



การประเมินค่าคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมันโดยใช้ค่าสีร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่อง: กรณีศึกษาการเปรียบเทียบระบบสี

Chlorophyll Assessment of Oil Palm Leaves using Color Attributes Combined with Machine Learning: A Case Study of Color Space Comparison

กิตติศักดิ์ เพ็ชรพันธ์¹, จิราพร อ่อนมั่นคง^{2*}

Kittisak Phetpan¹, Jiraporn Onmankhong^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 86160

¹Department of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Chumphon 86160, Thailand

²ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ 10520

²Department of Agricultural Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

*Corresponding author: Tel.: +66-957-089-409, E-mail: jiraporn.on@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมันโดยใช้ค่าสีร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่อง ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันรวมทั้งหมด 66 ตัวอย่าง ถูกสุ่มเก็บเพื่อวัดค่าคลอโรฟิลล์และวัดค่าสี $L^*a^*b^*$ จากนั้นค่าสีถูกแปลงเป็นค่าระบบสี RGB และ HSV จะได้ค่าระบบค่าสีที่แตกต่างกันทั้งหมด 16 รูปแบบ ได้แก่ $L^*a^*b^*$, L^* , a^* , b^* , RGB, R, G, B, HSV, H, S, V, $L^*a^*b^* + \text{RGB}$, $L^*a^*b^* + \text{HSV}$, $\text{RGB} + \text{HSV}$ และ $L^*a^*b^* + \text{RGB} + \text{HSV}$ เพื่อทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้ค่าคลอโรฟิลล์และระบบค่าสีด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Linear Regression Analysis, SLR) และซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน (Support Vector Regression, SVR) โดยใช้วิธีการพิสูจน์แบบไขว้ (Cross Validation) จากนั้นเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดทั้งหมด 3 อันดับแรก ผลจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าทำนาย พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าจริงและค่าทำนายจากทั้ง 3 แบบจำลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าค่าความแตกต่างของความผิดพลาดเฉลี่ยของแบบจำลอง 3 อันดับแรก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดถูกพัฒนาจาก $L^*a^*b^*$ ซึ่งใช้วิธี SLR โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.59 และมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของการทำนายแบบไขว้ (RMSECV) เท่ากับ 5.22 SPAD

คำสำคัญ: ปาล์มน้ำมัน, คลอโรฟิลล์, เครื่องวัดสี

Abstract

This research aims to assess the chlorophyll content of oil palm leaves using color values combined with machine learning. A total of 66 oil palm leaf samples were randomly collected to measure chlorophyll content and $L^*a^*b^*$ color values. The $L^*a^*b^*$ values were converted to RGB and HSV color systems, resulting in 16 different colorimetric features: $L^*a^*b^*$, L^* , a^* , b^* , RGB, R, G, B, HSV, H, S, V, $L^*a^*b^* + \text{RGB}$, $L^*a^*b^* + \text{HSV}$, $\text{RGB} + \text{HSV}$, and $L^*a^*b^* + \text{RGB} + \text{HSV}$. To build the model, Stepwise Linear Regression Analysis (SLR) and Support Vector Regression (SVR) were used with Cross Validation. The best models were selected from all 3 models. The results showed that the average of actual and predicted values from all 3 models did not differ significantly at the 95% confidence level, and the average difference of error of the 3 models did not differ significantly at the 95% confidence level. The most suitable model was developed from $L^*a^*b^*$ using the SLR method, with a decision coefficient (R^2) of 0.59 and a root mean square error of cross validation (RMSECV) of 5.22 SPAD.

Received: March 29, 2024

Revised: May 30, 2024

Accepted: May 30, 2024

Available online: June 30, 2024

L*a*b*+ RGB + HSV. Calibration models were developed using chlorophyll content and colorimetric variables with stepwise linear regression analysis (SLR) and support vector regression (SVR) based on cross-validation. The top three models were selected. Based on the hypothesis test for a difference between means, the means of the predicted values and the actual values of all those 3 models were not statistically different at the 95% confidence level. Additionally, the mean errors of the top 3 models were not statistically different at the 95 % confidence level. Among those 3 models, the suitable one having a coefficient of determination (R^2) of 0.59 and a root mean square error of cross-validation (RMSECV) of 5.22 SPAD was developed from the L*a*b* color features using SLR approach.

Keywords: Oil palm, Chlorophyll, Color meter

1 บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพในการแข่งขันสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2563ก) ในปี 2566 ประเทศไทยมีผลผลิตจากปาล์มน้ำมันกว่า 19 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2565 ร้อยละ 4.37 (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหาร (ปุ๋ย) ในปริมาณสูง ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน เพื่อให้มีการเจริญเติบโตที่เหมาะสมและผลผลิตสูง ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) และแคลเซียม (Ca) (Amirruddin et al., 2022) ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารในกลุ่มที่ปาล์มน้ำมันต้องการมากที่สุด ซึ่งไนโตรเจนส่งผลต่อพื้นที่ใบ สีของใบ อัตราการเกิดใบใหม่ และการดูดซึมธาตุอาหาร (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2554) ทำให้เกษตรกรมีความจำเป็นต้องให้ไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2554) อย่างไรก็ตามต้นทุนในการดูแลรักษาสวนปาล์มน้ำมันมากกว่าร้อยละ 50 เป็นเรื่องของค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับปุ๋ย ดังนั้นหากมีการจัดการปุ๋ยที่ถูกต้องเหมาะสมและมีประสิทธิภาพก็สามารถเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการผลิตปาล์มน้ำมันให้แก่เกษตรกรได้

ในปัจจุบันกรมวิชาการเกษตร แนะนำให้เกษตรกรเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความต้องการปูน (Lime Requirement) อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) และความสามารถในการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) เพื่อประกอบการจัดการดิน การวางแผนปรับปรุงดิน ตลอดจนกำหนดชนิดและวิธีการใส่ปุ๋ย นอกจากนั้นกรมวิชาการยังแนะนำให้เก็บตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารที่จำเป็น

ต่อปาล์มน้ำมัน ได้แก่ N P K Mg และ Ca ค่าเหล่านี้สามารถใช้ประกอบการพิจารณาการใส่ปุ๋ยของเกษตรกร เพื่อเกษตรกรจะได้ให้ปุ๋ยต้นปาล์มน้ำมันที่มีประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และใช้เวลานาน (กรมวิชาการเกษตร, 2566) ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับปาล์มน้ำมันทั้ง 5 ชนิดนี้ พบว่าไนโตรเจนมีความจำเป็นสำหรับปาล์มน้ำมันมากที่สุด ดังนั้นหากมีเครื่องมือวัดที่สามารถตรวจสอบการขาดไนโตรเจนของต้นปาล์มน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ไม่ยุ่งยากจะเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการแก้ปัญหาเหล่านี้

เทคนิคการประยุกต์ใช้ค่าสีเป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องด้วยอาการขาดไนโตรเจนสามารถสังเกตได้จากสีของใบปาล์มน้ำมันจะมีสีเหลืองซีดหรือสีเขียวอมเหลือง (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2563ข) การเปลี่ยนสีของใบต้นปาล์มน้ำมันเรียกได้อีกอย่างว่า “ภาวะพร่องคลอโรฟิลล์” (รัฐพงษ์ และคณะ, 2564) ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไนโตรเจนทางใบพืชอีกด้วย (Evans, 1989; Liu et al., 2012) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบพืช Křizová et al. (2022) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ค่าสี RGB จากรูปภาพดิจิทัลเพื่อประเมินค่าคลอโรฟิลล์ของใบต้นเรพซิด จากการศึกษาพบว่าค่าสีน้ำเงินและแดงเหมาะสมที่สุดในการสร้างแบบจำลองทำนายค่าคลอโรฟิลล์ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.81 โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression) Lima et al. (2017) ได้ศึกษาผลกระทบของสีใบองุ่นจากการต้ม เมื่อนำใบองุ่นไปต้มทำให้สีเขียวของใบองุ่นลดลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล และพบว่าการลดลงของสีเขียวนี้ทำให้คลอโรฟิลล์ของใบองุ่นลดลงตามไปด้วย และยังรายงานอีกว่าการนำไปต้มนั้นทำให้ความสว่าง (L^*) และสีเขียว (a^*) ของใบองุ่นลดลง Berg and Perkins (2004) ได้ศึกษาการประเมินความสามารถของเครื่องมือวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เพื่อ

ประเมินการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบชูการ์เมเปิ้ล จากการศึกษาพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์กับไนโตรเจนมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยหลายงานวิจัยใช้เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ เป็นวิธีการแบบไม่ทำลายในการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์และประมาณค่าไนโตรเจนของพืชผลทางการเกษตร (Vesali et al, 2015) จากงานวิจัยข้างต้นสังเกตได้ว่าค่าสีมีผลต่อการค่าคลอโรฟิลล์และไนโตรเจน ปริมาณคลอโรฟิลล์ส่งผลต่อค่าสีของใบไม้ ซึ่งการได้มาของค่าสีเป็นเครื่องมือต้นทุนต่ำเนื่องจากเป็นช่วงที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ จึงถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าไนโตรเจนด้วย อย่างไรก็ตาม มาตรฐานค่าสีมีหลากหลายระบบ โดยระบบซึ่งเป็นที่ยอมรับและถูกใช้เพื่อการศึกษาวิจัยทางด้านการวิเคราะห์ทางเกษตรประกอบด้วยระบบสี CIELAB color space ($L^*a^*b^*$), ระบบสี RGB (Red, Green, Blue) color space และระบบสี HSV (Hue, Saturation, Value) color space (ธีรชัย, 2565) (Kerkech et al., 2018) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการประยุกต์ใช้ค่าสีร่วมกับการสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อประเมินค่าคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมัน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของระบบสีที่แตกต่างกันที่มีต่อสมรรถนะของแบบจำลอง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างใบปาล์มน้ำมัน

ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมัน จำนวน 66 ตัวอย่าง ถูกสุ่มเก็บจากทางใบที่ 17 จำนวน 66 ต้น จากแปลงปาล์มน้ำมันของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร โดยครอบคลุม 4 ช่วงอายุของต้นคือ 5 10 15 และ 20 ปี เพื่อให้มีความครอบคลุมความแปรปรวนความอุดมสมบูรณ์ของระดับธาตุอาหาร แต่ละตัวอย่างใช้ใบปาล์มน้ำมัน จำนวน 1 ใบ ซึ่งถูกตัดให้มีขนาดความยาวประมาณ 10 cm (เลือกส่วนกลางตามความยาวของใบ) ตามคำแนะนำตามหลักวิชาการในการสุ่มเก็บทางใบเพื่อตรวจสอบความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน การเลือกสุ่มเก็บตัวอย่างจากทางใบที่ 17 เพราะเป็นตำแหน่งทางใบที่ปริมาณธาตุอาหารมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน และได้ถูกใช้เป็นหลักวิชาการในการสุ่มเก็บทางใบเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งตำแหน่งทางใบที่ 17 นับจากใบยอดที่คลี่เต็มที่แล้วเป็นใบที่ 1 (ธีรพงศ์, 2556; Chungcharoen et al., 2022)

2.2 การวัดค่าสีและระดับคลอโรฟิลล์

ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันแต่ละตัวอย่างถูกนำมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Minolta CR-000 colorimeter, Minolta Inc., USA) จำนวน 10 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ซ้ำ และนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนค่าสีของตัวอย่าง โดยกระบวนการวัดประกอบด้วยการใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 ที่ 2° observer และบันทึกค่าสีในระบบ CIE L^* , a^* , และ b^* จากนั้นตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันถูกวัดระดับคลอโรฟิลล์ด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (Chlorophyll meter, SPAD-502Plus, Konica Minolta, Japan) ในตำแหน่งและเงื่อนไขเดียวกับการวัดค่าสีเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวแทนค่าคลอโรฟิลล์ของตัวอย่างใบปาล์มน้ำมัน

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ก่อนการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินระดับคลอโรฟิลล์ด้วยค่าสี ค่าระดับคลอโรฟิลล์ถูกทดสอบตัวอย่างนอกกลุ่ม (Outlier) โดยใช้สมการที่ (1) (Posom et al., 2016)

$$\frac{(X_i - \bar{X})}{SD} \geq \pm 3 \quad (1)$$

เมื่อ X_i คือ ค่าคลอโรฟิลล์ที่วัดจริง

$\bar{X}$ คือ ค่าคลอโรฟิลล์เฉลี่ย

SD คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยหากผลการคำนวณได้ค่าอยู่นอกช่วง -3 ถึง +3 แสดงว่าเป็นตัวอย่างนอกกลุ่ม (Posom et al., 2016)

ค่าสีจากตัวอย่างใบปาล์มน้ำมัน $L^*a^*b^*$ ถูกแปลงเป็นค่าสี RGB และ HSV โดยใช้ฟังก์ชัน lab2rgb และ rgb2hsv ในโปรแกรม Matlab สำหรับแปลงค่าสี ซึ่งค่าสีเหล่านี้เป็นตัวแปรต้น และค่าคลอโรฟิลล์เป็นตัวแปรตาม งานวิจัยนี้ใช้ตัวแปรต้นเพื่อการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบทั้งหมด 16 ตัวแปร ประกอบด้วย $L^*a^*b^*$, L^* , a^* , b^* , RGB, R, G, B, HSV, H, S, V, $L^*a^*b^* + RGB$, $L^*a^*b + HSV$, $RGB + HSV$ และ $L^*a^*b^* + RGB + HSV$ โดยที่ $L^*a^*b^*$ เป็นการกำหนดค่าสีโดยใช้หลักการตามทฤษฎีคู่ตรงข้าม ซึ่งมีอยู่ 3 คู่ คือ สีแดงกับสีเขียว สีเหลืองกับสีน้ำเงิน และสีชาวกกับสีดำ โดยค่าความสว่าง (L^*) เป็นค่าบอกความสว่างของสีมีตั้งแต่ 0 ถึง 100 ค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a^*) มีค่าตั้งแต่ -120 ถึง 120 (ค่าเป็นบวกคือสีแดง ค่าเป็นลบคือสีเขียว) ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (b^*) มีค่าตั้งแต่ -120 ถึง 120 (ค่าเป็นบวกคือสีเหลือง ค่าเป็นลบคือสีน้ำเงิน) (ศศิภา, 2554) RGB แสดงถึง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับ HSV เป็นการพัฒนาศีโดยใช้ Hue

Saturation และ Value ซึ่ง Hue คือค่าสีของสีหลัก (แดง เขียว และน้ำเงิน) ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดงและเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นสีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 Saturation คือ ความบริสุทธิ์ของสี ถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 แล้วสีที่ได้จะไม่มี Hue และจะเป็นสีขาวล้วนแต่ถ้าหาก Saturation มีค่าเท่ากับ 255 แสดงว่าจะไม่มีแสงสีขาวผสมอยู่เลย Value คือ ความสว่างของสี ซึ่งสามารถวัดได้โดยค่าความเข้มของความสว่างของแต่ละสี (วัชรพงษ์, 2561)

แบบจำลองการประเมินค่าระดับคลอโรฟิลล์ของใบปาล์ม น้ำมัน ถูกพัฒนาจากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณแบบเป็น ขั้นตอน (Stepwise Linear Regression Analysis, SLR) และซัพพอร์ตเวกเตอร์เรเกรสชัน (Support Vector Regression, SVR) ซึ่งทั้งสองอัลกอริทึมมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน คือ SLR เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้คัดเลือกตัวแปรต้นสำหรับการสอบเทียบ โดยเลือกกลุ่มคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวแปรตามในชุดตัวอย่างมากที่สุด (Ciurczak et al., 2021) วิธีการนี้ทำได้โดยการนำตัวแปรต้นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเข้าไปทีละ 1 ตัวก่อน จากนั้นทำการคัดตัวแปรต้นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเข้าไปเป็นตัวแปรตัวที่สอง แล้วใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward) ตรวจสอบว่าตัวแปรที่เข้าไปอยู่ในตัวแปรพร้อมกันแล้ว ตัวแปรใดควรคัดออก การคัดเลือกตัวแปรทั้งสามข้างต้นใช้เกณฑ์การคัดเลือกโดยการทดสอบทางสถิติทดสอบเอฟ (F-test Statistic) สมการที่นำมาพิจารณาต้องเป็นสมการความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) การที่ตัวแปรต้นมีจำนวน 1 ตัว หรือมากกว่า 1 ตัว โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับตัวแปรต้นแต่ละตัว คือ ตัวแปรต้นจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กันเอง (Intercollearity หรือ เกิด Multicollinearity) ในทางปฏิบัติ หากตัวแปรต้นใดมีค่า (Variance Inflation Factor, VIF) ในช่วง 5 ถึง 10 หรือมากกว่า จะแสดงถึงปัญหาการเกิด Multicollinearity และเป็นการบ่งชี้ว่าตัวแปรนั้นไม่ควรอยู่ในสมการ (พจนาน, 2547) สำหรับ SVR เป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการวิเคราะห์ของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) เป็นตัวจำแนกเชิงเส้น (Linear Classifier) แบบไบนารี (Binary) การใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function) ช่วยให้สามารถจำแนกข้อมูลที่มีความคลุมเครือได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการของ SVM คือการหา Hyperplane ที่ที่สามารถแบ่งจุดข้อมูลออกเป็น 2 Class ด้วยระยะห่างที่มากที่สุด (Maximum Margin) ในขณะเดียวกันก็

สามารถแบ่งจุดข้อมูลได้อย่างถูกต้องมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (รัสรินทร์, 2565) นอกจากนั้น SVM สามารถสร้างแบบจำลองแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) และได้สมรรถนะที่ดีแม้ว่าข้อมูลมีขนาดเล็กก็ตาม (Alves et al., 2013; Malegori et al., 2017)

จากนั้นแบบจำลองใช้วิธีการพิสูจน์แบบไขว้ (Cross Validation) ด้วยเทคนิค 5-fold Cross Validation สำหรับการประเมินความถูกต้อง และเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการทำนายแบบไขว้ (Root Mean Square Error of Cross Validation, RMSECV) การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดในงานวิจัยนี้ใช้ โปรแกรม MATLAB (Version R2022b, The MathWorks, Natick, MA, USA)

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการทางสถิติ ด้วยวิธีการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูลสองกลุ่ม (Paired Sample T-Test) ได้แก่ ค่าจริงและทำนายของคลอโรฟิลล์จากแบบจำลองที่ดีที่สุด 3 อันดับแรกที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% นอกจากนั้นยังใช้วิธีการทางสถิติหาค่าความแตกต่างของความผิดพลาดเฉลี่ยของแบบจำลองที่ดีที่สุด 3 อันดับแรก โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) การวิเคราะห์ทางสถิติของงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics (Version 29.0.0.0, IBM, New York)

3 ผลและวิจารณ์

Table 1 แสดงข้อมูลทางสถิติของค่าสีและค่าคลอโรฟิลล์ของตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันสำหรับการสร้างแบบจำลอง โดยมีรูปตัวอย่างใบที่มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดและต่ำที่สุดดังแสดงใน Figure 1 จากรูปตัวอย่างใบที่มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุดสามารถสังเกตเห็นได้ว่ามีจุดสีเหลืองอมน้ำตาลอยู่ทั่วทั้งใบ ในทางกลับกันตัวอย่างใบที่มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดไม่มีจุดสีเหลืองอมน้ำตาลและยังพบว่าใบมีสีเขียวเข้ม ซึ่งแสดงคุณสมบัติของใบปาล์มน้ำมัน Table 2 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการประเมินค่าคลอโรฟิลล์ด้วยค่าสีจากตัวแปรต้นทั้งหมด 16 รูปแบบ โดยพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธี SLR และ SVR และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า R^2 และ RMSECV เพื่อหาชุดตัวแปรต้นและวิธีการพัฒนาแบบจำลองที่ดีที่สุด ซึ่งพิจารณาจากรูปแบบตัวแปรต้นใดที่มีค่า R^2 สูงที่สุด และมีค่า RMSECV ต่ำที่สุดจะถูกพิจารณาให้เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุด จากผลการเปรียบเทียบพบว่าแบบจำลองที่

ดีที่สุดอันดับที่ 1 ถูกพัฒนาจาก SVR จากตัวแปรระบบสี $L^*a^*b^*+HSV$ ซึ่งมีค่า R^2 และ RMSECV เท่ากับ 0.61 และ 4.98 SPAD ตามลำดับ นอกจากนี้แบบจำลองที่ดีที่สุด อันดับที่ 2 และ 3 มีสมรรถนะใกล้เคียงกับแบบจำลองที่ดีที่สุดอันดับที่ 1 ได้แก่ แบบจำลองที่ถูกพัฒนามาจากระบบสี HSV และ $L^*a^*b^*$ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.60 และ 0.59 ตามลำดับ และมีค่า RMSECV เท่ากับ SPAD 5.11 และ 5.22 SPAD ซึ่งถูกพัฒนาจาก SVR และ SLR ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า $L^*a^*b^*$ และ HSV มีผลต่อการทำนายค่าคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันมากกว่าค่า RGB ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2014) ได้มีรายงานว่า ค่า $L^*a^*b^*$ มีความความสัมพันธ์สูงค่าคลอโรฟิลล์รวมไปถึงค่าไนโตรเจนในใบข้าวอีกด้วย นอกจากนี้สังเกตได้ว่าตัวแปรต้นที่ประกอบด้วยค่าสีเดียวให้ค่า R^2 ต่ำกว่าตัวแปรต้นที่ประกอบด้วยค่าสีหลายตัวแปร รวมไปถึงค่า RMSECV สูงอีกด้วย แสดงให้เห็นว่าการใช้ค่าสีเดียวเป็นตัวแปรต้นไม่มีอิทธิพลเพียงพอในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงระดับคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการประเมินค่าคลอโรฟิลล์ของ Hu et al. (2010) ที่ได้รายงานว่าตัวแปรค่าสีเดียวมีความสัมพันธ์ที่ต่ำกับคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ และปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดได้จากใบข้าวบาร์เลย์ด้วยเครื่องวัดคลอโรฟิลล์

จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติของแบบจำลองทั้ง 3 อันดับแรกพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าทำนายและค่าจริงของคลอโรฟิลล์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแบบจำลองอันดับที่ 1 ($p = 0.333 > 0.05$) อันดับที่ 2 ($p = 0.236 > 0.05$) และอันดับที่ 3 ($p = 0.500 > 0.05$) ยิ่งไปกว่านั้นค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของแบบจำลองอันดับ 1, 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นกัน โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.433 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าไม่ว่าจะเลือกแบบจำลองใดใน 3 อันดับนี้ ค่าการทำนายของค่าคลอโรฟิลล์จะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดจาก 3 อันดับแรก คือ แบบจำลองอันดับที่ 3 ซึ่งถูกสร้างจากตัวแปรค่าสี $L^*a^*b^*$ โดยใช้อัลกอริทึม SLR Figure 2 แสดงกราฟการกระจายของค่าทำนายและค่าจริงของคลอโรฟิลล์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ ซึ่งค่าสีที่ใช้นี้ไม่จำเป็นต้องผ่านการแปลงและสามารถรับค่าได้โดยตรงจากเครื่องวัดสี อีกทั้ง อัลกอริทึม SLR ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธี SVR ทำให้สามารถช่วยลดระยะเวลาในการประมวลผลได้อีกด้วย

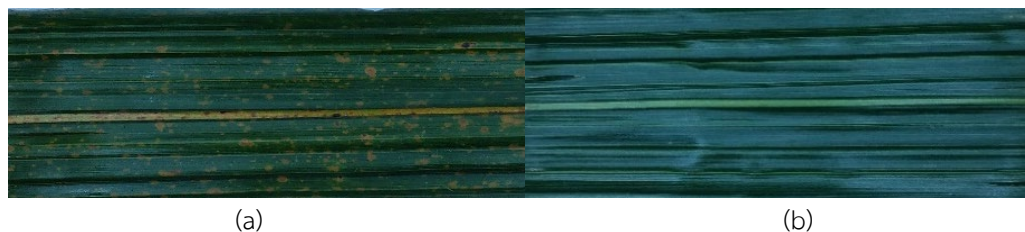


Figure 1 Oil palm leaf samples representing lowest (a) and highest chlorophyll contents in this study.

Table 1 Statistical summary of chlorophyll and color values.

Parameters	Chlorophyll (SPAD)	L^*	a^*	b^*	R	G	B	H	S	V
Minimum	46.16	24.5	-11.80	4.44	55.00	60.0	52.00	0.20	0.14	0.24
Maximum	81.07	38.63	-4.06	21.90	88.00	95.00	62.00	0.28	0.43	0.37
Mean	67.76	31.96	-8.54	11.85	68.73	78.64	56.30	0.26	0.28	0.31
SD	8.00	3.59	1.99	4.31	7.80	9.07	2.47	0.02	0.10	0.04

Table 2 The results of the models for prediction of chlorophyll of oil palm leaves.

Variable	SLR		SVR	
	R ²	RMSECV	R ²	RMSECV
L*a*b*	0.59	5.22	0.56	5.28
L*	0.31	6.69	0.41	6.18
a*	0.27	7.06	0.27	7.05
b*	0.46	5.89	0.07	7.92
RGB	0.55	5.42	0.56	5.32
R	0.40	6.36	0.43	6.02
G	0.28	6.90	0.43	6.10
B	0.00	8.20	0.03	7.90
HSV	0.53	5.47	0.60	5.11
H	0.37	6.35	0.44	5.99
S	0.48	5.96	0.51	5.66
V	0.29	6.81	0.42	6.07
L*a*b*+ RGB + HSV	0.43	6.04	0.57	5.32
L*a*b* + RGB	0.47	5.98	0.56	5.30
L*a*b + HSV	0.52	5.64	0.61	4.98
RGB + HSV	0.43	6.04	0.57	5.27

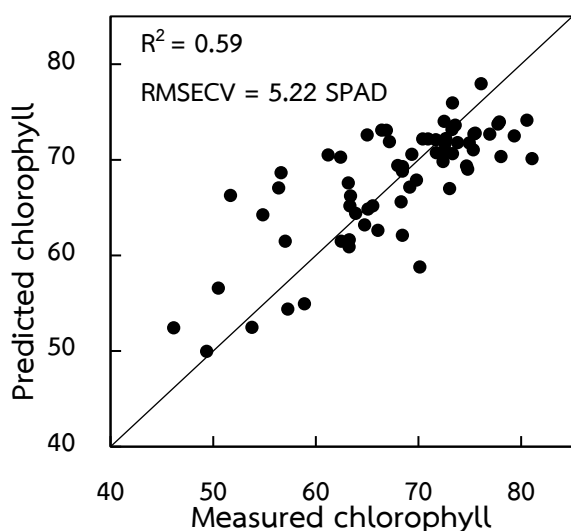


Figure 2 Scatter plots of the predicted chlorophyll values versus the measured chlorophyll values.

4 สรุป

ผลจากงานวิจัยนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ค่าสีสำหรับการประเมินค่าคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมัน จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองที่ดี

ที่สุดถูกพัฒนามาจากตัวแปรต้น L*a*b* ด้วยวิธี SLR โดยมีค่า R² และ RMSECV เท่ากับ 0.59 และ 5.22 SPAD ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามยังให้ผลการประเมินได้ไม่ดีเพียงพอ ซึ่งอาจต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้สามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมัน ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ในอนาคตสำหรับการสร้างแบบจำลองการทำนายค่าคลอโรฟิลล์คือ งานวิจัยนี้ควรมีการวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธีมาตรฐาน จากนั้นสร้างแบบจำลองการทำนายจากค่าคลอโรฟิลล์ด้วยวิธีมาตรฐาน เพื่อให้ค่าทำนายถูกต้องมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้น ควรใช้ภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันแทนการใช้เครื่องวัดสีเนื่องจากสีของใบปาล์มน้ำมันไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ข้อมูลที่เก็บมาจากเครื่องวัดสีเป็นข้อมูลเพียงจุดเดียว ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจไม่เพียงพอต่อการทำนายค่าคลอโรฟิลล์

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาพื้นที่ (บพท.) ประจำปีงบประมาณ 2563 ภายใต้แผนงาน “การยกระดับคุณภาพชีวิตด้วยการพัฒนา

เศรษฐกิจการท่องเที่ยวชุมชน และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน”

6 เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2566. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยปาล์มน้ำมันตามค่าวิเคราะห์ใบ. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th//fc/palmsurat/wpcontent/uploads/2020/06/5-1.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566.

ธีระชัย ปรมาศิจิตรวัฒน์. 2565. การพัฒนากระบวนการแปรรูปมะม่วงตัดแต่งพันธุ์น้ำดอกไม้โดยใช้พลาสมาเย็น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. เชียงใหม่: สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ธีระพงศ์ จันทนิมม. 2556. เอกสารเผยแพร่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พจนา แวสวัสดิ์. 2547. เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบสำหรับความถดถอยเชิงเส้น. วารสารศรีปทุมปริทัศน์ 4(1), 5-20.

รัฐพงษ์ สุวลักษณ์, พงศกร ปงใจดี, สิทธิโชค เชื้อมั่ง, อนุชา บรรดาศักดิ์, กิตติศักดิ์ เพ็ชรพันธ์. 2564. การศึกษาความเป็นไปได้ในการประเมินระดับคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมันโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ตโฟน. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 27(2), 1-6.

รสรินทร์ เมธาเฉลิมพัฒน์. 2565. การประยุกต์ใช้ Machine Learning กับงานในภาคอุตสาหกรรม ตอนที่ 1 กลุ่มวิจัยไอโอทีและระบบอัตโนมัติสำหรับงานอุตสาหกรรม (IIARG). ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC).

วัชรพงษ์ แจ่มสว่าง. 2561. โครงการการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณยา Rifampin ในเม็ดยาโดยการเทียบด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล. โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปี 2561. มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศศิภา เต็กอวยพร. 2554. การพัฒนาระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายเพื่อตรวจติดตามคุณภาพของผลดีภัณฑ์ขนมปังกรอบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. นครปฐม : ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2554. คู่มือปาล์มน้ำมันชุดที่ 1. ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2563ก. ข่าวสารปาล์มน้ำมัน.

แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/fc/palmsurat/wp-content/uploads/2020/07/ข่าวสารปาล์มน้ำมัน-20763.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2563ข. นวัตกรรมปาล์มน้ำมัน.

แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th//fc/palmsurat/wp-content/uploads/2020/06/เอกสารนวัตกรรมปาล์มน้ำมัน.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. กรม.ได้รับทราบโครงการผลักดันการส่งออกน้ำมันปาล์ม. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th/view/1/รายละเอียดข่าว/ข่าว%20สศก/41752/TH-TH>. เข้าถึงเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566.

Alves, J. C. L., Poppi, R. J. 2013. Biodiesel content determination in diesel fuel blends using near infrared (NIR) spectroscopy and support vector machines (SVM). Talanta 104, 155-161.

Amirruddin, A. D., Muharam, F. M., Ismail, M. H., Tan, N. P., Ismail, M. F. 2022. Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) and Logistic Model Tree (LMT)-Adaptive Boosting algorithms for classifying imbalanced datasets of nutrient and chlorophyll sufficiency levels of oil palm (Elaeis guineensis) using spectroradiometers and unmanned aerial vehicles. Computers and Electronics in Agriculture 193, 106646.

Berg, A. K., Perkins, T. D. 2004. Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (Acer saccharum Marsh.) leaves. Forest Ecology and Management 200, 113-117.

Chungcharoen, T., Donis-Gonzalez, I., Phetpan, K., Udompetakul, V., Sirisomboon, P., Suwalak, R. 2022. Machine learning-based prediction of nutritional status in oil palm leaves using proximal multispectral images. Computers and Electronics in Agriculture 198, 107019.

Ciurczak, E. W., Igne, B., Workman Jr, J., Burns, D. A. 2021. Handbook of near-infrared analysis. CRC press.

- Evans, J.R. 1989. Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. *Functional Plant Biology* 16, 533-548.
- Hu, H., Liu, H., Zhang, H., Zhu, J., Yao, X., Zhang, X., Zheng, K. 2010. Assessment of chlorophyll content based on image color analysis, comparison with SPAD-502. 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science 2010, 476-478. Wuhan, China. 25-26 December 2010, Wuhan, China.
- Kerkech, M., Hafiane, A., Canals, R. 2018. Deep leaning approach with colorimetric spaces and vegetation indices for vine diseases detection in UAV images. *Computers and electronics in agriculture* 155, 237-243.
- Křížová, K., Kadeřábek, J., Novák, V., Linda, R., Kurešová, G., Šařec, P. 2022. Using a single-board computer as a low-cost instrument for SPAD value estimation through colour images and chlorophyll-related spectral indices. *Ecological Informatics* 67, 101496.
- Lima, A., Pereira, J. A., Baraldi, I., Malheiro, R. 2017. Cooking impact in color, pigments and volatile composition of grapevine leaves (*Vitis vinifera* L. var. Malvasia Fina and Touriga Franca). *Food chemistry* 221, 1197-1205.
- Liu, Z. A., Yang, J. P., Yang, Z. C. 2012. Using a chlorophyll meter to estimate tea leaf chlorophyll and nitrogen contents. *Journal of soil science and plant nutrition* 12(2), 339-348.
- Malegori, C., Marques, E. J. N., de Freitas, S. T., Pimentel, M. F., Pasquini, C., Casiraghi, E. 2017. Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT-NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. *Talanta* 165, 112-116.
- Posom, J., Shrestha, A., Saechua, W., Sirisomboon, P. 2016. Rapid non-destructive evaluation of moisture content and higher heating value of *Leucaena leucocephala* pellets using near infrared spectroscopy. *Energy* 107, 464-472.
- Vesali, F., Omid, M., Kaleita, A., Mobli, H. 2015. Development of an android app to estimate chlorophyll content of corn leaves based on contact imaging. *Computers and Electronics in Agriculture* 116, 211-220.
- Wang, Y., Wang, D., Shi, P., Omasa, K. 2014. Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light. *Plant Methods* 10, 36.