วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย **บทความวิจัย**

ปีที่ 27 ฉบับที่ 2 (2564) 1-6

ISSN 1685-408X (Print)

Available online at www.tci-thaijo.org /index.php/TSAEJ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการประเมินระดับคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมันโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟน

Feasibility Study of Chlorophyll Assessment of Oil Palm Leaves using Smartphone Digital Image Processing

รัฐพงษ์ สุวลักษณ์, พงศกร ปงใจดี, สิทธิโชค เซี่ยมกั้ง, อนุชา บรรดาศักดิ์, กิตติศักดิ์ เพ็ชรพันธ์*

Rattapong Suwalak, Pongsakorn Pongjaidee, Sittichock Siamkang, Anucha Bandasak, Kittisak Phetpan*

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 86160

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

*Corresponding author: Tel: +66 993242127, E-mail: kittisak.ph@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟนสำหรับการประเมินระดับคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมัน และศึกษาอิทธิพลของความสว่างขณะถ่ายภาพที่มีต่อสมรรถนะการทำนายระดับคลอโรฟิลล์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการทดสอบได้สุ่มเก็บตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันเพื่อทำการวัดระดับคลอโรฟิลล์ และถ่ายภาพด้วยกล้องสมาร์ทโฟนภายใต้สภาวะที่ควบคุมแสงแตกต่างกัน 2 ระดับ ชุดข้อมูลภาพถ่ายและค่าคลอโรฟิลล์ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยการสุ่ม ประกอบด้วย 40 ตัวอย่าง เพื่อใช้สร้างแบบจำลอง (Training Dataset) และอีก 10 ตัวอย่าง เพื่อใช้ทดสอบแบบจำลอง (Test Dataset) การพัฒนาแบบจำลองอาศัยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรพหุแบบเป็นขั้นตอน และได้แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ แบบจำลอง A สำหรับชุดข้อมูลภาพถ่ายที่ระดับความสว่าง 1,280 ลักซ์ แบบจำลอง B สำหรับชุดข้อมูลภาพถ่ายที่ระดับความสว่าง 2,570 ลักซ์ และ แบบจำลอง C ที่รวมชุดข้อมูลภาพถ่ายที่ระดับความสว่างทั้งสองระดับ จากผลการสร้างแบบจำลอง พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแก้แล้ว (Adjusted Coefficient of Determination, Adj-R^2) และรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.656 และ 3.5, 0.630 และ 3.6, และ 0.646 และ 3.5 สำหรับแบบจำลอง A, B และ C ตามลำดับ การพิสูจน์แบบจำลองด้วยชุดทดสอบพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยสำหรับการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 0.718 และ 4.3, 0.679 และ 4.4, และ 0.691 และ 4.4 สำหรับแบบจำลอง A, B และ C ตามลำดับ ผลจากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อประเมินอิทธิพลของความสว่างที่ใช้ในการถ่ายภาพทั้ง 2 ระดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำสำคัญ: ปาล์มน้ำมัน, คลอโรฟิลล์, การวิเคราะห์ภาพถ่าย, กล้องสมาร์ทโฟน

Abstract

This research aims to study the feasibility in applying the smartphone digital image processing technique for evaluating the chlorophyll content of oil palm leaves, and to study the influence of the different light illuminations on the model performance for the chlorophyll content prediction. Each sample was firstly analyzed for the chlorophyll level using a SPAD chlorophyll meter and then it was captured for the imagery using a smartphone digital camera under 2 different light illuminations. All data consisted of the imageries and corresponding chlorophyll values was split into 2 independent datasets: 40 samples for the training set and 10 samples for the test set. A stepwise multivariable linear regression was used for modeling. Three types of modeling were developed for studying the influence of the different light illuminations on the model performance: model A developed from a dataset taken under light illumination at 1,280 luxs, model B developed from a dataset taken under light illumination at 2,570 luxs, and model C developed from both such datasets. As the developed models, they

Received: April 9, 2021

Revised: May 9, 2021

Accepted: May 9, 2021

Available online: June 21, 2021

provided the adjusted coefficient of determination (Adj-R^2) and root mean square error (RMSE) of 0.656 and 3.5, 0.630 and 3.6, and 0.646 and 3.5 for the models A, B, and C, respectively. As the models validated by the test dataset, they exhibited the predictive performance with R^2 and root mean square error of prediction (RMSEP) of 0.718 and 4.3, 0.679 and 4.4, and 0.691 and 4.4 for the models A, B and C, respectively. According to statistical test for comparing the average chlorophyll values predicted by the models A and B, the result showed that there is no statistically significant difference at 95% confident interval. This identified that two different light illuminations set up in this research do not affect the chlorophyll content prediction of oil palm leaves.

Keywords: Oil palm, Chlorophyll, Image processing, Smartphone camera

1 บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต 5 ด้าน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนและการกระจายตัวของฝน ปริมาณแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และลม (ธีรพงศ์, 2559) นอกเหนือจากปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศแล้ว การบริหารจัดการสวนปาล์มน้ำมันให้ได้ผลผลิตสูง และต้นทุนต่ำ เกษตรกรต้องใส่ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วย ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) โบรอน (B) คอปเปอร์ (Cu) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) (CPIAGROTECH, 2564) โดยทั่วไปเกษตรกรมีค่าใช้จ่ายหลักสำหรับการบริหารจัดการปุ๋ยคิดเป็นประมาณร้อยละ 40 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด เพื่อให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนค่าปุ๋ย และสามารถใส่ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมได้ กรมวิชาการเกษตรจึงได้แนะนำให้เกษตรกรสุ่มตัวอย่างดิน และตัวอย่างใบไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตาม เกษตรกรไทยส่วนใหญ่ไม่ได้ให้ความสนใจและละเลยคำแนะนำดังกล่าว เนื่องจากกระบวนการวิเคราะห์ที่ต้องใช้เวลานาน ยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายสูง จึงเลือกใส่ปุ๋ยตามประสบการณ์ของเกษตรกรเอง และตามคำแนะนำของร้านจำหน่ายปุ๋ย

การพัฒนาเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือ และเกษตรกรสามารถเข้าถึงได้ง่ายจึงน่าจะเป็นทางออกที่ดีในการช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกษตรรายย่อย สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนการผลิตปาล์มน้ำมันให้มีประสิทธิภาพได้ปรากฏงานวิจัยจำนวนหนึ่งโดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) ร่วมกับอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent: AI)เพื่อบ่งชี้การเกิดโรคที่แสดงออกทางใบ โดยมีการวิจัยครอบคลุมถึงเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ (Muhammad Asraf et al. 2012; 2013; 2017; Culman et al. 2017) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเริ่มต้นด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟนเพื่อประเมินระดับคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้จากการมองเห็น ทั้งนี้การแสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจนที่แสดงออกผ่านทางใบของพืชรวมถึงใบปาล์มน้ำมัน สามารถเรียกอีกอย่างว่า “ภาวะพร่องคลอโรฟิลล์”

คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืช ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสง และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมีโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้ดีที่ช่วงคลื่นของแสงสีฟ้าและสีแดง แต่ดูดกลืนช่วงแสงสีเหลืองและเขียวได้น้อยจึงสะท้อนออกมาทำให้เห็นคลอโรฟิลล์มีสีเขียว นอกจากนี้ในคลอโรฟิลล์มีธาตุไนโตรเจน แมกนีเซียม และคาร์บอน เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้น สำหรับต้นปาล์มน้ำมันที่ขาดธาตุไนโตรเจนและแมกนีเซียมจึงแสดงอาการใบสีเหลืองซีด (CPIAGROTECH, 2564)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยหลากหลายที่ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช Hu et al. (2010) ได้ทำการพัฒนาวิธีการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวบาร์เลย์โดยใช้การวิเคราะห์ค่าสีจากภาพถ่ายและได้เปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ดัชนีค่าสี RGB ที่ประกอบด้วย R, G, R+G+B, R-B, R+B และ R+G และ พารามิเตอร์ค่าสีแบบ Lab* ซึ่งประกอบด้วย L* a* และ b* มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวบาร์เลย์ Wang et al. (2014) ได้ทำการประเมินระดับของคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบข้าวด้วยการใช้กล้องดิจิตอลถ่ายภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติ และได้สรุปว่าการวิเคราะห์ภาพถ่ายสีดิจิตอลสามารถใช้เป็นวิธีการอย่างง่ายในการประเมินระดับธาตุไนโตรเจนภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติในใบข้าวที่มีสายพันธุ์ และช่วงการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันได้ นอกจากนี้ได้รายงานว่าดัชนีค่าสี b* มีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าคลอโรฟิลล์และค่าไนโตรเจน Dutta Gupta et al. (2013) ได้ทำการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิตอลสำหรับใช้ในการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นมันฝรั่งแบบตามเวลาจริง (Real Time) ผลจากการศึกษา พบว่า ค่าลักษณะสีแดง (R) และน้ำเงิน (B) ของใบมีความสัมพันธ์กับค่าคลอโรฟิลล์ แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Stepwise Multivariable Linear Regression) และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ให้ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 3.97 และ 3.59 ตามลำดับ

จากตัวอย่างงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อประเมินระดับคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมัน ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักของบทความวิจัยนี้ คือ การนำเสนอผลการประยุกต์ใช้

เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟนร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้จักรกล (Machine Learning) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรพหุแบบเป็นขั้นตอนเพื่อประเมินระดับคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมัน ตลอดจนผลการศึกษาอิทธิพลของความสว่างขณะถ่ายภาพที่มีต่อสมรรถนะการทำนายของแบบจำลอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาต่อยอดเป็นรูปแบบของแอพพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนในอนาคต

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมัน จำนวน 50 ตัวอย่าง ถูกสุ่มเก็บจากทางใบที่ 17 (Figure 1) จำนวน 50 ต้น จากแปลงปาล์มน้ำมันของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร แต่ละตัวอย่างใช้ใบปาล์มน้ำมัน จำนวน 1 ใบ ซึ่งถูกตัดให้มีขนาดความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร การเลือกสุ่มเก็บตัวอย่างจากทางใบที่ 17 เพราะมีการศึกษาพบว่า เป็นตำแหน่งทางใบที่ปริมาณธาตุอาหารมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน และได้ถูกใช้เป็นหลักวิชาการในการสุ่มเก็บทางใบเพื่อตรวจสอบความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน (ธีรพงศ์, 2556)

(a) (b)

Figure 1 Leaf sampling: leaf numbers (frond) 1, 9, 17 and 25 (a); and leaf collection in the field (b).

2.2 วิธีการทดลอง และการเก็บข้อมูล

ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันแต่ละตัวอย่างถูกวัดระดับคลอโรฟิลล์ด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (Chlorophyll meter, SPAD-502Plus, Konica Minolta, Japan) จำนวน 10 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ซ้ำ (Figure 2) และทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนค่าคลอโรฟิลล์ของตัวอย่างใบ จากนั้นถ่ายภาพตัวอย่างด้วยกล้องสมาร์ทโฟน ยี่ห้อ Samsung Galaxy รุ่น A02s ภายใต้ห้องถ่ายภาพจำลองขนาด (ความกว้าง×ความยาว×ความสูง) เท่ากับ 30x30x30 cm^3 ด้วยระดับความสว่างของแสง 2 ระดับ (1,280 และ 2,570 ลักซ์) ระดับละ 2 ซ้ำ และขณะทำการถ่ายภาพได้ปรับตั้งค่ากล้องสมาร์ทโฟนเป็นระบบ Auto Focus และปรับตั้งค่าในโหมด Pro ด้วยค่า ISO และ White balance (WB) เท่ากับ 100 และ 4,900K ตามลำดับ รวมมีจำนวนข้อมูลภาพถ่าย และค่าคลอโรฟิลล์จำนวน 100 ภาพ และ 50 ค่า ตามลำดับ สำหรับแต่ละสภาวะระดับความสว่างของแสง ข้อมูลภาพถ่ายแต่ละภาพถูกทำการหาค่าเฉลี่ยระดับลักษณะสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2020b ในการประมวลผล

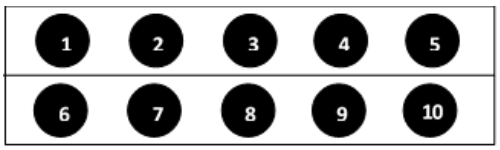

Figure 2 Schematic of the chlorophyll measurement.

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อทำการตรวจสอบตัวอย่างนอกกลุ่ม (Outlier) ค่าคลอโรฟิลล์ที่เป็นตัวแทนของใบปาล์มน้ำมันถูกคำนวณ และตรวจสอบโดยใช้สมการที่ (1)

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

เมื่อ X_i คือ ค่าคลอโรฟิลล์ที่วัดได้จริง $\bar{X}$ คือ ค่าคลอโรฟิลล์เฉลี่ย และ SD คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยหากผลการคำนวณได้ค่าอยู่นอกช่วง -3 ถึง +3 แสดงว่าเป็นตัวอย่างนอกกลุ่ม (Posom et al., 2016)

ชุดข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินระดับปริมาณคลอโรฟิลล์มีลักษณะค่าสี RGB เป็นตัวแปรต้น (ตัวแปรทำนาย) และมีค่าคลอโรฟิลล์ของใบเป็นตัวแปรตาม งานวิจัยนี้ใช้ตัวแปรต้นเพื่อการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบทั้งหมด 7 ตัวแปร ประกอบด้วย R, G, B, G/(R+G+B), (R-B)/(R+B), G-R และ G+R โดยที่ R G และ B เป็นค่าแสดงความเป็นสีแดง เขียว และน้ำเงิน ตามลำดับ สำหรับโมเดลสีแบบ RGB และจะมีค่าระดับความละเอียดตั้งแต่ 0 ถึง 255 สำหรับภาพถ่าย 8 บิต (Solomon and Breckon, 2011) สำหรับ G/(R+G+B) เป็นพารามิเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อทำการปรับค่าตัวแปรสีเขียวให้มีระดับ 0 ถึง 1 (Wang et al., 2014) ส่วน พารามิเตอร์ (R-B)/(R+B), G-R และ G+R เป็นค่าที่ถูกดัดแปลงมาจากดัชนีพืชพรรณ (Vegetation indices, VI) ซึ่งถูกใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีภายใต้โมเดล RGB (Hu et al., 2010)

ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองเริ่มต้นด้วยการแบ่งชุดข้อมูลทั้งหมด จำนวน 50 ตัวอย่าง ออกเป็น 2 กลุ่มด้วยการสุ่ม ประกอบด้วย 40 ตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นชุดสร้างแบบจำลอง (Training Dataset) และอีก 10 ตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นชุดทดสอบแบบจำลอง (Test Dataset) การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้จักรกลด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรพหุแบบเป็นขั้นตอน ภายใต้รูปแบบตัวแปรเชิงเส้น (Linear Variable) ตัวแปรปฏิสัมพันธ์

(Interaction Variable) และตัวแปรกำลังสอง (Quadratic Variable) ตัวแปรทั้งหมดที่ถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองถูกทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Multicollinearity) โดยพิจารณาจากค่า Variance Inflation Factor (VIF) ซึ่งเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการตรวจสอบปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ในทางปฏิบัติหากตัวแปรใดมีค่า VIF อยู่ในช่วง 5 ถึง 10 หรือมากกว่า จะแสดงถึงปัญหาการเกิด Multicollinearity และเป็นการบ่งชี้ว่าตัวแปรนั้นไม่ควรอยู่ในสมการ งานวิจัยนี้ศึกษาครอบคลุมอิทธิพลของระดับความสว่างของแสงขณะถ่ายภาพที่มีผลต่อสมรรถนะของแบบจำลองในการทำนายค่าคลอโรฟิลล์ จึงได้แบ่งรูปแบบการพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่ได้จาก 3 แหล่ง โดยตัวแปรทำนายจาก 3 แหล่งดังกล่าวประกอบด้วย ค่าตัวแปรทำนายที่ได้จากภาพถ่ายที่ระดับความสว่างของแสง เท่ากับ 1,280 ลักซ์ (ใช้สำหรับแบบจำลอง A) ค่าตัวแปรทำนายที่ได้จากภาพถ่ายที่ระดับความสว่างของแสง เท่ากับ 2,570 ลักซ์ (ใช้สำหรับแบบจำลอง B) ค่าตัวแปรทำนายที่ได้จากภาพถ่ายที่ระดับความสว่างของแสงทั้ง 1,280 และ 2,570 ลักซ์ รวมกัน (ใช้สำหรับแบบจำลอง C) และค่าคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมัน ออกเป็น 3 รูปแบบ งานวิจัยนี้ใช้ Statistics and Machine Leanring Toolbox ฟังก์ชัน Stepwiselm - Perform Stepwise Regression ในโปรแกรม MATLAB R2020b สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และเลือกพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองดังนี้ 'Criterion', 'sse', 'Upper', 'quadratic' เมื่อ sse คือ การเลือกใช้ค่า p-value เป็นหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกตัวแปรทำนายเข้าในหรือออกจากแบบจำลองตามหลักแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise) ส่วน Upper และ quadratic คือ การเลือกวิเคราะห์สมการหรือแบบจำลองบนพื้นฐานของตัวแปรทำนายที่ประกอบด้วย พจน์จุดตัดบนแกนตั้ง (Intercept Term) พจน์ตัวแปรเชิงเส้น (Linear Term) พจน์ตัวแปรปฏิสัมพันธ์ (Interaction Term) พจน์กำลังสองของแต่ละตัวแปรทำนาย (Squared Terms for Each Predictor) และไม่เกินพจน์กำลังสองของตัวแปรปฏิสัมพันธ์ (Squared Terms of Distinct Predictors' Pairs)

สมรรถนะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแก้แล้ว (Adjusted Coefficient of Determination, Adj-R^2) และรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) สำหรับสมรรถนะการพิสูจน์แบบจำลองด้วยชุดทดสอบพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยสำหรับการทำนาย (RMSEP) ในส่วนของการวิเคราะห์อิทธิพลของระดับความสว่างของแสงขณะถ่ายภาพที่มีต่อสมรรถนะของแบบจำลองในการทำนายระดับคลอโรฟิลล์ของใบได้ใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าคลอโรฟิลล์ที่ทำนายได้จากแบบจำลอง A และ B (Paired Sample T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% บนสมมติฐานหลัก คือ ค่าคลอโรฟิลล์เฉลี่ยที่ทำนายได้จากแบบจำลอง A และ B ไม่แตกต่างกัน สำหรับการวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานใช้ Data Analysis Tool ฟังก์ชัน t-Test: Paired Two Sample for Means ในโปรแกรม Microsoft Excel

3 ผลและวิจารณ์

Table 1 แสดงข้อมูลทางสถิติของชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง และการพิสูจน์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการสร้างแบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบ (แบบจำลอง A, B และ C) พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแก้แล้ว (Adj-R^2) และรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.656 และ 3.5, 0.630 และ 3.6, และ 0.646 และ 3.5 สำหรับแบบจำลอง A, B และ C ตามลำดับ โดยมีรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการทำนายค่าคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน และมีผลการพิสูจน์แบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบ โดยใช้ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset) ที่เป็นอิสระจากชุดสร้างแบบจำลอง (Trainaing Dataset) ดังแสดงใน Figure 3 โดยที่ Observations ที่ปรากฏใน Figure 3 ได้จากการถ่ายภาพแต่ละตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ

Table 1 Statistical summary of chlorophyll values used for the training and test datasets.

Dataset	N	Max	Min	Mean	SD
Training set	40	74.6	45.3	64.3	5.9
Test set	10	71.8	46.5	61.6	7.8

Note: The number of samples (N), maximum (max), minimum (min) and standard deviation (SD).

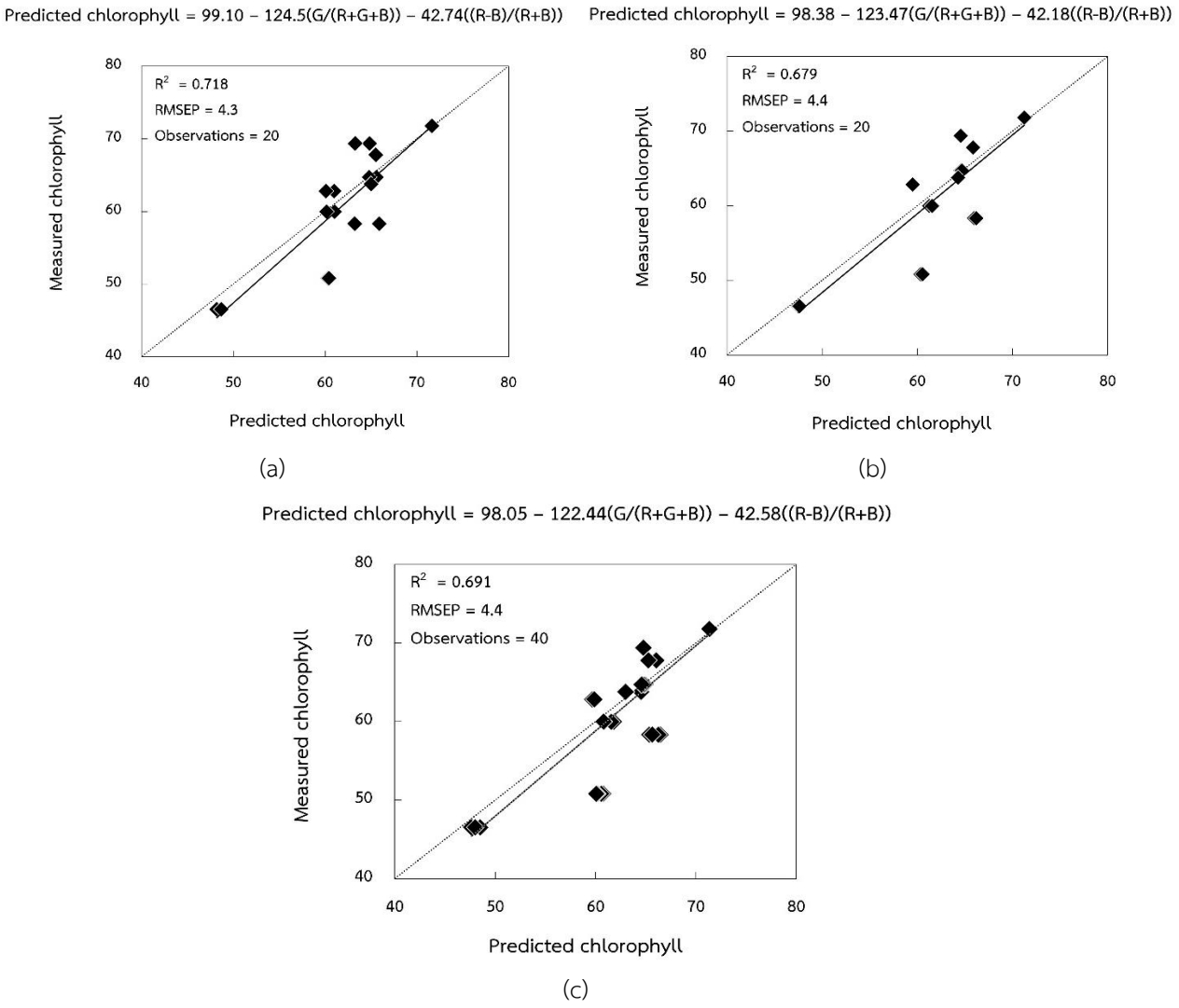

Figure 3 Scatter plots of the predicted chlorophyll values versus the measured chlorophyll values; a) for validating the model A, b) for validating the model B, and c) for validating the model C.

การพิจารณาแบบจำลองทั้ง 3 พบว่า มีสมรรถนะการทำนายค่าคลอโรฟิลล์จากชุดข้อมูลทดสอบใกล้เคียงกับสมรรถนะที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง จากรูปแบบตัวแปรทำนายทั้ง 7 ตัวแปร ประกอบด้วย R, G, B, G/(R+G+B), (R-B)/(R+B), G-R และ G+R ซึ่งถูกทำการวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองบนพื้นฐานของพจน์จุดตัดบนแกนตั้ง พจน์ตัวแปรเชิงเส้น พจน์ตัวแปรปฏิสัมพันธ์ พจน์กำลังสองของแต่ละตัวแปรทำนาย และพจน์กำลังสองของตัวแปรปฏิสัมพันธ์ พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดถูกสร้างอยู่บนพื้นฐานของตัวแปรทำนายที่เหมือนกัน 2 ประเภท คือ G/(R+G+B) และ (R-B)/(R+B) รูปแบบของแบบจำลอง (สมการ) ที่ปรากฏสามารถบ่งชี้เป็นนัยสำคัญได้ว่า การใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ความแปรปรวนหรือการเปลี่ยนแปลงค่าลักษณะสีของใบปาล์มน้ำมันเพื่อทำนายหรืออธิบายการเปลี่ยนแปลงระดับคลอโรฟิลล์ไม่สามารถใช้เฉพาะค่าลักษณะสีเดี่ยว (R G หรือ B) ได้ นอกเหนือจากสมรรถนะของแบบจำลองทั้ง 3 ที่ใกล้เคียงกันแล้ว การพิจารณารูปแบบตัวแปรทำนาย และค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรทั้งหมดพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันด้วย อีกทั้งการไม่มีตัวแปรต้นที่มีค่าลักษณะสีเดี่ยว (R G และ B) อยู่ในสมการทำนายค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ซึ่งพบในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hu et al. (2010) ซึ่งรายงานว่า ตัวแปรค่าลักษณะสีเดี่ยวมีความสัมพันธ์ที่ต่ำกับทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ และปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดได้จากใบข้าวบาร์เลย์ด้วยเครื่องวัดคลอโรฟิลล์

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของระดับความสว่างของแสงขณะถ่ายภาพที่มีผลต่อสมรรถนะของแบบจำลองในการทำนายระดับคลอโรฟิลล์ของใบ พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคลอโรฟิลล์ที่ทำนายได้จากแบบจำลอง A และ B ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4 สรุป

ผลจากการศึกษาวิจัยนี้ได้แสดงความถึงเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟนเพื่อประเมินระดับคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าอิทธิพลของระดับความสว่างขณะถ่ายภาพไม่ได้ส่งผลต่อ

สมรรถนะของแบบจำลองในการทำนายระดับคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน แต่การพัฒนาแบบจำลองด้วยข้อมูลที่มีความครอบคลุมแหล่งความแปรปรวนความสว่างขณะทำการถ่ายภาพมีความเหมาะสมมากกกว่าสำหรับการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการใช้งานจริงภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติ

ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาวิจัยในอนาคตสำหรับการพัฒนาแบบจำลองทำนายค่าคลอโรฟิลล์ คือ ควรใช้วิธีการสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันแทนวิธีการใช้เครื่องวัดค่าคลอโรฟิลล์ เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์หรือระดับความเป็นสีเขียวที่ไม่สม่ำเสมอภายในตัวอย่างใบส่งผลทำให้การวัดด้วยเครื่องเพิ่มแหล่งความแปรปรวนที่สมการหรือแบบจำลองไม่สามารถอธิบายได้

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาพื้นที่ (บพท.) ประจำปีงบประมาณ 2563 ภายใต้แผนงาน “การยกระดับคุณภาพชีวิตด้วยการพัฒนาเศรษฐกิจ การท่องเที่ยวชุมชน และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมโดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน”

6 เอกสารอ้างอิง

CPIAGROTECH, 2564. ปาล์มน้ำมันและคลอโรฟิลล์. แหล่งข้อมูล:http://www.cpiagrotech.com/knowledge-068/ เข้าถึงเมื่อ 27 มีนาคม 2564.

Culman, M.A., Gomez, J.A., Talavera, J., Quiroz, L.A., Tobon, L.E., Aranda, J.M., Garreta, L.E., Bayona´, C.J. 2017. A novel application for identification of nutrient deficiencies in oil palm using the internet of things. 5th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering.

Dutta-Gupta, S., Ibaraki, Y., Pattanayak, A.K. 2013. Development of a digital image analysis method for real-time estimation of chlorophyll content in micropropagated potato plants. Plant Biotechnology Reports, 7:91–97, DOI 10.1007/s11816-012-0240-5

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. 2010 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science, Wuhan, China, doi: 10.1109/ICIECS.2010.5678413.

Muhammad Asraf, H., Nooritawati, M.T., Shah Rizam, M.S.B. 2012. A comparative study in kernel-based support vector machine of oil palm leaves nutrient disease. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012). Procedia Engineering 41 (2012) 1353 – 1359.

Muhammad Asraf, H., Nooritawati, M.T., Shah, R.S.B., Nur Dalila, K.A. 2013. Elaeis Guineensis leaf image segmentation: a comparative study and analysis. IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology, 19 - 20 August. 2013, Shah Alam, Malaysia.

Muhammad Asraf, H., Nur Dalila, K.A., Amar Faiz, Z.A., Siti Aminah, N., Nooritawati M.T. 2017. A fuzzy inference system for diagnosing oil palm nutritional deficiency symptoms. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12(10).

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.

Solomon, C., Breckon, T. 2011. Fundamentals of Digital Image Processing: a Practical Approach with Examples in Matlab. Chichester: John Wiley & Sons.

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

ธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2556. เอกสารเผยแพร่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2559. คู่มือเกษตรกร: การผลิตปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. ISBN 978-616-271-308-8