



การประเมินไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์
Assessment of Nitrogen and Chlorophyll in Oil Palm Leaves
Using a Chlorophyll Meter

ปิยวิษณุ สวัสดิ์วงศ์
Piyawit Sawatwong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Plant Science

Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์
 ผู้เขียน นายปิยวิษณุ สวัสดิ์วงศ์
 สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี)

.....ประธานกรรมการ
 (ศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เอกสมทราเมษฐ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี)

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.จำเริญ อ่อนทอง)

.....กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.จำเริญ อ่อนทอง)

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

.....กรรมการ
 (ดร.สุคนัย เครือหาลี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของตนเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเริญ อ่อนทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ

(นายปิยวิษณุ สวัสดิ์วงศ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นายปิยวิษญ์ สวัสดิ์วงศ์)

นักศึกษา

| | |
|-----------------|---|
| ชื่อวิทยานิพนธ์ | การประเมินไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ |
| ผู้เขียน | นายปิยวิชญ์ สวัสดิ์วงศ์ |
| สาขาวิชา | พืชศาสตร์ |
| ปีการศึกษา | 2560 |

บทคัดย่อ

คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) เป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบพืชได้อย่างรวดเร็วในสภาพแปลงปลูก โดยไม่ทำลายตัวอย่างใบพืช มีหลักการทำงานโดยเครื่องมือจะวัดแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดงและช่วงความยาวคลื่นแสงอินฟราเรดที่ส่องผ่านแผ่นใบของพืชจากแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องมือ เช่นเดียวกับหลักการการทำงานของเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และทำเปรียบเทียบความแม่นยำการวัดผลของเครื่องมือทั้ง 2 ในปาล์มน้ำมันพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 แบ่งการศึกษาเป็น 2 ช่วงอายุของปาล์มน้ำมัน คือ ระยะต้นกล้า อายุ 16 เดือน ทำการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย อายุ 7 ปี ทำการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 พบว่า ระยะต้นกล้ามี่สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Chl_{total}) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งแสดงในรูปแบบพาวเวอร์ ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_{total} = 0.0015SPAD^{1.5256}$ ($R^2 = 0.872^{**}$) และ $Chl_{total} = 0.0047PSU^{1.2252}$ ($R^2 = 0.834^{**}$) สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl_a) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบพาวเวอร์ ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_a = 0.0007SPAD^{1.6363}$ ($R^2 = 0.867^{**}$) และ $Chl_a = 0.0026PSU^{1.3025}$ ($R^2 = 0.839^{**}$) สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl_b) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบพาวเวอร์ ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_b = 0.001SPAD^{1.3002}$ ($R^2 = 0.845^{**}$) และ $Chl_b = 0.0024PSU^{1.0564}$ ($R^2 = 0.810^{**}$) และสมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจน (N) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบเส้นตรง ตามลำดับ ดังนี้ $N = 1.4686SPAD - 31.685$ ($R^2 = 0.532^{**}$) และ $N = 1.1609PSU - 18.254$ ($R^2 = 0.586^{**}$) แต่ระยะต้นเต็มวัยมีสมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Chl_{total}) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบโพลีโนเมียล ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_{total} = 0.0003SPAD^2 - 0.0276SPAD + 1.083$ ($R^2 = 0.610^{**}$) และ $Chl_{total} = 4E-05PSU^2 + 0.0126PSU - 0.0924$ ($R^2 = 0.574^{**}$) สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl_a) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบโพลีโนเมียล ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_a = 0.0002SPAD^2 - 0.0167SPAD + 0.6887$ ($R^2 = 0.691^{**}$) และ $Chl_a = 1E-04PSU^2 +$

$0.0001\text{PSU} + 0.2425$ ($R^2 = 0.652^{**}$) สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์
 บี (Chl_b) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การ
 ตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบพหุนามตามลำดับ ดังนี้ $\text{Chl}_b = 9\text{E-}05\text{SPAD}^2 - 0.0065\text{SPAD} +$
 0.2501 ($R^2 = 0.552^{**}$) และ $\text{Chl}_b = 4\text{E-}05\text{PSU}^2 - 0.0003\text{PSU} + 0.0686$ ($R^2 = 0.550^{**}$) และ
 สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจน (N) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และ
 ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบเส้นตรง ตามลำดับ
 ดังนี้ $N = 0.3584\text{SPAD} - 1.0646$ ($R^2 = 0.609^{**}$) และ $N = 0.2314\text{PSU} + 9.1976$ ($R^2 = 0.467^{**}$)
 เมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำการวัดผลของเครื่องมือจากสมการถดถอยความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่
 อ่านได้จากเครื่องมือทั้งสอง ในระยะต้นกล้าและระยะต้นเต็มวัย โดยใช้สมการความสัมพันธ์แบบ
 เส้นตรง ตามลำดับ ดังนี้ $\text{SPAD} = 0.801\text{PSU} + 8.7567$ ($R^2 = 0.921^{**}$) และ $\text{SPAD} = 0.7886\text{PSU}$
 $+ 19.918$ ($R^2 = 0.771^{**}$) แสดงให้เห็นว่าคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 มีความแม่นยำสูงในการ
 ประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ได้ทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย สำหรับเครื่องต้นแบบ
 คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) มีแม่นยำสูงในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ได้
 เฉพาะระยะต้นกล้า แต่ในระยะต้นเต็มวัยเครื่องต้นแบบมีความแม่นยำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ
 เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทางการค้า (SPAD-502) ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงเครื่องต้นแบบต่อไปให้
 เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น

Thesis Title Assessment of nitrogen and chlorophyll in oil palm leaves using a chlorophyll meter
Author Mr.Piyawit Sawatwong
Major Program Plant Science
Academic Year 2017

ABSTRACT

Chlorophyll meter (SPAD-502) is a device which is used to assess rapidly chlorophyll and nitrogen content of leaves in the field with non-destructive leaves. The SPAD-502 meter measures the difference between the transmittance of a red and an infrared light through the leaf and as same as a prototype of chlorophyll meter (PSU-CM-1). The experiment was carried out to study the relationship between nitrogen and chlorophyll content in oil palm leaves with SPAD-502-readings and PSU-CM-1-readings and to compare effectively for measurement of two device (SPAD-502 and PSU-CM-1). This experiment was conducted in oil palm variety SUP-PSU 1 with two stages of oil palm ages. The first one, sixteen-month seedlings stage was evaluated during December 2015 - February 2016. The second one, seven-year mature stage was evaluated during August - October 2016. The results showed that in seedlings stage. The relationship between total chlorophyll content (Chl_{total}) with SPAD-502-readings and PSU-CM-1-readings were coefficient of determination (R^2) and described as a power regression: $Chl_{total} = 0.0015SPAD^{1.5256}$ ($R^2 = 0.872^{**}$) and $Chl_{total} = 0.0047PSU^{1.2252}$ ($R^2 = 0.834^{**}$). The relationship between chlorophyll a content (Chl_a) with SPAD-502-readings and PSU-CM-1-readings were coefficient of determination and described as a power regression: $Chl_a = 0.0007SPAD^{1.6363}$ ($R^2 = 0.867^{**}$) and $Chl_a = 0.0026PSU^{1.3025}$ ($R^2 = 0.839^{**}$). The relationship between chlorophyll b content (Chl_b) with SPAD-502-readings and PSU-CM-1-readings were coefficient of determination and described as a power regression: $Chl_b = 0.001SPAD^{1.3002}$ ($R^2 = 0.845^{**}$) and $Chl_b = 0.0024PSU^{1.0564}$ ($R^2 = 0.810^{**}$). Finally, the relationship between nitrogen content (N) with SPAD-502-readings and PSU-CM-1-readings were coefficient of determination and described as a linear regression: $N = 1.4686SPAD - 31.685$ ($R^2 = 0.532^{**}$) and $N = 1.1609PSU - 18.254$ ($R^2 = 0.586^{**}$), respectively. However, mature stage, the relationship between total chlorophyll content (Chl_{total}) with SPAD-502-readings and PSU-CM-1-readings were coefficient of determination and described as a polynomial regression: $Chl_{total} = 0.0003SPAD^2 - 0.0276SPAD + 1.083$ ($R^2 = 0.610^{**}$) and $Chl_{total} = 4E-05PSU^2 + 0.0126PSU - 0.0924$ ($R^2 = 0.574^{**}$). The relationship between chlorophyll a content (Chl_a) with

SPAD-502-readings and PSU-CM-1-readings were coefficient of determination and described as a polynomial regression: $\text{Chl}_a = 0.0002\text{SPAD}^2 - 0.0167\text{SPAD} + 0.6887$ ($R^2 = 0.691^{**}$) and $\text{Chl}_a = 1\text{E-}04\text{PSU}^2 + 0.0001\text{PSU} + 0.2425$ ($R^2 = 0.652^{**}$). The relationship between chlorophyll b content (Chl_b) with SPAD-502-readings and PSU-CM-1-readings were coefficient of determination and described as a polynomial regression: $\text{Chl}_b = 9\text{E-}05\text{SPAD}^2 - 0.0065\text{SPAD} + 0.2501$ ($R^2 = 0.552^{**}$) and $\text{Chl}_b = 4\text{E-}05\text{PSU}^2 - 0.0003\text{PSU} + 0.0686$ ($R^2 = 0.550^{**}$). Finally, the relationship between nitrogen content (N) with SPAD-502-readings and PSU-CM-1-readings were coefficient of determination and described as a linear regression: $\text{N} = 0.3584\text{SPAD} - 1.0646$ ($R^2 = 0.609^{**}$) and $\text{N} = 0.2314\text{PSU} + 9.1976$ ($R^2 = 0.467^{**}$), respectively. The precise comparison of measurement between SPAD-502 and PSU-CM 1 in seedlings and mature stages, it was found that linear regression was expressed as: $\text{SPAD} = 0.801\text{PSU} + 8.7567$ ($R^2 = 0.921^{**}$) and $\text{SPAD} = 0.7886\text{PSU} + 19.918$ ($R^2 = 0.771^{**}$), respectively. Consequently, the portable chlorophyll meter SPAD-502 could be used to assess nitrogen and chlorophyll content of seedlings and mature stage with non-destructive oil palm leaves. The prototype of chlorophyll meter (PSU-CM-1) was only predicted to assess total nitrogen and chlorophyll contents of seedlings. However, the prototype showed that it was lower accurate in mature stage when it was compared with the SPAD-502 meter. Therefore, the prototype needs to be improved further.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี ประธานกรรมที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.จำป็น อ่อนทอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำในด้านการเรียนรวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาการทำวิจัย ตลอดจนการเขียนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ และคำแนะนำในการศึกษาทางด้านปาล์มน้ำมัน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุตัญญู เครือหาลี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิ จากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา และคุณพี้อย บัณฑิตศึกษิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้คำปรึกษาและ คำแนะนำ ตลอดจนการปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือต้นแบบและการทำวิจัยจนบรรลุถึงความสำเร็จ

ขอขอบคุณ มูลนิธิชัยพัฒนาที่ให้การศึกษาดูงานโครงการผลิตและ พัฒนาบุคลากรภายใต้ความร่วมมือระหว่างมูลนิธิชัยพัฒนาและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ หน่วยเรือนกระจกทดลองและสถานีวิจัยและฝึกภาคสนามท่าเขียด คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และต้นปาล์มน้ำมันในการศึกษาวิจัย และ คุณพีธีรภาพ แก้วประดับ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลของสวนปาล์มน้ำมัน

ขอขอบคุณ คุณศิริมา วันดาว (พี่ก้อย) นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ดินและพืช ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำใน การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน รวมทั้งการช่วยเหลือในการวิเคราะห์จาก นางสาว ภัทรานิษฐ์ คงมาก (เมย์) และคุณธนพันธ์ พงษ์ไทย (พี่แดง)

ขอขอบคุณ บุคลากรภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ตลอดจน คุณศักดิ์อนันต์ แซ่ลิ้ม (พี่เบิร์ด) คุณสุณิรัตน์ วัฒนาศิลากรณ์ (พี่อ้อย) คุณธงชัย ไทรน้อย (พี่หนุ่ม) คุณกาญจณี ทองเทพ (พี่ก๊อฟ) คุณวิลาพรรณ ทองตะโก (พี่วี) คุณกรกช เรืองศรี (พี่จูน) คุณสยมพล ณะวงษ์ (พี่เก็ด) และเพื่อนๆ น้องๆ ชาวพืชศาสตร์ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและ กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จ

ทั้งนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อประสงค์ สวัสดิ์วงศ์ คุณแม่วัลย์วรรณ สวัสดิ์วงศ์ และขอขอบคุณ พี่ชายนายสรายุทธิ์ สวัสดิ์วงศ์ และนางสาวปรีดาพร ธรรมรักษา ตลอดจนญาติพี่น้องครอบครัว ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจมาจนสำเร็จการศึกษาครั้งนี้

ปิยวิษณุ สวัสดิ์วงศ์

สารบัญ

| | หน้า |
|----------------------------------|------|
| บทคัดย่อ | (5) |
| Abstract | (7) |
| กิตติกรรมประกาศ | (9) |
| สารบัญ | (10) |
| สารบัญตาราง | (11) |
| สารบัญภาพ | (12) |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทนำต้นเรื่อง | 1 |
| การตรวจเอกสาร | 3 |
| วัตถุประสงค์ | 27 |
| บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ | 28 |
| บทที่ 3 ผล | 39 |
| บทที่ 4 วิจารณ์ | 69 |
| บทที่ 5 สรุป | 77 |
| เอกสารอ้างอิง | 79 |
| ภาคผนวก | 85 |
| ประวัติผู้เขียน | 92 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 1 | สมบัติทางเคมีของดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน | 7 |
| 2 | ปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันที่เก็บจากใบที่มีอายุแตกต่างกัน | 11 |
| 3 | ปริมาณการใช้ปุ๋ยในการเพาะชำต้นกล้าปาล์มในระยะการอนุบาลหลัก | 14 |
| 4 | ค่ามาตรฐานจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในทางใบที่ 17 ของปาล์ม น้ำมัน | 17 |
| 5 | การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์เมตรกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ พืชแต่ละชนิด | 26 |

สารบัญญภาพ (1)

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 1 | รูปแบบพัฒนาการของผลผลิตทะลายน้ำมันในช่วงอายุและระบบการจัดการพื้นที่ปลูกที่แตกต่างกัน | 4 |
| 2 | แผนที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีกับความชื้นสัมพัทธ์ในรอบ 10 ปี (พ.ศ.2546 - 2555) ต่อการปลูกพืชเศรษฐกิจปาล์มน้ำมัน | 9 |
| 3 | แผนที่เหมาะสมของดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันภาคใต้ | 10 |
| 4 | รูปแบบของการขาดธาตุอาหารและความเป็นพิษที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารไนโบของการเจริญเติบโตและผลผลิตในปาล์มน้ำมัน | 13 |
| 5 | ความยาวคลื่นของแสงที่ดูดกลืนโดยคลอโรฟิลล์ชนิดที่แตกต่างกันในใบพืช | 18 |
| 6 | สูตรโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ในใบพืช | 18 |
| 7 | การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ในใบพืชต่างชนิดกัน | 20 |
| 8 | ตัวอย่างของคลอโรฟิลล์มิเตอร์ โดยเรียงจากซ้ายไปขวา ได้แก่: leaf-clip sensors, SPAD-502 และ CCM-200 | 23 |
| 9 | ความเข้มของการส่องสว่างช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดง (Red) และแสงสีแดงไกล (Infrared) ที่คลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนได้ | 24 |
| 10 | ส่วนประกอบของตัวเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) | 29 |
| 11 | ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์วัดความเขียวของใบ | 30 |
| 12 | โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความเขียวของใบ | 31 |
| 13 | ตำแหน่งของตัววัดความเข้มแสง(ก) และตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง IR LED และ Red LED(ข) ในเซ็นเซอร์วัดความเขียวของใบ | 31 |
| 14 | แผนผังการทำงานของเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) | 32 |
| 15 | การใช้ PSU-CM 1(ก) และ SPAD 502(ข) วัดความเขียวของใบปาล์มน้ำมัน | 34 |
| 16 | ระดับความเข้มของสีใบปาล์มน้ำมัน(ก) ค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และ PSU-CM 1(ข) จากใบปาล์มน้ำมัน | 35 |
| 17 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90) | 40 |
| 18 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270) | 41 |

สารบัญภาพ (2)

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 19 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย (ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90) | 43 |
| 20 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมรวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270) | 44 |
| 21 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย (ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90) | 46 |
| 22 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270) | 47 |
| 23 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90) | 49 |
| 24 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270) | 50 |
| 25 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์บี ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90) | 52 |
| 26 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์บี รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270) | 53 |
| 27 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1กับปริมาณคลอโรฟิลล์บี ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90) | 55 |

สารบัญภาพ (3)

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 28 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ ปี รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์ม น้ำมัน (n = 270) | 56 |
| 29 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมด ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 30) | 58 |
| 30 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมด รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของ ปาล์มน้ำมัน (n = 90) | 59 |
| 31 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมด ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 30) | 61 |
| 32 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมด รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของ ปาล์มน้ำมัน (n = 90) | 62 |
| 33 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502(ก) และ PSU-CM 1 (ข) กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (n = 70) | 64 |
| 34 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502(ก) และ PSU-CM 1 (ข) กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะต้นเต็มวัยของปาล์ม น้ำมัน (n = 70) | 65 |
| 35 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 ของ ปาล์มน้ำมัน (n = 90) | 67 |
| 36 | สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270) | 68 |

บทที่ 1 บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) จัดว่าเป็นพืชน้ำมันชนิดเดียวของโลกที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น (Murphy, 2009) และยังเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของภาคใต้ที่ให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี (ธีระ, 2554) โดยในปี 2558 คาดการณ์ว่าปาล์มน้ำมันของไทยจะมีเนื้อที่ให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันปี 2558-2559 มีเป้าหมายในการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันไปยังพื้นที่ปลูกใหม่ ไร่ละ 250,000 ไร่ รวม 3 ล้านไร่ ภายใน 12 ปี และปลูกทดแทนสวนปาล์มน้ำมันเก่า เพื่อรองรับความต้องการใช้ เพื่อการบริโภคและพลังงานทดแทนที่มีความต้องการใช้เพิ่มขึ้น (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ในปัจจุบันมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตของปาล์มน้ำมันเพื่อให้ผลผลิตต่อไร่ที่มีปริมาณสูงขึ้น โดยการพัฒนาด้านการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะส่งผลให้การทำสวนปาล์มน้ำมันมีประสิทธิภาพ มีระบบการจัดการเลือกพื้นที่ปลูกที่เหมาะสม การเลือกใช้สายพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะพันธุ์ดีมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง สามารถปรับตัวเข้ากับพื้นที่ปลูกได้ดี (ชัยรัตน์ และคณะ, 2553) ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งของการจัดการสวนปาล์มน้ำมันให้มีประสิทธิภาพและประสบความสำเร็จ คือ การจัดการทางด้านปุ๋ย เนื่องจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละครั้ง มีการสูญเสียธาตุอาหาร เพราะฉะนั้นการให้ปุ๋ยเพื่อทดแทนธาตุอาหารที่สูญเสียไปเพื่อให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพียงพอต่อความต้องการของปาล์มน้ำมันที่ใช้ด้านการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตอีกครั้ง ปาล์มน้ำมันจึงเป็นพืชที่ต้องการปุ๋ยในปริมาณมาก ทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันสูงมากกว่า 50 % ของต้นทุนในการดูแลสวนปาล์มน้ำมัน (ธีระ, 2554; ธีระ และคณะ, 2548) ดังนั้นระบบการจัดการปุ๋ยต้องมีประสิทธิภาพ เพื่อลดการสูญเสียธาตุอาหาร มิเช่นนั้นจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตและอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสมดุลของธาตุอาหารในดิน

ไนโตรเจนจัดว่าเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญมากต่อปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปพืชต้องการธาตุไนโตรเจนไปสร้างโปรตีน เพื่อการเจริญของลำต้น ใบ และสร้างสีเขียวให้แก่พืช รวมทั้งเป็นส่วนประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ในพืช (เฉลิมพล, 2535) แต่หากได้รับในปริมาณมากเกินไป ทำให้ต้นอ่อนแอ เพราะจะทำให้ทางใบอวบน้ำ มีความต้านทานโรคต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากขาดธาตุไนโตรเจน จะส่งผลให้ใบเหลืองซีด หากถึงขั้นขาดไนโตรเจนรุนแรง จะส่งผลให้มีสีเขียวทั้งต้น ทางใบสั้น แคระแกรน เติบโตช้า ทะลายเล็กลง ปริมาณน้ำมันน้อย (ธีระ, 2554) จากบทบาทความสำคัญของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน สามารถใช้เป็นดัชนีตัวบ่งชี้สุขภาพความสมบูรณ์ของต้นปาล์มน้ำมันได้ เพราะฉะนั้นวิธีการหนึ่งที่ประเมินการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของปาล์มน้ำมัน คือ การวัดปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบพืชมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช ได้แก่ วิธีการของเจลดาล (Kjeldahl method) (Munoz-

Huerta *et al.*, 2013) สำหรับวิธีการสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช จะใช้วิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) (Netto *et al.*, 2005) แต่วิธีการเหล่านี้จะต้องทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและทำลายตัวอย่างใบของพืช (van den Berg and Perkins, 2004) จึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่สามารถประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์จากใบพืชในแปลงปลูก เรียกว่า คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502 Minolta Co., Ltd., Japan) ซึ่งจะสามารถประเมินผลได้อย่างรวดเร็ว สะดวกและไม่ทำลายตัวอย่างใบของพืช (Hawkins *et al.*, 2009) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้เครื่องมือชนิดนี้เป็นแนวทางในการจัดการธาตุอาหารไนโตรเจนให้แก่พืชได้ แม้ว่าเครื่องมือชนิดนี้จะมีการใช้งานในประเทศอย่างแพร่หลาย แต่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศและมีราคาค่อนข้างสูง จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาเบื้องต้นในการพัฒนาเครื่องต้นแบบที่ใช้ประเมินไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบข้าว (สายพันธ์ และคณะ, 2550) ซึ่งมีแนวโน้มที่จะสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อให้สามารถใช้งานได้

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) และคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) เพื่อประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันของ 2 ช่วงอายุ คือ ช่วงอายุต้นกล้าและช่วงอายุเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน โดยทำการศึกษาควาคความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้วิธีการของเจลดาล (Kjeldahl method) ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและวิธีการของ Moran (1982) ในการสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน และเปรียบเทียบความแม่นยำของเครื่อง PSU-CM 1 และ SPAD-502 เพื่อใช้เป็นแนวทางการประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านการธาตุอาหารไนโตรเจนให้เหมาะสมตามความต้องการของปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงผลผลิตและคุณภาพของปาล์มน้ำมัน

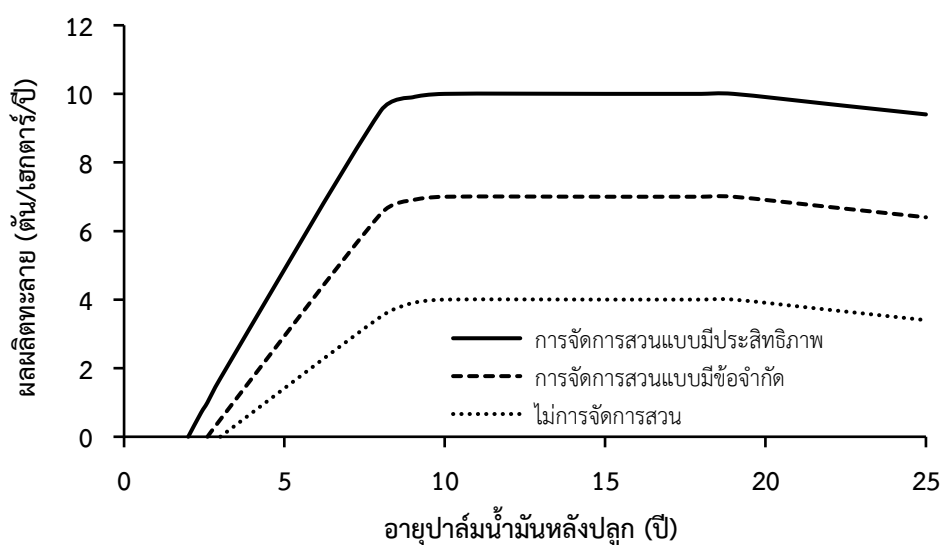
การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชยืนต้น ใบเลี้ยงเดี่ยว มีระบบการขยายพันธุ์แบบผสมข้าม ซึ่งปาล์มน้ำมันจะสามารถให้ผลผลิตทะลายได้ตลอดทั้งปี โดยเริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุประมาณ 2.5 ปี หลังจากลงปลูกในแปลง และจะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณมากกว่า 25 ปี โดยทั่วไป ชื่อสามัญของปาล์มน้ำมัน คือ ออยล์ปาล์ม (oil palm) และมีชื่อเรียกประจำท้องถิ่นในประเทศต่างๆ เช่น กือลาปาซาวิท (มาเลเซียและอินโดนีเซีย) ปาล์มเมียร์อะวิล (ฝรั่งเศส) เอิลพามอ (เยอรมัน) อะบุราญาซิ (ญี่ปุ่น) จุงหลูวิไฮว หรือไฮวจง (จีน) เป็นต้น โดยชื่อวิทยาศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน คือ *Elaeis guineensis* Jacq. ซึ่งตั้งชื่อโดย Jacquiu ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมันกล่าวโดยสรุป คือ มีระบบรากแบบรากฝอย ลำต้นเดี่ยวสูงตั้งตรงและไม่ทอดนอน ลำต้นมีรูปร่างคล้ายทรงกระบอก โดยเฉพาะบริเวณโคนต้นมีขนาดใหญ่กว่า ส่วนลำต้นด้านบนมีลักษณะเป็นปล้อง ใบเรียบแบนมีขนาดใหญ่เป็นแบบรูปขนนกมีหนามสั้นๆ บนโคนก้านใบ ใบย่อยมีขนาดเล็กเรียวยาวและจัดเรียงในแนวสลับบน-ล่างติดกับแกนกลางใบของแต่ละด้าน และมีระยะระหว่างใบย่อยสม่ำเสมอ ซอดอกเพศผู้และซอดอกเพศเมีย เกิดบริเวณซอกใบ แยกกันอยู่บนต้นเดียวกัน โดยทั่วไปปาล์มน้ำมันจะจำแนกตามลักษณะผลได้ 3 แบบ คือ ตูรา เทเนอรา และฟิสเฟอรา โดยอาศัยความแตกต่างของลักษณะความหนาของกะลา การปรากฏของจุดวงแหวนเส้นใยสีน้ำตาล บริเวณเนื้อปาล์ม รอบๆ กะลา และความหนาของเนื้อปาล์ม (ธีระ, 2554) ซึ่งในปัจจุบันพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่นิยมปลูกเพื่อการค้า คือ ปาล์มน้ำมันพันธุ์ลูกผสมเทเนอรา (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)

โดยทั่วไปปาล์มน้ำมันจะมีอายุโดยประมาณ 200 ปี แต่สำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกเป็นการค้า โดยทั่วไปจะมีอายุที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับการลงทุนทางเศรษฐกิจประมาณ 20-30 ปี (ชัยรัตน์ และคณะ, 2553) ซึ่งช่วงอนุบาลของระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน จะมีอายุระหว่าง 6-12 เดือน ในระยะแปลงปลูกปาล์มน้ำมันจะแบ่งระยะการเจริญเติบโตได้เป็น 4 ระยะ (ภาพที่ 1) คือ ระยะแรก ช่วงปาล์มอ่อน ซึ่งเป็นระยะก่อนที่จะให้ผลผลิตทะลายและมีอายุระหว่าง 2-3 ปี ต่อมาระยะที่สอง ช่วงปาล์มหนุ่ม จะมีอายุระหว่าง 4-7 ปี ซึ่งในระยะนี้จะเป็นช่วงที่ปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นจากในระยะก่อน และพบว่าพื้นที่ใบและผลผลิตทะลายมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่วนระยะที่สาม ช่วงต้นปาล์มเต็มวัย จะมีอายุระหว่าง 8-14 ปี ซึ่งในระยะนี้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันค่อนข้างจะคงที่ อาจจะมีเพิ่มขึ้นในช่วง 8-10 ปี แต่หลังจากนั้นผลผลิตจะคงที่ และพบว่าพื้นที่ใบและผลผลิตทะลายจะอยู่ในช่วงคงที่ และระยะสุดท้ายระยะที่สี่ช่วงต้นปาล์มแก่ จัดเป็นระยะที่ผลผลิตทะลายมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งอยู่ในช่วงอายุระหว่าง 15-25 ปี (Woittiez *et al.*, 2017) ดังนั้นผลผลิตทะลายของปาล์มน้ำมันจะสามารถให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3-10 ปี และผลผลิตทะลายค่อนข้างคงที่ในช่วง 11-15 ปี หลังจากนั้น 16 ปีต่อมาผลผลิตทะลายจะมีปริมาณลดลง ซึ่งการที่จะได้ผลผลิตทะลายที่มีปริมาณมากและคุณภาพที่ดี จะต้องมีการบริหารจัดการสวนที่มีประสิทธิภาพ

จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าระบบที่มีการจัดการสวนแบบมีประสิทธิภาพ จะให้ปริมาณผลผลิตทะลายน้ำมันที่สูงที่สุด แต่ระบบการจัดการสวนแบบมีข้อจำกัดทางด้านปัจจัยของน้ำและธาตุอาหาร ทำให้ผลผลิตมีปริมาณที่ลดลง และระบบที่ไม่มีการจัดการสวนที่ไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผลผลิตทะลายน้ำมันมีปริมาณที่ต่ำที่สุด เพราะฉะนั้นการจัดการสวนปาล์มน้ำมันมีผลโดยตรงต่อการให้ผลผลิต และรวมทั้งปัจจัยอื่นๆ อย่างเช่น ปัจจัยทางด้านความเหมาะสมของพื้นที่ปลูก ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 1 รูปแบบพัฒนาการของผลผลิตทะลายน้ำมันปาล์มในในช่วงอายุและระบบการจัดการพื้นที่ปลูกที่แตกต่างกัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Woittiez และคณะ (2017)

2. ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน

ธีระ (2554); ธีระ และคณะ (2548) รายงานว่าปาล์มน้ำมันจะเริ่มให้ผลผลิตทะลายน้ำมันตั้งแต่อายุประมาณ 2.5 ปี เมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุเพิ่มขึ้นผลผลิตทะลายน้ำมันจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามจนกระทั่งถึงระดับหนึ่ง หลังจากนั้นผลผลิตทะลายน้ำมันจะมีปริมาณคงที่และรักษาระดับไว้ และเมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุมาก ผลผลิตทะลายน้ำมันจะมีปริมาณลดลงตามช่วงอายุของการเจริญเติบโต ดังนั้นการให้ผลผลิตทะลายน้ำมันของปาล์มน้ำมัน นอกจากจะได้รับอิทธิพลจากพันธุกรรมของสายพันธุ์ปาล์มน้ำมันแล้ว สภาพแวดล้อมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการให้ผลผลิตทะลายน้ำมันของปาล์มน้ำมัน เพราะฉะนั้นการพิจารณาถึงความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน จึงเกี่ยวข้องกับระบบการจัดการสวนปาล์มน้ำมันเพื่อให้ประสบความสำเร็จและไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนในการจัดการสวนให้สูงขึ้น ซึ่งสำหรับสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.1 สภาพภูมิอากาศ

2.1.1 ปริมาณและการกระจายตัวของฝน

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำในปริมาณที่สูง เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตทะลาย ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 2,000-2,500 มิลลิเมตรต่อปี และการกระจายของน้ำฝนที่ดี จะต้องมียปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนมากกว่า 120 มิลลิเมตร ถ้าปาล์มน้ำมันได้รับปริมาณฝนที่เหมาะสมจะช่วยให้ปริมาณผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสูงขึ้น ช่วยกระบวนการพัฒนาดอกตัวเมียและการติดผลมีเปอร์เซ็นต์สูง หากมีการสร้างตาดอกมากขึ้น จะทำให้ทะลายมีจำนวนมากขึ้นเช่นกัน โดยการตอบสนองนี้ต่อปริมาณน้ำฝนมักจะแสดงผลประมาณ 19-22 เดือนต่อไป (ธีระ, 2554) ธีระพงศ์ (2553) อ้างโดย สุนันย์ (2556) รายงานว่าพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนและการกระจายตัวของฝนที่เหมาะสม จะช่วยให้กระบวนการพัฒนาและการสุกของผลเป็นไปอย่างปกติ แต่ถ้าปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย และเกิดฝนทิ้งช่วง 3-4 เดือน ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันแสดงอาการใบอ่อนไม่คลี่ ขอบใบของทางใบล่างแห้ง ทางใบหัก ทะลายแห้ง ยอดหักและตายในที่สุด

2.1.2 อุณหภูมิ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการอุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 29-33 องศาเซลเซียส จัดเป็นช่วงอุณหภูมิปกติของเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น แต่เมื่อในสภาพอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลกระทบต่อการคายน้ำของปาล์มน้ำมัน ทำให้ปาล์มน้ำมันขาดน้ำ แต่ถ้าในสภาพอุณหภูมิต่ำจะส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเช่นกัน (ธีระ, 2554) Henry (1958) อ้างโดย Corley และ Tinker (2003) รายงานว่าต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่ปลูกในสภาพควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส สามารถเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งต่างจากการปลูกในสภาพควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลให้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันหยุดการเจริญเติบโต สำหรับในสภาพแปลงปลูก

2.1.3 ปริมาณแสง

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ไม่ไวต่อช่วงแสง ปริมาณแสงที่เหมาะสมต่อความต้องการของปาล์มน้ำมันอยู่ระหว่าง 5-7 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 16-17 เมกจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ตลอดทั้งปี ซึ่งปริมาณแสงที่ได้รับจะมีสมการความสัมพันธ์ในเชิงบวกแบบเส้นตรงกับการเจริญเติบโต แต่จะไม่มีสมการความสัมพันธ์ในเชิงทางบวกแบบเส้นตรงกับผลผลิตทะลาย (ธีระ, 2554; Corley and Tinker, 2003) แต่ Hartley (1988) อ้างโดย ธีระ (2554) รายงานว่า ปริมาณแสงที่ปาล์มน้ำมัน

ได้รับในรอบปี จะมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลผลิตของปาล์มน้ำมันในอีก 28 เดือนถัดไป ดังนั้นปาล์มน้ำมันที่ได้รับแสงน้อย จะทำให้ผลผลิตทะลายและสัดส่วนเพศของปาล์มน้ำมันลดลง

2.1.4 ความเร็วลม

ปาล์มน้ำมันจะมีทรงพุ่มขนาดใหญ่ประกอบด้วยมีระบบรากเป็นรากฝอย จึงไม่ทนทานต่อกระแสลมที่พัดแรง ส่งผลให้ทางใบหรือลำต้นหักโค่นล้มได้ง่ายโดยเฉพาะการปลูกลงในพื้นที่พุ่ม ซึ่งความเร็วลมที่เหมาะสม ควรมีความเร็วลมน้อยกว่า 15 เมตรต่อวินาที จะส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพอัตราการสังเคราะห์แสง เพราะความเร็วลมที่เหมาะสมจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของใบ รวมทั้งการคายระเหยน้ำของใบและเป็นการช่วยระบายความร้อนแก่ใบปาล์มน้ำมัน (ธีระ, 2554; Paramanathan, 2003 อ้างโดย สุนันย์, 2556)

2.2 สภาพภูมิประเทศ

ลักษณะพื้นที่ที่มีความเหมาะสมแก่การปลูกปาล์มน้ำมัน ไม่ควรเป็นพื้นที่ที่อยู่สูงเกินไป เนื่องจากอุณหภูมิจะลดต่ำลง และมีเมฆปกคลุมมาก ซึ่งจะมีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (Paramanathan, 2003 อ้างโดย สุนันย์, 2556) และควรจะเป็นพื้นที่ราบมีความลาดชันเพียงเล็กน้อย (ความลาดชันไม่ควรเกิน 20 %) เพื่อความสะดวกในการระบายน้ำ ในกรณีที่เป็นพื้นที่ราบหรือที่ลุ่มซึ่งมีการท่วมขังของน้ำจำเป็นต้องมีการขุดร่องระบายน้ำ ส่วนพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก (มากกว่า 20%) ต้องมีการทำขั้นบันไดเพื่อลดการชะล้างของดินและเพื่อความสะดวกในการทำงาน (ธีระ, 2554)

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพของดิน

Corley และ Tinker (2003) แนะนำว่าดินที่ความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่ดีของปาล์มน้ำมัน ควรเป็นดินที่มีการทับถมของตะกอนที่มีดินร่วนเหนียวอยู่ในชั้นดินล่างๆ เนื่องจากดินร่วนเหนียวจะมีรูพรุนมากกว่าดินทราย จึงมีส่วนสำคัญในการเก็บรักษาความชื้นและธาตุอาหาร ถ้าปลูกปาล์มน้ำมันลงในพื้นที่ดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จะสามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงในดิน นอกจากนั้นความลึกของหน้าดินจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเช่นกัน ระดับความลึกหน้าดินที่เหมาะสมควรมีความลึกประมาณ 50 เซนติเมตร เนื่องจากปาล์มน้ำมันจะสามารถสร้างรากเป็นจำนวนมากที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร แต่ถ้าปลูกบริเวณที่มีหน้าดินตื้น จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากและการยึดตัวของรากที่ไม่แข็งแรง เมื่อเกิดมีกระแสลมพัดแรงจะทำให้ต้นล้มได้ง่ายมากขึ้น (ชัยรัตน์ และคณะ, 2553) และปาล์มน้ำมันสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่สามารถเก็บรักษาความชื้นได้ดี และมีการระบายน้ำดีถึงปานกลาง หากมีน้ำท่วมขังเป็นเวลานานจะมีผลต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต เนื่องจากระบบรากได้รับความเสียหาย จึงไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้

ใบเหลืองจากอาการขาดธาตุไนโตรเจน และตายในที่สุด (Paramanathan, 2003 อ้างโดย สุนันย์, 2556)

2.2.2 สมบัติทางเคมีของดิน

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารในปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องให้ธาตุอาหารแก่ต้นปาล์มน้ำมันในอัตราที่สูง เพื่อรักษาระดับธาตุอาหารให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตทะลายน Rankine และ Fairhurst (1998) อ้างโดย ชีระ (2554) แนะนำมาตรฐานสำหรับใช้ประเมินความเหมาะสมของคุณสมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ในการปลูกปาล์มน้ำมันดังนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน

| สมบัติทางเคมีของดิน ¹ | ระดับปริมาณธาตุอาหารในดิน | | | |
|--|---------------------------|------|---------|------|
| | ต่ำมาก | ต่ำ | ปานกลาง | สูง |
| ความเป็นกรดต่าง [pH (1:5, ดิน:น้ำ)] | <3.50 | 4.00 | 4.20 | 5.50 |
| อินทรีย์คาร์บอน [organic C (%)] | <0.80 | 1.20 | 1.50 | 2.50 |
| ไนโตรเจนทั้งหมด [total N (%)] | <0.08 | 0.12 | 0.15 | 0.25 |
| ฟอสฟอรัสทั้งหมด [total P (มก./กก. ดิน)] | <120 | 200 | 250 | 400 |
| ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ [avail. P (มก./กก. ดิน)] | <8 | 15 | 20 | 25 |
| โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ [exch. K (เซนติโมล/กก. ดิน)] | <0.08 | 0.20 | 0.25 | 0.30 |
| แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ [exch. Mg (เซนติโมล/กก. ดิน)] | <0.08 | 0.20 | 0.25 | 0.30 |
| ทองแดงที่เป็นประโยชน์ [avail. Cu (มก./กก. ดิน)] | <4 | <5 | 5 | >6 |
| ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุ [ECEC (เซนติโมล/กก. ดิน)] | <6 | 12 | 15 | 18 |

หมายเหตุ ¹avail. =available, exch. =exchangeable, ECEC =effective cation exchange capacity, มก./กก. =พีพีเอ็ม(ppm) และเซนติโมล/กก. (cmol/kg) =มิลลิอีควิวาเลนต์/100 กรัมดิน (หรือ meq/100 กรัมของดิน)

ที่มา: Rankine และ Fairhurst (1998) อ้างโดย ชีระ (2554)

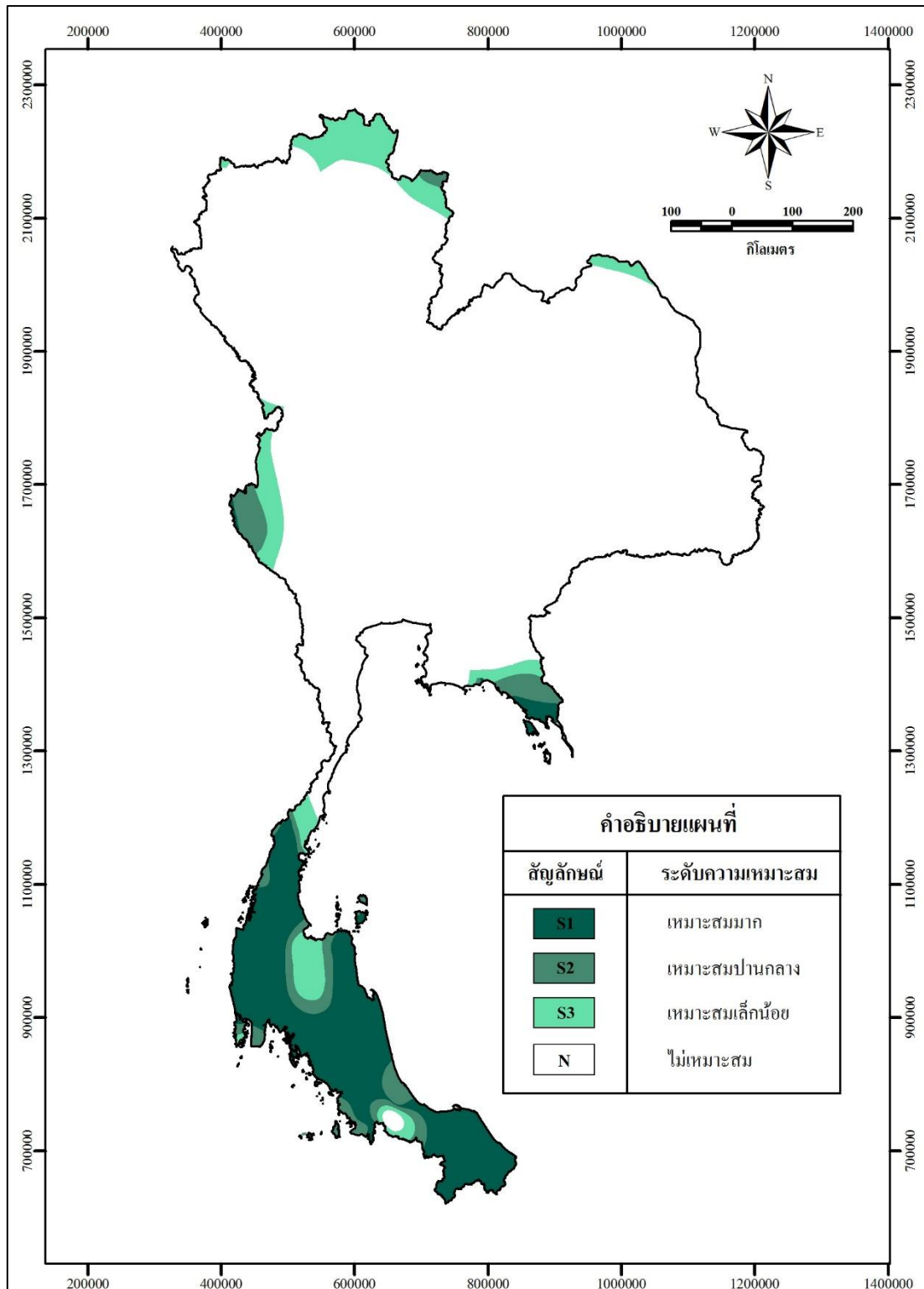
กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน (2556) รายงานการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทย ซึ่งพิจารณาจากคุณสมบัติของดิน รวมทั้งหมด 25 ชนิดทั่วประเทศ โดยกำหนดเงื่อนไขของคุณสมบัติดินให้สอดคล้องกับความต้องการของต้นปาล์มน้ำมัน โดยคุณสมบัติดินที่ผ่านการประเมินความเหมาะสมจะนำมาประเมินความต้องการของพืช ซึ่งประกอบด้วย 3 ด้าน คือ 1) ความต้องการด้านพืช (crop requirements) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ประกอบด้วยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบปี ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในรอบปี ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร สภาพการหยั่งลึกของราก ปริมาณสารพิษในดิน เป็นต้น 2) ความต้องการด้านการจัดการ (management requirements) เป็นความต้องการด้าน

เครื่องจักร ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสะดวกของการทำการเกษตร ประกอบกับปัจจัยคุณภาพของที่ดิน และ 3) ความต้องการด้านการอนุรักษ์ (conservation requirements) ความต้องการที่สามารถใช้ที่ดินได้อย่างยั่งยืนโดยไม่ทำลายคุณภาพของที่ดินหรือทำลายสิ่งแวดล้อมอื่นๆ จากข้อมูลข้างต้นได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

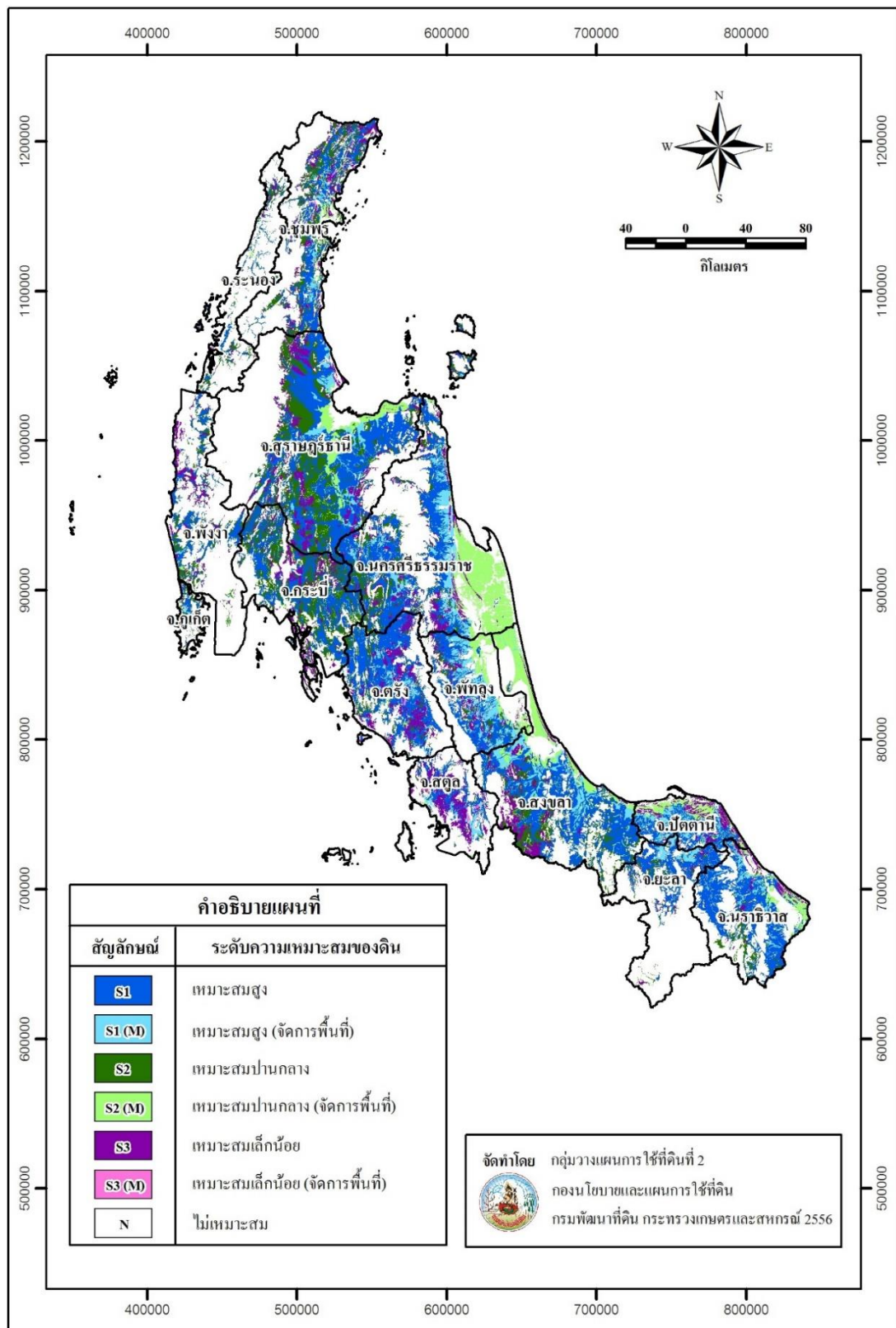
1) การประเมินความเหมาะสมของสภาพภูมิอากาศสำหรับพืชเศรษฐกิจปาล์มน้ำมัน มีปัจจัยหลักด้านภูมิอากาศที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งจะเป็นตัวแทนของคุณลักษณะที่ดินที่สะท้อนถึงคุณภาพที่ดินด้านความชุ่มชื้นที่เป็นประโยชน์ของพืช โดยปาล์มน้ำมันจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่มีฝนตกชุกและมีการกระจายตัวของฝนอย่างสม่ำเสมอ หากมีฝนแล้งหรือขาดน้ำมากกว่า 3-4 เดือน จะมีผลให้ปาล์มน้ำมันเจริญเติบโตไม่ดีและผลผลิตต่ำ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีในรอบ 10 ปี (ปี 2546-2555) เพื่อพิจารณาระดับความเหมาะสมของสภาพภูมิอากาศสำหรับพืชเศรษฐกิจปาล์มน้ำมัน (ภาพที่ 2) พบว่า ภาคใต้จะมีความเหมาะสมมากสำหรับในการปลูกปาล์มน้ำมันเมื่อเทียบกับภาคอื่นๆ

2) การประเมินความเหมาะสมของทรัพยากรดินและการจัดการที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจปาล์มน้ำมัน โดยใช้ข้อมูลกลุ่มชุดดินเป็นตัวแทนของทรัพยากรดิน เนื่องจากกลุ่มชุดดินแต่ละกลุ่มมีลักษณะและสมบัติดินที่เฉพาะตัวตามปัจจัยการเกิดดินและการสร้างดิน เช่น สภาพภูมิอากาศ ชนิดวัตถุต้นกำเนิดดิน สภาพพื้นที่ ระยะเวลาการพัฒนาของดิน พืชพรรณธรรมชาติ สิ่งมีชีวิต และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น ทั้งนี้การประเมินความเหมาะสมสำหรับพืชเศรษฐกิจปาล์มน้ำมันยังพิจารณาการจัดการที่ดิน รวมทั้งด้านคุณลักษณะของดินประกอบด้วยข้อมูลจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ความชื้นสัมพัทธ์ การระบายน้ำ ปริมาณธาตุอาหารในดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ความอึดตัวของสารที่เป็นต่าง ความลึกของดิน ความถี่ของน้ำท่วม ค่าการนำไฟฟ้าของดิน ระดับความลึกของจาโรไซต์ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความยากง่ายในการไถพรวน ปริมาณหินโผล่ ปริมาณก้อนหิน และความลาดชัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพหรือเคมีบางประการ เพื่อให้ที่ดินมีความเหมาะสมในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความต้องการปัจจัยคุณภาพที่ดินสำหรับปาล์มน้ำมันกับคุณลักษณะที่ดินของแต่ละหน่วยที่ดิน ซึ่งคุณลักษณะที่ดินที่มีข้อจำกัดที่รุนแรงที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน จะเป็นตัวแทนความเหมาะสมของที่ดินรวมของหน่วยที่ดินนั้น ซึ่งแสดงในแผนที่ความเหมาะสมของดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันภาคใต้ (ภาพที่ 3)

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลข้างต้นพบว่า ปาล์มน้ำมันมีแหล่งเพาะปลูกหลักอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคกลาง ซึ่งพบพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดในจังหวัดสุราษฎร์ธานี รองลงไปเป็นจังหวัดกระบี่ และจังหวัดชุมพร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบการปลูกในจังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเล็กน้อย แต่ทางภาคใต้มีความเหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุด



ภาพที่ 2 แผนที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีกับความชื้นสัมพัทธ์ในรอบ 10 ปี (พ.ศ.2546 - 2555) ต่อการปลูกพืชเศรษฐกิจปาล์มน้ำมัน
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2556) อ้างโดย กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน (2556)



ภาพที่ 3 แผนที่ความเหมาะสมของดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันภาคใต้
 ที่มา: กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน (2556)

3. การประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตได้ในปริมาณสูง (Corley and Tinker, 2003) ทำให้ปาล์มน้ำมันมีความต้องการธาตุอาหารสูง เพราะฉะนั้นการจัดการสวนปาล์มน้ำมันที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องให้ปุ๋ยในอัตราที่สูงเช่นเดียวกัน เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของปาล์มน้ำมัน (ธีระ, 2554; Rendana *et al.*, 2015) ซึ่งอาจสูงถึง 8-10 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ซึ่งการให้ปุ๋ยในปริมาณที่ไม่เพียงพอจะทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันลดลงและในทางตรงกันข้าม หากมีการให้ปุ๋ยในปริมาณมากเกินไปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้หมด จะทำให้เป็นการเพิ่มต้นทุนของการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน (ธีระ และคณะ, 2548) โดยทั่วไปแล้วเทคนิคที่ใช้ในการประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน สามารถทำได้โดยอาศัยประสบการณ์ในการสังเกตอาการขาดธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันแสดงออก ซึ่งจะเป็นการประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากอาการที่พืชแสดงออกมานั้นจะเกิดขึ้นหลังจากที่พืชขาดธาตุอาหารนั้นในขั้นรุนแรงและส่งผลกระทบต่อผลผลิตมีจำนวนลดลงแล้ว (ธีระ, 2554) ดังนั้นในปัจจุบันมีการใช้วิธีการวิเคราะห์ดินและการวิเคราะห์ใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันก่อนที่จะแสดงอาการขาดธาตุอาหาร

การวิเคราะห์ดิน มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบถึงคุณสมบัติของดินที่จะปลูกปาล์มน้ำมัน โดยการทำการเก็บตัวอย่างดินส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะทราบว่าข้อมูลดินมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันหรือไม่ และสามารถใช้เป็นแนวทางนำไปสู่การตัดสินใจของเกษตรกรในการวางแผนเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดินบริเวณดังกล่าวได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ซึ่งค่ามาตรฐานของการวิเคราะห์ดินได้แสดงดังตารางที่ 1 (ธีระ, 2554)

การวิเคราะห์ใบ มีจุดประสงค์เพื่อทำให้ทราบถึงสถานภาพของธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน มีปริมาณธาตุอาหารในระดับที่ขาด เหมาะสม หรือมากเกินไป โดยการเก็บตัวอย่างทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีการศึกษาจนได้ข้อสรุปแล้วว่าปริมาณธาตุอาหารในทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน มีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตทะลายและใบที่ 17 จะเป็นทางใบที่อยู่บริเวณกลางทรงพุ่ม จัดเป็นทางใบที่ไม่อ่อนหรือแก่เกินไป จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบที่มีอายุต่างกัน จะให้ค่าปริมาณธาตุอาหารนั้นต่างกันด้วยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 2 (ธีระ, 2554)

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันที่เก็บจากใบที่มีอายุแตกต่างกัน

| ใบที่ | N (กรัม/กก.) | P (กรัม/กก.) | K (กรัม/กก.) | Mg (กรัม/กก.) | Ca (กรัม/กก.) |
|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 1 | - | - | 18.0 | 3.0 | 6.0 |
| 3 | 29.0 | 2.0 | 16.0 | 3.5 | 5.0 |
| 9 | 27.0 | 1.6 | 12.5 | 3.0 | 5.0 |
| 17 | 25.0 | 1.5 | 9.0 | 2.5 | 6.0 |
| 21 | 21.0 | 1.4 | 7.0 | 2.0 | 6.0 |

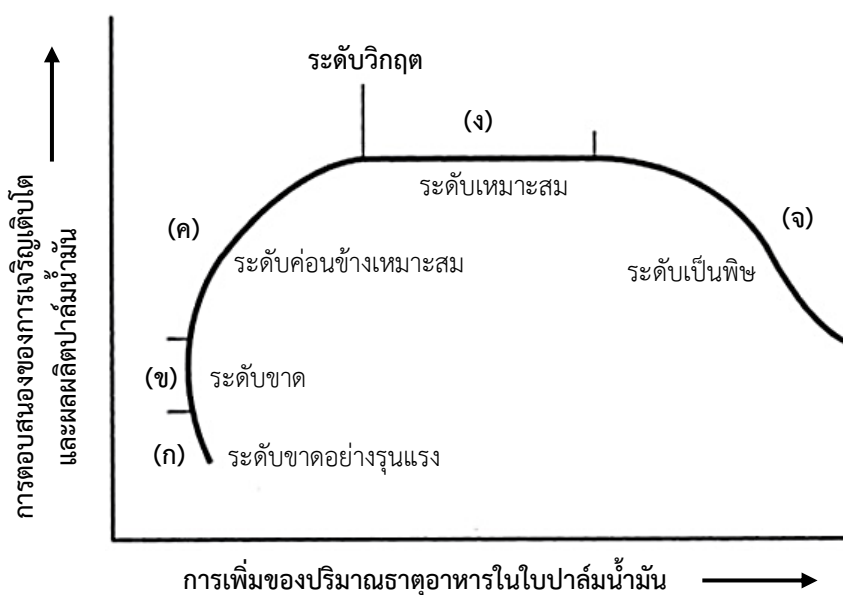
ที่มา: ดัดแปลงจาก ธีระ (2554)

4. ความสำคัญของธาตุไนโตรเจนที่มีต่อปาล์มน้ำมัน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากไนโตรเจนมีบทบาทเป็นส่วนประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ และกระบวนการสังเคราะห์แสง และเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน และเอนไซม์ที่เซลล์พืชสร้างขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการแบ่งเซลล์และเมแทบอลิซึมต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ เป็นต้น รวมทั้งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของวิตามินและอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) ซึ่งเป็นสารให้พลังงานสูงแก่เซลล์ (ธีระ, 2554; Evans, 1989; Munoz-Huerta *et al.*, 2013) สำหรับรากของพืชจะสามารถดูดไนโตรเจนไปใช้ในรูปไนเตรตและแอมโมเนียมไอออน แต่สำหรับยูเรียพืชจะสามารถดูดไปใช้ได้โดยตรง แต่สารชนิดนี้มีอยู่ในธรรมชาติในน้อย พืชจึงดูดไปใช้ได้มากเฉพาะในกรณีที่ใส่ปุ๋ยยูเรียสังเคราะห์เท่านั้น ในพืชชั้นต่ำบางชนิดจะสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้เช่นกัน ซึ่งจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ที่มีบทบาทสำคัญในการเกษตร คือ ไรโซเบียม (rhizobium) เนื่องจากสามารถตรึงไนโตรเจนได้เมื่ออยู่ร่วมกับรากพืชตระกูลถั่ว (ยงยุทธ, 2546) สำหรับปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นพืชที่ไม่สามารถตรึงไนโตรเจนได้เอง เกษตรกรจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้แก่ต้นปาล์มน้ำมัน หากต้นปาล์มน้ำมันที่ได้รับไนโตรเจนในระดับที่เหมาะสมและเพียงพอ จะมีลักษณะใบมีสีเขียวเข้มและการเจริญทางลำต้นสูง แต่หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมากเกินไปเช่นกัน ซึ่งส่งผลให้ลำต้นอ่อนแอ มีความต้านทานโรคน้อยลงและถูกทำลายจากโรคและแมลงได้ง่าย (ธีระ, 2554)

จากการศึกษาของ Fairhurst และ Mutert (1999) ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน และกำหนดรูปแบบการเพิ่มของปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน โดยแบ่งออกเป็น 5 ระยะ (ภาพที่ 4) ประกอบด้วย ระยะที่ 1 คือ ระดับที่ขาดธาตุอาหารอย่างรุนแรง ระยะที่ 2 คือ ระดับที่ขาดธาตุอาหาร ระยะที่ 3 คือ ระดับที่ธาตุอาหารค่อนข้างเหมาะสม ระยะที่ 4 คือ ระดับที่ธาตุอาหารเหมาะสม และระยะที่ 5 คือ ระดับที่ธาตุอาหารเป็นพิษ ซึ่งในระยะที่ 1 และ 2 เป็นระยะที่ปาล์มน้ำมันแสดงอาการขาดธาตุอาหาร จะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตเป็นอย่างมาก เช่นเดียวกับระยะที่ 5 ที่ได้รับธาตุอาหารมากเกินไป ซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละระยะของการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารในใบ จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต ซึ่งแต่หากปริมาณธาตุอาหารในใบเพิ่มสูงจนเกินระดับวิกฤต (critical level) จะส่งผลให้เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตได้เช่นกัน

นอกจากนี้ในช่วงฤดูแล้งบริเวณโคนปาล์มน้ำมันที่ได้รับไนโตรเจนมากเกินไปทางใบปาล์มน้ำมัน จะมีน้ำหนักรากเกิดการหักลง และปาล์มน้ำมันที่ได้รับไนโตรเจนน้อยเกินไปทำให้ใบแก่มีลักษณะสีเหลืองซีดหรือสีซีดอ่อน หลังจากนั้นปลายใบจะแห้ง ใบมีลักษณะแข็งและปราศจากความมัน อัตราการสร้างใบใหม่ลดลง ส่วนใบที่เกิดใหม่มีลักษณะสั้นและมีขนาดเล็ก ถ้าขาดธาตุไนโตรเจนในขั้นที่รุนแรงใบแก่จะมีสีเหลืองหรือสีเหลืองส้ม ส่วนในดินที่มักจะมีขาดธาตุไนโตรเจนได้แก่ ดินที่มีการระบายน้ำเร็ว ดินที่มีน้ำท่วมขัง ดินที่มีการชะล้างของหน้าดินสูง ดินทรายจัด และดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ (ธีระ, 2554)



ภาพที่ 4 รูปแบบของการขาดธาตุอาหารและความเป็นพิษที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในใบของการเจริญเติบโตและผลผลิตในปาล์มน้ำมัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Fairhurst และ Mutert (1999)

ทั้งนี้หากต้นปาล์มน้ำมันได้รับธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอ จะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตหลายปาล์มน้ำมันลดลง ซึ่งธาตุไนโตรเจนเป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่จำเป็นของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากเป็นส่วนประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ เป็นปัจจัยพื้นฐานของกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นไนโตรเจนมักจะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบมาตรฐานของความเครียดของธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน (Law *et al.*, 2014) แต่ความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน ในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต จะมีความต้องการในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการจัดการให้ปุ๋ยของปาล์มน้ำมันในแต่ละช่วงอย่างเหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการ เช่น ในระยะอนุบาลแรก (ช่วงอายุปาล์มสามเดือนแรก) จะมีการให้ปุ๋ยน้ำทางใบกับต้นกล้าปาล์มน้ำมันตามลักษณะอาการของต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่เริ่มขาดธาตุอาหารนั้นๆ โดยทั่วไปหากดินที่ใช้เพาะต้นกล้ามีคุณสมบัติดี อาจไม่จำเป็นต้องมีการให้ปุ๋ยน้ำทางใบก็ได้ ต่อมาในระยะการอนุบาลหลัก (ตั้งแต่ปาล์มมีอายุสามเดือนขึ้นไป) จะเป็นการให้ปุ๋ยเม็ดผสมแก่กล้าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยผสมที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด คือปุ๋ยผสมชนิดที่ 1: 15-15-6-4 (N-P₂O₅-K₂O-MgO) และปุ๋ยผสมชนิดที่ 2: 12-12-17-2+TE (N-P₂O₅-K₂O-MgO+Trace element) และปริมาณการใช้ปุ๋ยทั้งสองชนิดนี้ จะขึ้นอยู่กับอายุปาล์มของปาล์มน้ำมันดังแสดงในตารางที่ 3 (ธีระ, 2554)

อย่างไรก็ตามปริมาณปุ๋ยที่ใช้เหล่านี้เป็นเพียงคำแนะนำทั่วไป ซึ่งสามารถเลือกนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการให้ปุ๋ยกับต้นกล้าปาล์มน้ำมัน แต่ต้องมีการติดตามผลโดยมีการเก็บตัวอย่าง

ดินและใบมาวิเคราะห์ บันทึกข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ เพื่อนำข้อมูลมาปรับปริมาณการให้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่และสภาพแวดล้อม (ธีระ และคณะ, 2548)

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้ปุ๋ยในการเพาะชำต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระหว่างการอนุบาลหลัก

| สัปดาห์* | ปริมาณปุ๋ย** (กรัม/ต้น) | ชนิดของปุ๋ย | N (กรัม/ต้น) | P ₂ O ₅ (กรัม/ต้น) | K ₂ O (กรัม/ต้น) | MgO (กรัม/ต้น) |
|----------|----------------------------|-------------|-----------------|---|--------------------------------|-------------------|
| 1 | 5 | ชนิดที่ 1 | 0.8 | 0.8 | 0.3 | 0.2 |
| 3 | 7 | ชนิดที่ 2 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 0.1 |
| 5 | 7 | ชนิดที่ 1 | 1.1 | 1.1 | 0.4 | 0.3 |
| 7 | 10 | ชนิดที่ 2 | 1.2 | 1.2 | 1.7 | 0.2 |
| 10 | 10 | ชนิดที่ 1 | 1.5 | 1.5 | 0.6 | 0.4 |
| 13 | 10 | ชนิดที่ 2 | 1.2 | 1.2 | 1.7 | 0.2 |
| 16 | 15 | ชนิดที่ 1 | 2.3 | 2.3 | 0.9 | 0.6 |
| 19 | 15 | ชนิดที่ 2 | 1.8 | 1.8 | 2.6 | 0.3 |
| 22 | 20 | ชนิดที่ 1 | 3.0 | 3.0 | 1.2 | 0.8 |
| 25 | 20 | ชนิดที่ 2 | 2.4 | 2.4 | 3.4 | 0.4 |
| 28 | 20 | ชนิดที่ 2 | 2.4 | 2.4 | 3.4 | 0.4 |
| 32 | 25 | ชนิดที่ 2 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 0.5 |
| | 10 | คีเซอไรต์ | - | - | - | 2.7 |
| 36 | 25 | ชนิดที่ 2 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 0.5 |
| | 20 | KCl*** | - | - | 12.0 | - |
| 40 | 25 | ชนิดที่ 2 | 3.0 | 3.0 | 4.3 | 0.5 |
| 44 | 30 | ชนิดที่ 2 | 3.6 | 3.6 | 5.1 | 0.6 |
| 48 | 30 | ชนิดที่ 2 | 3.6 | 3.6 | 5.1 | 0.6 |
| | 20 | คีเซอไรต์ | - | - | - | 5.4 |
| 52 | 30 | ชนิดที่ 2 | 3.6 | 3.6 | 5.1 | 0.6 |
| 56 | 30 | ชนิดที่ 2 | 3.6 | 3.6 | 5.1 | 0.6 |
| | 30 | คีเซอไรต์ | - | - | - | 8.1 |
| ผลรวม | 414 | | 41.9 | 41.9 | 62.7 | 24.0 |

หมายเหตุ : * อายุหลังจากย้ายกล้าในระยอนุบาลหลัก

** ปุ๋ยผสมชนิดที่ 1 : 15-15-6-4 (N-P₂O₅-K₂O-MgO)

ปุ๋ยผสมชนิดที่ 2 : 12-12-17-2+TE (N-P₂O₅-K₂O-MgO+Trace elements)

*** KCl : โปแทสเซียมคลอไรด์ หรือ 0-0-60

ที่มา: ดัดแปลงจาก ธีระ และคณะ (2548); Fairhurst และ Mutert (1999)

5. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช

การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช คือ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของพืช โดยทั่วไปเป็นวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพืชในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ และนำผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในพืชมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (critical nutrient concentration) ทำให้สามารถระบุได้ว่าปริมาณธาตุอาหารของพืชอยู่ในระดับที่เพียงพอกับความ ต้องการของพืชหรือไม่ (ศรีสม, 2547) ในการวิเคราะห์ธาตุอาหารของพืชถูกนำมาใช้กันอย่าง แพร่หลายในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดธาตุอาหารจากดิน ทำให้สามารถทราบว่าพืชจะสามารถดูด ปริมาณธาตุอาหารในดินไปใช้ได้มากเพียงใด นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์พืชสามารถใช้ประเมินระดับ ความอุดมสมบูรณ์ของดินได้เช่นเดียวกัน (จำเป็น, 2556) เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในพืชจะ มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในดิน ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารในพืชจึงสามารถบ่งบอกถึง ความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ปลูกพืชได้ ทำให้เกษตรกรสามารถคาดการณ์ได้ว่าพืชขาดธาตุอาหาร หรือไม่อย่างไร และสามารถประมาณปริมาณผลผลิตที่จะได้รับ ยิ่งไปกว่านั้นผลการวิเคราะห์ ธาตุอาหารในใบพืชยังสามารถนำมาใช้แนะนำการให้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศรีสม, 2547) รวมทั้ง สามารถใช้เป็นแนวทางไปสู่การตัดสินใจของเกษตรกรในการวางแผนเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการให้ปุ๋ยแก่พืชได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม (ธีระ และคณะ, 2548)

ในประเทศมาเลเซียมีการศึกษาวิธีวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจนในปาล์มน้ำมันหลากหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์โดยวิธีการเจลดาล (Kjeldahl method) เป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาและ เป็นวิธีที่ต้องทำลายตัวอย่าง และวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ส่วนการวิเคราะห์ที่ใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) จะเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีวิธีการสำรวจจากระยะไกลซึ่งเป็นการใช้ภาพถ่ายทางอากาศ (hyperspectral sensors) ซึ่งมีปัจจัยทางด้านค่าใช้จ่ายที่สูงและต้อง อาศัยสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการสำรวจ ในด้านการประเมินผลของการใช้ภาพถ่ายทางอากาศ จะมีความแม่นยำสูง แต่จะเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับเทคนิค การสำรวจระยะไกล จะมีศักยภาพสำหรับการใช้งานในด้านการวิเคราะห์ความต้องการธาตุอาหาร ของปาล์มน้ำมันในอนาคตอันใกล้ได้ (Rendana *et al.*, 2015)

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชโดยวิธีของเจลดาล (Kjeldahl method) เป็นวิธีการที่วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืช ตัวอย่างพืชที่นำมา ใช้วิเคราะห์ไนโตรเจนในพืช จะต้องย่อยตัวอย่างพืชให้อยู่ในรูปสารละลาย เพื่อให้ได้สารประกอบ อินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน และน้ำตาลอะมิโน เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ไนโตรเจน เช่น ไนเตรตไอออน (NO_3^-) ไนไตรต์ไอออน (NO_2^-) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) โดยทั่วไปการวิเคราะห์ไนโตรเจนจะใช้วิธีกลั่น โดยจะเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อเปลี่ยน ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ให้เป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) และถูกจับด้วย สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) ซึ่งมีอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator : methyl red และ bomocresol green) เมื่อแก๊สแอมโมเนียถูกควบแน่นเป็น NH_4OH จะทำให้สารละลายมีพีเอช (pH) สูงขึ้น และเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียว จากนั้นจึงนำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรด ซัลฟิวริก จนเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง แล้วจึงคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนในสารละลายตัวอย่าง (ศรีสม,

2547; จำเป็น, 2556; จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557) วิธีดังกล่าวจะต้องทำในห้องปฏิบัติการ มีความยุ่งยาก หลายขั้นตอน ต้องใช้เวลานานและค่าใช้จ่ายสูง (Li *et al.*, 1998)

ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันของประเทศมาเลเซีย โดยทั่วไป จะใช้ทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน (ปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากกว่า 2.5 ปี) เพื่อเป็นดัชนีบ่งบอกถึง ปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน ทางใบที่ 17 จะสามารถบ่งบอกปริมาณของธาตุอาหารที่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตของปาล์มน้ำมันได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทางใบอื่นๆ เช่น ทางใบที่ 9 และ ขึ้นอยู่กับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างและคุณสมบัติอื่นๆ ที่เหมือนกัน เช่น อายุของใบ ชนิดดินและการระบายน้ำของดิน ภูมิประเทศ และเทคนิคที่นำมาใช้ควรหลีกเลี่ยงคำแนะนำที่ไม่ถูกต้อง (Rendana *et al.*, 2015)

จากการศึกษาของ Rankine และ Fairhurst (1998) อ้างโดย ธีระ (2554) แสดงค่า ค่ามาตรฐานจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 4) โดยที่ปริมาณธาตุอาหารในใบมีมากเพียงพอ (เหมาะสมหรือมากเกินไป) ต้นปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตสูง แต่ถ้าปริมาณธาตุอาหารในใบอยู่ในช่วงที่ขาด (มีค่าต่ำ) ต้นปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตต่ำลงเช่นกัน นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ใบควรนำมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลการวิเคราะห์ดิน อาการขาดธาตุอาหาร ในแปลงปลูก ปริมาณน้ำฝน ประวัติการให้ปุ๋ยและผลผลิตในรอบปีที่ผ่านมา เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการ ประกอบการพิจารณาการกำหนดชนิดของปุ๋ยและอัตราการใช้ปุ๋ยแก่ต้นปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน

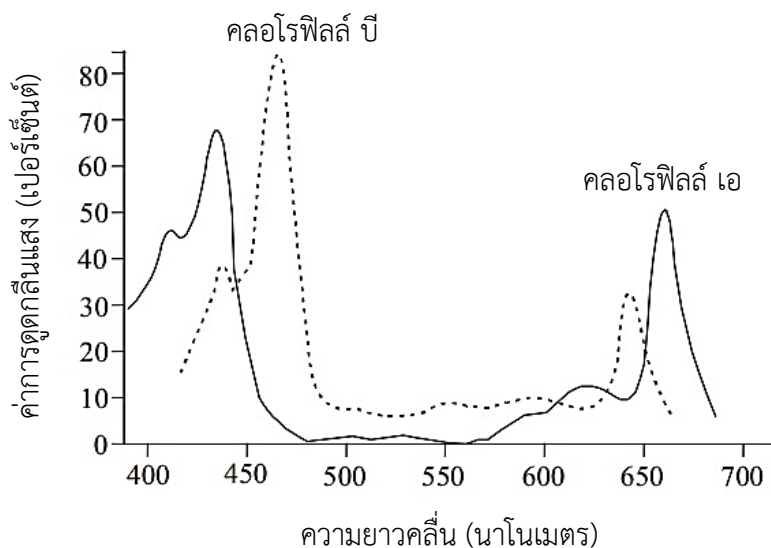
| อายุปาล์มน้ำมัน (ปี) | ธาตุอาหาร | ขาด | เหมาะสม | มากเกินไป |
|---------------------------------|---------------|--------|-----------|-----------|
| 1. ปาล์มน้ำมันอายุน้อยกว่า 6 ปี | N (กรัม/กก.) | < 25.0 | 26.0-29.0 | > 31.0 |
| | P (กรัม/กก.) | < 1.5 | 1.6-1.9 | > 2.5 |
| | K (กรัม/กก.) | < 10.0 | 11.0-13.0 | > 18.0 |
| | Mg (กรัม/กก.) | < 2.0 | 3.0-4.5 | > 7.0 |
| | Ca (กรัม/กก.) | < 3.0 | 5.0-7.0 | > 7.0 |
| | S (กรัม/กก.) | < 2.0 | 2.5-4.0 | > 6.0 |
| | Cl (กรัม/กก.) | < 2.5 | 5.0-7.0 | > 10.0 |
| | B (มก./กก.) | < 8 | 15-25 | > 40 |
| | Cu (มก./กก.) | < 3 | 5-7 | > 15 |
| Zn (มก./กก.) | < 10 | 12-18 | > 80 | |
| 2. ปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 6 ปี | N (กรัม/กก.) | < 23.0 | 24.0-28.0 | > 30.0 |
| | P (กรัม/กก.) | < 1.4 | 1.5-1.8 | > 2.5 |
| | K (กรัม/กก.) | < 7.5 | 9.0-12.0 | > 16.0 |
| | Mg (กรัม/กก.) | < 2.0 | 2.5-4.0 | > 7.0 |
| | Ca (กรัม/กก.) | < 2.5 | 5.0-7.5 | > 10.0 |
| | S (กรัม/กก.) | < 2.0 | 2.5-3.5 | > 6.0 |
| | Cl (กรัม/กก.) | < 2.5 | 5.0-7.0 | > 10.0 |
| | B (มก./กก.) | < 8 | 15-25 | > 40 |
| | Cu (มก./กก.) | < 3 | 5-8 | > 15 |
| Zn (มก./กก.) | < 10 | 12-18 | > 80 | |

ที่มา: ดัดแปลงจาก Rankine และ Fairhurst (1998) อ้างโดย ชีระ (2554)

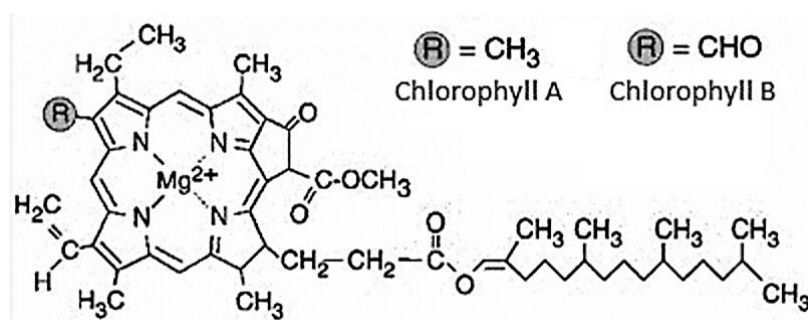
6. ความสำคัญของคลอโรฟิลล์ในใบพืช

ใบพืชประกอบสารทางชีวเคมีและรงควัตถุ ซึ่งมีหลายกลุ่ม แต่ละกลุ่มสามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงแตกต่างกัน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืช (ศรีนิตดา, 2554) คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นกลุ่มหนึ่ง ทำหน้าที่สำคัญในการดูดกลืนพลังงานจากแสงดวงอาทิตย์และกระตุ้นปฏิกิริยาที่ใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบมากในพืชมีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ บี ซี และดี เป็นต้น แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงช่วงคลื่นต่างๆ ของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดแตกต่างกัน ในส่วนของคลอโรฟิลล์ เอ สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวช่วงคลื่นซึ่งเป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาที่ 430 และ 662 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์ บี สามารถดูดแสงได้ดีในหลายความยาวคลื่น 453 และ 642 นาโนเมตร (ภาพที่ 5) คลอโรฟิลล์แต่ละชนิดมีโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่ดูดพลังงาน

แสง โดยคลอโรฟิลล์อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนหาง ส่วนหัวมีโครงสร้างเป็นวงแหวนไพโรล (pyrole ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วง และมีธาตุแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เป็นศูนย์กลาง และส่วนหางเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบช่วยยึดตรงควัตถุกับระบบแสง (ภาพที่ 6) (Patane and Vibhute, 2014)



ภาพที่ 5 ความยาวคลื่นของแสงที่ดูดกลืนโดยคลอโรฟิลล์ชนิดที่ต่างกันใบพืช
ที่มา : Maheswaran และ Asokan (2015)



ภาพที่ 6 สูตรโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ในใบพืช
ที่มา: Patane และ Vibhute (2014)

ดังนั้นธาตุไนโตรเจนจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ และโดยทั่วไปปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับไนโตรเจนในใบและความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืช เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ (สิริมาศ และคณะ, 2555; Evans, 1989; Munoz-Huerta *et al.*, 2013) จึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีถึงสถานะการขาดธาตุไนโตรเจนได้ (สุนทรี และคณะ, 2544)

7. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช

ในอดีตการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช เริ่มจากการบดตัวอย่างใบและสกัดคลอโรฟิลล์ (พูนพิภพ และคณะ, 2537) โดยทั่วไปจะใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น อะซีโตน เมทานอล เอทานอล ไพริติน เป็นสารตัวทำสกัด (Netto *et al.*, 2002; Netto *et al.*, 2005) จนกระทั่งเมื่อ Hiscox และ Israelstam (1979) ได้เสนอวิธีการสกัดคลอโรฟิลล์จากเนื้อเยื่อพืช โดยใช้สารไดเมทิลซัลโฟไซด์ (dimethyl sulfoxide; DMSO) ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วโดยไม่ต้องบดตัวอย่าง โดยการเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่างพืชให้ถึง 65 องศาเซลเซียส ต่อมา Moran และ Porath (1980) ได้รายงานการใช้ *N,N*-dimethylformamide (DMF) เป็นสารทำละลาย ซึ่งสามารถสกัดคลอโรฟิลล์จากตัวอย่างพืชได้โดยไม่ต้องบดตัวอย่างพืชเช่นกัน ทำให้มีความสะดวกมากขึ้น ต่อมา Moran (1982) ได้เสนอสูตรคำนวณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์รวม พร้อมทั้งวิธีการการสกัดคลอโรฟิลล์ด้วย DMF เป็นสารทำละลาย

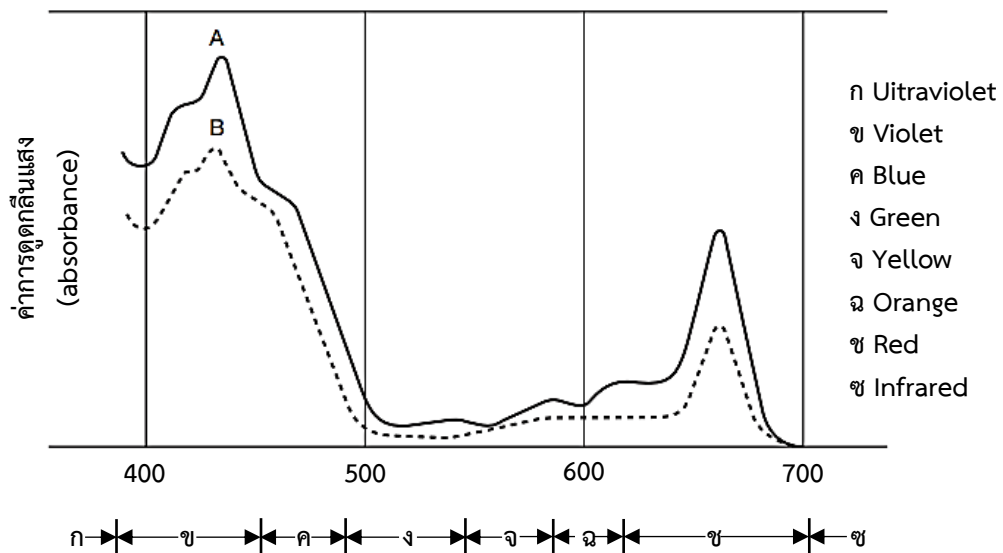
สิริมาศ และคณะ (2555) ได้ใช้วิธีการสกัดคลอโรฟิลล์โดยเก็บตัวอย่างใบจากต้นส้มโอ นำมาเจาะด้วย cork borer ตรงตำแหน่งที่ใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) วัดค่าความเขียวใบ เจาะเป็นชิ้นส่วนแผ่นใบวงกลม ซึ่งมีพื้นที่ 0.82 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักสด ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วนำแผ่นใบ ใส่หลอดแก้วที่เติมสารละลาย DMF ความเข้มข้น 99.8 % ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิทแล้วเก็บไว้ในที่มืดทันทีเป็นเวลา 5 วัน เพื่อสกัดคลอโรฟิลล์และป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ถูกทำลาย นำสารละลายสีเขียวใสที่สกัดได้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 647 และ 664 นาโนเมตร โดยใช้สารละลาย DMF เป็น blank นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบจากสมการที่เสนอโดย Moran (1982) แสดงผลความเป็นความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบ (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยน้ำหนักสด (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด)

การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์วิธีนี้อาจจะมีข้อจำกัด ซึ่งวิธีการอาจมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมตามชนิดของพืช และพื้นที่ใบอาจมีการเปลี่ยนแปลง โดยใช้พื้นที่ใบในช่วงของ 0.8-10 ตารางเซนติเมตร ส่วนปริมาตรการใช้สาร DMF ขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ใบที่โดยจะมีปริมาตรที่ใช้อยู่ในช่วง 3-5 มิลลิลิตร (มนต์สรวง และคณะ, 2553; ชูติมา และคณะ, 2558) จากการทดลองในการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ พบว่า ระหว่างการสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์มีความจำเป็นที่จะเก็บไว้ในที่มืด เพราะแสงจะทำลายคลอโรฟิลล์ที่สกัดออกมาได้ เมื่อเก็บสารละลายที่ได้จากการสกัดคลอโรฟิลล์ด้วย DMF ในที่มืด สามารถเก็บได้นานถึงประมาณ 42 ชั่วโมง โดยที่ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเก็บในสภาพห้องทดลองจะเก็บได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เพราะหลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อสารละลายได้รับแสงอย่างเต็มที่ โดยวางไว้กลางแดดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายจะลดลงเหลือน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของค่าเริ่มต้นภายในเวลาเพียง 6 ชั่วโมง (พูนพิภพ และคณะ, 2537)

8. หลักการและทฤษฎีของการออกแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์

8.1 หลักการพื้นฐานและกรอบแนวคิดของคลอโรฟิลล์มิเตอร์

ด้วยคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ในใบพืช จากภาพที่ 7 แสดงลักษณะการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ในใบพืชต่างชนิดกัน ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างในการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในใบพืช 2 ชนิดที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบแตกต่างกัน คือ ใบพืชชนิด A และชนิด B ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า ใบพืชชนิด A และชนิด B สามารถดูดกลืนแสงได้ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน โดยที่ใบพืชชนิด B จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ดูดกลืนแสงได้น้อยกว่าใบพืชชนิด A ด้วยหลักการดังกล่าว ซึ่งมีการคิดค้นเทคโนโลยีและพัฒนาเป็นเครื่องมือ เรียกว่า คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันในการประเมินไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบพืชได้ในสภาพแปลงปลูกของพืช และมีหลักการทำงานในการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยการส่องผ่านของแสงที่มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงสีแดง และช่วงความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงอินฟราเรด โดยผ่านใบพืชที่ต้องการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เนื่องจากคลอโรฟิลล์ในใบพืชจะดูดกลืนแสงส่วนหนึ่งไว้ ทำให้แสงที่ผ่านมีปริมาณน้อยลง และพบว่า ช่วงที่คลอโรฟิลล์มีความไวต่อการดูดกลืนแสง คือ สามารถดูดกลืนแสงได้มาก มีสองช่วงความยาวคลื่น ได้แก่ ช่วงแสงสีม่วงที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร และช่วงแสงสีแดงความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ส่วนช่วงที่คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้น้อย คือ ช่วงแสงสีเขียว และช่วงที่คลอโรฟิลล์ไม่สามารถดูดกลืนแสงได้ คือ ช่วงความยาวคลื่นแสงอินฟราเรด



ภาพที่ 7 การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ในใบพืชต่างชนิดกัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Anonymous (1986)

ด้วยคุณสมบัติของการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ที่ไวต่อแสงสีม่วงและแสงสีแดง พบว่า ณ ขณะที่คลอโรฟิลล์มีปริมาณเท่ากัน คลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนแสงสีม่วงได้มากกว่าแสงสีแดง ทำให้การวัดปริมาณแสงสีม่วงที่ผ่านใบพืชจะมีปริมาณแสงที่น้อยกว่าแสงสีแดง ส่งผลให้การวัดช่วงแสงสีม่วงทำได้ยากกว่าช่วงแสงสีแดงมาก และถ้าต้องการให้ตัววัดความเข้มแสง (photo detector) สามารถวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในช่วงแสงสีม่วงได้นั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานในการวัดมากกว่าช่วงแสงสีแดง ส่วนค่าการดูดกลืนแสงของทั้งสองช่วงแสงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้แหล่งกำเนิดแสงสีแดงสามารถหาซื้อได้ง่ายกว่าแสงสีม่วง เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ช่วงแสงสีแดงเป็นต้นกำเนิดแสง เนื่องจากมีความไวใกล้เคียงกันกับแสงสีม่วง แต่การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์มีน้อยกว่า ทำให้แสงสามารถลอดผ่านใบพืชได้มากกว่า ดังนั้นการวัดความเข้มของช่วงแสงสีแดง จึงทำได้ง่ายกว่าการวัดความเข้มแสงที่ช่วงแสงสีม่วง ส่วนการดูดกลืนแสงสีแดงจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบ ณ ขณะนั้น และการที่ปริมาณของคลอโรฟิลล์ไม่ดูดกลืนแสงอินฟราเรด จึงสามารถใช้แสงอินฟราเรดเป็นแสงอ้างอิง เนื่องจากใบของพืชแต่ละประเภทมีสีใบที่แตกต่างกันและมีความหนาของใบไม่เท่ากัน ประกอบกับใบของพืชมีรงควัตถุชนิดอื่นรวมอยู่ ทำให้แสงสีแดงที่ใช้ในการประเมินปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบพืชที่ถูกดูดกลืนไว้ ส่งผลให้แสงที่ลอดผ่านออกมามีปริมาณแสงที่แตกต่างกัน จึงทำให้ต้องมีแสงอ้างอิงที่ใช้ได้กับใบพืชทุกประเภท และแสงอินฟราเรดจะถูกดูดกลืนด้วยเช่นกันจากองค์ประกอบอื่นๆ ของใบพืช แต่จะไม่ถูกดูดกลืนจากคลอโรฟิลล์ในใบพืช เพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้ปริมาณแสงอินฟราเรดเป็นแสงสำหรับอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับ การดูดกลืนของแสงสีแดงจากใบพืช ซึ่งการดูดกลืนปริมาณแสงที่ความยาวคลื่นทั้งสองนี้ สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินหาปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบพืช

8.2 กฎการดูดกลืนแสง

Mantele และ Deniz (2017) ได้อธิบายกฎการดูดกลืนของแสง ซึ่งประกอบด้วย 2 กฎของกฎการดูดกลืนแสง คือ กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) และกฎของเบียร์ (Beer's law) ดังนี้

1. กฎของแลมเบิร์ต กล่าวว่า “เมื่อมีแสงเดี่ยว (monochromatic light) คือแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (homogeneous) สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

2. กฎของเบียร์ กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

เมื่อวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายและความหนาแน่นของสารละลายที่แสงส่องผ่าน จึงต้องใช้กฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต ซึ่งเรียกว่า กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law) และเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad (1)$$

เนื่องจาก T (transmittance)

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (3)$$

เพราะฉะนั้น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc = \log \frac{1}{T} \quad (4)$$

โดยที่

- A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ทดสอบ (absorbance)
- I_0 คือ ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลาง (เมื่อ $b = 0$) หรือความเข้มแสงอ้างอิง
- I คือ ความเข้มแสงที่ถูกดูดกลืนโดยสารที่ทดสอบ
- ϵ คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง
- b คือ ความหนาของตัวกลาง (path length) หน่วย เซนติเมตร
- c คือ ค่าความเข้มข้นของสารที่ทดสอบ หน่วย โมลต่อลิตร
- T คือ ความส่องผ่านของสารที่ทดสอบ (transmittance)

8.3 คลอโรฟิลล์มิเตอร์

ในปัจจุบันคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีหลากหลายชนิดตามความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น leaf-clip sensors, SPAD-502 และ CCM-200 (ภาพที่ 8) แต่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ Minolta chlorophyll meter: SPAD-502 (Rendana *et al.*, 2015) ซึ่งคลอโรฟิลล์มิเตอร์เป็นเครื่องมือแบบชนิดพกพาที่สามารถใช้ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบพืช มีลักษณะขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้งานได้ง่าย รวดเร็วและเป็นวิธีการที่ไม่ต้องทำลายตัวอย่างใบพืช (Anonymous, 1986; Chang and Robison, 2003; Netto *et al.*, 2005; Munoz-Huerta *et al.*, 2013; Saberioon *et al.*, 2014) เครื่องมือชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นในญี่ปุ่น เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนของข้าว (Chubachi *et al.*, 1986 อ้างโดย Chang and Robison, 2003; Wood *et al.*, 1993) ต่อมาได้มีการศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในพืชหลายชนิดด้วยกัน เช่น ข้าว (Yang *et al.*, 2003; Gholizadeh *et al.*, 2009) ข้าวโพด (Rostami *et al.*, 2008) กาแฟ (Netto *et al.*, 2005) ปาล์มน้ำมัน (Law *et al.*, 2014; Sim *et al.*, 2015) ส้ม (Menesatti *et al.*, 2012) มันฝรั่ง ข้าวสาลี (Uddling *et al.*, 2007) เงาะ

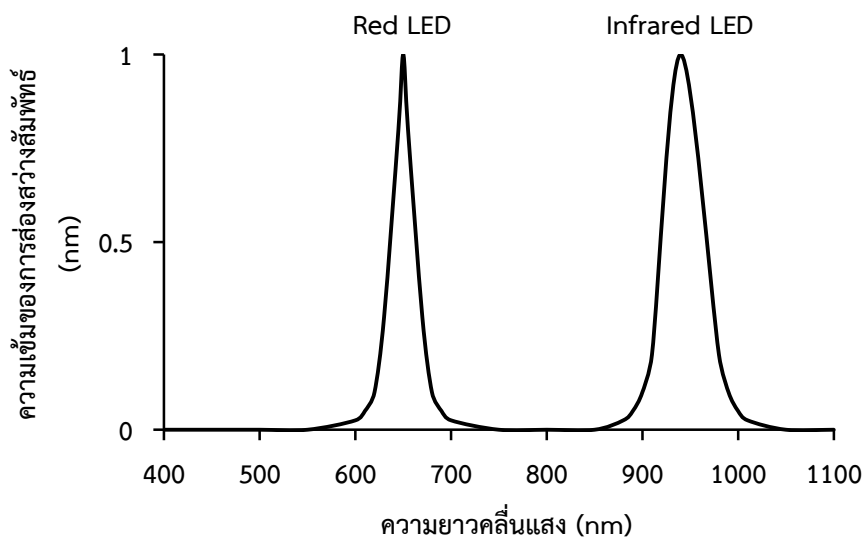
และลองกอง (สุภาณี และสายัณห์, 2545; พรทิพย์ และสายัณห์, 2548) ส้มโอ (สิริมาส และคณะ, 2555) ถั่วเหลือง อ้อย มะม่วง มะนาว (พูนพิภพ และคณะ, 2537) เป็นต้น



ภาพที่ 8 ตัวอย่างของคลอโรฟิลล์มิเตอร์ โดยเรียงจากซ้ายไปขวา ได้แก่: leaf-clip sensors, SPAD-502 และ CCM-200
ที่มา: Cerovic และคณะ (2012)

หลักการทำงานของคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) จะอาศัยการวัดปริมาณแสงที่ส่องผ่านแผ่นใบของพืชในสองช่วงความยาวคลื่นแสงที่คลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนได้ในช่วงแสงที่แตกต่างกัน ประกอบด้วยช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดงที่ 650 นาโนเมตร และช่วงความยาวคลื่นแสงอินฟราเรดที่ 940 นาโนเมตร (ภาพที่ 9) ซึ่งรังควัดคลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นดังกล่าวได้ดี และค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-readings) จะผันแปรตามค่าความเขียวของใบ และมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช โดยกำหนดให้มีหน่วยเป็น SPAD-unit (Loh *et al.*, 2002; Uddling *et al.*, 2007) ข้อดีของคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) สามารถให้ผลการประเมินได้รวดเร็วกว่าการวิเคราะห์เนื้อเยื่อพืช และประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ผลในรูปแบบเก่า ที่จะต้องวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่ละตัวอย่างสามารถทำได้หลายซ้ำ เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพแปลง (Saberioon *et al.*, 2014)

ดังนั้นคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) จึงสามารถนำมาประยุกต์ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนในใบพืชได้ เพื่อการจัดการความต้องการธาตุไนโตรเจนของพืชในสภาพแปลงปลูก และลดอันตรายจากการให้ปุ๋ยแก่พืชในจำนวนที่มากหรือน้อยเกินไป เพื่อตอบสนองความต้องการและเหมาะสมแก่ชนิดของพืชที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 9 ความเข้มของการส่องสว่างช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดง (Red) และแสงสีแดงไกล (Infrared) ที่คลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนได้

ที่มา: ดัดแปลงจาก Anonymous (1986)

9. การใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบพืช

เนื่องจากการประเมินธาตุอาหารมีความสำคัญต่อการจัดการการให้ปุ๋ยแก่พืช ซึ่งวิธีที่นำมาใช้ในการประเมินธาตุอาหารพืชจะต้องมีความแม่นยำ รวดเร็ว และต้องไม่ทำลายใบพืช จึงจะทำให้การจัดการปุ๋ยมีประสิทธิภาพที่สูง สำหรับธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทที่สำคัญมากต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช (สุภาณี และสายัณห์, 2545) ซึ่งวิธีที่สามารถประเมินไนโตรเจนได้อย่างแม่นยำ รวดเร็ว และไม่ต้องทำลายพืช คือ การใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) เนื่องจากค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีความสัมพันธ์กับปริมาณของไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ที่วิเคราะห์ได้จากใบพืชแต่ละชนิด

จากการศึกษาของ Li และคณะ (1998) ได้ศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์วัดปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนของใบส้ม grapefruit พบว่า ปริมาณไนโตรเจนและค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีความสัมพันธ์กันสูง Shi และ Byrne (1995) ศึกษาอัตราการเกิดอาการใบต่างเหลืองกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของพืช พบว่า อัตราการเกิดใบต่างเหลืองกับค่าที่ได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อค่าคลอโรฟิลล์มิเตอร์ที่วัดได้มีค่าต่ำอัตราการเกิดอาการใบต่างเหลืองจะสูง Sibley และคณะ (1996) ได้ศึกษาระดับไนโตรเจนในใบด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ รุ่น SPAD-502 และสกัดคลอโรฟิลล์ในใบ เพื่อใช้สำหรับคัดเลือกพันธุ์ของ red maple พบว่า ค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ Neilsen และคณะ (1995) ได้ศึกษาปริมาณไนโตรเจนในใบแอปเปิล จำนวน 4 พันธุ์ โดยปลูกในแปลงที่ให้ปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับร่วมกับการให้ปุ๋ยแคลเซียมไนเตรท โดยให้ปุ๋ยทางระบบน้ำ เมื่อทำการวัดด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนมี

ความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์เช่นกัน Azia และ Stewart (2001) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สกัดจากใบกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบแตงเทศ (muskmelon) พบว่า ค่าที่ได้จากสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบและค่าคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง van den Berg และ Perkins (2004) ศึกษาในใบ sugar maple และหาความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

ต่อมา Chang และ Robison (2003) ศึกษาการประเมินค่าปริมาณไนโตรเจนในใบของพืชไม้เนื้อแข็ง คือ sycamore, sweetgum, green ash และ swamp cottonwood พบว่า ปริมาณของไนโตรเจนในใบของพืชที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของพืชไม้เนื้อแข็งทั้ง 4 ชนิด มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาของ Hawkins และคณะ (2009) ใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของวงจรชีวิตของประชากรพืชที่ใกล้จะสูญพันธุ์ โดยไม่ทำลายพืช พบว่า สามารถประยุกต์ใช้วัดปริมาณและดัชนีของคลอโรฟิลล์ในใบของ *Lindera melissifolia* โดยใช้รูปแบบสมการถดถอยอธิบายการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตของพืชได้ Netto และคณะ (2002) ได้เสนอการประเมินคลอโรฟิลล์ที่ไม่ต้องทำลายตัวอย่างใบของมะละกอโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ และมีการศึกษาของ Netto และคณะ (2005) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สกัดด้วย DMSO ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ในใบกาแฟ พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาของ สุภาณี และสายัณห์ (2545) ได้ศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์เพื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบของลองกองและเงาะ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและไนโตรเจนในใบ พบว่า ค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและไนโตรเจนในใบของเงาะและลองกองมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ต่อมา สุทธิพันธ์ และคณะ (2547) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ในใบของต้นตองุ่นพันธุ์ต่างๆ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมของใบต้นตองุ่นทั้ง 12 พันธุ์ที่ศึกษามีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พรทิพย์ และสายัณห์ (2548) ได้ศึกษาในสภาวะขาดน้ำของลองกอง พบว่า สามารถใช้เครื่องมือคลอโรฟิลล์มิเตอร์ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในใบลองกองภายใต้สภาวะขาดน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ สิริมาศ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวใบที่วัดด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) กับความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ และความเป็นไปได้ในการใช้ค่าความเขียวใบประเมินระดับไนโตรเจนในใบของส้มโอ โดยใช้ตัวอย่างใบอายุต่างๆ กันจากต้นส้มโอพันธุ์ทองดีที่ให้ปุ๋ยไนโตรเจนระดับต่างๆ พบว่า อัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บี มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รวมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ค่าความเขียวใบ และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รวมต่อหน่วยพื้นที่ใบและต่อหน่วยน้ำหนักสดใบมีความสัมพันธ์กัน ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รวมต่อหน่วยพื้นที่ใบกับระดับไนโตรเจนในใบมีความสัมพันธ์ที่แสดงด้วยสมการเส้นตรง และความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวใบกับระดับไนโตรเจนในใบสามารถแสดงด้วยสมการ

quadratic ได้มีการรวบรวมรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชแต่ละชนิดที่มีการศึกษาในปีต่างๆ (ตารางที่ 5) พบว่า ในแต่ละการศึกษาข้างบอกรถึงความสามารถการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์เพื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชได้ตามการศึกษาข้างต้น (Parry *et al.*, 2014)

ตารางที่ 5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชแต่ละชนิด

| Meter type/Author (ปี) | ชนิดของพืช (species) |
|---------------------------------|---|
| SPAD-501 | |
| Yadava (1986) | Twenty-two unrelated species |
| Marquard และ Tipton (1987) | Twelve unrelated species |
| Schaper และ Chacko (1991) | Eight tropical and subtropical fruit-tree species |
| Dwyer และคณะ (1991) | Maize |
| Fanizza และคณะ (1991) | Twelve wine-grape cultivars |
| SPAD-502 | |
| Gratani (1992) | Six Sclerophyllous species |
| Monje และ Bugbee (1992) | Rice, soybean, wheat |
| Markwell และคณะ (1995) | Soybean and maize |
| Xu และคณะ (2000) | Sorghum |
| Bindi และคณะ (2002) | Potato |
| Richardson และคณะ (2002) | Paper birch |
| Yamamoto และคณะ (2002) | Sorghum and pigeon pea |
| Esposti และคณะ (2003) | Four citrus species |
| Wang และคณะ (2004) | Peace lily |
| Cartelat และคณะ (2005) | Wheat |
| Uddling และคณะ (2007) | Birch, wheat and potato |
| Marengo และคณะ (2009) | Six Amazonian tree species |
| Naus และคณะ (2010) | Tobacco |
| Imanishi และคณะ (2010) | Flowering cherry |
| Coste และคณะ (2010) | Thirteen tree species of tropical rainforest |
| Ling และคณะ (2011) | <i>Arabidopsis thaliana</i> |
| Cerovic และคณะ (2012) | Kiwi, grape, wheat and maize |
| CCM-200 | |
| van den berg และ Perkins (2004) | Sugar maple |
| Jifon และคณะ (2005) | Six citrus species |
| Goncalves และคณะ (2008) | Four tropical wood species |

ที่มา: ดัดแปลงจาก Parry และคณะ (2014)

สำหรับปาล์มน้ำมันมีรายงานการศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) เพื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน การศึกษาของ Law และคณะ (2014) ได้เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD) กับความเข้มข้นของไนโตรเจน (N) ในใบปาล์มน้ำมันของต้นกล้าปาล์มน้ำมันทั้ง 9 สายพันธุ์ ภายใต้เงื่อนไขการตอบสนองต่อการงดให้ปุ๋ยไนโตรเจนและการฟื้นตัวหลังจากการให้ปุ๋ยไนโตรเจน พบว่า สายพันธุ์ของ A และ E มีการตอบสนองต่อการงดให้ปุ๋ยและการฟื้นตัวหลังจากการให้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่นๆ โดยแสดงด้วยสมการความสัมพันธ์เส้นตรง ดังนี้ $N (\%) = 0.027SPAD + 0.732$ ($R^2 = 0.734$) ต่อมา Sim และคณะ (2015) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD) กับความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ได้จากการวิเคราะห์จากใบปาล์มน้ำมัน (N) ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สกัดจากใบปาล์มน้ำมัน (Chl) และอัตราการสังเคราะห์แสงของใบปาล์มน้ำมัน (Pn) พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ โดยแสดงด้วยสมการความสัมพันธ์เส้นตรง ดังนี้ $N (\%) = 0.0278SPAD + 0.3774$ ($R^2 = 0.825$) ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ โดยแสดงด้วยสมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล ดังนี้ $Chl (\mu g g^{-1}) = 0.2019SPAD^2 + 28.757SPAD + 97.121$ ($R^2 = 0.946$) และอัตราการสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ โดยแสดงด้วยสมการความสัมพันธ์เส้นตรง ดังนี้ $Pn (\mu mol CO_2 m^{-2} sec^{-1}) = 0.0314SPAD + 2.8945$ ($R^2 = 0.773$)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันของระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย
2. เพื่อเปรียบเทียบสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 เพื่อประเมินความแม่นยำของเครื่องมือทั้ง 2 ในการวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันของระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ

1. ต้นกล้าปาล์มน้ำมันพันธุ์ทรัพย์ ม.อ.1 อายุ 16 เดือน
2. ต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์ทรัพย์ ม.อ.1 อายุ 7 ปี
3. ปุ๋ยเคมี
 - 3.1 ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0
 - 3.2 ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15
4. สารเคมี
 - 4.1 ไดมethylฟอร์มามิเด (N,N-dimethylformamide: DMF)
 - 4.2 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (sulphuric acid: 98 % (w/w) H₂SO₄)
 - 4.3 สารผสมเร่งปฏิกิริยา (catalyst mixture: Na₂SO₄-CuSO₄-Se)
 - 4.4 สารละลายกรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์ (boric acid: H₃BO₃)
 - 4.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: 40 % (w/v) NaOH)

2. อุปกรณ์

1. คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD 502) ยี่ห้อ Minolta Co., Ltd., Japan
2. เครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-chlorophyllmeter 1: PSU-CM 1)
3. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง รุ่น evolution 201 UV-visible spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo Scientific, USA
4. ไมโครปิเปต (micro-pipette) ขนาด 5000 ไมโครลิตร ยี่ห้อ Eppendorf, Germany
5. เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer GENIE 2) รุ่น G560E ยี่ห้อ Scientific Industries, USA
6. เครื่องเจาะกระดาษ 1 รู ยี่ห้อ SANKO 9201P ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
7. เครื่องบดตัวอย่างพืช รุ่น cyclone mill twister ของ Retsch, Germany
8. เครื่องกลั่นไนโตรเจน รุ่น vapodest 200-450 ของ Gerhardt, Germany
9. เตาย่อยตัวอย่าง รุ่น trace metal digestion unit และ turbosog fume suction system ของ Gerhardt, Germany
10. เครื่องชั่ง ความละเอียด 4 ตำแหน่ง
11. หลอดย่อยตัวอย่าง (digestion tube) ขนาด 100 มิลลิลิตร
12. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร
13. บิวเรตต์ (burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร
14. ดีสเพนเซอร์ (dispenser) ขนาด 5 มิลลิลิตร

15. หลอดทดลองแบบมีฝาปิดชนิดเกลียว ขนาด 10 มิลลิลิตร
16. ปีกเกอร์ ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร
17. เครื่องเจาะเก็บตัวอย่างดิน (soil auger bit machine)
18. ตู้อบ
19. ถังกระดาษชอบตัวอย่างและถุงพลาสติกแบบซิปล็อค
20. ชุดเครื่องเขียน
21. ไม้บรรทัด ความยาว 30 เซนติเมตร
22. ตลับเมตร ความยาว 5 เมตร
23. เคียวตัดแต่งทางใบปาล์มน้ำมัน
24. กรรไกรตัดแต่งกิ่ง

3. การออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1)

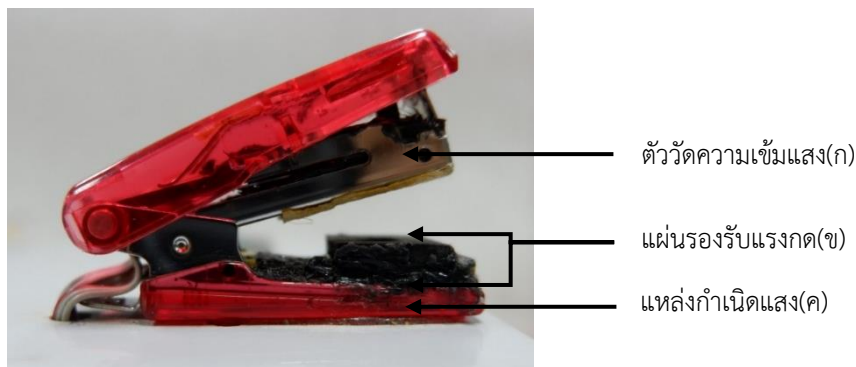
3.1 เครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1)

เครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) มีส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ 2 ส่วน ดังนี้

1. ตัวเครื่องมือ (ภาพที่ 10) ประกอบด้วย สวิตช์เปิด-ปิด(ก) สวิตช์รีเซ็ตระบบ(ข) จอแสดงผล(ค) และเซ็นเซอร์วัดความเขียวของใบ(ง) ซึ่งภายในของตัวเครื่องมือจะประกอบด้วย แบตเตอรี่และหน่วยประมวลผลกลางของระบบ (control and processing unit)
2. เซ็นเซอร์วัดความเขียวของใบ (ภาพที่ 11) ประกอบด้วย ตัววัดความเข้มแสง(ก) แผ่นรองรับแรงกด(ข) และแหล่งกำเนิดแสง(ค)



ภาพที่ 10 ส่วนประกอบของตัวเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1)



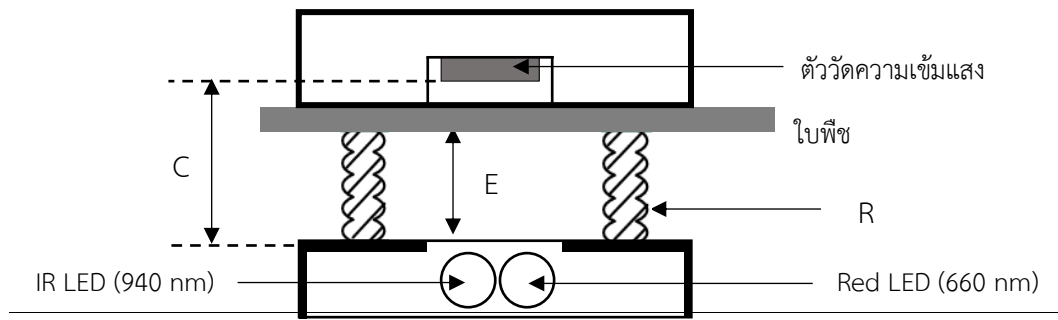
ภาพที่ 11 ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์วัดความเคี้ยวของใบ

3.2 การออกแบบเซ็นเซอร์วัดความเคี้ยวของใบ

จากหลักการพื้นฐานและกรอบแนวคิดของคลอโรฟิลล์มิเตอร์ข้างต้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) โดยมีหลักการทำงานที่มีความคล้ายคลึงกับคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทางการค้า (SPAD-502) ด้วยแหล่งกำเนิดแสง 2 ช่วงความยาวคลื่น คือ การส่องผ่านของแสงที่มีช่วงความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร เป็นแสงสีแดง และช่วงความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร เป็นแสงช่วงอินฟราเรด ผ่านใบของพืชที่ต้องการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งในใบพืชแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงส่วนหนึ่งไว้ทำให้แสงที่ผ่านมีปริมาณน้อยลง จากการทดสอบพบว่า ปริมาณของคลอโรฟิลล์ไม่ได้มีการกระจายที่สม่ำเสมอทั้งแผ่นใบของพืช คือ กลางใบและขอบใบ อาจมีปริมาณของคลอโรฟิลล์ที่ไม่เท่ากัน เพราะฉะนั้นแหล่งกำเนิดแสงของแสงทั้งสองความยาวคลื่นต้องวัดปริมาณแสงที่ถูกลดทอนลงไปในแต่ละตำแหน่งเดียวกัน และแหล่งกำเนิดแสงจะต้องสามารถให้แสงได้สองความยาวคลื่น เพื่อทำการวัดปริมาณแสงที่ถูกลดทอนกับพื้นที่เดียวกัน จึงใช้ตัววัดความเข้มแสงเพียงตัวเดียว

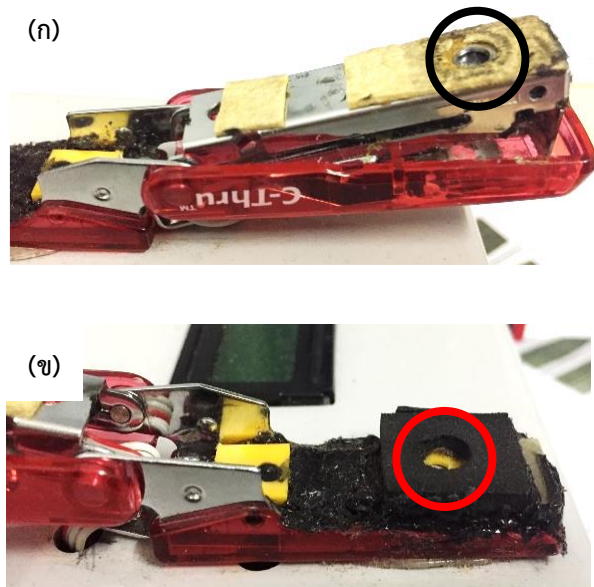
ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความเคี้ยวของใบ (ภาพที่ 12) ซึ่งได้กำหนดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงสีแดง (Red LED) และแสงอินฟราเรด (IR LED) จะต้องอยู่ด้านเดียวกัน ส่วนหลอด LED จะเคลือบด้วยวัสดุทึบแสง และติดตั้งตัววัดความเข้มแสงไว้ด้านบน เพื่อลดการรบกวนจากแสงภายนอกมารบกวนในระบบการทำงานของเซ็นเซอร์ และกำหนดตัวแปรดังนี้

- R คือ วัสดุขั้วที่ทึบแสงที่สามารถยึดติดได้ทางแนวดิ่ง (แผ่นรองรับแรงกด(ข) ภาพที่ 11)
- E คือ ระยะห่างจากใบพืชถึงแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความหนาของใบที่นำมาทำการวัด
- C คือ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับตัววัดความเข้มแสง



ภาพที่ 12 โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความเขี้ยวของใบ

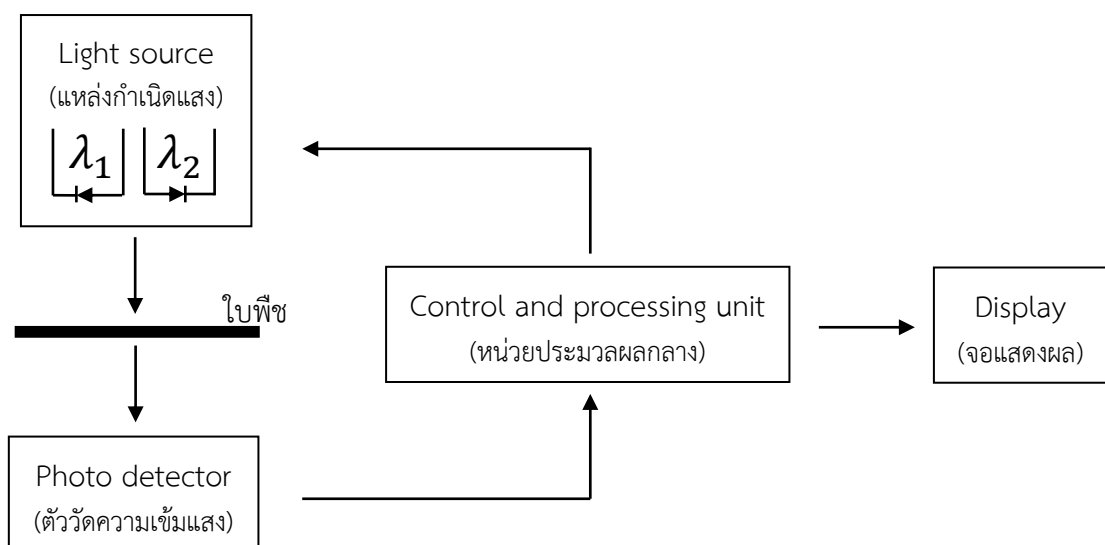
จากค่าตัวแปรที่ได้จากการออกแบบเซ็นเซอร์วัดความเขี้ยวของใบ (ภาพที่ 12) จะถูกนำมาคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้ กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ตามสมการ (4) (Mantele and Deniz, 2017) เมื่อได้ค่าจากการคำนวณจะนำไปบันทึกในหน่วยประมวลผลกลาง เพื่อใช้ประมวลผลการประเมินปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบของพืชได้ โดยตัวโครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความเขี้ยวของใบจะประยุกต์จากเครื่องเย็บกระดาษเป็นเซ็นเซอร์วัดความเขี้ยวของใบ (ภาพที่ 11) และกำหนดตำแหน่งของตัววัดความเข้มแสงติดตั้งไว้ส่วนด้านบนของเครื่องเย็บกระดาษ (ภาพที่ 13ก) และแหล่งกำเนิดแสงจะติดตั้งไว้ส่วนด้านล่างหรือฐานของเครื่องเย็บกระดาษ (ภาพที่ 13ข)



ภาพที่ 13 ตำแหน่งของตัววัดความเข้มแสง(ก) และตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง IR LED และ Red LED(ข) ในเซ็นเซอร์วัดความเขี้ยวของใบ

3.3 หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1)

แผนผังการทำงานของเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) (ภาพที่ 14) แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของระบบเครื่องมือ คือ 1) แหล่งกำเนิดแสง (ภาพที่ 13ข) ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ ได้แก่ Red LED (λ_1) ให้กำเนิดแสงสีแดง มีช่วงความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร และ IR LED (λ_2) ให้กำเนิดแสงอินฟราเรด มีช่วงความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร 2) ตัววัดความเข้มแสง (ภาพที่ 13ก) โดยที่ตัววัดความเข้มแสงจะมีเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่ใช้สำหรับในการวัดความเข้มของแสงทั้งสองช่วงความยาวคลื่น ซึ่งทั้งสองส่วนข้างต้นจะติดตั้งอยู่ในเซ็นเซอร์วัดความเขียวของใบ (ภาพที่ 11) 3) หน่วยประมวลผลกลาง (control and processing unit) ทำการควบคุมการติดตั้งของแหล่งกำเนิดแสง เพื่อที่จะให้ตัววัดความเข้มแสงวัดความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองก่อนเริ่มทำการประมวลผล (calibration) เพื่อเก็บไว้เป็นค่าความเข้มแสงอ้างอิง หลังจากนั้นเมื่อนำเครื่องมือไปวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อยแสงทั้ง 2 ความยาวคลื่นส่องผ่านแผ่นใบ โดยตัววัดความเข้มแสงจะรับความเข้มแสงสีแดงและความเข้มของแสงอินฟราเรดที่ส่องผ่านใบพืชแล้วนำไปส่งไปยังหน่วยประมวลผลกลาง จากนั้นหน่วยประมวลผลกลางจะคำนวณผลที่จะได้จากตัววัดความเข้มแสงและแสดงผลผ่านจอแสดงผลเป็นค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1



ภาพที่ 14 แผนผังการทำงานของเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1)

4. วิธีการดำเนินการทดลอง

4.1 การทดลองในระยะต้นกล้าของปาล์มน้ำมัน

ทำการทดลองในระยะการอนุบาลหลักของต้นกล้าปาล์มน้ำมันของพื้นที่หน่วยเรือนกระจกทดลอง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทดลองในระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมันอายุ 16 เดือน พันธุ์ทรัพย์ ม.อ.1 ซึ่งปลูกในถุงเพาะชำสีดำขนาดใหญ่ขนาด 38 x 45 เซนติเมตร (15 x 18 นิ้ว) โดยเลือกลักษณะของต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่มีความสูงและขนาดทรงพุ่มใกล้เคียงกัน และบำรุงต้นกล้าปาล์มน้ำมันด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 20 กรัมต่อต้น เป็นเวลา 2 เดือนก่อนเริ่มการทดลอง และทำการทดลองตั้งแต่เดือนธันวาคม 2558 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2559 เป็นระยะเวลา 3 เดือน

แบ่งกลุ่มต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 12 ต้น และใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ซึ่งแต่ละกลุ่มของต้นกล้าปาล์มน้ำมันจะจัดสภาพใหม่ตามการจัดการ ดังนี้

กลุ่มที่ 1: ไม่ให้ปุ๋ยไนโตรเจน (ควบคุม)

กลุ่มที่ 2: ให้ปุ๋ยไนโตรเจน ระดับเหมาะสม อัตรา 20 กรัมต่อต้นต่อเดือน

กลุ่มที่ 3: ให้ปุ๋ยไนโตรเจน ระดับสูง อัตรา 60 กรัมต่อต้นต่อเดือน

4.2 การทดลองในระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน

ทำการทดลองในระยะปาล์มน้ำมันเจริญเติบโตเต็มที่ในแปลงปลูก ที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมท่าเสาเขียด คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลโคกสัก อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง ทดลองในต้นปาล์มน้ำมันอายุ 7 ปี พันธุ์ทรัพย์ ม.อ.1 ระยะปลูก 9 x 9 เมตร และขุดร่องน้ำระหว่างแถวปลูกต้นปาล์มน้ำมัน (ภาพประกอบภาคผนวกที่ 3) โดยสุ่มเลือกคู่แถวปาล์มน้ำมันจำนวน 3 คู่แถว ในแต่ละคู่แถวจะเลือกต้นปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะทะลายตก เจริญเติบโตได้ดี ไม่มีลักษณะการแสดงออกของการขาดธาตุอาหารหรือการเข้าทำลายของโรคและแมลง จำนวนคู่แถวละ 15 ต้น รวมทั้งหมด 45 ต้น และทำการทดลองตั้งแต่เดือนสิงหาคม ถึงเดือนตุลาคม 2559 เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ในแปลงปลูกปาล์มน้ำมันของสถานีวิจัยและฝึกอบรมท่าเสาเขียดที่เลือกใช้ ในการทดลองครั้งนี้ มีวิธีการให้ปุ๋ยตามคำแนะนำของสถานีวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน ระยะที่ 2 คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังนี้

ปีที่ 4 N-P-K-MgO-B (10.5-7-32.4-3-0.3) 4 กิโลกรัม + ปุ๋ยมูลไก่ 1 กระสอบ

ปีที่ 5 N-P-K-MgO-B (10.5-7-32.4-3-0.3) 6 กิโลกรัม + ปุ๋ยมูลไก่ 1 กระสอบ

ปีที่ 6 N-P-K-MgO-B (10.5-7-32.4-3-0.3) 6 กิโลกรัม + ปุ๋ยมูลไก่ 1 กระสอบ

โดยจะมีการให้ปุ๋ยปีละ 2 ครั้งต่อปี ซึ่งจะให้ปุ๋ยในช่วงของเดือนธันวาคมและเดือนพฤษภาคมของทุกๆ ปี

5. การเก็บข้อมูล

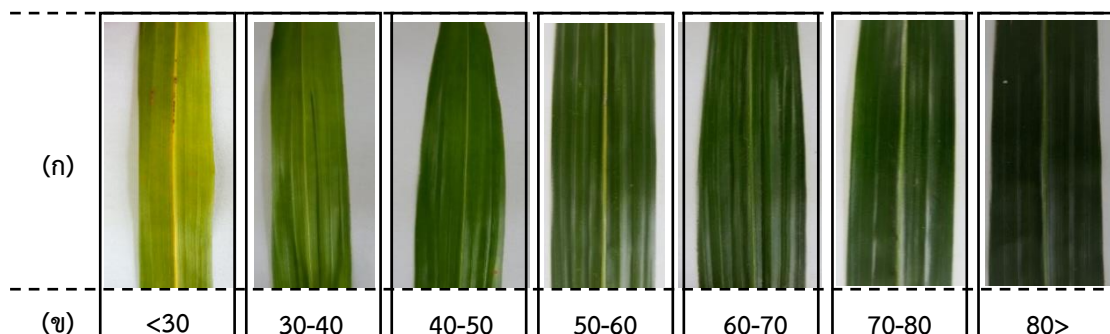
5.1 การวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมัน

ทำการวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันด้วยเครื่อง SPAD-502 และ PSU-CM 1 และบันทึกค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 โดยเลือกทางใบที่ 3 ของระยะต้นกล้า และทางใบที่ 17 ของระยะต้นเต็มวัย เลือกใบย่อยที่อยู่ตำแหน่งกลางทางใบ จำนวน 12 ใบย่อย แบ่งออกเป็นด้านซ้าย 6 ใบ และด้านขวา 6 ใบ และสุ่มเลือกใบย่อยที่สมบูรณ์จำนวน 3 ใบย่อย (จะเลือกในใบย่อยทั้ง 12 ใบย่อยที่กำหนดไว้) เพื่อวัดค่าความเขียวของแต่ละใบย่อย และทำการวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันทุกๆ เดือน โดยภาพที่ 15 แสดงลักษณะการใช้เครื่อง PSU-CM 1 และ SPAD-502 ในการวัดค่าความเขียวของใบจากใบปาล์มน้ำมัน หลังจากนั้นตัดทางใบปาล์มน้ำมัน มาสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ ตามวิธีการที่รายงานโดย สุนทรื และคณะ (2543) และ Moran (1982) และวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ตามวิธีการของ จำเป็น และจักรกฤษณ์ (2557)



ภาพที่ 15 การใช้ PSU-CM 1(ก) และ SPAD 502(ข) วัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมัน

จากการวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมัน จะสามารถจำแนกระดับความเข้มของสีใบกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และ PSU-CM 1 จากใบปาล์มน้ำมันได้ 7 ระดับ ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ระดับความเข้มของสีใบปาล์มน้ำมัน(ก) ค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และ PSU-CM 1(ข) จากใบปาล์มน้ำมัน

5.2 การสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน

1. เลือกทางใบที่ 3 ของระยะต้นกล้า และทางใบที่ 17 ของระยะต้นเต็มวัยของต้นปาล์มน้ำมัน โดยเลือกใบย่อยของทางใบนั้นๆ ให้เป็นใบเดียวกันกับใบที่ทำการวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันด้วย SPAD-502 และ PSU-CM 1 และอยู่ในช่วงที่แผ่นใบขยายตัวเต็มที่ จำนวน 3 ใบย่อยต่อ 1 ทางใบ โดยใบย่อยที่เลือกนั้นๆ จะต้องหลีกเลี่ยงการแสดงอาการการขาดธาตุอาหารรวมทั้งโรคหรือแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย

2. หลังจากนั้นนำใบปาล์มน้ำมันที่วัดค่าความเขียวของใบมาเจาะรู โดยใช้ตุ้ดตุ้เจาะใบเป็นวงกลม จำนวน 3 ตำแหน่ง โดยให้กระจายทั่วทั้งใบปาล์มน้ำมัน แต่ละวงกลมจะมีขนาดพื้นที่โดยประมาณ 0.82 ตารางเซนติเมตร โดยหลีกเลี่ยงการเลือกเนื้อเยื่อบริเวณเส้นใบ และขอบใบ แล้วนำแผ่นใบที่เจาะเป็นรูวางกลมใส่ลงในหลอดทดลองแบบมีฝาปิดชนิดเกลียว

3. เติมสาร *N,N*-dimethylformamide (DMF) ปริมาณ 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองและปิดฝาให้สนิท และย้ายไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อสกัดคลอโรฟิลล์และป้องกันไม่ให้แสงทำลายคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ถูกทำลาย

4. หลังจากนำสารละลายสีเขียวใสที่ได้จากสกัดคลอโรฟิลล์ออกจากใบปาล์มน้ำมัน ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ที่ช่วงความยาวคลื่นที่ 647 และ 664 นาโนเมตร

5. นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาปริมาณของคลอโรฟิลล์รวม คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี โดยใช้สมการที่เสนอโดย Moran (1982) มีหน่วยเป็นปริมาณของคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบ (กรัมต่อตารางเมตร)

สมการที่ใช้คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ ดัดแปลงจาก สุนทรีย์ และคณะ (2543) และ Moran (1982) ตามสมการดังนี้

$$\text{Chl}_a = (-2.99A_{647} + 12.64A_{664}) * \text{Vol} / (\text{Area} * 100)$$

$$\text{Chl}_b = (23.26A_{647} - 5.60A_{664}) * \text{Vol} / (\text{Area} * 100)$$

$$\text{Chl}_{\text{total}} = (20.27A_{647} + 7.04A_{664}) * \text{Vol} / (\text{Area} * 100)$$

เมื่อ Chl_a = ปริมาณคลอโรฟิลล์ a, กรัมต่อตารางเมตร

Chl_b = ปริมาณคลอโรฟิลล์ b, กรัมต่อตารางเมตร

$\text{Chl}_{\text{total}}$ = ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (ผลบวกของคลอโรฟิลล์ a และ b, กรัมต่อตารางเมตร)

A_{647} = ค่าดูดแสงที่ความยาวคลื่น 647 นาโนเมตร, ค่าสัดส่วน

A_{664} = ค่าดูดแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร, ค่าสัดส่วน

Vol = ปริมาณ DMF ที่ใช้สกัด, มิลลิลิตร

Area = พื้นที่แผ่นใบที่ใช้สกัด, ตารางเซนติเมตร

5.3 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน

1. เลือกทางใบที่ 3 ของระยะต้นกล้า และทางใบที่ 17 ของระยะต้นเต็มวัย ของต้นปาล์มน้ำมัน โดยเลือกใบปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะสมบูรณ์และอยู่ในช่วงที่แผ่นใบขยายตัวเต็มที่ และใบย่อยที่เลือกนั้นๆ จะต้องหลีกเลี่ยงการแสดงอาการการขาดธาตุอาหาร รวมทั้งโรคหรือแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย พร้อมกับทำความสะอาดใบให้เรียบร้อย จำนวน 12 ใบต่อ 1 ทางใบ ตามวิธีการคำแนะนำการเก็บตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันที่ถูกต้องของ ซีระ (2554)

2. หลังจากนั้นเอาเส้นกลางใบของปาล์มน้ำมันออกให้เรียบร้อย ให้เหลือเพียงแผ่นใบ และตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 2 x 2 เซนติเมตร แล้วนำไปใส่ถุงกระดาษชอบตัวอย่าง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง

3. เมื่อครบกำหนดเวลาของการอบตัวอย่าง นำตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันอบแห้ง นำมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืชให้เป็นผงละเอียด และเก็บตัวอย่างใบที่บดละเอียดแล้วไว้ในถุงกระดาษต่อไป

4. เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบดตัวอย่างใบ จะสามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในใบพืชโดยวิธีเจลดาล (Kjeldahl method) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การย่อยโดยใช้กรดซัลฟิวริก การกลั่น การไทเทรต และการคำนวณ ตามวิธีการของ จำเป็น และจักรกฤษณ์ (2557) ดังนี้

5.3.1 การย่อยโดยใช้กรดซัลฟิวริก

1. ชั่งตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันที่ได้จากการบดตัวอย่างแห้งประมาณ 0.1 กรัม โดยทราบน้ำหนักที่แน่นอน และใส่ในหลอดย่อยตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยาลงไปประมาณ 1 กรัม
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ภายในตู้ดูดควัน
4. ทำแบลงค์โดยนำไปเติมสารเร่งและกรดเช่นเดียวกับตัวอย่าง
5. นำไปย่อยในเตาย่อยตัวอย่าง โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 380 องศาเซลเซียส
6. เก็บสารละลายไว้กลั่นหาไนโตรเจน

5.3.2 การกลั่น

1. จัดเตรียมเครื่องกลั่นให้พร้อมจะใช้งาน และเติมน้ำกลั่นลงไปในตัวอย่าง ประมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าจนตะกอนละลาย
2. นำหลอดใส่เข้าเครื่องกลั่น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปประมาณ 15 มิลลิลิตร
3. ตวงสารละลายกรดบอริกที่ผสมอินดิเคเตอร์ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตรนำไปวางตรงตำแหน่งที่รองรับแก๊สแอมโมเนียจากการกลั่น
4. กลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 30 มิลลิลิตร จึงหยุดและฉีดล้างปลายคอนเดนเซอร์ด้วยน้ำกลั่น

5.3.3 การไทเทรต

1. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ ลงในบิวเรตและจัดบิวเรตให้พร้อมที่จะไทเทรต
2. นำสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งมีสีเขียว ไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก จนเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงและสิ้นสุดการไทเทรต

5.3.4 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (g kg}^{-1}\text{)} = 28.01 \times M(V-B)/W$$

- โดย
- M = ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (โมลาร์)
 - V = ปริมาตรกรมซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 - B = ปริมาตรกรมซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)
 - W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันของระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย (regression analysis) แบบเส้นตรง (linear regression) และแบบไม่เป็นเส้นตรง (nonlinear regression) โดยพิจารณาระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และพิจารณาสมการความสัมพันธ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด เพื่อใช้เลือกเป็นสมการที่ใช้ทำนายค่าตัวแปร

6.2 หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 เพื่อประเมินความแม่นยำของเครื่องมือทั้ง 2 ของระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย (regression analysis) แบบเส้นตรง (linear regression) โดยพิจารณาระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

ผล

1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบปาล์มน้ำมันในระยะต้นกล้าและระยะต้นเต็มวัย

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (x) และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (y) (ภาพที่ 17) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกระจายตัวในช่วงที่กว้างทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ดังนี้

1) ระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบพาวเวอร์ (power regression) พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0008x^{1.682}$ ($R^2 = 0.885^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 28.6-56.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.205-0.811 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 17ก)

ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0019x^{1.4743}$ ($R^2 = 0.941^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.8-57.8 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.178-0.817 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 17ข)

ครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0025x^{1.401}$ ($R^2 = 0.810^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 26.7-56.7 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.287-0.768 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 17ค)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0015x^{1.5256}$ ($R^2 = 0.872^{**}$) (ภาพที่ 18ก) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน

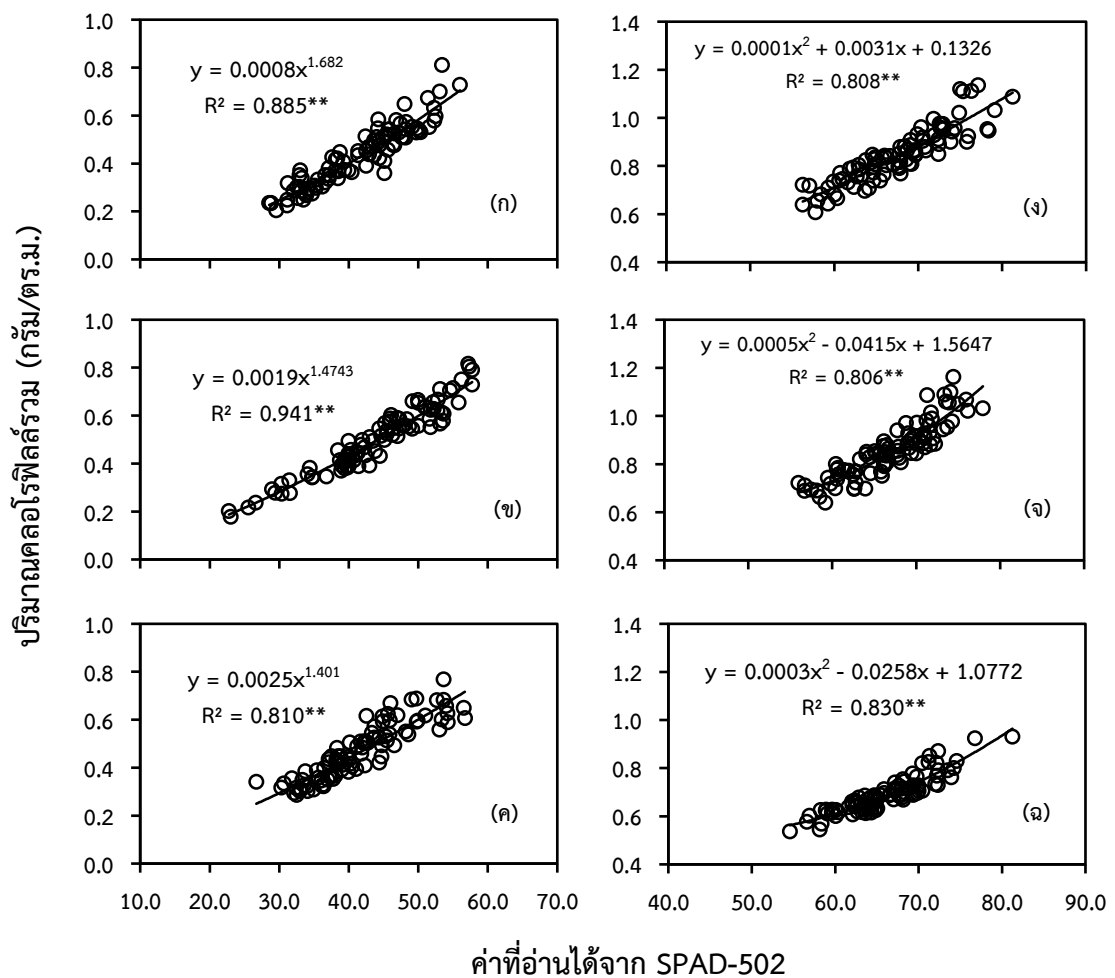
2) ระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบโพลีโนเมียล (polynomial regression) พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0001x^2 + 0.0031x + 0.1326$ ($R^2 = 0.808^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.3-81.3 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม อยู่ในช่วงระหว่าง 0.608-1.136 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 17ง)

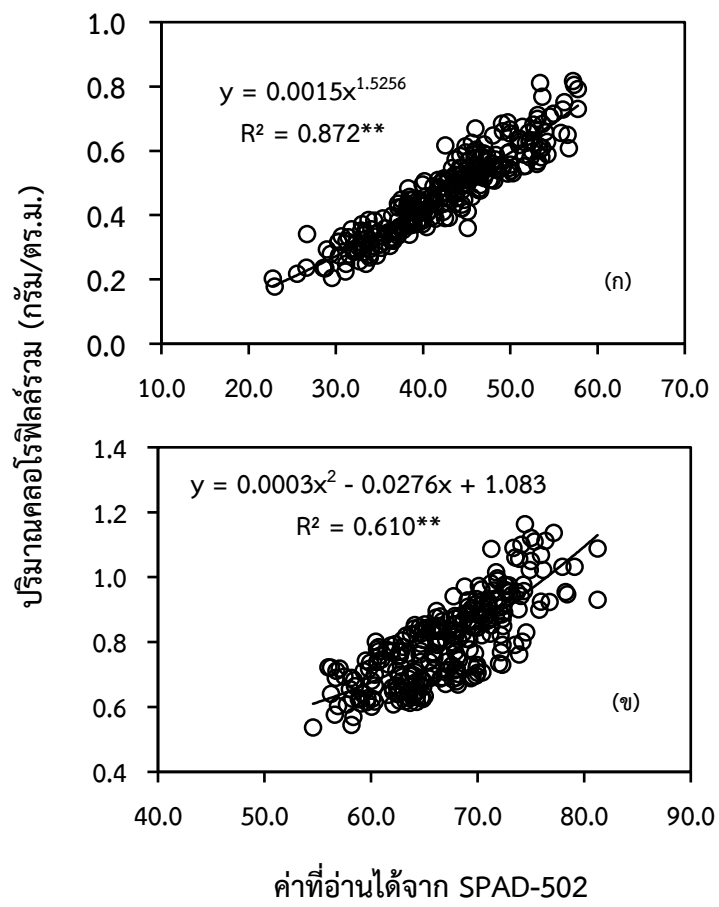
ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0005x^2 - 0.0415x + 1.5647$ ($R^2 = 0.806^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.0-78.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม อยู่ในช่วงระหว่าง 0.639-1.163 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 17จ)

ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0003x^2 - 0.0258x + 1.0772$ ($R^2 = 0.830^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 54.6-81.3 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม อยู่ในช่วงระหว่าง 0.537-0.930 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 17ฉ)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.0003x^2 - 0.0276x + 1.083$ ($R^2 = 0.610^{**}$) (ภาพที่ 18ข) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน



ภาพที่ 17 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 ($n = 90$)



ภาพที่ 18 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมรวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270)

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 (x) และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (y) (ภาพที่ 19) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกระจายตัวในช่วงที่กว้าง ทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ดังนี้

1) ระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบพาวเวอร์ พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0022x^{1.4347}$ ($R^2 = 0.897^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 23.7-57.3 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.205-0.811 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 19ก)

ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0059x^{1.1542}$ ($R^2 = 0.895^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.2-63.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.178-0.817 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 19ข)

ครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0054x^{1.2}$ ($R^2 = 0.735^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 23.8-57.9 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.287-0.768 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 19ค)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0047x^{1.2252}$ ($R^2 = 0.834^{**}$) (ภาพที่ 20ก) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน

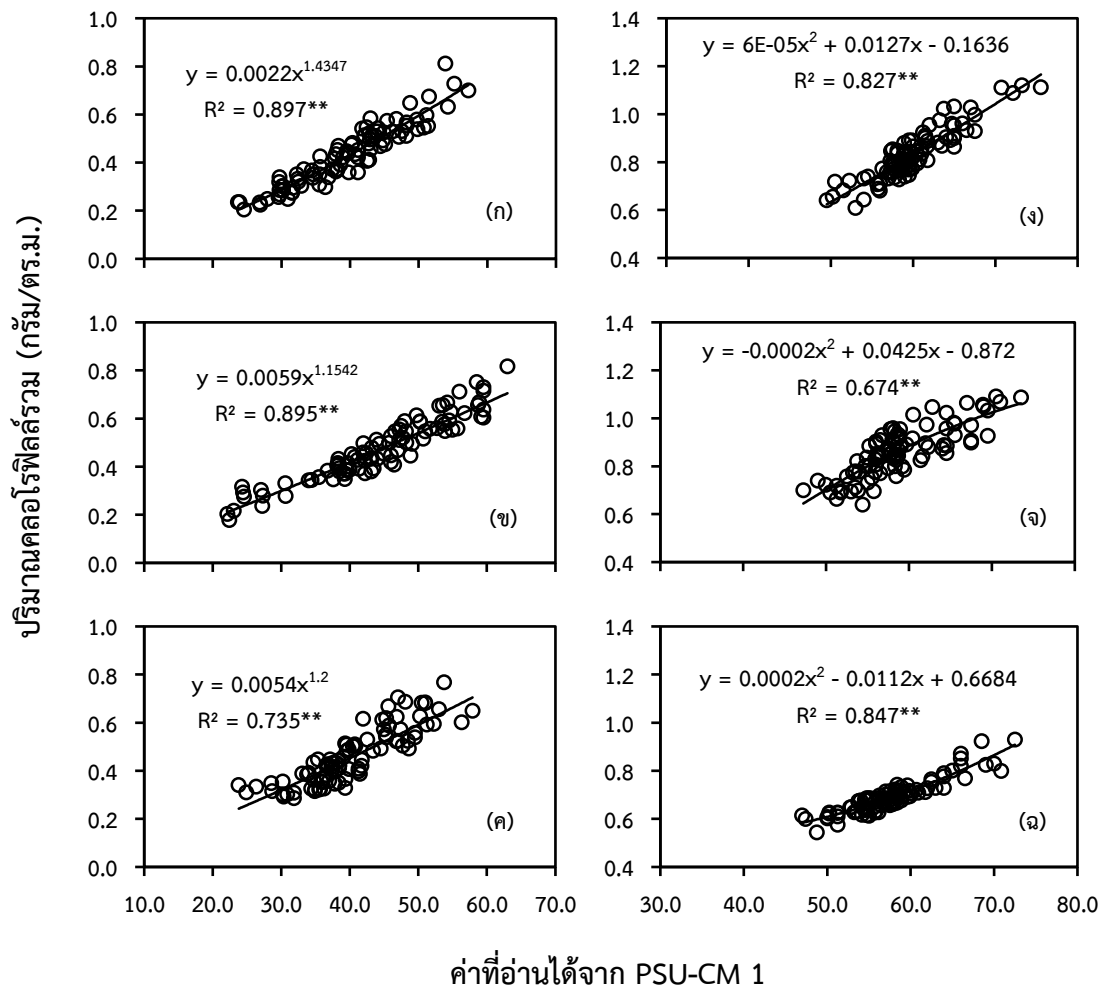
2) ระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 6E-05x^2 + 0.0127x - 0.1636$ ($R^2 = 0.827^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 49.5-75.6 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม อยู่ในช่วงระหว่าง 0.608-1.121 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 19ง)

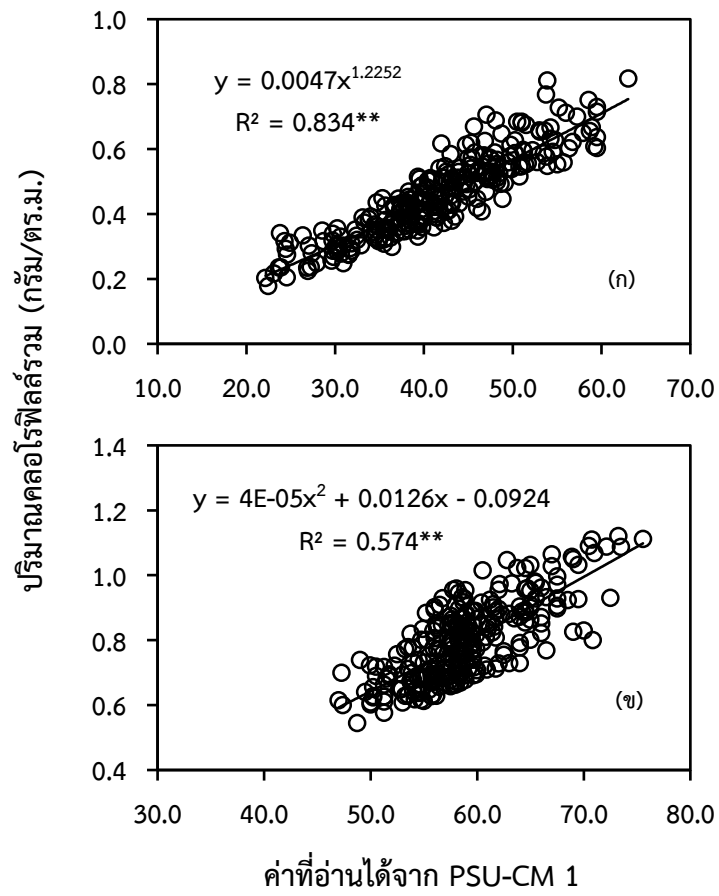
ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = -0.0002x^2 + 0.0425x - 0.872$ ($R^2 = 0.674^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 47.3-73.5 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม อยู่ในช่วงระหว่าง 0.639-1.090 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 19จ)

ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0002x^2 - 0.0112x + 0.6684$ ($R^2 = 0.847^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 47.0- 72.5 และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม อยู่ในช่วงระหว่าง 0.545-0.930 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 19ฉ)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 4E-05x^2 + 0.0126x - 0.0924$ ($R^2 = 0.574^{**}$) (ภาพที่ 20ข) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน



ภาพที่ 19 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะ ต้นเต็มวัย (ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90)



ภาพที่ 20 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมรวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270)

2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในใบปาล์มน้ำมันในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (x) และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (y) (ภาพที่ 21) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กระจายตัวในช่วงที่กว้างทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ดังนี้

1) ระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบพาวเวอร์ พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0005x^{1.7259}$ ($R^2 = 0.887^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 28.6-56.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.149-0.576 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 21ก)

ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0008x^{1.6138}$ ($R^2 = 0.936^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.8-57.8 และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.118-0.617 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 21ข)

ครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.001x^{1.551}$ ($R^2 = 0.792^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 26.7-56.7 และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.203-0.565 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 21ค)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0007x^{1.6363}$ ($R^2 = 0.867^{**}$) (ภาพที่ 22ก) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน

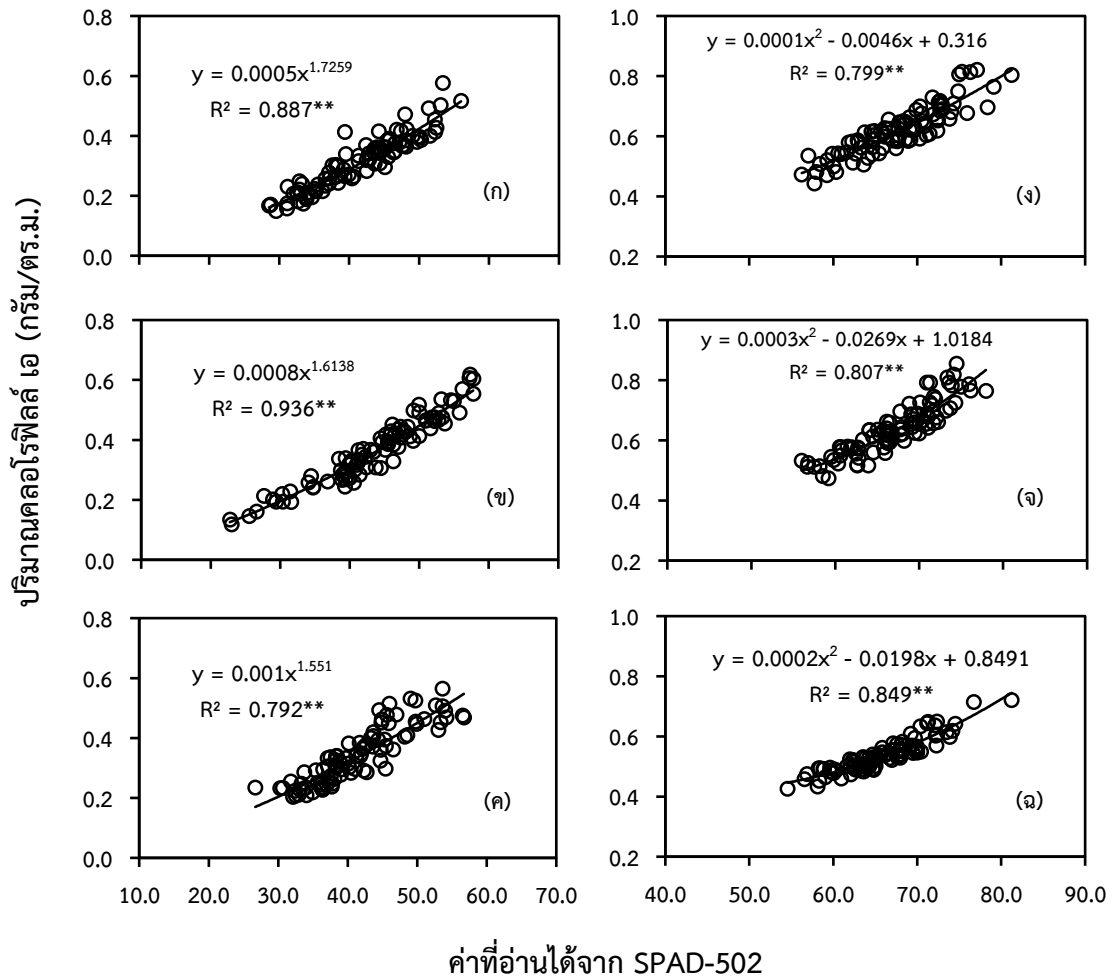
2) ระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0001x^2 - 0.0046x + 0.316$ ($R^2 = 0.799^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.3-81.3 และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.442-0.821 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 21ง)

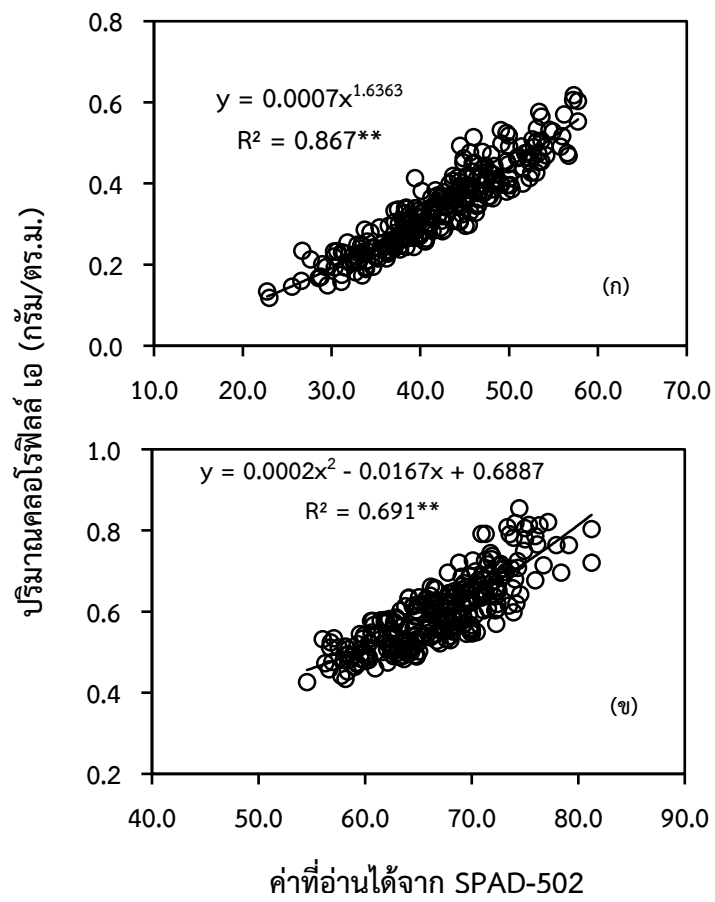
ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0003x^2 - 0.0269x + 1.0184$ ($R^2 = 0.807^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.0-78.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.472-0.855 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 21จ)

ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0002x^2 - 0.0198x + 0.8491$ ($R^2 = 0.849^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 54.6-81.3 และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.426-0.721 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 21ฉ)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0002x^2 - 0.0167x + 0.6887$ ($R^2 = 0.691^{**}$) (ภาพที่ 22ข) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน



ภาพที่ 21 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย (ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90)



ภาพที่ 22 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270)

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 (x) และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (y) (ภาพที่ 23) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กระจายตัวในช่วงที่กว้าง ทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ดังนี้

1) ระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น แบบพาวเวอร์ พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0015x^{1.4522}$ ($R^2 = 0.902^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 23.7-57.3 และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.149-0.576 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 23ก)

ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0029x^{1.2621}$ ($R^2 = 0.901^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.2-63.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.118-0.617 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 23ข)

ครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0028x^{1.2917}$ ($R^2 = 0.736^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 23.8-57.9.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.203-0.565กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 23ค)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0026x^{1.3025}$ ($R^2 = 0.839^{**}$) (ภาพที่ 24ก) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน

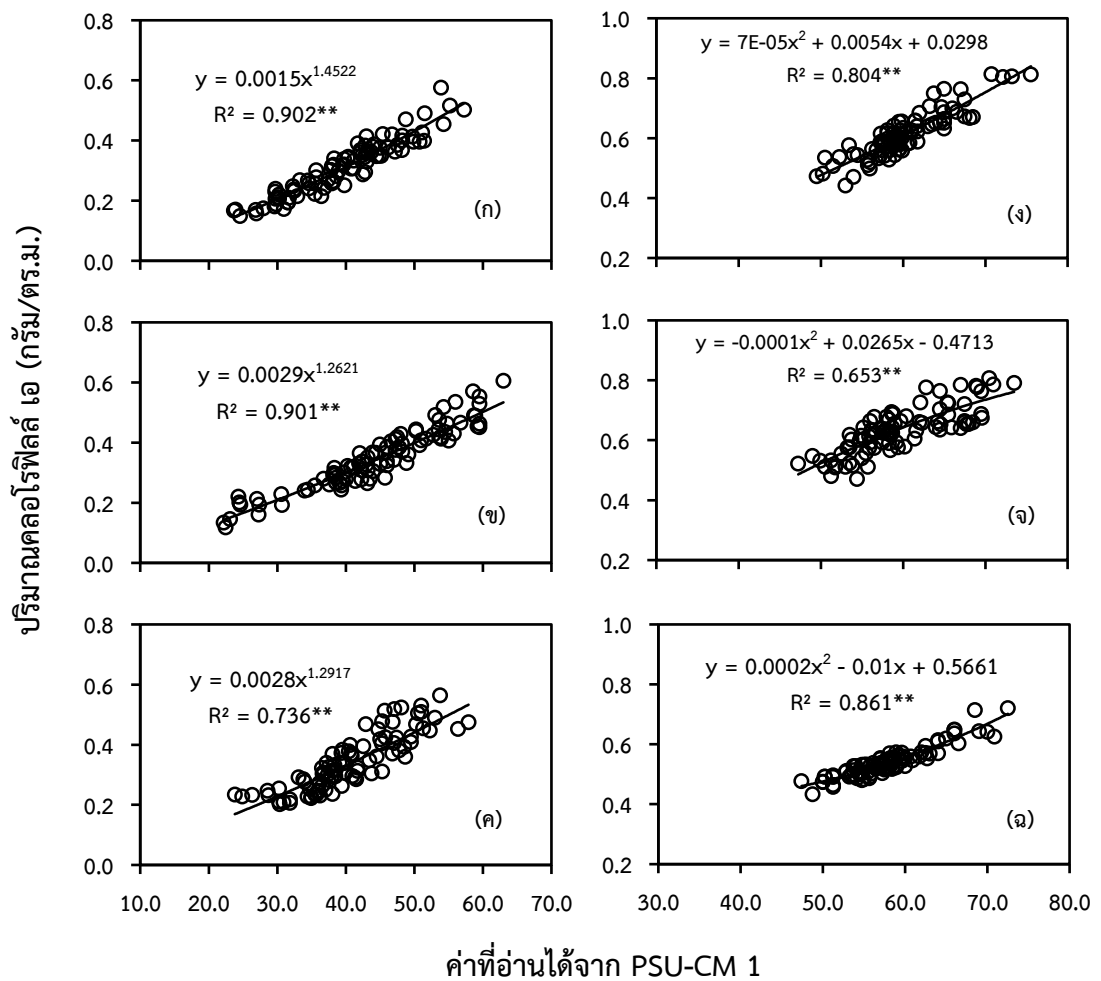
2) ระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบ โพลีโนเมียล พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 7E-05x^2 + 0.0054x + 0.0298$ ($R^2 = 0.804^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 49.6-75.6 และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.442-0.814 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 23ง)

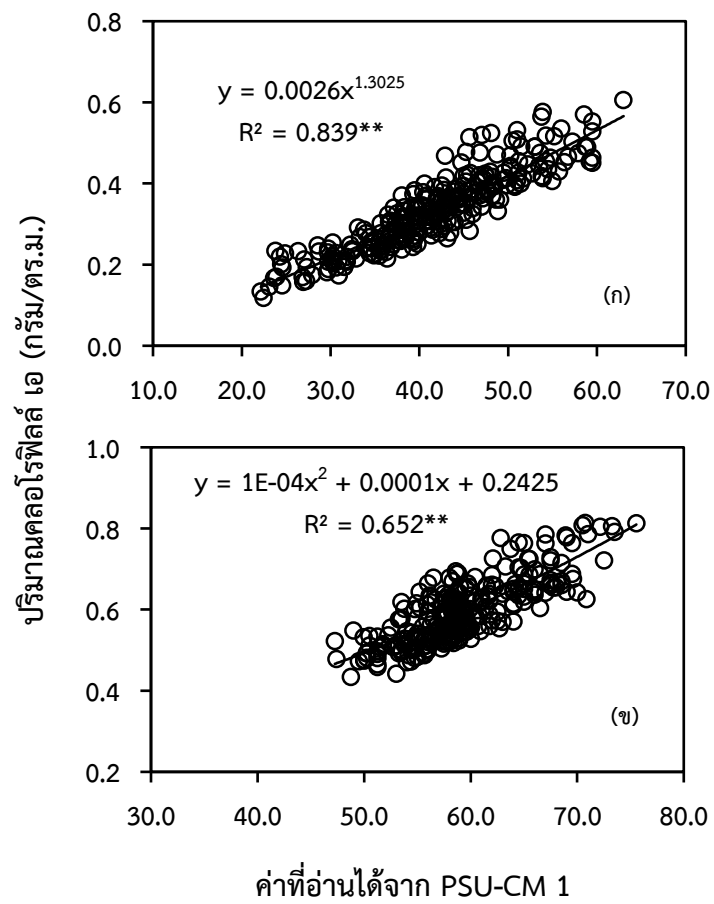
ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = -0.0001x^2 + 0.0265x - 0.4713$ ($R^2 = 0.653^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 47.3-73.5 และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.472-0.808 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 23จ)

ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0002x^2 - 0.01x + 0.5661$ ($R^2 = 0.861^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 47.0-72.5 และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.434-0.721 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 23ฉ)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 1E-04x^2 + 0.0001x + 0.2425$ ($R^2 = 0.652^{**}$) (ภาพที่ 24ข) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน



ภาพที่ 23 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90)



ภาพที่ 24 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270)

3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในใบปาล์มน้ำมันในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ บี

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (x) และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (y) (ภาพที่ 25) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ บี กระจายตัวในช่วงที่กว้างทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ดังนี้

1) ระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบพาวเวอร์ พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0003x^{1.6223}$ ($R^2 = 0.873^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 28.6-56.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.056-0.235 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 25ก)

ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.002x^{1.1107}$ ($R^2 = 0.906^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.8-57.8 และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.060-0.211 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 25ข)

ครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0013x^{1.2292}$ ($R^2 = 0.815^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 26.7-56.7 และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.079-0.204 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 25ค)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในระยะเวลา 3 เดือนรวมด้วยกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.001x^{1.3002}$ ($R^2 = 0.845^{**}$) (ภาพที่ 26ก) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน

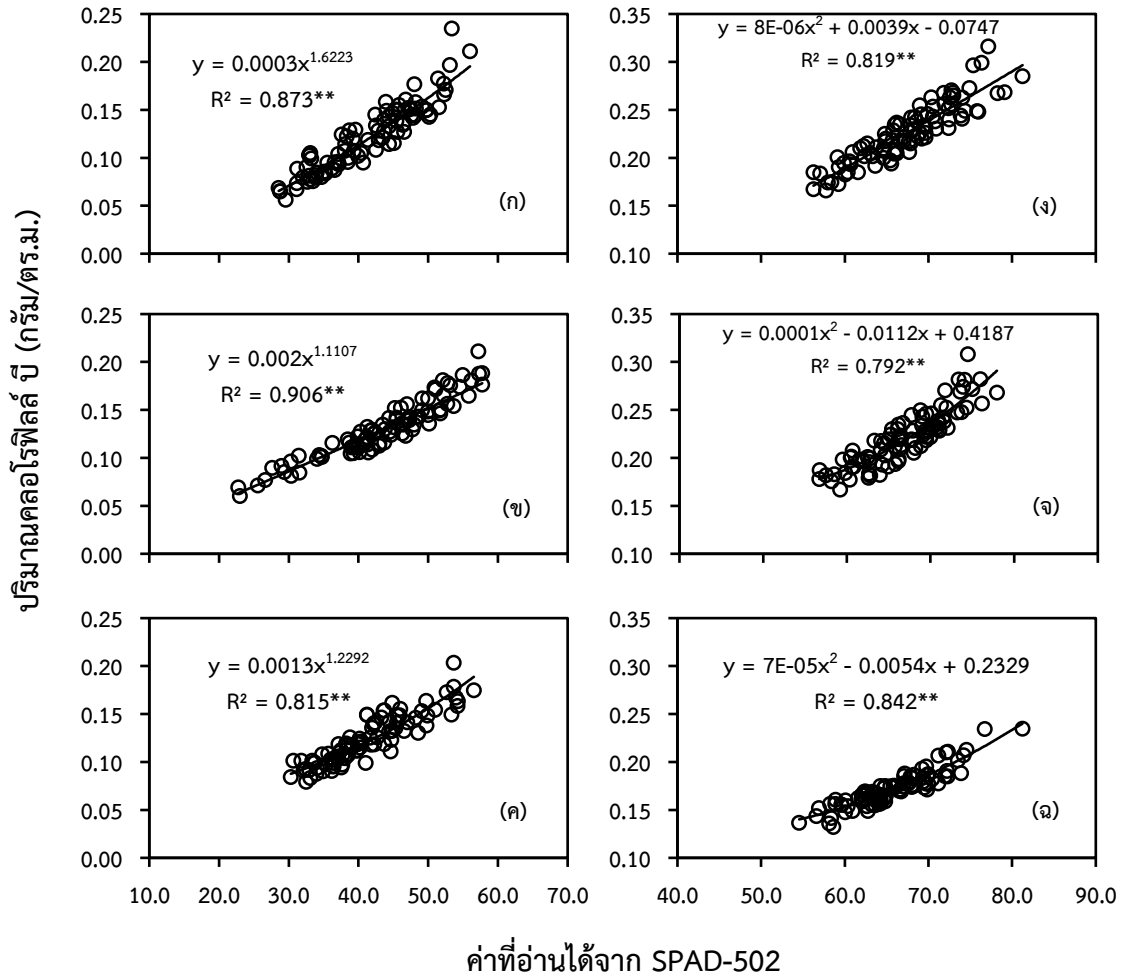
2) ระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 8E-06x^2 + 0.0039x - 0.0747$ ($R^2 = 0.819^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.3-81.3 และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.166-0.316 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 25ง)

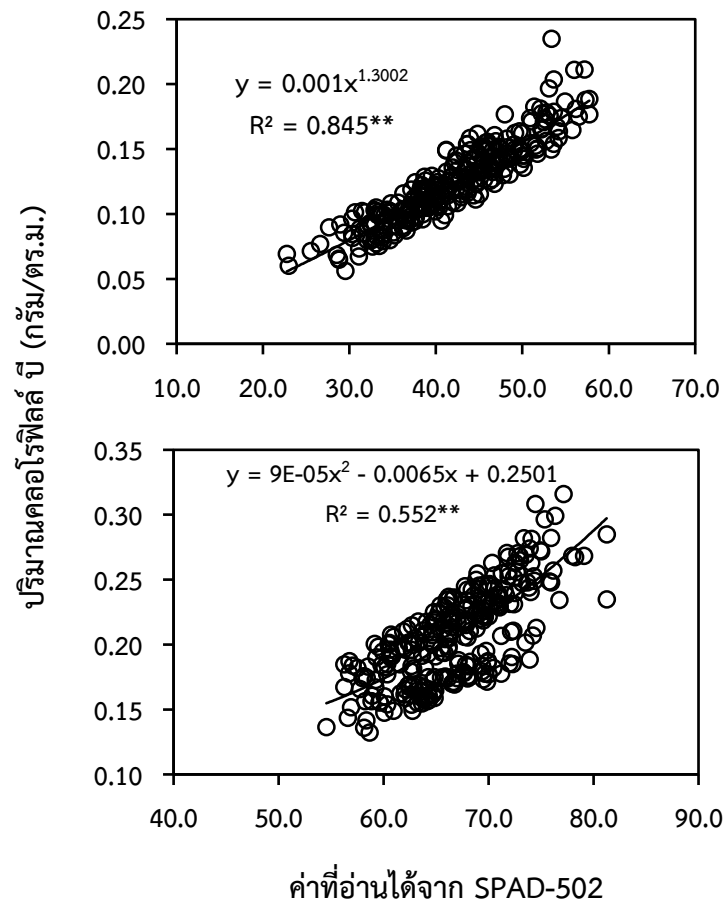
ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0001x^2 - 0.0112x + 0.4187$ ($R^2 = 0.792^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.0-78.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.167-0.308 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 25จ)

ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 7E-05x^2 - 0.0054x + 0.2329$ ($R^2 = 0.842^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 54.6-81.3 และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.132-0.235 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 25ฉ)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ ปี ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 9E-05x^2 - 0.0065x + 0.2501$ ($R^2 = 0.552^{**}$) (ภาพที่ 26ข) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน



ภาพที่ 25 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ ปี ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 ($n = 90$)



ภาพที่ 26 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ บี รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270)

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ พี

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 (x) และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ พี (y) (ภาพที่ 27) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ พี กระจายตัวในช่วงที่กว้างทั้ง ในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ดังนี้

1) ระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น แบบพาวเวอร์ พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0007x^{1.3806}$ ($R^2 = 0.887^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 23.7-57.3 และปริมาณคลอโรฟิลล์ พี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.056-0.235 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 27ก)

ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0042x^{0.9047}$ ($R^2 = 0.872^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.2-63.0 และปริมาณคลอโรฟิลล์ พี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.060-0.211 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 27ข)

ครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0027x^{1.0341}$ ($R^2 = 0.719^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 23.8-57.9 และปริมาณคลอโรฟิลล์ พี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.079-0.204 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 27ค)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ พี ในระยะ เวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0024x^{1.0564}$ ($R^2 = 0.810^{**}$) (ภาพที่ 28ก) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน

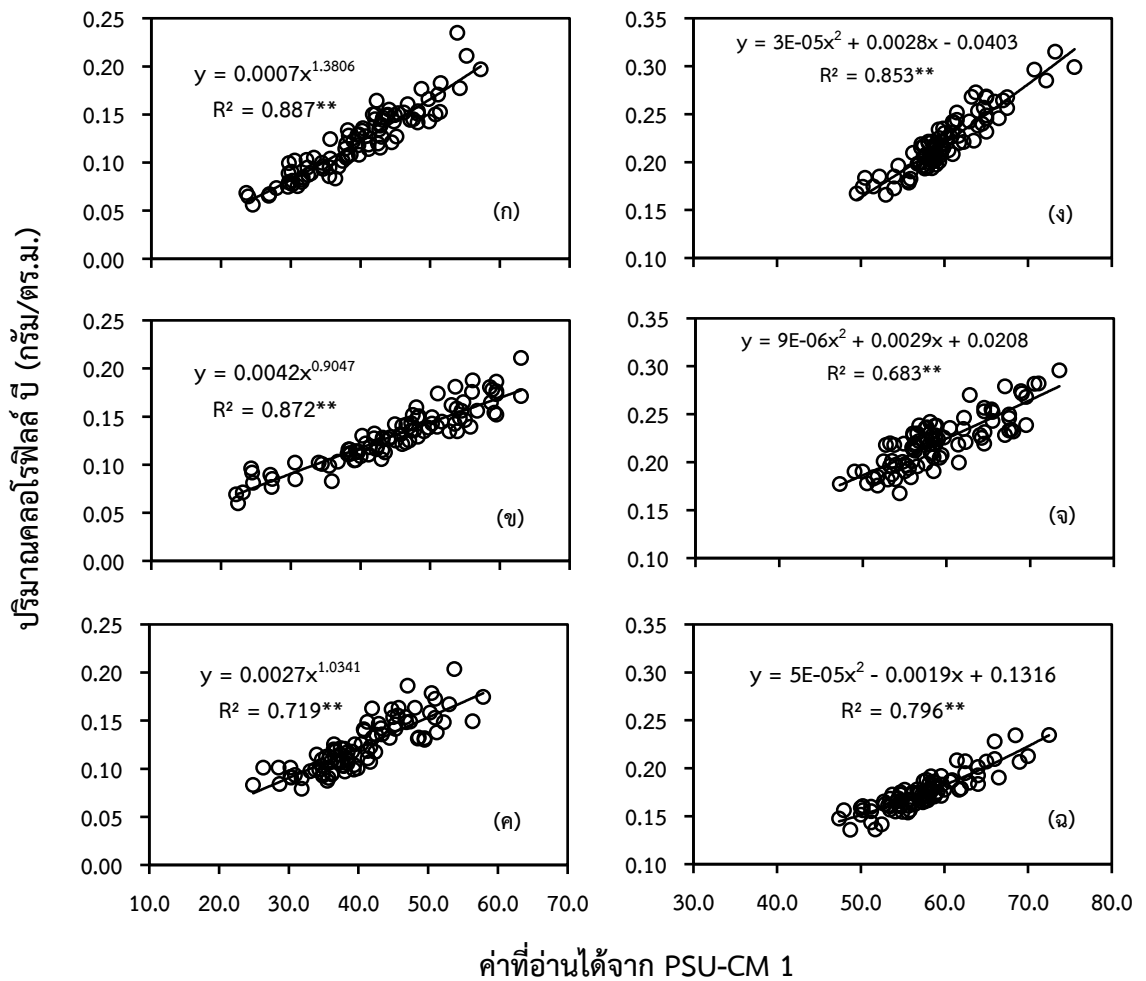
2) ระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบ โพลีโนเมียล พบว่า

ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 3E-05x^2 + 0.0028x - 0.0403$ ($R^2 = 0.853^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 49.6-75.6 และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ พี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.166-0.315 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 27ง)

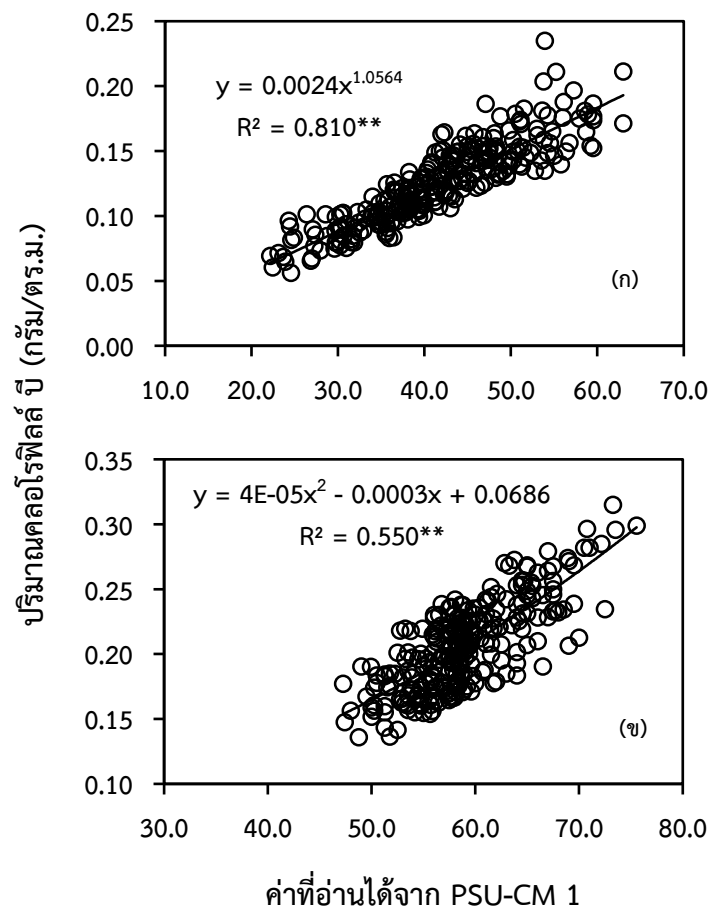
ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 9E-06x^2 + 0.0029x + 0.0208$ ($R^2 = 0.683^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 47.3-73.5 และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ พี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.168-0.296 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 27จ)

ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 5E-05x^2 - 0.0019x + 0.1316$ ($R^2 = 0.796^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 47.0-72.5 และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ พี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.136-0.235 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 27ฉ)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ พี ในระยะ เวลา 3 เดือนมารวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 4E-05x^2 - 0.0003x + 0.0686$ ($R^2 = 0.550^{**}$) (ภาพที่ 28ข) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน



ภาพที่ 27 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ ปี ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 90)



ภาพที่ 28 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ บี รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270)

4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบปาล์มน้ำมันในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (x) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (y) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (ภาพที่ 29) พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกระจายตัวในช่วงที่กว้างทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ดังนี้

1) ระยะของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ทำการบันทึกผลความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จำนวน 3 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 1.1529x - 24.472$ ($R^2 = 0.745^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 32.6-53.3 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 12.8-36.7 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 29ก)

ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 1.2853x - 23.68$ ($R^2 = 0.649^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 25.1-55.8 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 15.7-52.2 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 29ข)

ครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 2.1326x - 53.253$ ($R^2 = 0.650^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 29.3-53.6 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 16.6-55.1 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 29ค)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 1.4686x - 31.685$ ($R^2 = 0.532^{**}$) (ภาพที่ 30ก) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน

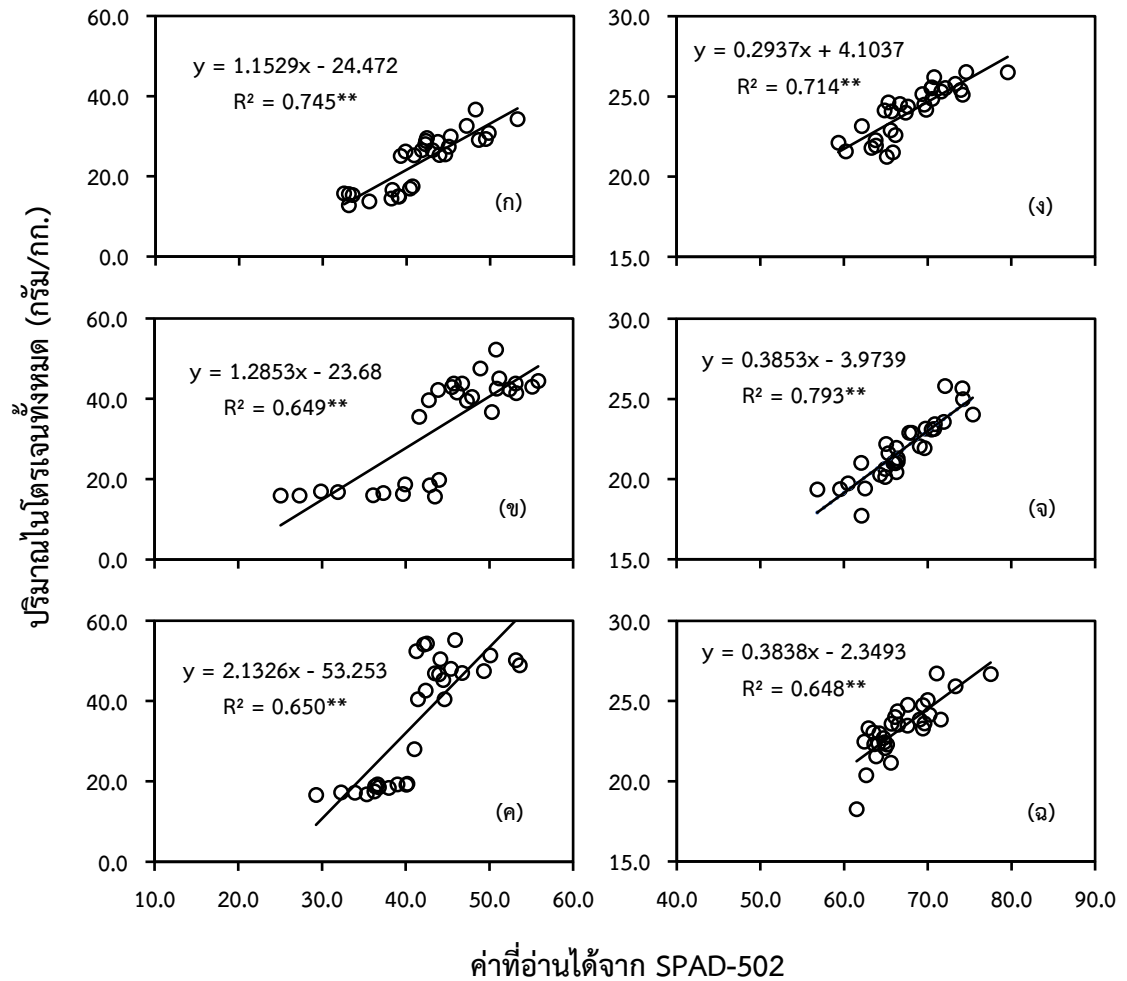
2) ระยะต้นเต็มวัยปาล์มน้ำมัน ทำการบันทึกผลความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จำนวน 3 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.2937x + 4.1037$ ($R^2 = 0.714^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 59.3-79.6 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 21.2-26.9 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 29ง)

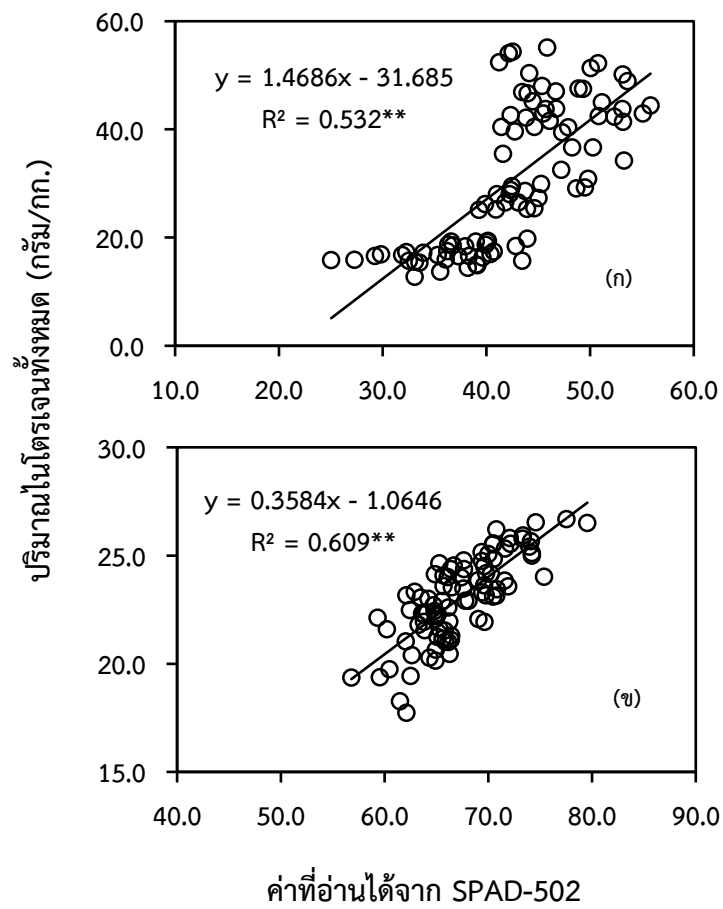
ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.3853x - 3.9739$ ($R^2 = 0.793^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.8-75.4 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 17.7-25.8 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 29จ)

ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.3838x - 2.3493$ ($R^2 = 0.648^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 61.5-77.5 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 18.3-26.7 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 29ฉ)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.3584x - 1.0646$ ($R^2 = 0.609^{**}$) (ภาพที่ 30ข) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน



ภาพที่ 29 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 30)



ภาพที่ 30 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดรวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 90)

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 (x) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (y) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (ภาพที่ 31) พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกระจายตัวในช่วงที่กว้างทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ดังนี้

1) ระยะของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ทำการบันทึกผลความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จำนวน 3 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.9506x - 13.844$ ($R^2 = 0.738^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 25.1-51.9 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 12.8-36.7 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 30ก)

ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.9904x - 11.819$ ($R^2 = 0.694^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 24.3-60.5 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 15.7-52.2 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 30ข)

ครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 1.7193x - 36.022$ ($R^2 = 0.634^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 25.8-53.7 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ในช่วงระหว่าง 16.6-55.1 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 30ค)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 1.1609x - 18.254$ ($R^2 = 0.586^{**}$) (ภาพที่ 31ก) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน

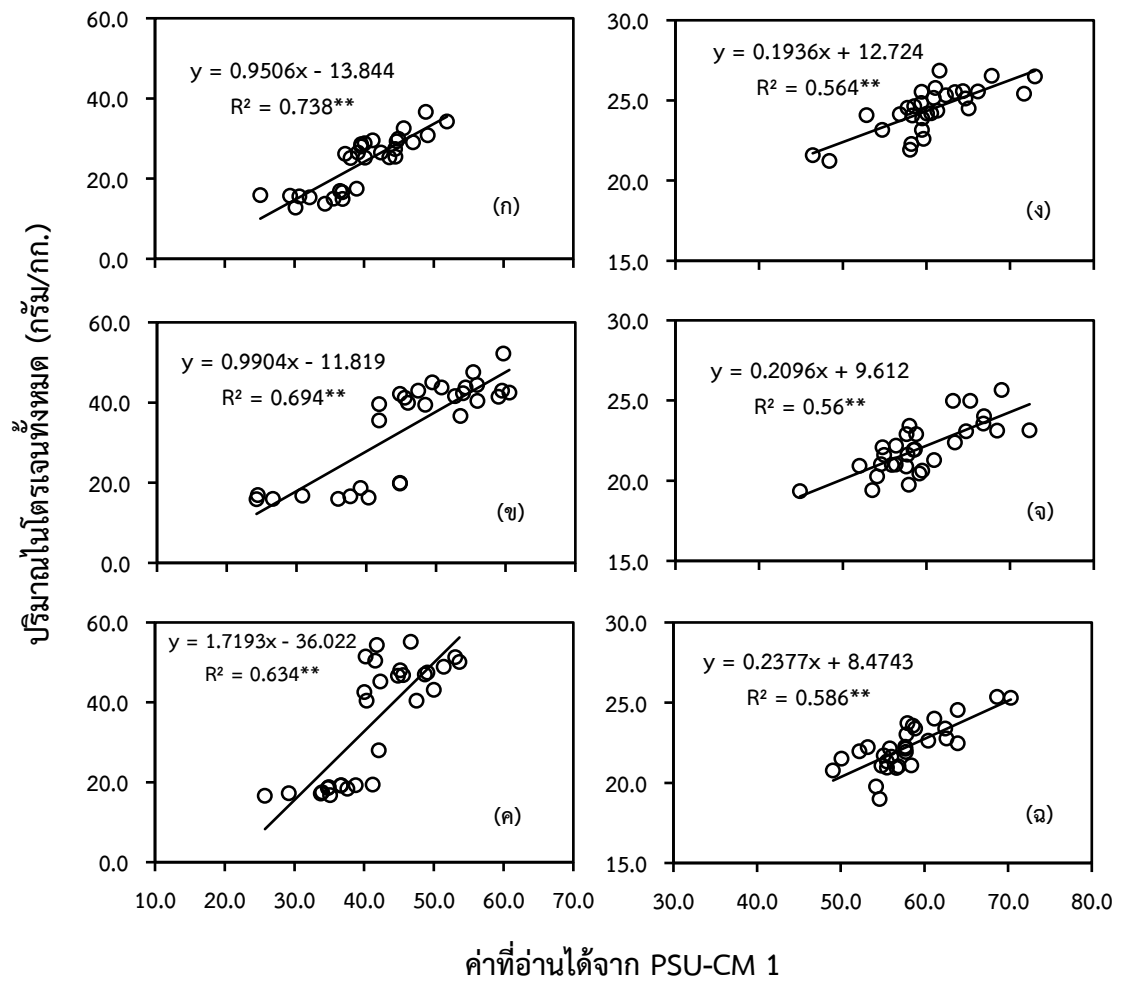
2) ระยะต้นเต็มวัยปาล์มน้ำมัน ทำการบันทึกผลความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จำนวน 3 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.1936x + 12.724$ ($R^2 = 0.564^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 46.4-73.0 และปริมาณไนโตรเจน อยู่ในช่วงระหว่าง 21.2-26.9 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 30ง)

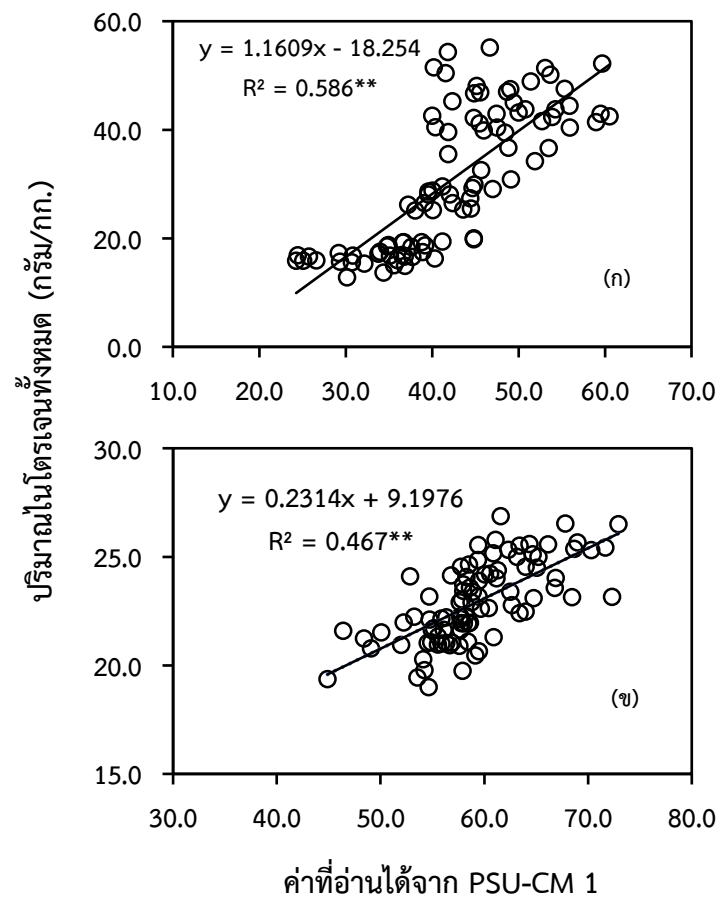
ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.2096x + 9.612$ ($R^2 = 0.56^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 44.9-72.3 และปริมาณไนโตรเจน อยู่ในช่วงระหว่าง 17.7-25.8 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 30จ)

ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.2377x + 8.4743$ ($R^2 = 0.586^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 49.1-70.3 และปริมาณไนโตรเจน อยู่ในช่วงระหว่าง 18.3-26.7 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 30ฉ)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.2314x + 9.1976$ ($R^2 = 0.467^{**}$) (ภาพที่ 31ข) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน



ภาพที่ 31 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะ ต้นเต็มวัย(ง-ฉ) ของปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 (n = 30)



ภาพที่ 32 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดรวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 90)

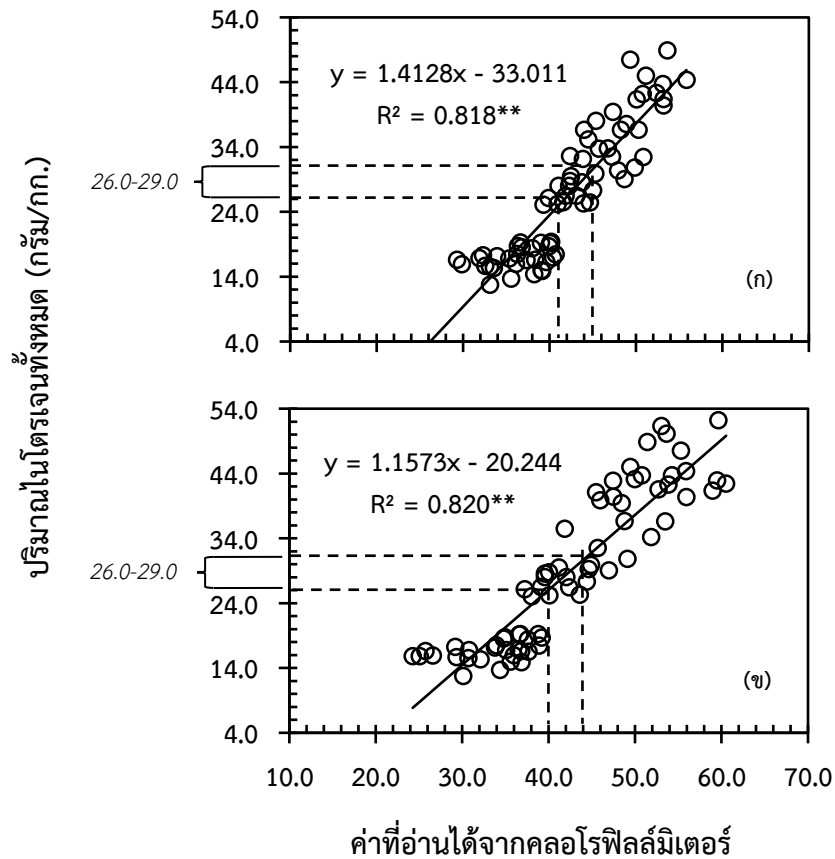
4.3 การประยุกต์ใช้ SPAD-502 และ PSU-CM 1 เพื่อกำหนดระดับความต้องการไนโตรเจนที่เหมาะสมแก่ต้นปาล์มน้ำมัน

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการของเจลดาล (Kjeldahl method) ภายในห้องปฏิบัติการ (ภาพที่ 30 และ 32) ซึ่งแสดงให้เห็นความแม่นยำของเครื่องมือที่นำมาใช้ประเมินปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันได้ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับค่ามาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนในทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 4) เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดระดับความต้องการธาตุไนโตรเจนของปาล์มน้ำมันให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตามความต้องการของต้นปาล์มน้ำมัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงอายุของปาล์มน้ำมันที่ทำการศึกษาดังนี้

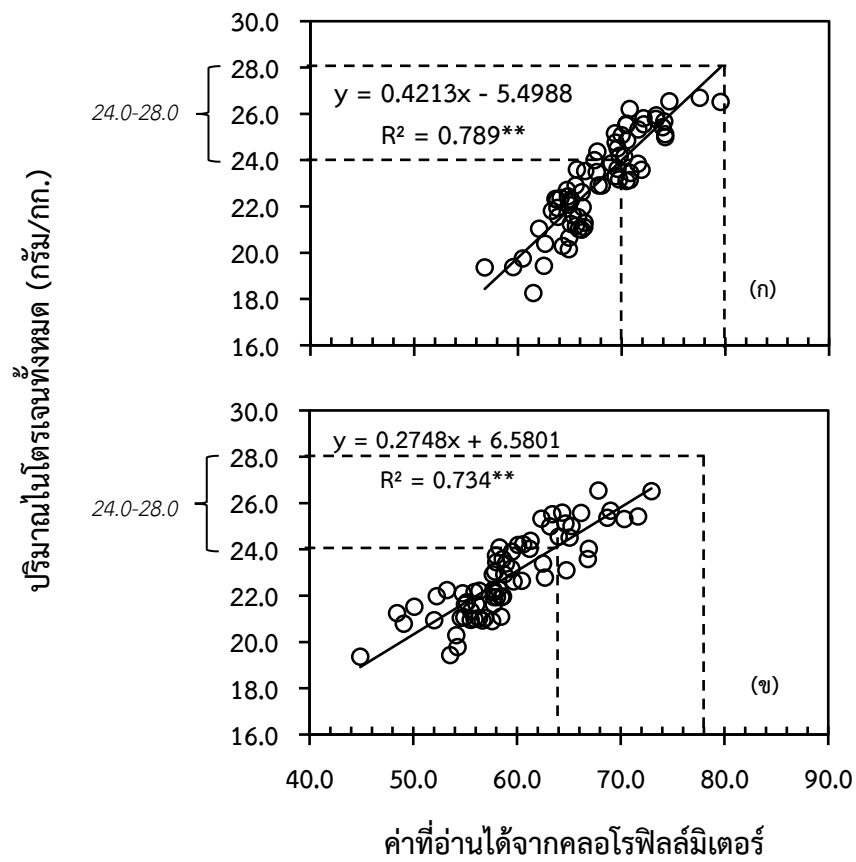
1) ระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน อายุ 16 เดือนที่ทำการศึกษา จะจัดอยู่ในกลุ่มปาล์มน้ำมันที่มีอายุน้อยกว่า 6 ปี โดยมีค่ามาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันที่อยู่ในระดับเหมาะสม คือ 26.0-29.0 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งค่ามาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนดังกล่าวจะสอดคล้องกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 41-45 และมีสมการความสัมพันธ์เส้นตรง คือ $y = 1.1428x - 33.011$ ($R^2 = 0.818^{**}$) (ภาพที่ 33ก) ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้ว่าค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 ที่อยู่ในช่วงระยะดังกล่าว ต้นกล้าปาล์มน้ำมันจะมีปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันอยู่ตามเกณฑ์ค่ามาตรฐานและเพียงพอต่อความต้องการของระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน แต่หากค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 สูงกว่าในช่วงระยะดังกล่าว คาดการณ์ว่าต้นกล้าปาล์มน้ำมันจะมีธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณสูงเกินความต้องการในทางกลับกัน ถ้าค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 มีค่าน้อยกว่าในช่วงระยะดังกล่าว คาดการณ์ว่าต้นกล้าปาล์มน้ำมันจะอยู่ในขั้นวิกฤตหรือขาดธาตุไนโตรเจน ซึ่งส่งผลให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เช่นเดียวกันกับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 จะอยู่ในช่วงระหว่าง 40-44 และมีสมการความสัมพันธ์เส้นตรง คือ $y = 1.1573x - 20.244$ ($R^2 = 0.820^{**}$) (ภาพที่ 33ข) ซึ่งค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM มีความแตกต่างกันเล็กน้อยกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 แต่มีช่วงระยะที่ใกล้เคียงกันกับทั้ง 2 ชนิดเครื่องมือ ดังนั้นค่าที่บ่งบอกถึงระดับที่เหมาะสมของธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันจากการวัดค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 จะอยู่ในช่วงระหว่าง 40-45 ซึ่งคาดการณ์ว่าเป็นช่วงที่ต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับปริมาณธาตุไนโตรเจนในระดับที่เหมาะสมตามความต้องการ

2) ระยะต้นเต็มวัยปาล์มน้ำมัน อายุ 7 ปีที่ทำการศึกษา จะจัดอยู่ในกลุ่มปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากกว่า 6 ปี มีค่ามาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันอยู่ในระดับที่เหมาะสม คือ 24.0-28.0 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) จากค่ามาตรฐานดังกล่าวจะสอดคล้องกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 70-80 และมีสมการความสัมพันธ์เส้นตรง คือ $y = 0.4213x - 5.4988$ ($R^2 = 0.789^{**}$) (ภาพที่ 34ก) และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 64-78 และมีสมการความสัมพันธ์เส้นตรง คือ $y = 0.2748x - 6.5801$ ($R^2 = 0.734^{**}$) (ภาพที่ 34ข) พบว่า ช่วงของค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 ดังกล่าวเป็นช่วงที่กว้างกว่าค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 เนื่องจากเครื่อง PSU-CM 1 มีความแม่นยำลดลงสำหรับการประเมินปริมาณไนโตรเจนในระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ซึ่งยืนยันได้จากผลการทดสอบของภาพที่ 32ข ที่ชี้ให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์

การตัดสินใจมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับผลการทดสอบจากเครื่อง SPAD-502 ของภาพที่ 30 ข ส่งผลให้ช่วงของค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 มีค่าต่ำลง และเกิดความคลาดเคลื่อนในการกำหนดช่วงระดับที่เหมาะสมของค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 ดังนั้นค่าที่อ่านได้จากเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีค่าในช่วงที่มีปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันที่เหมาะสม คือ 70-80 แต่ในส่วนของค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 จะต้องมีการปรับปรุงระบบการประมวลผลเพื่อให้มีความแม่นยำในการประมวลผลมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 33 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502(ก) และ PSU-CM 1 (ข) กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (n = 70)



ภาพที่ 34 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502(ก) และ PSU-CM 1 (ข) กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน (n = 70)

5. การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1

ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 (x) และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (y) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์สมการถดถอยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (ภาพที่ 35) พบว่า ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 กระจายตัวในช่วงที่กว้างทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน ดังนี้

1) ระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ทำการบันทึกผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 จำนวน 3 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.8761x + 6.7549$ ($R^2 = 0.972^{**}$) ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 23.7-58.8 และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 28.6-60.2 (ภาพที่ 35ก)

ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.7775x + 8.349$ ($R^2 = 0.936^{**}$) ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.2-60.3 และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.8-57.8 (ภาพที่ 35ข)

ครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.8763x + 6.1959$ ($R^2 = 0.928^{**}$) ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 23.1-60.3 และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 26.6-56.7 (ภาพที่ 35ค)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.801x + 8.7567$ ($R^2 = 0.921^{**}$) (ภาพที่ 36ก) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน

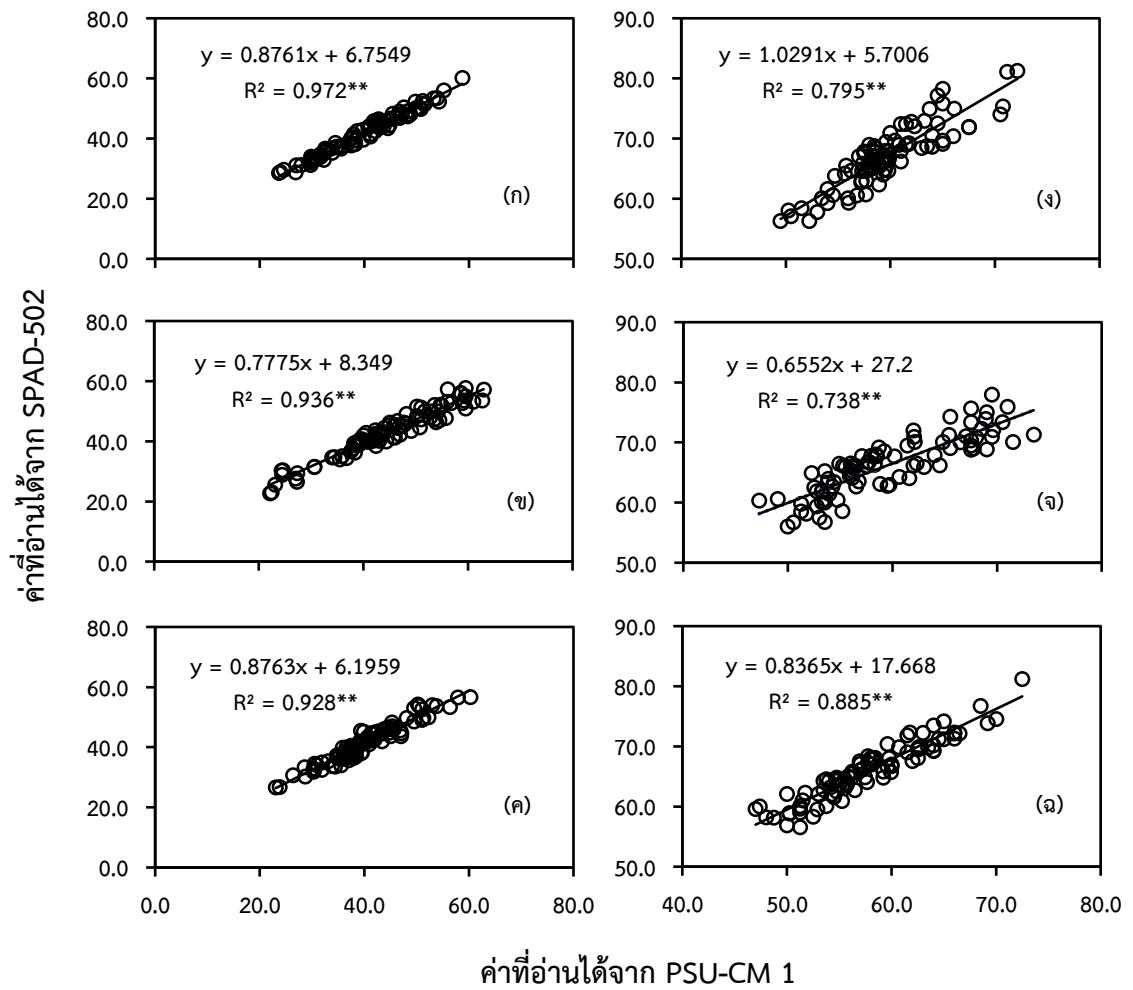
2) ระยะต้นเต็มวัยปาล์มน้ำมัน ทำการบันทึกผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 จำนวน 3 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 1.0291x + 5.7006$ ($R^2 = 0.795^{**}$) ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 49.5-72.2 และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.3-81.3 (ภาพที่ 35ง)

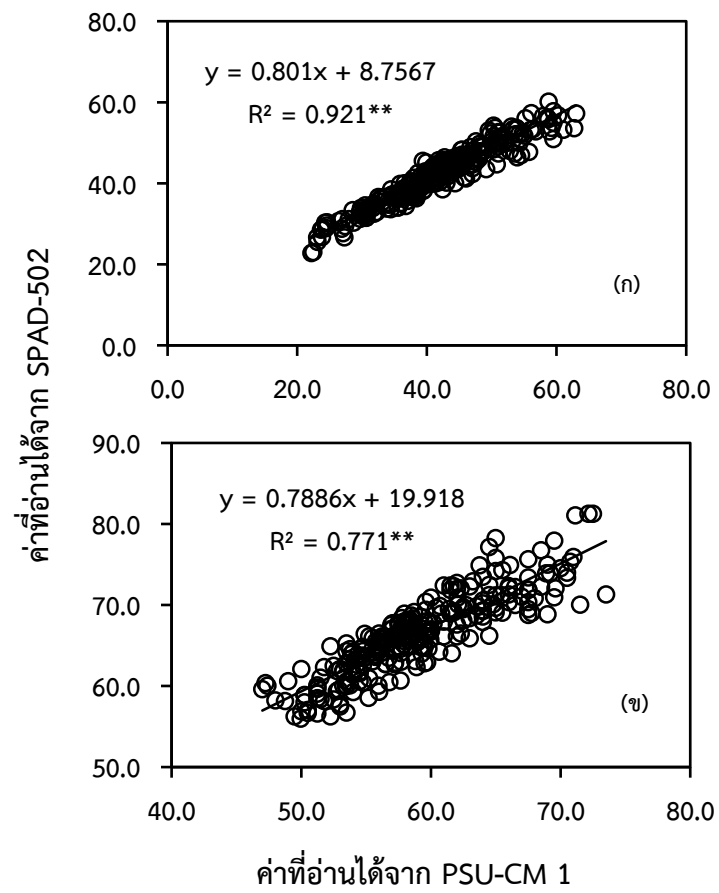
ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.6552x + 27.2$ ($R^2 = 0.738^{**}$) ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 47.3-73.5 และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.0-78.0 และ (ภาพที่ 35จ)

ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.8365x + 17.668$ ($R^2 = 0.885^{**}$) มีค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 47.0-72.5 และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.6-81.3 (ภาพที่ 35ฉ)

และเมื่อนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 ในระยะเวลา 3 เดือนรวมกัน จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.7886x + 19.918$ ($R^2 = 0.771^{**}$) (ภาพที่ 36ข) และพบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน



ภาพที่ 35 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 ในระยะต้นกล้า(ก-ค) ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และระยะต้นเต็มวัย (ง-ฉ) ระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2559 ของปาล์มน้ำมัน (n = 90)



ภาพที่ 36 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 รวมระยะเวลา 3 เดือน ในระยะต้นกล้า(ก) และระยะต้นเต็มวัย(ข) ของปาล์มน้ำมัน (n = 270)

บทที่ 4 วิจารณ์

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1

จากผลการศึกษาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบปาล์ม น้ำมันใน 2 ช่วงอายุของปาล์มน้ำมันกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 โดยใช้ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมัน ที่นำมาสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในห้องปฏิบัติการ จำนวน 90 ตัวอย่างต่อเนื่อง พบว่า สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม มีความสัมพันธ์กันอย่าง มีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน (ภาพที่ 17) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sim และคณะ (2015) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบปาล์มน้ำมันที่สกัดโดยใช้สารละลาย DMSO มีสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียลกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ($R^2 = 0.946$) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ของระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบพาวเวอร์ และในระยะเวลา 3 เดือนที่ทำการศึกษา พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 มีการกระจายตัวในช่วงกว้างระหว่าง 22.8-57.8 เช่นเดียวกับค่าของปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ที่กระจายตัวในช่วงกว้างระหว่าง 0.178-0.817 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 18ก) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ($R^2 = 0.872$) ส่วนระยะต้นเต็มวัยปาล์มน้ำมันมีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบโพลีโนเมียล และในระยะเวลา 3 เดือนที่ทำการศึกษา พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 มีการกระจายตัวในช่วงกว้างระหว่าง 54.6-81.3 เช่นเดียวกับค่าของปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ที่กระจายตัวในช่วงกว้างระหว่าง 0.537-1.163 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 18ข) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ค่อนข้างต่ำ ($R^2 = 0.610$) เนื่องจากในเดือนตุลาคม 2559 (ภาพที่ 17ฉ) มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลาย DMF มีปริมาณที่ต่ำลงจากเดือนก่อนหน้า ทำให้เมื่อนำปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ทั้ง 3 เดือนมารวมกัน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าต่ำลง เมื่อสังเกตปริมาณของคลอโรฟิลล์ จะเห็นได้ว่าใบปาล์มน้ำมันเมื่อมีอายุใบเพิ่มขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบจะมีปริมาณที่สูงขึ้นตามอายุของต้นปาล์มน้ำมัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Silla และคณะ (2010) ทำการศึกษาการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของ *Quercus* โดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ CCM-200 ทำการศึกษาในระยะอายุของใบที่แตกต่างกันประกอบด้วย ระยะใบอ่อน ระยะใบเพสลาด และระยะใบแก่ พบว่า ระยะใบแก่และระยะใบเพสลาดจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใกล้เคียงกัน และความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก CCM-200 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ใบ มีสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นตรงในทุกๆ ระยะอายุของใบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา Uddling และคณะ (2007) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของ มันฝรั่ง ข้าวสาลี และ Birch ในหน่วยต่อพื้นที่ใบ และต่อน้ำหนักสดของใบ มีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นตรงเช่นกัน ซึ่งมีการรายงานผลการศึกษาที่สอดคล้องกับการศึกษาข้างต้นของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวใบที่วัดด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 กับความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ในใบส้มโอพันธุ์ทองดี พบว่า ค่าความชันของเส้นกราฟที่เพิ่มมากขึ้น

เมื่อค่าความเคี้ยวใบที่วัดด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 มีค่ามากกว่า 50 แสดงให้เห็นว่าในช่วงดังกล่าวปริมาณคลอโรฟิลล์รวมที่สกัดได้มีความเข้มข้นมากขึ้น แต่ค่าความเคี้ยวใบที่วัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 จะเพิ่มขึ้นตามในสัดส่วนที่น้อยกว่า อาจเกิดจากการกระจายตัวของคลอโรฟิลล์ในแผ่นใบที่ไม่สม่ำเสมอ หรืออาจเกิดจากการกระเจิงของแสงหลายครั้งภายในแผ่นใบในขณะที่กำลังทำการวัดผล (สิริมาศ และคณะ, 2555; Uddling *et al.*, 2007) ซึ่งลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเคี้ยวใบที่วัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 กับปริมาณของคลอโรฟิลล์รวมแบบเส้นโค้งนี้ ยังมีการรายงานในพืชชนิดอื่นๆ ได้แก่ ถั่วเหลือง อ้อย มะม่วง มะนาว และส้มโอ (พูนพิภพ และคณะ, 2537) เพราะฉะนั้นในการศึกษาความสัมพันธ์ข้างต้นจะมีปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ได้จากการสกัดคลอโรฟิลล์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้มีความจำเพาะเจาะจงในแต่ละชนิดของพืช ผันแปรไปตามสภาพแวดล้อม ปริมาณธาตุอาหารที่ได้รับอายุใบ ความหนาของใบ และช่วงเวลาการเจริญเติบโตและพัฒนาการในรอบปีที่ทำการวัด (Altland *et al.*, 2003; Jifon *et al.*, 2005; Parry *et al.*, 2014; Xiong *et al.*, 2015)

จากผลการศึกษาของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือนทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน (ภาพที่ 19) สอดคล้องกับผลการศึกษาของสมการความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (ภาพที่ 17) ซึ่งในระยะต้นกล้า สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ($R^2 = 0.834$) (ภาพที่ 20ก) แต่ในระยะของต้นเต็มวัย สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ค่อนข้างต่ำ ($R^2 = 0.574$) (ภาพที่ 20ข) เนื่องจากเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 (ภาพที่ 19ฉ) มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันที่สกัดด้วยสารละลาย DMF มีปริมาณที่น้อยกว่าในเดือนสิงหาคมและกันยายน พ.ศ. 2559 (ภาพที่ 19ง และภาพที่ 19จ) ทำให้เมื่อนำข้อมูลจากระยะเวลา 3 เดือนที่ทำการศึกษารวมกัน และหาสมการความสัมพันธ์ส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำลง นอกจากนั้นในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูงกว่าเดือนสิงหาคมและกันยายน พ.ศ. 2559 เนื่องจากค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (ภาพที่ 35ฉ) เมื่อนำมาหาสมการความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าที่สูงกว่าเดือนสิงหาคมและกันยายน พ.ศ. 2559 เพราะว่าเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงประสิทธิภาพการวัดผลของเครื่อง PSU-CM 1 จะมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งแตกต่างกับเดือนสิงหาคมและกันยายน พ.ศ. 2559 ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่า ทำให้ระบบประมวลผลของเครื่อง PSU-CM 1 เกิดความคลาดเคลื่อนของการประมวลผลจากการวัดค่าความเคี้ยวของใบปาล์มน้ำมัน

สำหรับผลการศึกษาสมการของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในใบปาล์มน้ำมันทั้ง 2 ช่วงอายุของปาล์มน้ำมันกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 โดยใช้ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันที่นำมาสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในห้องปฏิบัติการ จำนวน 90 ตัวอย่างต่อเดือน พบว่า สมการความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีความสัมพันธ์กันอย่าง

มีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน (ภาพที่ 21) เช่นเดียวกับกับสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในใบปาล์มน้ำมันทั้ง 2 ช่วงอายุของปาล์มน้ำมันกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (ภาพที่ 25) ซึ่งมีลักษณะสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sim และคณะ (2015) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ในใบปาล์มน้ำมันที่สกัดโดยใช้สารละลาย DMSO มีสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง เท่ากับ 0.946 และ 0.849 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Azia และ Stewart (2001) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์ มิเตอร์ของใบแดงเทศมีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.840 และ 0.920 เมื่อเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่และน้ำหนักสดตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้มีลักษณะของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 พบว่า ความสัมพันธ์ในแต่ละเดือนและรวมกัน 3 เดือนของ 2 ช่วงอายุของปาล์มน้ำมันที่ทำการศึกษามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์รวมที่มีการศึกษาในข้างต้น และสำหรับผลการศึกษาของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี กับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 พบว่า มีรูปแบบของความสัมพันธ์ของ 2 ช่วงอายุของปาล์มน้ำมันที่ทำการศึกษามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์รวมที่มีการศึกษาในข้างต้นเช่นกัน

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1

จากผลการศึกษาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันใน 2 ช่วงอายุของปาล์มน้ำมันกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 โดยใช้ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันที่นำมาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในห้องปฏิบัติการ จำนวน 30 ตัวอย่างต่อเดือน พบว่า สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกเดือน (ภาพที่ 29) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sim และคณะ (2015) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันที่วิเคราะห์ด้วยวิธีการของเจลดาล มีสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ($R^2 = 0.825$) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Law และคณะ (2014) รายงานว่าในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 9 สายพันธุ์ที่ทำการศึกษากการตอบสนองต่อการงดให้ปุ๋ยไนโตรเจนและการฟื้นตัวหลังจากการให้ปุ๋ยไนโตรเจน มีสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ($R^2 = 0.734$) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ของระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และในระยะเวลา 3 เดือนที่ทำการศึกษา พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 มีการกระจายตัวในช่วงกว้างระหว่าง 25.1-55.8 เช่นเดียวกับค่าของปริมาณไนโตรเจนที่กระจายตัวในช่วงกว้างระหว่าง 12.8-52.2 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 30ก) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างต่ำ ($R^2 = 0.532$) ส่วนระยะต้นเต็มวัยปาล์มน้ำมันมีรูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และในระยะเวลา 3 เดือนที่ทำการศึกษา พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 มีการกระจายตัวในช่วงกว้าง

ระหว่าง 56.8-79.6 เช่นเดียวกับค่าของปริมาณไนโตรเจนที่กระจายตัวในช่วงกว้างระหว่าง 17.7-26.9 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 30ข) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างต่ำ ($R^2 = 0.609$) จะเห็นได้ว่าในระยะต้นกล้ามีระดับไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันที่สูงกว่าระยะต้นเต็มวัย เนื่องจากระยะต้นกล้าได้กำหนดอัตราการให้ปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับ คือ ไม่ให้ปุ๋ยไนโตรเจน ให้ปุ๋ยไนโตรเจนระดับปานกลางและระดับสูง ทำให้ระยะต้นกล้าได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่มากกว่า ซึ่งในระยะต้นเต็มวัยมีหลักการให้ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำของสถานวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน ระยะที่ 2 คณะทรัพยากรธรรมชาติ หากมีการให้แต่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีธาตุอาหารชนิดอื่นประกอบ อาจจะทำให้ธาตุอาหารในดินขาดความสมดุลได้ ดังนั้นในการศึกษาของระยะต้นเต็มวัยจึงยึดตามหลักการให้ปุ๋ยของสถานวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน ระยะที่ 2 คณะทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของต้นปาล์มน้ำมันในการเจริญเติบโตและไม่ให้ผลกระทบให้ผลผลิตหลายปาล์มน้ำมันด้วย และการศึกษาครั้งนี้มีความคล้ายคลึงกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับไนโตรเจนกับค่าความเขียวใบของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ ($R^2 = 0.530$) (สิริมาส และคณะ, 2555) ซึ่งอาจเป็นเพราะการวัดค่าความเขียวของใบด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 ซึ่งเป็นการประเมินไนโตรเจนที่มีความเกี่ยวข้องกับคลอโรฟิลล์ เนื่องจากไนโตรเจนในใบพืชบางส่วนอยู่ในรูปโปรตีนที่ละลายน้ำได้และไม่ทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสง (Evans, 1989) รวมถึงการใช้ตัวอย่างใบส้มโอที่มีอายุใบที่หลากหลาย ในแต่ละช่วงของการพัฒนาและเจริญเติบโต ซึ่งไนโตรเจนที่อยู่ในใบอาจสะสมในรูปไนเตรท และไม่ใช่องค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ (Loh *et al.*, 2002) นอกจากนี้ การเคลื่อนย้ายของไนโตรเจนระหว่างแหล่งสะสม (source) และแหล่งใช้ (sink) ในพืชยืนต้น รวมทั้งต้นส้มโอ (สิริมาส และคณะ, 2555) มีความซับซ้อนมากกว่าในพืชล้มลุก (Wood *et al.*, 1993) ขณะเดียวกันมีรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ต่างๆ พบว่า มีสมการความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน และสมการความสัมพันธ์ของส้มชนิดนั้นๆ จะยังผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมที่ได้รับต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้นๆ (Jifon *et al.*, 2005) นอกจากนี้ พบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวใบที่วัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 กับระดับไนโตรเจนในใบ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำในไม้ยืนต้นบางชนิด เช่น sweet gum ($R^2 = 0.370$), sycamore ($R^2 = 0.570$), green ash ($R^2 = 0.720$) และswamp cottonwood ($R^2 = 0.320$) ถึงแม้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวใบที่วัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 กับความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รวมในใบพืชทดสอบเหล่านี้จะมีค่าสูงมากก็ตาม (Chang and Robison, 2003) จึงอาจสรุปได้ว่าปัจจัยทางด้านพันธุกรรมของพืชชนิดนั้นๆ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนในใบของพืช และยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราต่างๆ รวมทั้งระยะเวลา จำนวนครั้งต่อการให้ปุ๋ยแก่พืชล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในใบของพืชทั้งสิ้น

นอกจากนี้ มีรายงานการศึกษาในพืชชนิดอื่นๆ เช่น การศึกษาในนาข้าว พบว่าค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 จะมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ใบ จำนวนใบ จำนวนกอของข้าว จากการประเมินปริมาณไนโตรเจนโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 พบว่า ต้นข้าวที่มีปริมาณไนโตรเจนในใบและยอดสูงจะส่งผลให้มีการแตกกอและออกดอกได้ดี (Ladha *et al.*, 1998) ต่อมาเมื่อมีการศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 ในข้าวโพด โดยกำหนดการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับที่ต่างกัน

และทำการประเมินไนโตรเจนด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 มีความสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้กับข้าวโพดในรูปแบบเส้นตรง โดยมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.810 (Chapman and Barreto, 1997) เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุภาณีและสายัณห์ (2545) ที่ศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 เพื่อประเมินปริมาณไนโตรเจนของใบลองกองและเงาะ พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 มีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทั้งในใบลองกองและเงาะ โดยมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.820 และ 0.790 ตามลำดับ

จากผลการศึกษาสามารถนำคลอโรฟิลล์มิเตอร์มาประเมินปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันได้เช่นเดียวกับที่ใช้กับพืชชนิดอื่น โดยประยุกต์ใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 และเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) เพื่อประเมินปริมาณไนโตรเจนในระดับที่เหมาะสมตามความต้องการของต้นปาล์มน้ำมันด้วยสมการความสัมพันธ์แบบเส้นตรง โดยอ้างอิงปริมาณไนโตรเจนระดับที่เหมาะสมตามค่ามาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนในทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 4) กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 พบว่า ในระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน มีค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 ที่แสดงระดับที่เหมาะสมของปริมาณไนโตรเจน อยู่ในช่วงระหว่าง 40-45 และในระยะต้นเต็มของปาล์มน้ำมัน มีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 ที่แสดงระดับที่เหมาะสมของปริมาณไนโตรเจน อยู่ในช่วงระหว่าง 70-80 แต่ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 64-78 เนื่องจากเครื่อง PSU-CM 1 มีความคลาดเคลื่อนของระบบประมวลผลทำให้มีความแม่นยำในการวัดลดลงตามผลการศึกษาข้างต้นของระยะต้นเต็มวัย ดังนั้นค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 ที่ใช้กำหนดระดับความเหมาะสมของธาตุไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน สามารถใช้คาดการณ์ปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันว่าอยู่ตามเกณฑ์ค่ามาตรฐานและเพียงพอต่อความต้องการ หรือเกินความต้องการ แม้กระทั่งการขาดปริมาณไนโตรเจนของต้นปาล์มน้ำมันได้ เพื่อเป็นการส่งเสริมการจัดการการให้ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยแก้ปัญหาการขาดธาตุไนโตรเจนก่อนที่ต้นปาล์มน้ำมันจะแสดงอาการออกมา จากผลการศึกษาที่รายงานในข้างต้นได้มีการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 เพื่อประเมินความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนของลองกอง ซึ่งจากการศึกษาของ บุญส่ง และจำเป็น (2545) พบว่า ความเข้มข้นไนโตรเจนใบลองกองในระยะต่างๆ ของการเจริญเติบโตมีความแตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 20.1–26.1 กรัมต่อกิโลกรัม และใบที่เหมาะสมสำหรับประเมินสถานะธาตุอาหารของลองกอง คือ ใบย่อยคู่กลางจากใบประกอบตำแหน่งที่ 2 จากใบที่มีอายุ 3-6 เดือน โดยนำคลอโรฟิลล์มิเตอร์วัดค่าความเขียวใบและผันกลับไปเป็นปริมาณไนโตรเจนด้วยสมการความสัมพันธ์ดังกล่าว เพื่อประเมินปริมาณไนโตรเจนในใบของลองกองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต รวมทั้งสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาประเมินไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในสภาวะความเครียดของลองกองได้ เช่น สภาวะเครียดน้ำที่มีการศึกษาโดย พรทิพย์ และสายัณห์ (2548) และมีการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 ในการประเมินระดับความเหมาะสมของไนโตรเจนในใบส้ม พบว่าระดับที่เหมาะสมของไนโตรเจน อยู่ในช่วงระหว่าง 2.4-2.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 70-76 (Menesatti *et al.*, 2012)

จากผลการศึกษาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันกับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 พบว่า สมการความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

ทุกเดือนทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน (ภาพที่ 31) เช่นเดียวกันกับสมการความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (ภาพที่ 29) ซึ่งในระยะต้นกล้า สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2 = 0.586$) (ภาพที่ 32ก) มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2 = 0.532$) ของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 (ภาพที่ 30ก) แต่ในระยะต้นเต็มวัย สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2 = 0.467$) (ภาพที่ 32ข) มีค่าต่ำกว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2 = 0.609$) (ภาพที่ 30ข) ของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 เนื่องจากค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 มีค่าน้อยกว่าค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 ทำให้เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 กับปริมาณไนโตรเจน พบว่า มีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ต่ำและทำให้การประเมินปริมาณไนโตรเจนมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น สังเกตได้ว่าในแต่ละเดือนจะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ต่ำ และเมื่อนำมารวมทั้งสามเดือนค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจะมีค่าที่ต่ำลงเช่นกัน

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1

จากผลการศึกษาการเปรียบเทียบสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 ซึ่งทำการศึกษาระยะต้นกล้าของปาล์มน้ำมัน โดยใช้การวิเคราะห์รูปแบบสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตรง ซึ่งระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่ทำการศึกษารวมระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.2-60.3 และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 22.8-60.2 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีค่าสูง เท่ากับ 0.921 (ภาพที่ 36ก) และในระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมันที่ทำการศึกษารวมระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 อยู่ในช่วงระหว่าง 47.0-73.5 และค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 อยู่ในช่วงระหว่าง 56.0-81.3 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.771 (ภาพที่ 36ข) ซึ่งในแต่ละเดือนของระยะต้นกล้า จะเห็นได้ว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก จึงทำให้รูปแบบของสมการความสัมพันธ์แบบเส้นตรงมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีค่าสูงเช่นกัน แต่ในระยะต้นเต็มวัยนั้นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 สูงที่สุด เนื่องจากในเดือนดังกล่าว เมื่อวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันด้วยเครื่องมือทั้ง 2 พบว่า ลักษณะสีของปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นสีเขียวอ่อนกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนก่อนหน้านั้น ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้ว่าค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้นั้น จะมีปริมาณน้อยกว่าในเดือนก่อนหน้านั้น จากผลการศึกษาพบว่า ระดับสีของใบปาล์มน้ำมันที่อ่อนลงจะแปรผันตามกับค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบที่มีปริมาณน้อยลงเช่นกัน ส่งผลทำให้เครื่อง PSU-CM 1 สามารถวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับการวัดด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 จึงทำให้เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูงสุด (ภาพที่ 35ฉ) และข้อสังเกตที่พบได้ คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 ในระยะต้นกล้าจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนในระยะต้นเต็มวัย ค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502

เนื่องจากเครื่อง PSU-CM 1 จะวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันได้สูงสุดไม่เกินค่าเท่ากับ 75 เมื่อใบปาล์มน้ำมันที่มีสีเขียวเข้มมาก ดังภาพที่ 16 แสดงสีของใบปาล์มน้ำมันที่มีความแตกต่างกันเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทั้ง 2 ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเขียวใบปาล์มน้ำมันที่วัดจากเครื่อง PSU-CM 1 มีค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่เป็นจริงเมื่อเปรียบเทียบกับการวัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 จึงทำให้เมื่อนำไปหาสมการความสัมพันธ์กับทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดใจมีค่าที่ต่ำ เนื่องจากในการออกแบบเครื่อง PSU-CM 1 ในครั้งนี้ได้ออกแบบให้แหล่งกำเนิดแสง (ภาพที่ 10 และภาพที่ 12) โดยใช้ค่าความเข้มแสงเดียวกันตลอดในการวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งการวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะของสีใบเข้มมาก (ลักษณะของสีใบเข้มมากที่วัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 โดยมีค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 มากกว่าค่าที่ 70) ซึ่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ส่งผ่านใบปาล์มน้ำมันไปยังตัววัดความเข้มแสง (ภาพที่ 10 และภาพที่ 12) โดยจะมีค่าแสงที่น้อยลง ทำให้ระบบประมวลผลกลางประมวลค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันมีค่าที่น้อยกว่าความค่าจริง จึงเกิดความคลาดเคลื่อนในการประมวลผลของเครื่อง PSU-CM 1 จึงมีแนวทางการปรับปรุงระบบการประมวลผลโดยกำหนดค่าความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงของเครื่อง PSU-CM 1 แบ่งเป็น 2 เงื่อนไข กำหนดให้ค่าความเขียวของใบที่น้อยกว่าค่าที่ 50 ใช้ค่าความเข้มแสงในค่าที่ปกติ ส่วนค่าความเขียวของใบที่มากกว่าค่าที่ 50 จะต้องใช้ค่าความเข้มแสงที่มีความเข้มแสงมากขึ้น เพื่อเป็นการแก้ปัญหาในการคำนวณปริมาณแสงให้เครื่อง PSU-CM 1 มีความแม่นยำในการวัดมากขึ้น ดังนั้นจะต้องมีการปรับปรุงระบบการประมวลผลของเครื่อง PSU-CM 1 ให้สามารถวัดค่าความเขียวของใบให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งเครื่อง PSU-CM 1 ได้มีการพัฒนาและออกแบบเพิ่มเติมขึ้นจาก สายณห์ และคณะ (2550) ที่ทำการพัฒนาต้นแบบเครื่องมือวัดคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบข้าวแบบประเมินผลเร็ว เพื่อใช้ประเมินการให้ปุ๋ยไนโตรเจนให้เหมาะสมแก่ข้าวในสภาพนาข้าว แต่ประสบกับปัญหาของเซ็นเซอร์ที่ทำการวัดค่าความเข้มแสงที่มีแสงจากภายนอกรบกวน ส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน จึงมีคำแนะนำในการพัฒนาเครื่องมือคือ ต้องมีการปกปิดส่วนของหัววัดเพื่อลดการรบกวนของแสงจากภายนอกและให้เครื่องมือมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการปรับปรุงในส่วนของเซ็นเซอร์แล้ว จึงทำให้ไม่มีปัญหาในส่วนของการรบกวนจากภายนอกเข้ามารบกวนตัววัดความเข้มแสงของเครื่อง PSU-CM 1

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาพัฒนาและออกแบบเครื่องมือให้มีความเหมาะสมในการประเมินไนโตรเจนมากขึ้นในสภาพปลูกพืช ตามรายงานของ Sumriddetchkajorn และ Intaravanne (2014) ได้พัฒนาและออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีประสิทธิภาพในสภาพนาข้าว โดยมีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 แต่จะใช้ช่วงความยาวคลื่นแสงที่ 562 นาโนเมตร เพียงหนึ่งช่วงความยาวคลื่นแสงในการประมวลผลและออกแบบให้มีหลอดแอลอีดี (LED) จำนวน 6 หลอด เพื่อใช้แสดงผลการวัดระดับสีของใบที่บ่งบอกปริมาณไนโตรเจนในใบข้าว และผลการทดลองของเครื่องมือมีความเหมาะสมกับใช้งานในสภาพนาข้าวได้ดี ต่อมามีการพัฒนาเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ให้มีประสิทธิภาพในการประเมินผลการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในพืช ประกอบด้วย อ้อย ถั่ว และขมิ้น โดยพัฒนาให้มีความจำเพาะเจาะจงในการประเมินสถานะของไนโตรเจนของพืช เพื่อให้มีความแม่นยำและเพียงพอต่อความต้องการของพืช

ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Maheswaran and Asokan, 2015) จากผลการศึกษาครั้งนี้และการรายงานผลการพัฒนาเครื่องมือข้างต้น เครื่อง PSU-CM 1 ที่ใช้ในการศึกษาการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันในครั้งนี้สามารถพัฒนาต่อยอดให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานได้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากต้นทุนในการผลิตโดยประมาณอยู่ที่ 20,000 บาทต่อเครื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือทางการค้า SPAD-502 ที่มีราคาต่อเครื่องอยู่ที่ 95,000 (ราคาในปี พ.ศ. 2558) ซึ่งเครื่อง PSU-CM 1 จะมีราคาที่ถูกลงกว่ามาก และในปัจจุบันที่มีเทคโนโลยีสามารถพัฒนาเครื่องมือให้มีความทันสมัย เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน และเป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรมีระบบการจัดการปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

บทที่ 5

สรุป

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบปาล์ม น้ำมันทั้ง 2 ช่วงอายุของปาล์มน้ำมันที่ทำการศึกษากับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 ดังนี้

1) ระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน มีสมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Chl_{total}) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งแสดงในรูปแบบพาวเวอร์ ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_{total} = 0.0015SPAD^{1.5256}$ ($R^2 = 0.872^{**}$) และ $Chl_{total} = 0.0047PSU^{1.2252}$ ($R^2 = 0.834^{**}$) สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl_a) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบพาวเวอร์ ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_a = 0.0007SPAD^{1.6363}$ ($R^2 = 0.867^{**}$) และ $Chl_a = 0.0026PSU^{1.3025}$ ($R^2 = 0.839^{**}$) สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl_b) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบพาวเวอร์ ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_b = 0.001SPAD^{1.3002}$ ($R^2 = 0.845^{**}$) และ $Chl_b = 0.0024PSU^{1.0564}$ ($R^2 = 0.810^{**}$) และสมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจน (N) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบเส้นตรง ตามลำดับ ดังนี้ $N = 1.4686SPAD - 31.685$ ($R^2 = 0.532^{**}$) และ $N = 1.1609PSU - 18.254$ ($R^2 = 0.586^{**}$)

2) ระยะต้นเต็มวัยปาล์มน้ำมัน มีสมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Chl_{total}) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบโพลีโนเมียล ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_{total} = 0.0003SPAD^2 - 0.0276SPAD + 1.083$ ($R^2 = 0.610^{**}$) และ $Chl_{total} = 4E-05PSU^2 + 0.0126PSU - 0.0924$ ($R^2 = 0.574^{**}$) สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl_a) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบโพลีโนเมียล ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_a = 0.0002SPAD^2 - 0.0167SPAD + 0.6887$ ($R^2 = 0.691^{**}$) และ $Chl_a = 1E-04PSU^2 + 0.0001PSU + 0.2425$ ($R^2 = 0.652^{**}$) สมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl_b) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบโพลีโนเมียล ตามลำดับ ดังนี้ $Chl_b = 9E-05SPAD^2 - 0.0065SPAD + 0.2501$ ($R^2 = 0.552^{**}$) และ $Chl_b = 4E-05PSU^2 - 0.0003PSU + 0.0686$ ($R^2 = 0.550^{**}$) และสมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจน (N) กับค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 และค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบเส้นตรง ตามลำดับ ดังนี้ $N = 0.3584SPAD - 1.0646$ ($R^2 = 0.609^{**}$) และ $N = 0.2314PSU + 9.1976$ ($R^2 = 0.467^{**}$) ซึ่งการใช้เครื่อง SPAD-502 และ PSU-CM 1 ประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนของระยะต้นกล้า พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละสมการ

ความสัมพันธ์ แต่ในระยะต้นเต็มวัย พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของเครื่อง PSU-CM 1 ต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของเครื่อง SPAD-502 ในทุกสมการความสัมพันธ์

จากผลการศึกษการเปรียบเทียบสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก SPAD-502 กับค่าที่อ่านได้จาก PSU-CM 1 เพื่อประเมินความแม่นยำของเครื่องมือทั้ง 2 ในการวัดค่าความเขียวของใบปาล์มน้ำมันของระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย โดยใช้สมการถดถอยของความสัมพันธ์ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งแสดงในรูปแบบเส้นตรง ตามลำดับ ดังนี้ $SPAD = 0.801PSU + 8.7567$ ($R^2 = 0.921^{**}$) และ $SPAD = 0.7886PSU + 19.918$ ($R^2 = 0.771^{**}$) ซึ่งผลของการเปรียบเทียบความแม่นยำของเครื่องมือทั้ง 2 พบว่า ในระยะต้นกล้าเครื่องมือทั้ง 2 มีความแม่นยำในการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนที่ใกล้เคียงกัน แต่ในระยะต้นเต็มวัย พบว่า เครื่อง PSU-CM 1 มีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทางการค้า (SPAD-502)

ดังนั้นในการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) มีความแม่นยำสูงในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ได้ทั้งในระยะต้นกล้าและต้นเต็มวัย สำหรับเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) มีความแม่นยำสูงในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ได้ในระยะต้นกล้า แต่ในระยะต้นเต็มวัยเครื่องต้นแบบคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (PSU-CM 1) มีความแม่นยำลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทางการค้า (SPAD-502)

เอกสารอ้างอิง

- กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน. 2556. เขตการใช้ที่ดินพืชเศรษฐกิจปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จำเป็น อ่อนทอง และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2557. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา: ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จำเป็น อ่อนทอง. 2556. การวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา: ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เฉลิมพล แซมเพชร. 2535. สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. เชียงใหม่: ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชัยรัตน์ นิลนนท์, ชีระพงศ์ จันทนิยม, ชีระ เอกสมทราเมษฐ์, ประกิจ ทองคำ และปราณี สุวรรณรัตน์. 2553. หลักสำคัญของการจัดการสวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. สงขลา: สถาบันวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- ชุตินา ยานสาร, ภาศจี คงศีล, สิริจันทร์ ชุ่มอินทรจักร, ขวัญชนก คลายทุกข์, วิมลศิริ สีหะวงษ์ และปิยะกิตติภาดา. 2558. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และพื้นที่ใบสำหรับผลผลิตหัวสดมันสำปะหลัง. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 53 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน 3-6 กุมภาพันธ์ 2558 หน้า 516-522.
- ชีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2554. การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- ชีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ชีระพงศ์ จันทนิยม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- บุญส่ง ไกรศรพรสรร และจำเป็น อ่อนทอง. 2545. ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบลองกองในระยะต่างๆ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 33: 253-263.
- พรทิพย์ แก้วคง และสายัณห์ สดุดี. 2548. การประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์รวมในใบลองกองภายใต้สภาวะเครียดน้ำโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์. วารสารสงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 27: 731-754.
- พูนพิภพ เกษมทรัพย์, พัชรียา บุญกอบแก้ว, เจษฎา ภัทรเลอพงษ์, เพ็ญ สายขุนทด และรวี เสธฐภักดี. 2537. การประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์จากความเขียวใบพืชบางชนิดในประเทศไทย. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 32 สาขาพืช ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน 3-5 กุมภาพันธ์ 2537 หน้า 114-129.
- มนต์สรวง เรื่องขนาบ, กฤษดา สังข์สิงห์, สุจินต์ แม้นเหมือน และระวี เจียรวิภา. 2553. การตอบสนองทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) ต่อสภาวะน้ำท่วมขัง. วารสารวิชาการเกษตร 28: 43-57.

- ยงยุทธ โอสภสสภ. 2546. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศรีนัตดา บำเพ็ญผล. 2554. การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบรับแสงภายใต้สภาพได้รับแสง สลับกับการพร่างแสงของผักโขม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2547. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สายัณห์ สดุดี, บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา และชูศักดิ์ ลิ้มสกุล. 2550. การพัฒนาต้นแบบเครื่องมือวัด คลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบข้าวแบบประเมินผลเร็ว.สงขลา: รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถานการณ์สินค้าที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2558. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- สิริมาศ วงศ์สุบรรณ, กฤษณา กฤษณพุกต์ และลพ ภาภูตานนท์. 2555. การใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ ประเมินระดับคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบส้มโอ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3: 40-50.
- สุดนัย เครือหาลี. 2556. ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม และการวิเคราะห์ ความเสถียรของลูกผสมปาล์มน้ำมันในสามสถานที่ ทางภาคใต้ของไทย. วิทยานิพนธ์ ปรัชญาดุสิตบัณฑิต สาขาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุทธิพันธ์ รัตนสิงห์, รวี เสฐฐิทธิ์ และอรวรรณ แก้วเนตร. 2547. การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณคลอโรฟิลล์และค่า SPAD ในใบของต้นตองุ่นพันธุ์ต่างๆ. วารสารวิทยาศาสตร์ เกษตร 35 (พิเศษ): 533-535.
- สุนทรี ยิ่งชัชวาล, จินตนา บางจัน และจิตฤทัย ชูมาก. 2543. ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบมะม่วง ภายใต้สภาพน้ำขัง. รายงานโครงการวิจัยวิธีการให้อากาศเพื่อกักชีวิตต้นมะม่วงที่ประสบ อุทกภัย ณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 31 กรกฎาคม 2543 หน้า 69-84.
- สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, คัทลียา ฉัตรเที่ยง, จิตฤทัย ชูมาก, ธาดา ชัยสีหา, สุทิน หิรัญอ่อน, จินตนา บางจัน, สุภาพร เรื่องวิทยาโชติ และภูริพงศ์ ดำรงวุฒิ. 2544. เส้นตอบสนองต่อแสง จุดชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าน้ำไหลของผิวใบสองด้านและปริมาณคลอโรฟิลล์ของ ใบส้มเขียวหวาน. รายงานโครงการพัฒนาวิชาการข้อมูลพื้นฐานทาง สรีรวิทยาของ ส้มเขียวหวาน ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 31 กรกฎาคม 2544 หน้า 82-96.
- สุภาณี ชนะวีรวรรณ และสายัณห์ สดุดี. 2545. การใช้เครื่องมือ SPAD-502 เพื่อประเมินปริมาณ คลอโรฟิลล์รวมและไนโตรเจนในใบของล่องกองและเงาะ. วารสารสงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 24: 9-14.
- Altland, J.E., Gilliam, C.H., Keever, G.J., Edwards, J.H., Sibley, J.L. and Fare, D.C. 2003. Rapid determination of nitrogen status in pansy. HortScience 38: 537-541.

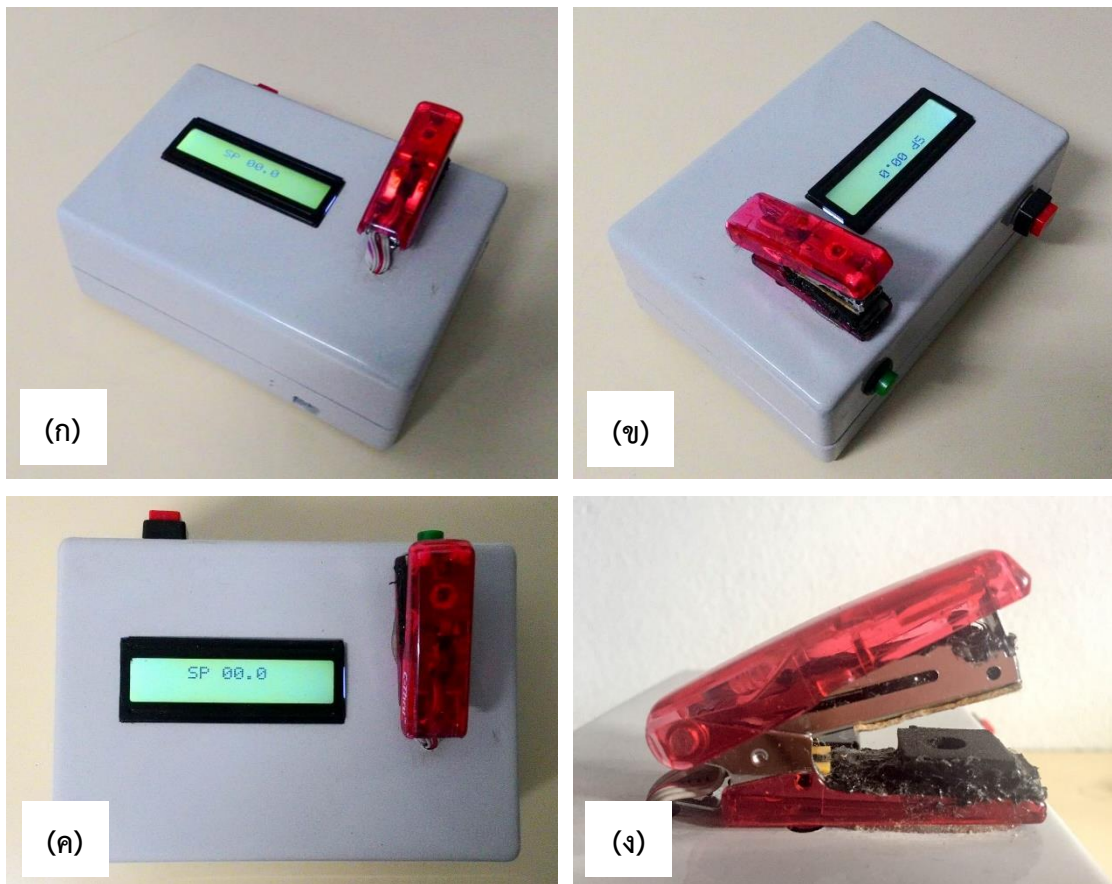
- Anonymous. 1986. Chlorophyll meter SPAD-502 instruction manual. Osaka: Minolta Co. Ltd.
- Azia, F. and Stewart, K.A. 2001. Relationships between extractable chlorophyll and SPAD values in muskmelon leaves. *Journal of Plant Nutrition* 24: 961-966.
- Cerovic, Z.G., Masdoumier, G., Ghazlen, N.B. and Latouche, G. 2012. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia Plantarum* 146: 251-260.
- Chang, S.X. and Robison, D.J. 2003. Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the SPAD-502 chlorophyll meter. *Forest Ecology and Management* 181: 331-338.
- Chapman, S.C. and Barreto, H.J. 1997. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy Journal* 89: 557-562.
- Corley, R.H.V. and Tinker, P.B. 2003. *The Oil Palm* 4th. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia* 78: 9-19.
- Fairhurst, T.H. and Mutert, E. 1999. Interpretation and management of oil palm leaf analysis data. *Batter Crop International* 13: 48-51.
- Gholizadeh, A., Amin, M.S.M, Anuar, A.R. and Aimrun, W. 2009. Evaluation of leaf total nitrogen content for nitrogen management in a Malaysian paddy field by using soil plant analysis development chlorophyll meter. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 4: 278-282.
- Hawkins, T.S., Gardiner, E.S. and Comer, G.S. 2009. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 reading for endangered plant species research. *Journal for Nature Conservation* 17: 123-127.
- Hiscox, J.D. and Israelstam, G.F. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57: 1332-1334.
- Jifon, J.L., Syvertsen, J.P. and Whaley, E. 2005. Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in *Citrus* sp. leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130:152-158.
- Ladha, J.K., Tirol-Padre, A., Punzalan, G.C., Castillo, E., Singh, U. and Reddy, C.K. 1998. Nondestructive estimation of shoot nitrogen in different rice genotypes. *Agronomy Journal* 90: 33-40.
- Law, C.C., Zaharah, A.R., Husni, M.H.A. and Akmar, A.S.N. 2014. Leaf nitrogen content in oil palm seeding and their relationship to SPAD chlorophyll meter reading. *Journal of Oil Palm, Environment and Health* 5: 8-17.

- Li, Y.C., Alva, A.K., Calvert, C.V. and Zhang, M. 1998. A rapid nondestructive technique to predict leaf nitrogen status of grapefruit tree with various nitrogen fertilization practices. *HortTechnology* 8: 81-86.
- Loh, F.C.W., Grabosky, J.C. and Bassuk, N.L. 2002. Using the SPAD 502 meter to assess chlorophyll and nitrogen content of Benjamin fig and cottonwood leaves. *HortScience* 12: 682-686.
- Maheswaran, S. and Asokan, R. 2015. Multi-crop chlorophyll meter system design for effective fertilization. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 9: 98-105.
- Mantele, W. and Deniz, E. 2017. UV-VIS absorption spectroscopy: Lambert-Beer reloaded. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 173: 965-968.
- Menesatti, P., Pallottino, F., Antonucci, F., Rocuzzo, G., Intrigliolo, F. and Costa, C. 2012. Non-destructive proximal sensing for early detection of citrus nutrient and water stress. *In Advances in Citrus Nutrition* (ed. A. K. Srivastava), pp. 113-123. New York: Springer.
- Moran, R. 1982. Formulae for determination of chlorophyll pigments extracted with *N,N*-Dimethylformamide. *Plant Physiology* 69: 1376-1381.
- Moran, R. and Porath, D. 1980. Chlorophyll determination in intact tissues using *N,N*-Dimethylformamide. *Plant Physiology* 65: 478-476.
- Munoz-Huerta, R.F., Guevara-Gonzalez, R.G., Contreras-Medina, L.M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J. and Ocampo-Velazquez, R.V. 2013. A review of methods for sensing the nitrogen status in plant: advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors* 13: 10823-10843.
- Murphy, D.J. 2009. Oil palm: future prospects for yield and quality improvements. *Lipid Technology* 21: 257-260.
- Neilsen, D., Hogue, E.J., Nielsen, G.H. and Parchomchuk, P. 1995. Using SPAD-502 values to assess the nitrogen status of apple tree. *HortScience* 30: 508-512.
- Netto, A.T., Campostrini, E., Oliveira, J.G. and Yamanishi, O.K. 2002. Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 14: 203-210.
- Netto, A.T., Campostrini, E., Oliverira, J.G. and Bressan-Smith, R.E. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 reading. *Scientia Horticulturae* 104: 199-209.

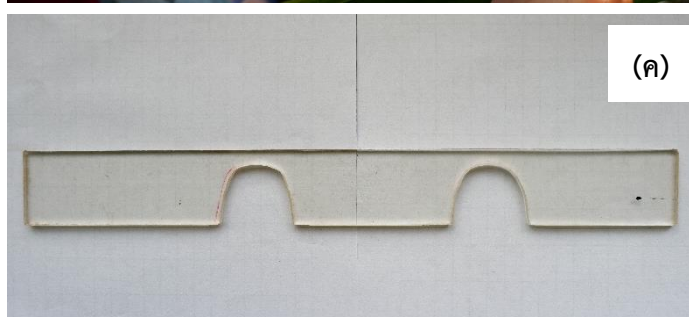
- Parry, C., Blonquist Jr, J.M. and Bugbee, B. 2014. *In situ* measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. *Plant, Cell and Environment* 37: 2508-2520.
- Patane, P. and Vibhute, A. 2014. Chlorophyll and nitrogen estimation techniques: a review. *International Journal of Engineering Research and Reviews* 2: 33-41.
- Rendana, M., Rahim, S.A., Lihan, T., Idris, W.M.R. and Rahman, Z.A. 2015. A review of methods for detecting nutrient stress of oil palm in Malaysia. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences* 5: 60-64.
- Rostami, M., Koocheki, A.R., Nasiri, M., Mahallati, M. and Kafi, M. 2008. Evaluation of chlorophyll meter (SPAD) data for prediction of nitrogen status in corn (*Zea mays*). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 3: 79-85.
- Saberioon, M.M., Amin, M.S.M., Gholizadeh, A. and Ezri, M.H. 2014. A review of optical methods for assessing nitrogen contents during rice growth. *Applied Engineering in Agriculture* 30: 657-669.
- Shi, Y. and Byrne, D.H. 1995. Tolerance off prunus rootstock to potassium carbonate-induced chlorosis. *Journal of American Society Horticultural Science* 120 : 283-285.
- Sibley, J.F., Eakes, D.J., Gilliam, C.H., Keever, G.L., Dozier, W.A. and Himelrick, D.G. 1996. Foliar SPAD-502 meter values, nitrogen levels and extractable chlorophyll for red maple selections. *HortScience* 31: 468-470.
- Silla, F., Gonzalez-Gil, A., Gonzalez-Molina, M.E., Mediavilla, S. and Escudero, A. 2010. Estimation of chlorophyll in *Quercus* leaves using a portable chlorophyll meter: effects of species and leaf age. *Annals of Forest Science* 67: 108p1-108p7.
- Sim, C.C., Zaharah, A.R., Tan, M.S. and Goh, K.J. 2015. Rapid determination of leaf chlorophyll concentration, photosynthesis activity and N K concentration of *Elaies guineensis* via correlated SPAD-502 chlorophyll index. *Asian Journal of Agricultural Research* 9: 132-138.
- Sumriddetchkajorn, S. and Intaravanne, Y. 2014. Single-wavelength based rice leaf color analyzer for nitrogen status estimation. *Optics and Lasers in Engineering* 53: 179-184.
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K. and Pleijel, H. 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research* 91: 37-46.

- van den Berg, A.K. and 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.
- Woittiez, L.S., van Wijk, M.T., Slingerland, M., van Noordwijk, M. and Giller, K.E. 2017. Yield gaps in oil palm: a quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy* 83: 57-77.
- Wood, C.W., Reeves, D.W. and Himelrick, D.G. 1993. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: A review. *Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand* 23: 1-9.
- Xiong, D., Chen, J., Yu, T., Gao, W., Ling, X., Li, Y., Peng, S., and Huang, J. 2015. SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. *Scientific Reports* 5: 1-12.
- Yang, W.H., Peng, S., Huang, J., Sanico, A.L., Buresh, R.J. and Witt, C. 2003. Using leaf color charts to estimate leaf nitrogen status of rice. *Agronomy Journal* 95: 212-217.

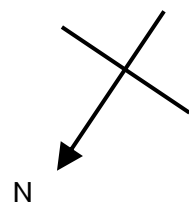
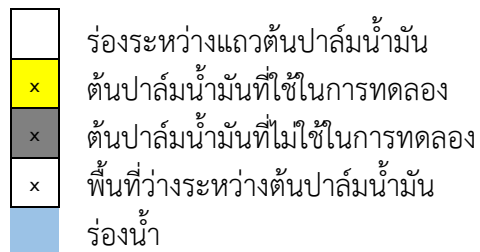
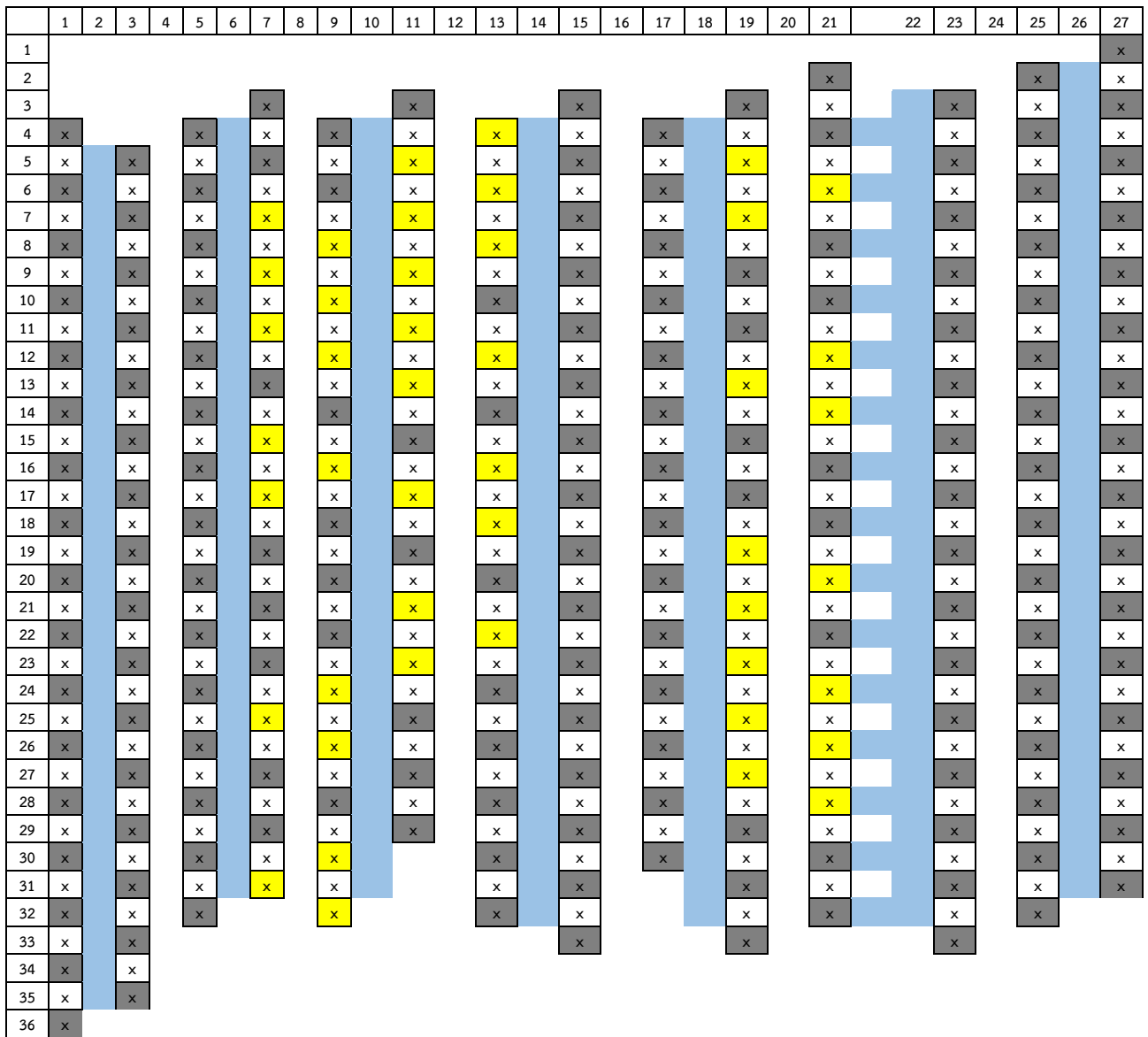
ภาคผนวก



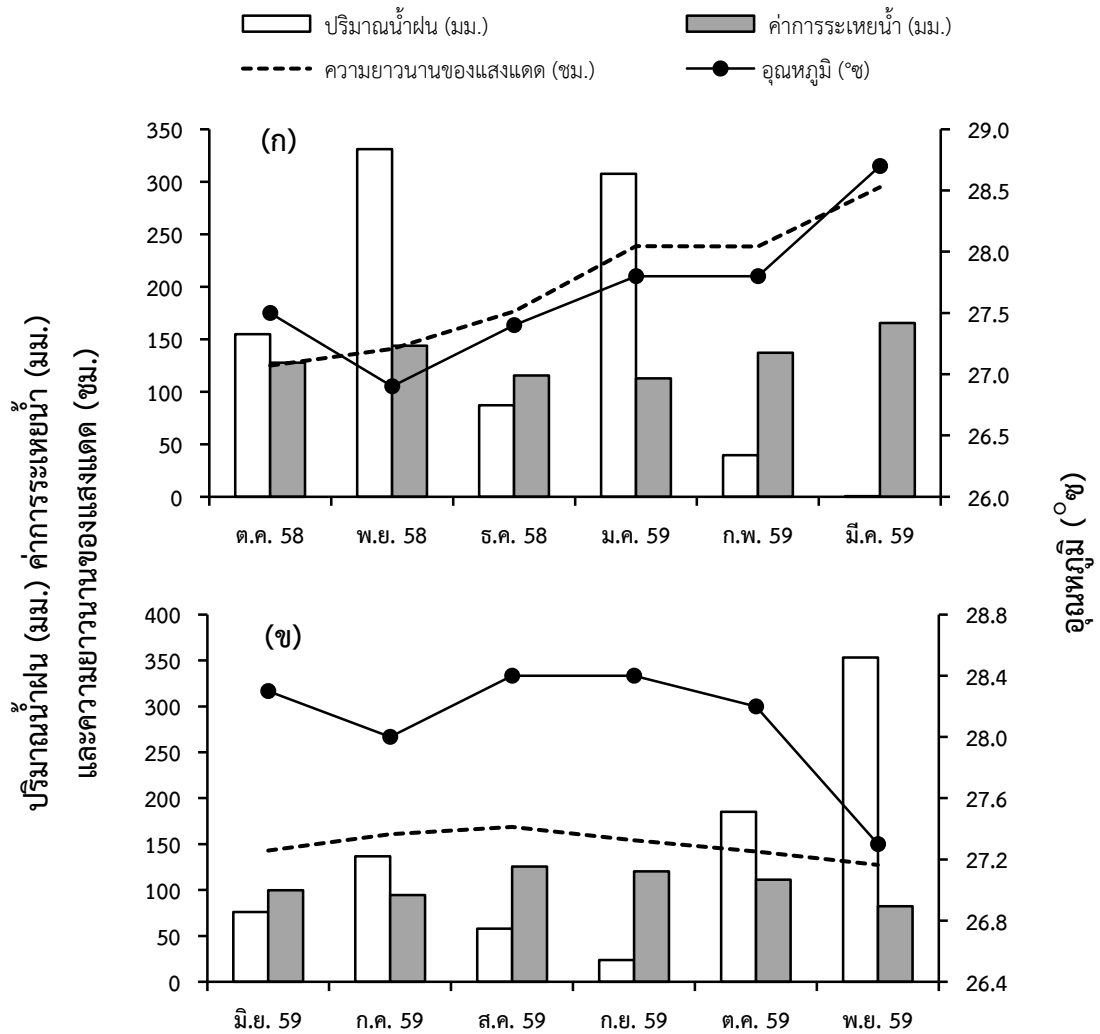
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 1 ลักษณะของ PSU-CM 1 ที่แสดงในมุมมอง ด้านหลัง(ก) ด้านข้าง(ข) ด้านบน(ค) และเซ็นเซอร์วัดความเคี้ยวของใบ(ง)



ภาพประกอบภาคผนวกที่ 2 การใช้ SPAD-502(ก) และ PSU-CM 1(ข) วัดความเขียวของใบปาล์ม น้ำมัน โดยมีแผ่นกำหนดระยะ(ค) เพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวัดมากขึ้น



ภาพประกอบภาคผนวกที่ 3 แผนผังแปลงปลูกปาล์มน้ำมันที่สถานีวิจัยและฝึกภาคสนามท่าเขียด คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลโคกสัก อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง



ภาพประกอบภาคผนวกที่ 4 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของตำบลคองหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
 (ก) ระหว่างปี 2558 - 2559 และตำบลโคกสีก อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง
 (ข) ของปี 2559

ตารางภาคผนวกที่ 1 สมบัติดินที่เหมาะสมเพื่อใช้เพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

| สมบัติดิน | ค่าที่เหมาะสม |
|--|---------------|
| ความเป็นกรด-ด่าง [pH (ดิน:น้ำ, 1:5)] | >4.5 |
| ปริมาณเนื้อดินทราย (%) | 30-60 |
| ปริมาณเนื้อดินเหนียว (%) | 25-45 |
| อินทรีย์วัตถุ (%) | 2-3 |
| ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) | 0.15-0.20 |
| ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray I, มก./กก.ดิน) | >25 |
| ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (เซนติโมล/กก.ดิน) | >0.2 |
| ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (เซนติโมล/กก.ดิน) | >0.4 |

ที่มา: Rankine และ Fairhurst (1998) อ้างโดย ชีระ (2554)

ตารางภาคผนวกที่ 2 สมบัติของดินที่ทำการทดลองในระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

| ตัวอย่างดิน | คุณสมบัติของดิน | หน่วย | ค่าวิเคราะห์ |
|----------------------|-------------------------|-------|---------------------|
| ชุดดินก่อนทำการทดลอง | ไนโตรเจนทั้งหมด | % | 0.08 |
| | ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ | mg/kg | 80.67 |
| | โพแทสเซียม | mg/kg | 35.93 |
| | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | - | 5.90 |
| | เนื้อดิน | - | ดินร่วนเหนียวปนทราย |
| พริตเมนต์ที่ 1 | ไนโตรเจนทั้งหมด | % | 0.06 |
| | ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ | mg/kg | 15.02 |
| | โพแทสเซียม | mg/kg | 36.05 |
| | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | - | 5.70 |
| | เนื้อดิน | - | ดินร่วนเหนียวปนทราย |
| พริตเมนต์ที่ 2 | ไนโตรเจนทั้งหมด | % | 0.17 |
| | ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ | mg/kg | 82.92 |
| | โพแทสเซียม | mg/kg | 108.02 |
| | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | - | 5.74 |
| | เนื้อดิน | - | ดินร่วนเหนียวปนทราย |
| พริตเมนต์ที่ 3 | ไนโตรเจนทั้งหมด | % | 0.52 |
| | ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ | mg/kg | 144.92 |
| | โพแทสเซียม | mg/kg | 153.00 |
| | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | - | 7.99 |
| | เนื้อดิน | - | ดินร่วนเหนียวปนทราย |

ตารางภาคผนวกที่ 3 สมบัติของดินที่ทำการทดลองในระยะต้นเต็มวัยของปาล์มน้ำมัน

| ระยะความลึกของดิน | คุณสมบัติของดิน | หน่วย | ค่าวิเคราะห์ |
|-------------------|---------------------------------|-------|---------------------|
| 0-15 ซม. | ไนโตรเจนทั้งหมด | % | 0.07 |
| | ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ | mg/kg | 8.46 |
| | โพแทสเซียม | mg/kg | 30.14 |
| | อินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอน | % | 1.18 |
| | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | - | 7.53 |
| | เนื้อดิน | - | ดินร่วนเหนียวปนทราย |
| 15-30 ซม. | ไนโตรเจนทั้งหมด | % | 0.05 |
| | ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ | mg/kg | 6.06 |
| | โพแทสเซียม | mg/kg | 13.70 |
| | อินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอน | % | 0.90 |
| | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | - | 6.34 |
| | เนื้อดิน | - | ดินร่วนเหนียวปนทราย |
| 30-45 ซม. | ไนโตรเจนทั้งหมด | % | 0.05 |
| | ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ | mg/kg | 11.81 |
| | โพแทสเซียม | mg/kg | 15.73 |
| | อินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอน | % | 0.83 |
| | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | - | 5.64 |
| | เนื้อดิน | - | ดินร่วนเหนียวปนทราย |

ประวัติผู้เขียน

| | | |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| ชื่อ สกุล | นายปิยวิชญ์ สวัสดิ์วงศ์ | |
| รหัสประจำตัวนักศึกษา | 5810620018 | |
| วุฒิการศึกษา | | |
| วุฒิ | ชื่อสถาบัน | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
| วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์) | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | 2558 |

ทุนการศึกษา

ทุนการศึกษาโครงการผลิตและพัฒนาบุคลากรภายใต้ความร่วมมือระหว่าง
มูลนิธิชัยพัฒนาและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ปิยวิชญ์ สวัสดิ์วงศ์, สายัณห์ สดุดี, ต่าย บัณฑิตศักดิ์ และบุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา. 2560. การออกแบบ
และพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเพื่อวัดไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันแบบ
ประเมินผลเร็ว. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9 ณ โรงแรม เคพี แกรนด์ จันทบุรี อำเภอเมือง จังหวัด
จันทบุรี 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 หน้า 598-601.

อนุสิทธิบัตร

สายัณห์ สดุดี, บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา, ปิยวิชญ์ สวัสดิ์วงศ์ และต่าย บัณฑิตศักดิ์. เครื่องวัดปริมาณ
ไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบพืชแบบพกพา. เลขที่คำขอ 1703001309. 19
มิถุนายน 2560.