องถ่ายรูปดิจิทัล
3. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจนในห้องปฏิบัติการ
4. อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และโปรแกรมประมวลผลภาพ

วิธีการ (Figure 1)

1. เก็บตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17 จากปาล์มน้ำมันพันธุ์สุราษฎร์ธานี 2 ในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และเตรียมตัวอย่างใบตามวิธีมาตรฐาน (กรมวิชาการเกษตร, 2554) จำนวน 450 ตัวอย่าง (1 ตัวอย่าง มี 4 ใบย่อย)
2. ถ่ายภาพในปาล์มน้ำมันที่เตรียมได้จาก ข้อ 1 โดยใช้เครื่องสแกนภาพ ซึ่งสามารถสแกนใบปาล์มน้ำมันที่ให้ความละเอียดของภาพเทียบเท่ากับกล้องถ่ายรูป ลดปัญหาการไม่สม่ำเสมอของแสงขณะถ่ายภาพ จำนวน 1,800 ภาพ และถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล จำนวน 1,800 ภาพ
3. นำตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน ในห้องปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐาน

4. จัดเรียงภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันและจัดกลุ่มระดับไนโตรเจนตามเกณฑ์ที่ดัดแปลงจาก Fairhurst and Mutert (1991) ได้แก่ ระดับขาดมาก ขาดน้อย เหมาะสม และเกิน เพื่อเตรียมพร้อมข้อมูลนำเข้าวิเคราะห์ในโปรแกรมประมวลผลภาพ

5. การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมัน ทำการตัดพื้นหลังของภาพออกให้เหลือเฉพาะบริเวณใบก่อนเข้าสู่การประมวลผลสี ปรับแก้ข้อมูลภาพเพื่อลดความละเอียดของภาพ (Gaussian Blur)

6. จัดทำโปรแกรมสำหรับการประมวลผลภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้เทคนิค K-mean clustering เพื่อจัดกลุ่มค่าสีที่แสดงบนใบปาล์มน้ำมันแต่ละกลุ่ม โดยแสดงผลเป็นกราฟการกระจายตัวของค่าสี และภาพแสดงสัดส่วนของสี เพื่อนำไปใช้ในการประเมินค่าสีและแนวทางในการจัดทำดัชนีธาตุอาหารใบปาล์มน้ำมัน ในรูปแบบแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมัน

7. ดำเนินการตามขั้นตอนการประมวลผลภาพ โดยใช้เทคนิค K-mean clustering โดยการส่งรูปเข้าสู่ระบบ → กำหนดค่า K หรือจำนวนกลุ่มสี → คำนวณค่าสีทั้งภาพโดยใช้ K-mean จัดกลุ่ม → กำหนดค่าสีเริ่มต้นที่จะใช้เป็นตัวแทนแต่ละกลุ่ม (เพราะค่าสีต่างกันทุกพิกเซล K-mean จะได้ค่าที่เป็นตัวแทนและใกล้เคียงกับค่าสีอื่นๆ หลังจากนั้นจึงแบ่งช่วงตามจำนวนกลุ่ม K ที่ตั้งไว้) → คำนวณค่า distance หรือระยะใกล้ไกลหรือความใกล้เคียงกันของค่าสี → ปรับค่าสีที่ใช้เป็นตัวแทนแต่ละกลุ่มให้ดีขึ้นโดยมีระยะทางที่ใกล้กับค่าสีพิกเซลอื่นๆ สั้นที่สุด แต่ยังสามารถแบ่งแยกกับกลุ่มสีอื่นได้ดี → ได้สัดส่วนค่าสี

8. หาค่าเฉลี่ยของค่าสี แต่ละกลุ่ม และเลือกค่าสีที่จะใช้เป็นตัวแทนแต่ละระดับไนโตรเจน

9. ตรวจสอบความถูกต้อง (accuracy) ของแถบสีธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน ด้วยวิธี confusion matrix (Ting, 2011) ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพของการจำแนกข้อมูล (classifier) จะบอกถึงความน่าเชื่อถือของแผ่นเทียบสีที่พัฒนาขึ้น โดยแผ่นเทียบสีที่พัฒนาขึ้นต้องมีความแม่นยำไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 จึงจะสามารถนำไปเผยแพร่และใช้งานได้

10. จัดทำแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันต้นแบบ สำหรับประเมินธาตุไนโตรเจน

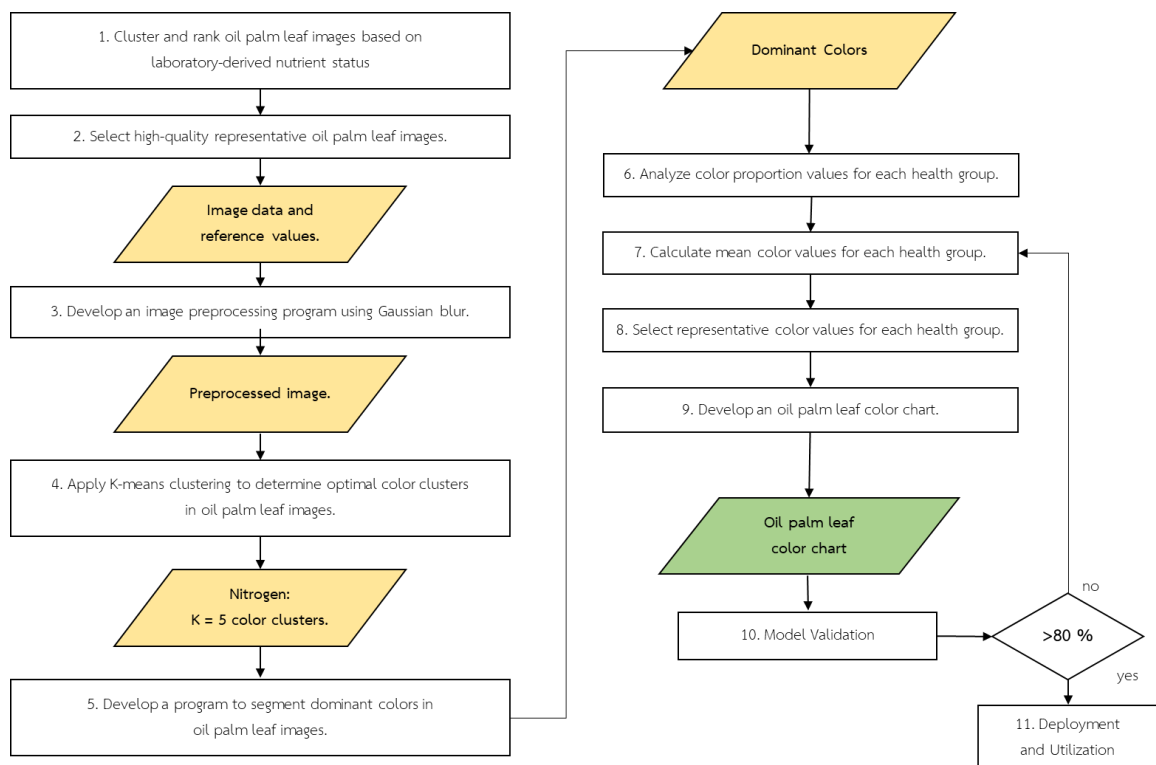


Figure 1 Workflow for developing an oil palm leaf color chart for nitrogen assessment.

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การประมวลผลภาพใบปาล์มน้ำมันเพื่อจัดกลุ่มค่าสีที่มีความสัมพันธ์กับระดับธาตุไนโตรเจน

การศึกษานี้ใช้การประมวลผลภาพใบปาล์มน้ำมันโดยเทคนิค K-means clustering เพื่อจัดกลุ่มค่าสีและสกัด ค่าสีหลักของภาพ (dominant colors) จากภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมัน (ตัดพื้นหลังออก) เพื่อศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง ลักษณะสีในภาพ กับ ปริมาณไนโตรเจนในใบ จากการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ โดยใช้ใบปาล์มทางใบที่ 17 จำนวน 450 ตัวอย่าง และจัดกลุ่มระดับไนโตรเจนตามเกณฑ์ที่ดัดแปลงจาก Fairhurst and Mutert (1991) ได้แก่ ระดับขาดมาก ขาดน้อย เหมาะสม และเกิน (Appendix Table 1) ผลการจัดกลุ่มตัวอย่างพบว่ากลุ่มขาดมากมีจำนวนสูงสุด จำนวน 239 ตัวอย่าง รองลงมาคือกลุ่มเหมาะสม จำนวน 146 ตัวอย่าง และกลุ่มขาดน้อย จำนวน 51 ตัวอย่าง ขณะที่กลุ่มเกินน้อยและเกินมากมีจำนวนต่ำ จำนวนอย่างละ 7 ตัวอย่าง การกระจายตัวอย่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสถานะไนโตรเจนในชุดข้อมูลมีแนวโน้มอยู่ในช่วงขาดถึงเหมาะสมเป็นหลัก ซึ่งสอดคล้องกับสภาพการผลิตปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ ที่พบว่าส่วนใหญ่มีการจัดการธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสมและมักพบอาการขาดธาตุอาหารโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน

การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมัน ทำการตัดพื้นหลังของภาพออกให้เหลือเฉพาะบริเวณใบก่อนเข้าสู่การประมวลผลสี ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อความแม่นยำของการวิเคราะห์สี เนื่องจากลดผลกระทบจากสีพื้นหลังที่อาจทำให้ค่าสีหลักของภาพเบี่ยงเบนจากสีของใบจริง ทั้งนี้ การหาค่าสีหลักของภาพอาศัยสัดส่วนพิกเซลเป็นตัวกำหนดสีหลัก ดังนั้นหากมีพื้นหลังสีของพื้นหลังที่มีมากกว่าอาจถูกรายงานเป็นสีหลักแทน ทำให้ค่าที่ได้ไม่สะท้อนสถานะใบอย่างถูกต้อง

การกำหนดจำนวนกลุ่มสี (K) เพื่อใช้ในการจัดกลุ่มค่าสีและสกัดสีหลัก พบว่า ค่า K เท่ากับ 5 เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับธาตุไนโตรเจน โดยประเมินจากการเปรียบเทียบค่าสีที่มีสัดส่วนมากที่สุดของผล การจัดกลุ่มกับภาพใบจริงด้วยสายตา เมื่อกำหนดค่า K แล้ว ระบบคำนวณค่าสีหลักของภาพภายใต้ระบบสี RGB ซึ่งแสดงค่าความสว่างของสีแดง เขียว และน้ำเงินในช่วง 0-255 โดยทำการสุ่มค่าเริ่มต้นจำนวน K ค่า (Figure 2) และใช้ K-means clustering ในการจัดกลุ่มพิกเซลตามความใกล้เคียงของค่าสี จากนั้นปรับค่าศูนย์กลางกลุ่ม (centroid) เพื่อให้ระยะทางภายในกลุ่มต่ำที่สุดและแยกจากกลุ่มอื่นได้ จนได้ค่าสีตัวแทนจำนวน 5 กลุ่มพร้อมสัดส่วนของค่าสีในภาพ (Figure 3) ซึ่งผลที่พบว่า K=5 สามารถแทนลักษณะสีของใบได้เหมาะสมในกรณีไนโตรเจนสามารถอธิบายได้จากลักษณะอาการของการขาดไนโตรเจนที่มักแสดงเป็นการเปลี่ยนสีแบบกระจายทั่วไป (chlorosis) ทำให้ลักษณะสีของภาพมีความเป็นเนื้อเดียวกันสูง เมื่อเทียบกับความผิดปกติบางชนิดที่เกิดเป็นจุดหรือเกิดเฉพาะบริเวณ ในเชิงประมวลผลภาพ ค่า K ที่ต่ำจึงเพียงพอสำหรับการแทนโทนสีหลักของภาพและลดความซับซ้อนของข้อมูลสี ขณะที่การกำหนดค่า K สูงเกินไปอาจทำให้เกิดการแบ่งกลุ่มสีละเอียดจนเพิ่มความไวต่อความแปรปรวนจากสภาพแสง เงา และความแตกต่างของการถ่ายภาพ ส่งผลให้ความเสถียรของค่าสีตัวแทนลดลง



Figure 2 Sample of nitrogen data tested for K number using K-Mean clustering technique.



Figure 3 Color value from color grouping of nitrogen levels in oil palm leaf.

2. การพัฒนาต้นแบบแผนเทียบสีปริมาณธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน

2.1 การพัฒนาต้นแบบแผนเทียบสีปริมาณธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน

การพัฒนาต้นแบบแผนเทียบสีปริมาณธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน โดยพัฒนาจากผลของการจัดกลุ่มค่าสีจากภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการประมวลผลด้วยเทคนิค K-means clustering เพื่อสกัดชุดค่าสีหลักของภาพที่สัมพันธ์กับระดับปริมาณไนโตรเจนในใบ พบว่า สามารถกำหนดจำนวนกลุ่มสีที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแผนเทียบสีธาตุไนโตรเจนได้ 5 กลุ่มสี ซึ่งเป็นจำนวนคลัสเตอร์ที่เพียงพอในการแทนโทนสีหลักของใบปาล์มน้ำมันสำหรับการประเมินธาตุไนโตรเจน เมื่อนำผลการสกัดค่าสีหลักของภาพจากแต่ละระดับธาตุไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างแผนเทียบสี พบว่า ในกลุ่มตัวอย่างของธาตุไนโตรเจนระดับขาดมาก มีสีตัวแทนรวม 3 ค่าสี ในระดับขาดน้อย มีสีตัวแทนรวม 3 ค่าสี ในระดับเหมาะสม มีสีตัวแทนรวม 2 ค่าสี และในระดับเกินมาตรฐาน มีสีตัวแทนรวม 1 ค่าสี (Figure 3) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของโทนสีใบปาล์มน้ำมันในระดับขาดธาตุไนโตรเจนมีความหลากหลายมากกว่าในระดับเหมาะสมและระดับเกินมาตรฐาน กล่าวคือ กลุ่มขาดธาตุไนโตรเจนมาก และขาดน้อยแสดงช่วงการไล่ระดับสีที่กว้างกว่า (เช่น เขียวอ่อนไปจนถึงเหลือง) จึงจำเป็นต้องใช้สีตัวแทนมากกว่าเพื่อให้แผนเทียบสีมีความครอบคลุมต่อความแปรปรวนของภาพใบจริง ขณะที่กลุ่มระดับธาตุไนโตรเจนเหมาะสมและเกินมาตรฐานมีแนวโน้มสีใบอยู่ในช่วงแคบกว่า จึงใช้จำนวนสีตัวแทนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการแปลผลสีใบที่สัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์และความเขียวของใบพืช (Pant et al., 2025) การใช้ค่าสีหลักของภาพเป็นตัวแทนระดับธาตุไนโตรเจนมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ประยุกต์การสกัดสีเด่นจากภาพเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเชิงสี (colorimetric reference) ซึ่งรายงานว่เทคนิค K-means clustering สามารถสกัดชุดสีที่สะท้อนการรับรู้ของมนุษย์ และสามารถนำไปใช้เป็นฐานอ้างอิงสำหรับการเทียบสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Molada-Tebbar et al., 2020)

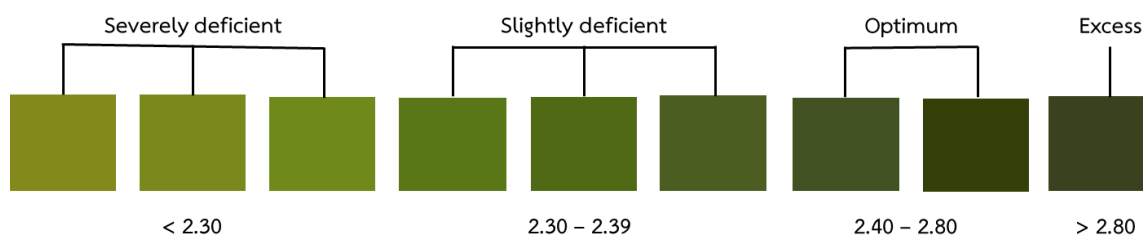


Figure 4 Color shades of nitrogen levels in oil palm leaf.

2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแผนเทียบสีใบปาล์มน้ำมัน สำหรับประเมินธาตุไนโตรเจน

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนเทียบสีใบปาล์มน้ำมันสำหรับประเมินระดับธาตุไนโตรเจน ดำเนินการโดยใช้วิธี confusion matrix ซึ่งเป็นแนวทางมาตรฐานในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือจำแนกประเภทข้อมูล (classification) กำหนดจุดตรวจสอบความถูกต้องจำนวนทั้งหมด 40 จุด เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลการประเมินจากแผนเทียบสีกับระดับไนโตรเจนจากผลวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง (ground truth) ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) สำหรับการประเมินระดับธาตุไนโตรเจนในแต่ละระดับ ได้แก่ ระดับขาดมาก ขาดน้อย เหมาะสม และระดับเกินมาตรฐาน มีค่าเท่ากับร้อยละ 90, 80, 58 และ 100 ตามลำดับ ขณะที่ค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน (user's accuracy) มีค่าเท่ากับร้อยละ 90, 80, 70 และ 80 ตามลำดับ และมีค่าความถูกต้องรวมของระบบ (overall accuracy) เท่ากับร้อยละ 80 (Table 1)

ค่าความถูกต้องของผู้ผลิตในระดับขาดมากและระดับขาดน้อยที่อยู่ในช่วงร้อยละ 80–90 แสดงให้เห็นว่าแผ่นเทียบสีสามารถระบุใบปาล์มน้ำมันที่อยู่ในภาวะขาดไนโตรเจนได้ค่อนข้างดี ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะอาการของการขาดไนโตรเจนที่มักแสดงออกเป็นการเปลี่ยนสีใบแบบกระจายทั่วไป (chlorosis) ส่งผลให้โทนสีของใบแตกต่างจากกลุ่มเหมาะสมอย่างชัดเจน และสนับสนุนการจำแนกด้วยข้อมูลเชิงสีจากภาพถ่าย ซึ่งไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และความเขียวของใบ จึงสามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลภาพสีได้ดี (Pane *et al.*, 2025) ในทางตรงกันข้าม ระดับไนโตรเจนเหมาะสมมีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 58) เมื่อเทียบกับระดับอื่น ซึ่งอาจเกิดจากการทับซ้อนของช่วงโทนสีระหว่างกลุ่มเหมาะสมกับกลุ่มขาดน้อยหรือกลุ่มเกินมาตรฐาน โดยเฉพาะในกรณีที่ความแตกต่างของสีไม่มีลักษณะต่อเนื่องเป็นช่วงมากกว่าการแบ่งเป็นกลุ่มอย่างชัดเจน ทำให้บางตัวอย่างถูกจัดกลุ่มคลาดเคลื่อนไปยังระดับใกล้เคียง สอดคล้องกับการจำแนกชั้นข้อมูลจากภาพที่ระบุว่า กลุ่มที่มีลักษณะเชิงสเปกตรัมใกล้เคียงกันมักมีความสับสนสูงกว่ากลุ่มที่มีลักษณะแตกต่างอย่างชัดเจน (Comber *et al.*, 2012) ในส่วนระดับเกินมาตรฐาน พบค่าความถูกต้องของผู้ผลิตสูงถึงร้อยละ 100 แสดงให้เห็นว่าใบที่มีไนโตรเจนสูงสามารถถูกจำแนกได้ถูกต้องทั้งหมด ในชุดข้อมูลตรวจสอบ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องของผู้ใช้งานซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 80 แสดงให้เห็นว่ายังมีบางกรณีที่ตัวอย่างจากระดับอื่นถูกจำแนกเข้ามาอยู่ในกลุ่มเกินมาตรฐาน สาเหตุหนึ่งอาจมาจากจำนวนตัวอย่างในกลุ่มเกินที่มีค่อนข้างน้อย ทำให้ช่วงค่าสีตัวแทนของกลุ่มนี้ยังไม่ครอบคลุมความแปรปรวนของสีใบในระดับไนโตรเจนสูงทั้งหมด สำหรับค่าความถูกต้องรวมของระบบเท่ากับร้อยละ 80 หมายถึงแผ่นเทียบสีที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในระดับที่ดีสำหรับการใช้เป็นเครื่องมือประเมินสถานะไนโตรเจนของใบปาล์มน้ำมันเบื้องต้นในภาคสนามได้ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการวิธีการประเมินที่รวดเร็วและต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ สามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจการจัดการธาตุไนโตรเจนในระดับแปลงได้

Table 1 Confusion matrix between oil palm leaf color chart assessment and laboratory analysis

		Nutrient Deficiency Status from Laboratory Analysis				Total	User's accuracy
		Severely Deficient	Moderately Deficient	Adequate	Excessive		
Classified by N Status from LCC	Severely Deficient	9	0	1	0	10	90%
	Moderately Deficient	0	8	2	0	10	80%
	Adequate	1	2	7	0	10	70%
	Excessive	0	0	2	8	10	80%
Total		10	10	12	8	40	
Producer's accuracy		90%	80%	58.33%	100%		
Overall accuracy		80%					

3. ต้นแบบแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันและการใช้ประโยชน์

3.1 ต้นแบบแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันสำหรับประเมินธาตุไนโตรเจน

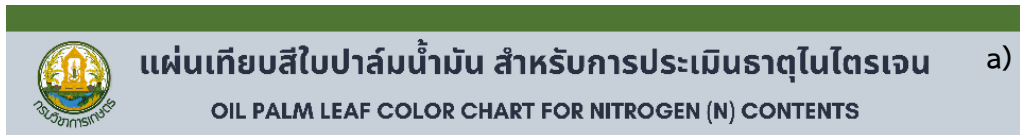
ต้นแบบแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันสำหรับประเมินสถานะธาตุไนโตรเจน ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมต่อการใช้งานภาคสนาม โดยจัดทำจากวัสดุพลาสติกและพิมพ์สีสองด้าน ด้านหน้าแสดงแถบสีที่แทนระดับธาตุไนโตรเจน ได้แก่ ระดับขาดมาก ขาดน้อย เหมาะสม และเกิน พร้อมระบุช่วงปริมาณธาตุอาหารในแต่ละระดับ และหมายเหตุ (!) สำหรับตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17 ด้านหลัง แสดงวิธีใช้งาน จำนวน 4 ข้อ คือ 1. ตัดตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันจากทางใบที่ 17 โดยเลือกใช้ใบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของทางใบ 2. ตัดบริเวณส่วนบนและล่างของใบปาล์มน้ำมันทิ้ง เลือกใช้เฉพาะส่วนกลางของใบปาล์มน้ำมัน 3. เช็ดทำความสะอาดใบปาล์มน้ำมันเพื่อไม่ให้มีฝุ่นและเห็นสีจริงของใบปาล์มน้ำมัน และ 4. นำใบปาล์มน้ำมันมาวางลงบนแผ่นเทียบสี และเลือกหาสีที่ใกล้เคียงที่สุด เพื่อประเมินธาตุไนโตรเจน และมีหมายเหตุ (!) เพื่อย้ำว่าการประเมินใช้กับตัวอย่างใบจากทางใบที่ 17 เท่านั้น (Figure 5)

แผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันสำหรับประเมินธาตุไนโตรเจนดังกล่าว ได้ดำเนินการยื่นขอรับความคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาในประเภทอนุสิทธิบัตรต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ เมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2567 และได้รับเลขที่คำขอ คือ 2403000731

3.2 การใช้ประโยชน์แผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันสำหรับประเมินธาตุไนโตรเจน

แผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือประเมินสถานะธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันเบื้องต้นระดับแปลงเกษตรกร เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการจัดการปุ๋ยให้เหมาะสมและเป็นทางเลือกเสริมหรือทดแทนการวิเคราะห์ใบในห้องปฏิบัติการซึ่งมีข้อจำกัดด้านต้นทุน เวลา และการเข้าถึงบริการ การนำแผ่นเทียบสีไปใช้งานช่วยให้เกษตรกรสามารถประเมินระดับไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การใช้ปุ๋ยมีความถูกต้องและเหมาะสมมากขึ้น ลดความเสี่ยงจากการใส่ปุ๋ยมากหรือน้อยเกินความจำเป็น ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปาล์มน้ำมันให้กับเกษตรกร

การใช้งานแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันสำหรับประเมินสถานะธาตุไนโตรเจน ดำเนินการตามขั้นตอนที่ระบุไว้ด้านหลังของแผ่นเทียบสี ภายหลังจากการประเมินระดับธาตุอาหารแล้ว สามารถนำผลการประเมินไปใช้ประกอบการกำหนดคำแนะนำการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเบื้องต้นได้ ดังนี้ กรณีที่ประเมินได้ว่าระดับธาตุไนโตรเจนอยู่ในระดับเกินมาตรฐาน ให้ปรับลดปริมาณการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงร้อยละ 20 จากปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในปีที่ผ่านมา กรณีที่อยู่ในระดับเหมาะสม ให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเท่าเดิมกับปีที่ผ่านมา และกรณีที่ประเมินได้ว่าระดับธาตุไนโตรเจนอยู่ในระดับขาดและขาดมาก ให้เพิ่มปริมาณการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร้อยละ 20 และ 30 จากปริมาณปุ๋ยที่ใส่ในปีที่ผ่านมา ตามลำดับ

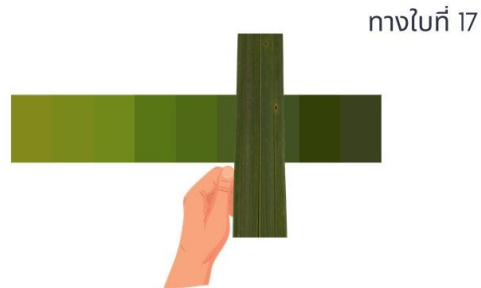


สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ⓘ สำหรับตัวอย่างใบปาล์มจากทางใบที่ 17



วิธีใช้งาน

1. ตัดตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันจากทางใบที่ 17 โดยเลือกใช้ใบที่อยู่ในบริเวณกึ่งกลางของทางใบ
2. ตัดบริเวณส่วนบนและล่างของใบปาล์มน้ำมันทิ้ง เลือกใช้เฉพาะส่วนกลางของใบปาล์มน้ำมัน
3. เช็ดทำความสะอาดใบปาล์มน้ำมันเพื่อไม่ให้มีฝุ่น และเห็นสีจริงของใบปาล์มน้ำมัน
4. นำใบปาล์มน้ำมันมาวางบนแผ่นเทียบสี และเลือกหาสีที่ใกล้เคียงที่สุด เพื่อประเมินธาตุไนโตรเจน



สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ⓘ สำหรับตัวอย่างใบปาล์มจากทางใบที่ 17

Figure 5 Oil palm leaf color chart for nitrogen (N) contents.

a) front of oil palm leaf color chart

b) back of oil palm leaf color chart

สรุปผลการทดลอง

1. การประมวลผลภาพใบปาล์มน้ำมันด้วยเทคนิค K-means clustering สามารถใช้จัดกลุ่มค่าสีและสกัดค่าสีหลักของภาพ (dominant colors) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสีใบกับระดับธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อใช้ผลวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการเป็นข้อมูลอ้างอิง พบจำนวนกลุ่มสีที่เหมาะสมสำหรับการแทนโทนสีใบปาล์มน้ำมันในกรณีธาตุไนโตรเจน คือ $K = 5$ ซึ่งสามารถครอบคลุมความแปรปรวนของสีใบในแต่ละระดับธาตุอาหารได้

2. ต้นแบบแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมัน สำหรับประเมินธาตุไนโตรเจน มีแถบสีแสดงสถานะธาตุไนโตรเจน ระดับขาดมาก จำนวน 3 ค่าสี ระดับขาดน้อย 3 ค่าสี ระดับเหมาะสม จำนวน 2 ค่าสี และระดับเกิน จำนวน 1 ค่าสี มีค่าความถูกต้องรวม (Overall accuracy) คิดเป็นร้อยละ 80

3. แผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันที่พัฒนาขึ้นมีรูปแบบเหมาะสมต่อการใช้งานภาคสนาม แสดงแถบสีระดับธาตุอาหารและวิธีใช้งานอย่างชัดเจน และได้ยื่นขอรับความคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาในประเภทอนุสิทธิบัตรเรียบร้อยแล้ว

การนำไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยได้ถูกถ่ายทอดสู่การใช้งานจริงในภาคสนาม โดยจัดทำต้นแบบแผ่นเทียบสีใบปาล์ม น้ำมันสำหรับให้เกษตรกรใช้ประเมินสถานะธาตุไนโตรเจนในแปลง พร้อมเอกสารประกอบการใช้งาน และแนวทางการแปลผลสู่คำแนะนำการใช้ปุ๋ย ให้กับเกษตรกรและผู้สนใจมากกว่า 500 ราย ได้แก่ กลุ่มแปลงใหญ่ปาล์มน้ำมันในอำเภอกาญจนดิษฐ์ อำเภอดอนสัก อำเภอพุนพิน และอำเภอพนม จังหวัด สุราษฎร์ธานี วิทยาลัยชุมชนการผลิตน้ำมันปาล์มอย่างยั่งยืน (ท่าชนะ-ไชยา) กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกปาล์ม น้ำมัน จังหวัดพังงา นอกจากนี้ ได้สนับสนุนแผ่นเทียบสีพร้อมเอกสารฯ แก่กลุ่มเกษตรกรภายใต้ โครงการการผลิตปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มอย่างยั่งยืนเพื่อลดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศ โดยองค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ) ซึ่งมีสมาชิกกว่า 1,000 ราย รวมทั้งนำผลงานวิจัยไปจัดนิทรรศการแสดงในงานวันถ่ายทอดเทคโนโลยีของสำนักวิจัยและพัฒนาการ เกษตร เขตที่ 7 ประจำปี พ.ศ. 2568 และงานคลินิกเกษตรเคลื่อนที่ฯ จังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัด กระบี่ เพื่อขยายผลการใช้ประโยชน์ในวงกว้าง

ผลการประเมินความพึงพอใจของเกษตรกรและผู้สนใจต่อการใช้แผ่นเทียบสีใบปาล์ม น้ำมัน สำหรับประเมินธาตุไนโตรเจน โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (5 = มากที่สุด, 4 = มาก, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย และ 1 = น้อยที่สุด) ผู้ตอบแบบประเมินจำนวน 102 ราย พบว่า ด้านความ เข้าใจและการใช้งาน ประกอบด้วย คู่มือหรือคำอธิบายมีความเข้าใจง่าย ขั้นตอนการใช้งานไม่ซับซ้อน และสามารถใช้งานได้ด้วยตนเอง มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 3.88, 4.38 และ 5.00 ตามลำดับ ด้าน ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีและประโยชน์ต่อการจัดการสวน ได้แก่ ความชัดเจนของสีบนแผ่นเทียบ ความสามารถในการช่วยสนับสนุนการตัดสินใจใส่ปุ๋ย และศักยภาพในการช่วยลดต้นทุนต่อหน่วยการ ผลิต มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.00, 4.13 และ 3.63 ตามลำดับ และด้านความพึงพอใจโดยรวม ประกอบด้วย ความพึงพอใจต่อแผ่นเทียบสีโดยรวม ความตั้งใจที่จะใช้งานอย่างต่อเนื่อง และความยินดี ในการแนะนำให้ผู้อื่นนำไปใช้ มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.25, 4.13 และ 4.13 ตามลำดับ

จากผลการถ่ายทอดและการประเมินความพึงพอใจแสดงให้เห็นว่า เกษตรกรมีความพึงพอใจต่อ การใช้แผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันในระดับมาก และเห็นว่าเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จริงในระดับแปลงเกษตรกร อีกทั้งยังมีศักยภาพในการสนับสนุนการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนอย่าง มีประสิทธิภาพ ช่วยลดต้นทุนการผลิต และเหมาะสมต่อการสนับสนุนการผลิตปาล์มน้ำมันอย่างยั่งยืน



คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณเกษตรกรทุกท่านที่อนุเคราะห์ให้คณะผู้วิจัยเก็บตัวอย่างใบปาล์มน้ำมัน ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อภิชน ไช้ยางกูร และนางสาวกุลนรี กรัตติยานนท์ ที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการพัฒนาแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมัน สำหรับประเมินธาตุไนโตรเจน ขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและบุคลากรอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย ตลอดจนคณะผู้บริหาร คณะผู้เชี่ยวชาญ คณะกรรมการพิจารณาและติดตามงานวิจัยทุกคณะของกรมวิชาการเกษตร ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ และสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี สุดท้ายขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2554. เทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร. เอกสารประกอบการอบรม. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- Comber, A., Fisher, P., Brunsdon, C. and Khmag, A. 2012. Spatial analysis of remote sensing image classification accuracy. *Remote Sensing of Environment* 127: 237–246.
- Fairhurst, T.H. and Mutert, E. 1991. Interpretation and management of oil palm leaf analysis data. *Better Crops International* 13(1): 48–51.
- Gupta, P., Rathore, M. and Kumari, S. 2013. A survey of techniques and applications for real time image processing. *Journal of Global Research in Computer Science* 4: 1–5.
- Molada-Tebar, A., Marqués-Mateu, Á., Lerma, J.L. and Westland, S. 2020. Dominant color extraction with K-means for camera characterization in cultural heritage documentation. *Remote Sensing* 12(3): 520.
- Pane, M.A.S., Zaki, N.A.M., Rahiman, M.H.F., et al. 2025. Assessing palm plant health through color analysis of leaves using MATLAB-based digital image processing. *Journal of Information Systems and Technology Research* 4(2): 63–70.
- Ting, K.M. 2011. Confusion matrix. In: Sammut, C. and Webb, G.I. (eds.). *Encyclopedia of Machine Learning*. Springer, Boston, MA.
- Wu, J. 2012. *Advances in K-means clustering: A data mining thinking*. Springer Theses. Springer, Berlin.

ภาคผนวก

Appendix Table 1 : Nutrient concentration in leaf 17 associated with deficiency, optimum and excess in young palms more than 6 years from planting (Fairhurst and Mutert, 1991)

Nutrients	Units	more than 6 years		
		Deficiency	Optimum	Excess
N	%	<2.28	2.40-2.80	>2.94
P	%	<0.1425	0.15-0.18	>0.189
K	%	<0.81	0.90-1.20	>1.32
Mg	%	<0.20	0.25-0.40	>0.70
Ca	%	<0.25	0.50-0.75	>1.00
B	mg/kg	<8	15-25	>40
S	%	<0.20	0.25-0.35	>0.60
Cl	mg/kg	<0.25	0.50-0.70	>1.00
Cu	mg/kg	<3	5.0-8.0	>15
Zn	mg/kg	<10	12.0-18.0	>80