รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาต้นแบบเครื่องมือวัดไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน แบบประเมินผลเร็ว

Development a Prototype of Equipment for Rapid Assessment of Nitrogen and Chlorophyll in Oil Palm Leaves

สายัณห์ สดุดี
บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการมหาวิทยาลัยแห่งชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2558 รหัสโครงการ NAT580579S

โครงการ การพัฒนาต้นแบบเครื่องมือวัดไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน แบบประเมินผลเร็ว

Development a Prototype of Equipment for Rapid Assessment of Nitrogen and Chlorophyll in Oil Palm Leaves

คณะนักวิจัย	สังกัด
รศ.ดร. สายัณห์ สดุดี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ. บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการมหาวิทยาลัยแห่งชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2558 รหัสโครงการ NAT580579S

1. ชื่อโครงการวิจัย

(ภาษาไทย) การพัฒนาต้นแบบเครื่องมือวัดไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันแบบประเมินผลเร็ว

(ภาษาอังกฤษ) Development a Prototype of Equipment for Rapid Assessment of Nitrogen and Chlorophyll in Oil Palm Leaves

2. คณะนักวิจัย และหน่วยงานต้นสังกัด

2.1 หัวหน้าโครงการวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. สายัณห์ สดุดี
ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
โทรศัพท์: (074) 286150 มือถือ: 081-8986405
Email: sayan.s@psu.ac.th

2.2 ผู้ร่วมวิจัย

รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อ หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
โทรศัพท์: (074) 287251 มือถือ: 081-5401765
Email: booncharoen.w@psu.ac.th

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการพัฒนาต้นแบบเครื่องมือวัดไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันแบบประเมินผลเร็ว งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปี 2558 โดยได้รับความร่วมมือจากภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โครงการดังกล่าวได้สำเร็จลงด้วยดีทุกประการ จึงขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้

รองศาสตราจารย์ ดร. สายัณห์ สดุดี
หัวหน้าโครงการวิจัยฯ

บทคัดย่อ

การพัฒนาต้นแบบเครื่องมือคลอโรฟิลล์มิเตอร์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว และพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตเครื่องมือในประเทศ รวมทั้งลดการนำเข้าเครื่องมือจากต่างปรเทศ ดำเนินการทดลองที่คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา โดยใช้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 อายุ 12 เดือน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ทรีตเมนต์ คือ ไม่ให้ปุ๋ยไนโตรเจน (T1) ให้ปุ๋ยไนโตรเจน อัตรา 40 กรัม/ต้น/เดือน (T2) และให้ปุ๋ยไนโตรเจน อัตรา 80 กรัม/ต้น/เดือน (T3) ประกอบด้วย 10 ซ้ำ เครื่องมือต้นแบบที่พัฒนาโดยประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดการดูดซับของแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตรที่ส่องผ่านใบปาล์มน้ำมัน รงควัตถุคลอโรฟิลล์สามารถดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว เปรียบเทียบกับคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทางการค้า (SPAD-502) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทางการค้าและอ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบกับปริมาณไนโตรเจน คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมที่ได้จากการวิเคราะห์ ทำการเก็บข้อมูลดังกล่าวเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณไนโตรเจน คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญในทุกเดือนที่ทำการทดลอง นอกจากนี้ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบกับปริมาณไนโตรเจน คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญในทุกเดือนที่ทำการทำลองเช่นกัน และความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทางการค้าและค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเช่นเดียวกัน ดังสมการ $Y = 1.18x - 7.91$, $R^2 = 0.95^{**}$ ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันได้โดยไม่ต้องทำลายใบพืชได้

คำสำคัญ: คลอโรฟิลล์ ไนโตรเจน ปาล์มน้ำมัน คลอโรฟิลล์มิเตอร์ เครื่องมือต้นแบบ

Abstract

The objective of the development of a prototype of chlorophyll meter was to rapidly evaluated nitrogen and chlorophyll in oil palm leaves and it was technological development of equipment production in Thailand leading to reduce of equipment import form overseas.Therefore, the experiment was conducted at Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla province. Twelve month of oil palm seedlings (cv. PSU 1) were used for the experiment. The experiment was as designed as a completely randomized design (CRD) with 3 treatments; T1: no nitrogen fertilizer application (control), T2: nitrogen fertilizer application of the rate of 40 g/plant/month, T3: nitrogen fertilizer application of the rate of 80 g/plant/month. There were ten replicates in each treatment. The prototype was developed using sensors to measure adsorption for the wavelengths of light between 400-700 nm that transmit oil palm leaves which can be absorbed by chlorophyll. The measurement of prototype was compared with the commercial chlorophyll meter (SPAD-502). The relationship between SPAD-reading and prototype-reading versus nitrogen content, chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll total form extraction, were conducted during 3 months (December 2015-February 2016). The results showed that the relationship between SPAD-reading and nitrogen content, chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll total were significant in each month. It was found that the relationship between prototype-reading and nitrogen content, chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll total were significant in each month. The relationship between SPAD-reading versus prototype-reading were significant. The model was expressed as $Y = 1.18x - 7.91$, $R^2 = 0.95^{**}$ which showed efficiency of prototype for the rapid assessment of nitrogen and chlorophyll in oil palm leaves

Keyword: chlorophyll, nitrogen, oil palm, chlorophyll meter, prototype

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	1
บทที่ 1 ตรวจเอกสาร	2
1. ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน	2
2. ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน	2
3. การประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน	4
4 ความสำคัญของธาตุอาหารไนโตรเจนที่มีต่อปาล์มน้ำมัน	5
5. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช	7
6. ความสำคัญของคลอโรฟิลล์ในใบพืช	8
7. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช	9
8. คลอโรฟิลล์มิเตอร์	10
9. หลักการทำงานของคลอโรฟิลล์มิเตอร์	11
10. การใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบพืช	12
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	15
1. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง	15
1.1 วิจัย และพัฒนาเครื่องต้นแบบ	15
1.2 การทดสอบการวัดผลกับต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่มีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนต่างกัน 3 ระดับ	15
2. การเก็บข้อมูล	16
2.1 ความอุดมสมบรูณ์ของดิน	16
2.2 ปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบ	16
3. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์	16
4. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	17
4.1 การย่อยโดยใช้กรดซัลฟิวริก	17
4.2 การกลั่น	18
4.3 การไทเทรต	18
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์	19

1. ผลและหลักการการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบ 19
1.1 หลักการพื้นฐานของตัวตรวจวัดของเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ 19
1.2 การออกแบบวงจรเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ 22
1.3 การออกแบบเซ็นเซอร์หลอด LED และ photo detector 23
2. ข้อมูลของดินที่ใช้ในการทดลอง 24
3. ผลการทดลองการใช้เครื่องมือประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 27
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ 28
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ 31
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ 34
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ 37
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ 40
4. วิจารณ์ผลการทดลอง 42
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ 42
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ 42
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง 44
เอกสารอ้างอิง 45

สารบัญตาราง

หน้า
ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันที่เก็บจากใบต่างๆ ซึ่งมีอายุแตกต่างกัน 5
ตารางที่ 2 สมบัติดินที่เหมาะสมเพื่อใช้เพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 25
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลอง 25
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังทำการทดลอง 26

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 รูปแบบของการขาดธาตุอาหารและความเป็นพิษที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในใบของการเจริญเติบโตและผลผลิตในปาล์มน้ำมัน 6
ภาพที่ 2 ความยาวคลื่นของแสงที่ดูดซับโดยคลอโรฟิลล์ชนิดที่แตกต่างกันในใบพืช 9
ภาพที่ 3 ตัวอย่างของคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ได้แก่ Leaf-clip sensors (a),SPAD-502 (b) และ CCM-200 (c) 11
ภาพที่ 4 ความเข้มของการส่องสว่างช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดง (Red) และแสงสีแดงไกล (Infrared) ที่คลอโรฟิลล์สามารถดูดซับได้ 12
ภาพที่ 5 ลักษณะการดูดซับแสงของคลอโรฟิลล์ของใบพืชต่างชนิดกัน 19
ภาพที่ 6 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องต้นแบบ 20
ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคลอโรฟิลล์กับค่าของ R index 21
ภาพที่ 8 วงจรไดอะแกรมของเซ็นเซอร์กำเนิดแสง 22
ภาพที่ 9 ต้นแบบโครงสร้างของหัวเซ็นเซอร์ 23
ภาพที่ 10 คลิปหัวเซ็นเซอร์ 23
ภาพที่ 11 แสดงในส่วนของ IR LED และ RED LED 24
ภาพที่ 12 แสดงให้เห็นในส่วนของ photo detector ที่วางไว้ด้านล่างสุด 24
ภาพที่ 13 การใช้เครื่องมือต้นแบบวัดข้อมูล (ก) เปรียบเทียบกับเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 (ข) ในการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน 27
ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 29
ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 29
ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 30
ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ-ต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 30
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 32

ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 32
ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 33
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 33
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 35
ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 35
ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 36
ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 36
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 38
ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 38
ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 39
ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 39
ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 41

ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์รวมระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 41

บทนำ

ปาล์มน้ำมัน (*Eleais guineensis* Jacq.) จัดว่าเป็นพืชน้ำมันชนิดเดียวของโลกที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่ปลูกสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น (ธีระ, 2554) โดยปี 2558 คาดว่าปาล์มน้ำมันของไทยจะมีเนื้อที่ให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันปี 2558-2559 มีเป้าหมายในการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันและปลูกทดแทนสวนปาล์มน้ำมันเก่าเพื่อรองรับความต้องการใช้เพื่อการบริโภคและพลังงานทดแทนที่มีความต้องการใช้เพิ่มขึ้น (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ปัจจัยที่สำคัญของการจัดการสวนปาล์มน้ำมันให้มีประสิทธิภาพและประสบผลสำเร็จ คือ การจัดการทางด้านปุ๋ย เนื่องจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละครั้งมีการสูญเสียธาตุอาหาร เพราะฉะนั้นการให้ปุ๋ยเพื่อทดแทนธาตุอาหารที่สูญเสียไปเพื่อให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพียงพอต่อความต้องการของปาล์มน้ำมันที่ใช้ด้านการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตอีกครั้ง (ธีระ, 2554; ธีระ และคณะ, 2548) โดยส่วนใหญ่ธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญมากต่อปาล์มน้ำมัน คือ ธาตุอาหารไนโตรเจน มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปพืชต้องการธาตุไนโตรเจนไปสร้างโปรตีนเพื่อความเจริญของลำต้น ใบและสร้างสีเขียวให้แก่พืช รวมทั้งเป็นส่วนประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ในพืช (เฉลิมพล, 2535) จากบทบาทความสำคัญของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันจึงเป็นตัวบ่งชี้สภาพความสมบรูณ์ของต้นปาล์มน้ำมันได้ จากความสำคัญของไนโตรเจนที่มีต่อพืช จึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่สามารถวัดปริมาณไนโตรเจนจากใบพืชในแปลงปลูก เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถประเมินผลได้ด้วยตัวเองอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะนอกจากจะช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดียังช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ด้วย ปัจจุบันมีเครื่องมือทางการค้าที่ใช้ในการวัดปริมาณไนโตรเจนในใบพืช คือ เครื่องมือ SPAD-502 ที่ใช้ในการประเมินไนโตรเจนในใบพืชหลายชนิดในต่างประเทศ เพื่อเป็นข้อมูลในการใส่ปุ๋ย ในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะมีการใช้ในประเทศไทย แต่ก็ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ และมีราคาค่อนข้างสูงสำหรับเกษตรกรไทย จากเหตุผลดังกล่าว ในปี 2550 ทางคณะผู้วิจัยได้มีการศึกษาเบื้องต้นในการพัฒนาต้นแบบที่ใช้กับการประเมินไนโตรเจนในใบข้าว ซึ่งมีแนวโน้มที่จะพัฒนาต่อไปให้มีการประสิทธิภาพสูงขึ้น และใช้ประเมินกับปาล์มน้ำมัน เพื่อให้เป็นเครื่องมือที่มีราคาถูกมีประสิทธิภาพสูงสามารถใช้ได้สะดวกในสภาพสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงผลผลิตและคุณภาพของปาล์มน้ำมันในอนาคต นับว่าเป็นการยกระดับการพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ได้เครื่องต้นแบบในการวัดคลอโรฟิลล์ในใบ เพื่อใช้ประเมินคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนของใบปาล์มน้ำมัน
2. เพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศให้ได้เครื่องมือที่เหมาะสมในการประเมินใบปาล์มน้ำมันที่ปลูกในประเทศไทย และเป็นการช่วยลดการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศด้วย

บทที่ 1
ตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น ใบเลี้ยงเดี่ยว มีการผสมพันธุ์แบบผสมข้ามต้น และสามารถให้ผลผลิตทะลายได้ตลอดปี โดยเริ่มให้ผลผลิตเมื่อปาล์มมีอายุได้ประมาณ 3 ปีหลังจากปลูก โดยเฉลี่ยแต่ละต้นควรจะให้ทะลายได้อย่างน้อย 1 ทะลาย/ต้น/เดือน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานมากกว่า 25 ปี ปาล์มน้ำมันมีชื่อสามัญว่าออยล์ปาล์ม (oil palm) และมีชื่อเรียกประจำถิ่นในประเทศต่างๆ เช่น กือลาปาซาวิท (มาเลเซียและอินโดนีเซีย) ปาล์มเมียร์อะวิล (ฝรั่งเศส) เอิลพาเมอ (เยอรมัน) อะบูราญาชิ (ญี่ปุ่น) จูงหลูว์โหยว หรือโหยวจง (จีน) เป็นต้น พันธุ์ปลูกของปาล์มน้ำมันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* jacq. ซึ่งตั้งชื่อโดย Jacquin ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน มีระบบรากแบบรากฝอย ลำต้นเดี่ยวสูงตั้งตรงและไม่ทอดนอน ลำต้นมีรูปร่างคล้ายทรงกระบอก โดยบริเวณโคนต้นมีขนาดใหญ่กว่า ส่วนบนมีปล้อง ใบเรียบแบนมีขนาดใหญ่เป็นแบบรูปขนนกมีหนามสั้นๆบนโคนก้านใบ ใบย่อยมีขนาดเล็กเรียวยาวและจัดเรียงในแนวสลับบน-ล่างติดกับแกนกลางใบ ของแต่ละด้าน โดยมีระยะระหว่างใบย่อยสม่ำเสมอ ช่อดอกเพศผู้และช่อดอกเพศเมีย เกิดบริเวณซอกใบ แยกกันอยู่บนต้นเดียวกัน ส่วนปาล์มน้ำมันชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นพันธุ์ปลูกที่นิยมปลูกเพื่อการค้าในปัจจุบันสามารถจำแนกออกได้ 3 แบบ คือ ดูรา เทเนอรา และฟิสิเฟอรา โดยอาศัยความแตกต่างของลักษณะความหนาของกะลา การปรากฏของจุดวงแหวนเส้นใยสีน้ำตาลบริเวณเนื้อปาล์ม รอบๆ กะลา และความหนาของเนื้อปาล์ม (ธีระ, 2554)

ปาล์มน้ำมันป่าอาจมีอายุถึง 200 ปี สำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกเป็นการค้าทั่วไปมีอายุที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าทางเศรษฐกิจประมาณ 20-30 ปี ในระยะต้นกล้าจะมีอายุระหว่าง 10-12 เดือน ปาล์มอ่อน (immature) มีอายุระหว่าง 24-30 เดือน ปาล์มน้ำมันที่สามารถให้ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3-10 ปี และผลผลิตจะค่อนข้างคงที่ในช่วง 10-15 ปี หลังจาก 15 ปีต่อมาผลผลิตจะลดลง (ชัยรัตน์ และคณะ, 2553)

2. ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน

ธีระ (2554); ธีระ และคณะ (2548) รายงานว่าปาล์มน้ำมันจะเริ่มให้ผลผลิตตั้งแต่อายุประมาณ 3 ปี เมื่ออายุมากขึ้นผลผลิตจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง หลังจากนั้นผลผลิตจะคงที่และรักษาระดับของผลผลิต จนกระทั่งปาล์มน้ำมันอายุมากผลผลิตจะค่อยๆ ลดลง ในการพิจารณาถึงความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน จึงมีความเกี่ยวข้องกับการจัดการสวนปาล์มน้ำมันเพื่อให้ประสบผลสำเร็จจะต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ อันได้แก่

สภาพภูมิประเทศ ควรจะเป็นพื้นที่ราบมีความลาดชันเพียงเล็กน้อย (ความลาดชันไม่ควรเกิน 20 %) เพื่อความสะดวกในการระบายน้ำ ในกรณีที่เป็นพื้นที่ราบหรือที่ลุ่มซึ่งมีการท่วมขัง

ของน้ำจำเป็นต้องมีการขุดร่องระบายน้ำ ส่วนพื้นที่มีความลาดชันมาก (มากกว่า 20%) ต้องมีการทำขั้นบันไดเพื่อลดการชะล้างของดินและเพื่อความสะดวกในการทำงาน

ลักษณะทางกายภาพของดิน ที่เหมาะสมต่อการปลูกปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ดินร่วน ดินร่วนปนเหนียว ดินร่วนปนทรายแป้ง ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินเหนียวปนทราย และมีความลึกของชั้นดินมากกว่า 100 เซนติเมตร เนื่องจากพื้นที่ปลูกที่มีหน้าดินตื้นจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากและการยึดตัวของรากที่ไม่แข็งแรง เมื่อเกิดมีกระแสลมพัดแรงจะทำให้ต้นล้มได้ง่ายมากขึ้น และในส่วนความลึก 100 เซนติเมตร จะต้องไม่มีชั้นดินกรดจัด (ชัยรัตน์ และคณะ, 2553)

การกระจายตัวของฝน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลในการจำกัดผลผลิตของปาล์มน้ำมันในพื้นที่ ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 2,000-2,500 มิลลิเมตร/ปี และการกระจายของน้ำฝนที่ดี จะต้องมีปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนมากกว่า 120 มิลลิเมตร การปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่มีปริมาณฝนมากมักมีส่วนช่วยให้ปริมาณผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสูงขึ้น ช่วยให้กระบวนการพัฒนาดอกตัวเมียและการติดผลมีเปอร์เซ็นต์สูง หากมีการสร้างตาดอกมากขึ้นจะทำให้ทะลายมีจำนวนมากขึ้นเช่นกัน โดยการตอบสนองของปาล์มน้ำมันต่อปริมาณน้ำฝนมักจะเห็นผลชัดเจนในประมาณ 19-22 เดือนต่อไป

อุณหภูมิ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการอุณหภูมิสูง อุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 29-33 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ระหว่าง 22-24 องศาเซลเซียส จัดเป็นช่วงอุณหภูมิปกติของเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อปาล์มน้ำมันน้อยกว่าอุณหภูมิที่ต่ำ แต่ในสภาพอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลต่อการคายน้ำของปาล์มน้ำมัน ซึ่งทำให้ปาล์มน้ำมันขาดน้ำ แต่ในทางกลับกันในสภาพอุณหภูมิต่ำจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเช่นกัน

ปริมาณแสง ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ไม่ไวต่อช่วงแสง ปริมาณแสงที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5-7 ชั่วโมง/วัน หรือ 16-17 เมกจูล/ตารางเมตร/วัน ตลอดทั้งปี มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน Hartley (1988) อ้างโดย ธีระ (2554) รายงานว่าจำนวนชั่วโมงแสงที่ปาล์มน้ำมันได้รับในรอบปีจะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับผลผลิตของปาล์มน้ำมันในอีก 28 เดือนข้างหน้า ดังนั้นปาล์มน้ำมันที่ได้รับแสงน้อยมักทำให้ผลผลิตทะลายและสัดส่วนเพศของปาล์มน้ำมันลดลงด้วย

ความเร็วลม ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ไม่ทนต่อลมที่พัดแรง ความเร็วลมที่เหมาะสมควรน้อยกว่า 15 เมตร/วินาที และมีระบบรากเป็นรากฝอยทำให้ไม่ทนทานต่อกระแสลงที่พัดแรงประกอบกับปาล์มมีทรงพุ่มใหญ่ทำให้ล้มได้ง่ายโดยเฉพาะการปลูกในพื้นที่พรุ นอกจากนั้นในพื้นที่ซึ่งมีลมแรงจะทำให้ใบปาล์มฉีกขาดหรือทางใบหัก เป็นผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง แต่ในสภาพที่ลมพัดโชยอ่อนๆและมีช่วงแสงแดงจัดจะช่วยเสริมให้ปาล์มน้ำมันมีการหายใจได้ดีขึ้น และเป็นการช่วยระบายความร้อนแก่ใบปาล์มด้วย

3. การประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชชนิดหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกพืชชนิดอื่นที่เจริญเติบโตรวดเร็วให้ผลผลิตสูง มีความต้องการธาตุอาหารสูง การปลูกสร้างสวนปาล์มน้ำมันจึงจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยในอัตราที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศมาเลเซียเป็นประเทศที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตตลอดจนถึงการผลิตทะลาย คือ ธาตุอาหาร (Rendana *et al*., 2015) ซึ่งอาจสูงถึง 8-10 กิโลกรัม/ต้น/ปี ในแต่ละปีจะมีทะลายปาล์มอาจสูงถึง 100-200 กิโลกรัม/ต้น ซึ่งการนำผลผลิตออกไปนั้นถือเป็นการสูญเสียธาตุอาหารในรูปต่างๆ และการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่ไม่เพียงพอจะทำให้ผลผลิตปาล์มลดลง และในทางตรงกันข้ามหากมีการใส่ปุ๋ยในปริมาณมากเกินไปก็จะทำให้เป็นการเพิ่มต้นทุนและปุ๋ยบางส่วนที่พืชนำไปใช้ไม่หมดอาจจะสูญเสียไป (ธีระ และคณะ, 2548) โดยทั่วไปแล้วเทคนิคที่ใช้ในการประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน สามารถทำได้โดยอาศัยประสบการณ์ในการสังเกตอาการขาดธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันแสดงออก ซึ่งจะเป็นการประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากอาการที่พืชแสดงออกมานั้นจะเกิดขึ้นหลังจากที่พืชขาดธาตุอาหารนั้นในขั้นรุนแรงและส่งผลต่อผลผลิตมีจำนวนลดลงแล้ว (ธีระ, 2554) ดังนั้นในปัจจุบันมีการใช้วิธีการวิเคราะห์ดินและใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันก่อนที่พืชจะแสดงอาการขาดธาตุอาหาร (กองส่งเสริมพืชไร่นา, 2541)

การวิเคราะห์ดิน มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบข้อมูลสมบัติของดินที่ปลูกปาล์มน้ำมัน โดยการทำการเก็บตัวอย่างดินส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ จะทำให้ได้ข้อมูลดินว่ามีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันหรือไม่ และสามารถใช้เป็นแนวทางนำไปสู่การตัดสินใจของเกษตรกรในการวางแผนเกี่ยวกับความอุดสมบูรณ์ของดินบริเวณดังกล่าวได้อย่างถูกต้องเหมาะสม (ธีระ, 2554)

การวิเคราะห์ใบ มีจุดประสงค์เพื่อทำให้ทราบถึงสถานภาพของธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน มีปริมาณธาตุอาหารในระดับที่ขาด เหมาะสม หรือมากเกินไป โดยการทำตัวอย่างใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน ได้มีการศึกษาจนได้ข้อสรุปแล้วว่าปริมาณธาตุอาหารในใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมันมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตทะลายและใบที่ 17 จะเป็นใบที่อยู่บริเวณกลางทรงพุ่ม จัดเป็นใบที่ไม่อ่อนหรือแก่เกินไป ผลการวิเคราะห์ใบใน ซึ่งจากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบที่มีอายุต่างกันจะให้ค่าปริมาณธาตุอาหารนั้นต่างกันด้วยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 (ธีระ, 2554)

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันที่เก็บจากใบต่างๆ ซึ่งมีอายุแตกต่างกัน

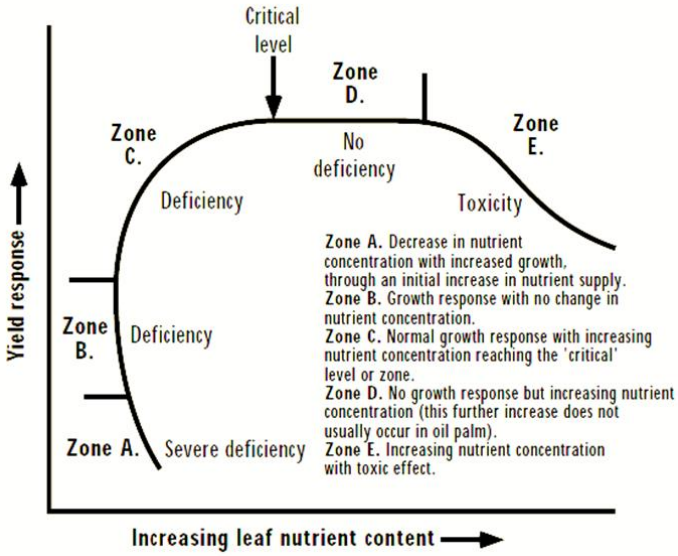
ใบที่	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)
1	-	-	1.80	0.30	0.60
3	2.90	0.20	1.60	0.35	0.50
9	2.70	0.16	1.25	0.30	0.50
17	2.50	0.15	0.90	0.25	0.60
21	2.10	0.14	0.70	0.20	0.60

ที่มา : ธีระ (2554)

4 ความสำคัญของธาตุอาหารไนโตรเจนที่มีต่อปาล์มน้ำมัน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน และเอนไซน์ที่เซลล์พืชสร้างขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการแบ่งเซลล์และเมแทบอลิซึมต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ เป็นต้น รวมทั้งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของวิตามินและอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) ซึ่งเป็นสารให้พลังงานสูงแก่เซลล์ (ธีระ, 2554) และไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่รากพืชสามารถดูดใช้ในรูปไนเทรตและแอมโมเนียมไอออน สำหรับยูเรียพืชจะสามารถดูดไปใช้ได้โดยตรง แต่สารชนิดนี้มีอยู่ในธรรมชาติน้อย พืชจึงดูดไปใช้ได้มากเฉพาะในกรณีที่ใส่ปุ๋ยยูเรียสังเคราะห์เท่านั้น ในพืชชั้นต่ำบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้เช่นกัน ซึ่งจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ที่มีบทบาทสำคัญในการเกษตร คือ ไรไซเบียม (Rhizobium) เนื่องจากสามารถตรึงไนโตรเจนได้เมื่ออยู่ร่วมกับรากพืชตระกูลถั่ว (ยงยุทธ, 2546) ในส่วนของปาล์มน้ำมันที่ได้รับธาตุไนโตรเจนในระดับที่เหมาะสมและเพียงพอ จะมีลักษณะใบมีสีเขียวเข้มและการเจริญทางลำต้นสูง แต่หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมากเกินไปเช่นกัน ซึ่งส่งผลให้ลำต้นอ่อนแอ มีความต้านทานโรคน้อยลงและถูกทำลายจากโรคและแมลงได้ง่าย (ธีระ, 2554)

จากการศึกษาของ Fairhurst และ Mutert (1999) ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันที่ส่งผลต่อผลผลิต และกำหนดรูปแบบการเพิ่มของปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันที่มีผลต่อการเจริญโตและผลผลิต (ภาพที่ 1) แบ่งออกเป็น 5 ช่วง (Zone) ซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละช่วงของการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารในใบ จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต แต่หากปริมาณธาตุอาหารในใบเพิ่มสูงจนเกินระดับวิกฤต (Critical level) จะส่งผลให้เป็นพิษของการเจริญเติบโตและผลผลิตได้



ภาพที่ 1 รูปแบบของการขาดธาตุอาหารและความเป็นพิษที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในใบของการเจริญเติบโตและผลผลิตในปาล์มน้ำมัน

ที่มา : Fairhurst และ Mutert (1999)

นอกจากนี้ในช่วงฤดูแล้งบริเวณโคนในใบปาล์มน้ำมันมีน้ำหนักมากจะเกิดการหักลง ทำให้ใบแก่มีลักษณะสีเหลืองซีดหรือสีเขียวอ่อน หลังจากนั้นปลายใบจะแห้ง ใบมีลักษณะแข็งและปราศจากความมัน อัตราการสร้างใบใหม่ลดลง ใบที่เกิดใหม่สั้นและมีขนาดเล็ก ถ้าขาดรุนแรงใบแก่จะมีสีเหลือง-เหลืองส้ม ดินที่มักขาดธาตุไนโตรเจน ได้แก่ ดินที่มีการระบายน้ำเลว ดินที่มีน้ำท่วมขัง ดินที่มีการชะล้างของหน้าดินสูง ดินทรายจัด และดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ (ธีระ, 2554) ทั้งนี้หากต้นปาล์มน้ำมันได้รับธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตทะลายปาล์มลดลง ซึ่งไนโตรเจนเป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่จำเป็นในปาล์มน้ำมันเนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานของกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นไนโตรเจนมักจะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบมาตรฐานของความเครียดของธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน (Law *et al.*, 2014) แต่ความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน ในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตจะมีความต้องการในระดับที่แตกต่าง จึงต้องมีการจัดการให้ปุ๋ยของปาล์มน้ำมันในแต่ละช่วงอย่างเหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการ เช่น ในระยะอนุบาลแรก (ช่วงอายุปาล์มสามเดือนแรก) จะมีการให้ปุ๋ยน้ำทางใบกับต้นกล้าปาล์มตามลักษณะอาการของต้นกล้าปาล์มที่เริ่มขาดธาตุอาหารนั้นๆ โดยทั่วไปหากดินที่ใช้เพาะต้นกล้ามีคุณสมบัติดี อาจไม่ต้องมีการให้ปุ๋ยน้ำทางใบ ต่อมาในระยะการอนุบาลหลัก (ตั้งแต่ปาล์มมีอายุสามเดือนขึ้นไป) การให้ปุ๋ยเม็ดผสมกับกล้าปาล์มน้ำมันมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ ปุ๋ยผสมที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ ปุ๋ยผสมชนิดที่ 1: 15-15-6-4 (N-P_2O_5-K_2O-MgO) และปุ๋ยผสมชนิดที่ 2: 12-12-17-2+TE (N-P_2O_5-K_2O-MgO+Trace elements) ปริมาณการใช้ปุ๋ยทั้งสองชนิดที่มีการแนะนำไว้ขึ้นอยู่กับอายุปาล์ม

5. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช

การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช (plant nutrient analysis) คือ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆของพืช โดยทั่วไปหมายถึงการวิเคราะห์ตัวอย่างพืชในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องมือต่างๆภายในห้องปฏิบัติการ เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในพืชมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (critical nutrient concentration) ทำให้สามารถระบุได้ว่าปริมาณธาตุอาหารของพืชอยู่ในระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพืชหรือไม่ (ศรีสม, 2544) ในการวิเคราะห์ธาตุอาหารของพืชถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดธาตุอาหารจากดิน ทำให้สามารถทราบว่า พืชสามารถดูดปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ลงไปในดินไปใช้ได้มากเพียงใด นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์พืชสามารถใช้ประเมินระดับความอุดมสมบรูณ์ของดินได้ (จำเป็น, 2556) เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในพืชจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในดินซึ่งที่พืชเจริญเติบโตอยู่ในขณะนั้น ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารในพืชจึงสามารถบ่งบอกถึงความอุดมสมบรูณ์ของดินที่ปลูกพืชได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกษตรกรสามารถคาดการณ์ได้ว่าพืชขาดธาตุอาหารอะไรหรือไม่ และสามารถประมาณปริมาณผลผลิตที่จะได้รับ ยิ่งไปกว่านั้นผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชยังสามารถนำมาใช้การแนะนำการใส่ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศรีสม, 2544) รวมทั้งสามารถใช้เป็นแนวทางไปสู่การตัดสินใจของเกษตรกรในการวางแผนเกี่ยวกับความอุดสมบรูณ์ของดินได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม (ธีระ และคณะ, 2548)

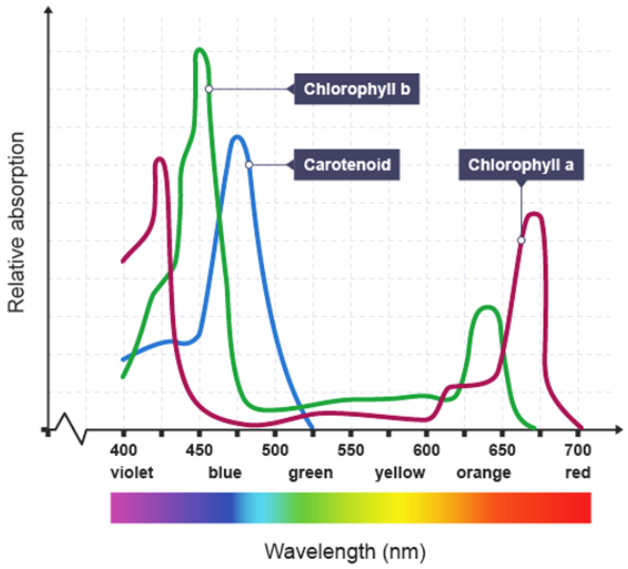
สำหรับในประเทศมาเลเซียมีการศึกษาวิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันหลากหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์โดยวิธีเจลดาล (Kjeldahl method) เป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลานานและเป็นวิธีที่ต้องทำลายตัวอย่าง จะต้องวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ส่วนการวิเคราะห์ที่ใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502) จะเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีวิธีการสำรวจจากระยะไกลซึ่งเป็นการใช้ภาพถ่ายทางอากาศ (hyperspectral sensors) ซึ่งมีปัจจัยทางด้านค่าใช้จ่ายที่สูงและต้องอาศัยสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการสำรวจ ส่วนการประเมินผลจะมีความแม่นยำสูง แต่ด้วยปัจจัยจำกัดทางด้านพื้นที่ของการศึกษาทั้ง 2 วิธีจะต้องมีพื้นที่ทำการศึกษาขนาดใหญ่ จากการศึกษา พบว่าเทคนิคการสำรวจระยะไกล จะมีศักยภาพสำหรับการใช้งานในด้านการวิเคราะห์ความต้องการทางธาตุของปาล์มน้ำมันในอนาคตอันใกล้ได้ (Rendana *et al.,* 2015)

ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชโดยวิธีเจลดาล (Kjeldahl method) เป็นวิธีการที่วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ในเนื้อเยื่อพืช ตัวอย่างพืชที่นำมาใช้วิเคราะห์ไนโตรเจนในพืชจะต้องย่อยตัวอย่างพืชให้อยู่ในรูปสารละลาย เพื่อทำให้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน และน้ำตาลอะมิโน เปลี่ยนเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น ไนเทรตไอออน (NO_3^-) ไนไทรต์ไอออน (NO_2^-) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) โดยทั่วไปการวิเคราะห์ไนโตรเจนจะใช้วิธีกลั่น โดยจะเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ให้เป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) และถูกจับด้วยสารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) ซึ่งมีอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator : methyl red และ bomocresol green) ผสมอยู่ด้วย เมื่อแก๊สแอมโมเนีย (หรือถูกควบแน่นเป็น NH_4OH) ลงไปจะทำให้สารละลายมีพีเอช (pH) สูงขึ้น และเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียว จากนั้นจึงนำไปไทเทรตด้วย

สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก จนเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงเหมือนตอนแรก แล้วจึงคำนวณหาปริมาตรไนโตรเจนในสารละลายตัวอย่าง (ศรีสม, 2544; จำเป็น, 2556; จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557) วิธีดังกล่าวจะที่ต้องทำในห้องปฏิบัติการ มีความยุ่งยาก หลายขั้นตอน ต้องใช้เวลานานและค่าใช้จ่ายสูง (Li *et al*., 1998) ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันของประเทศมาเลเซีย โดยทั่วไปจะใช้ทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน (ปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากกว่า 2.5 ปี) เพื่อเป็นดัชนีบ่งบอกถึงปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน ทางใบที่ 17 จะสามารถบ่งบอกปริมาณของธาตุอาหารที่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตของน้ำมันปาล์มได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทางใบอื่นๆ เช่น ทางใบที่ 9 และขึ้นอยู่กับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างและคุณสมบัติอื่นๆที่เหมือนกัน เช่น อายุของใบ ชนิดดิน และการระบายน้ำของดิน ภูมิประเทศ และเทคนิคที่นำมาใช้ควรหลีกเลี่ยงคำแนะนำที่ไม่ถูกต้อง (Rendana *et al*., 2015)

6. ความสำคัญของคลอโรฟิลล์ในใบพืช

ใบพืชที่มีสีเขียวจะสามารถสังเคราะห์แสงได้ประกอบด้วยส่วนประกอบทางชีวเคมีและรงควัตถุ ซึ่งมีหลายกลุ่ม แต่ละกลุ่มสามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงแตกต่างกัน (ศรีนัดดา, 2554) เรียกว่า คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ทำหน้าที่สำคัญในการดูดซับพลังงานจากแสงดวงอาทิตย์และกระตุ้นปฏิกิริยาแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบมากในพืชมีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ บี ซี และดี เป็นต้น แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงช่วงคลื่นต่างๆของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย ในส่วนของคลอโรฟิลล์ เอ สามารรถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวช่วงคลื่นซึ่งเป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาที่ 680 และ 700 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์ บี สามารถดูดแสงได้ดีในหลายความยาวคลื่น 480, 640 และ 650 นาโนเมตร (ภาพที่ 2) คลอโรฟิลล์แต่ละชนิดมีโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ทำหน้าที่ดูดพลังงานแสง โดยคลอโรฟิลล์อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนหาง ส่วนหัวมีโครงสร้างเป็นวงแหวนไพรอล (pyrole ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วง และมีธาตุแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เป็นศูนย์กลาง และส่วนหางเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบช่วยยึดรงควัตถุกับระบบแสง (Patane and Vibhute, 2014)



ภาพที่ 2 ความยาวคลื่นของแสงที่ดูดซับโดยคลอโรฟิลล์ชนิดที่แตกต่างกันในใบพืช
ที่มา : Patane และ Vibhute (2014)

ดังนั้นธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ และโดยทั่วไปปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับไนโตรเจนในใบและความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืช (สิริมาส และคณะ, 2555) และพืชจะมีการสร้างคลอโรฟิลล์ในปริมาณเท่าที่จำเป็นต้องใช้ สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีถึงสภาวะการขาดไนโตรเจน และธาตุอาหารที่เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (สุนทรี และคณะ, 2544) เช่นเดียวกับการขาดธาตุอาหารมีผลต่อการสังเคราะห์แสงทั้งทางตรงและทางอ้อม แมกนีเซียมและไนโตรเจน เป็นธาตุที่สำคัญในองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ การขาดสารเหล่านี้มีผลทำให้พืชเกิดอาการใบเหลืองซีด เรียกว่า คลอโรซิส (chlorosis) เนื่องจากใบขาดคลอโรฟิลล์ (ยงยุทธ, 2543)

7. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช

ในอดีตการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชมักเริ่มจากการบดตัวอย่างใบ และสกัดคลอโรฟิลล์ (พูนพิภพ และคณะ, 2537) โดยทั่วไปจะใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น อะซีโตน (acetone) เมธานอล (methanol) เอธานอล (ethanol) ไพริดีน (pyridine) หรืออะซีโตนผสมกับเอธิลอะซีเตท (ethyl acetate) เป็นสารสกัด (Vernon and Seely, 1966 อ้างโดย วิรัตน์, 2541) จนกระทั่งเมื่อ Hiscox และ Israelstam (1979) ได้เสนอวิธีการสกัดคลอโรฟิลล์จากเนื้อเยื่อพืช โดยใช้สารไดเมทิลซัลโฟไซด์ (Dimethyl sulfoxide; DMSO) ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วโดยไม่ต้องบดตัวอย่าง โดยการเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่างพืชนั้นถึง 65 องศาเซลเซียส ต่อมา Moran และ Porath (1980) ได้รายงานการใช้ *N,N*-dimethylformamide (DMF) เป็นสารทำละลาย ซึ่งสามารถสกัดคลอโรฟิลล์จากตัวอย่างพืชได้โดยไม่ต้องบดตัวอย่างเช่นกัน ต่อมา Moran (1982) ได้เสนอสูตรคำนวณ

คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์รวม พร้อมทั้งวิธีการสกัดคลอโรฟิลล์ด้วย DMF เป็นสารทำละลาย

สิริมาส และคณะ (2555) ได้ใช้วิธีการสกัดคลอโรฟิลล์โดยเก็บตัวอย่างใบจากต้นส้มโอ นำมาเจาะด้วย cork borer ตรงตำแหน่งที่ใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์วัดค่าความเขียวใบ ได้เป็นชิ้นส่วนแผ่นใบวงกลม (leaf disc) ซึ่งมีพื้นที่ 0.82 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักสด ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำ leaf disc ใส่หลอดแก้วที่เติมสารละลาย DMF ความเข้มข้น 99.8 % ปริมาตร 4 มล.ปิดฝาให้สนิทแล้วเก็บไว้ในที่มืดทันทีเป็นเวลา 5 วัน เพื่อสกัดคลอโรฟิลล์และป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ถูกทำลาย นำสารละลายสีเขียวใสที่สกัดได้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 647 และ 664 นาโมเมตร โดยใช้สารละลาย DMF เป็น blank นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบจากสมการที่เสนอโดย Moran (1982) แสดงผลความเป็นความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบ (มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร) และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยน้ำหนักสด (มิลลิกรัม/น้ำหนักสด)

การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ในวิธีที่นี้อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับชนิดของใบพืช พื้นที่ของใบอาจจะการเปลี่ยนแปลงโดยใช้พื้นที่ใบในช่วงของ 0.8-10 ตารางเซนติเมตร ส่วนปริมาตรการใช้สาร DMF ขึ้นอยู่ขนาดของพื้นที่ใบที่โดยจะมีปริมาตรที่ใช้อยู่ในช่วง 3-5 มิลลิตร (มนต์สรวง และคณะ, 2553; ชุติมา และคณะ, 2558)

จากการทดลองพบว่า มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการปฏิบัติการสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในที่มืดเพราะแสงจะทำลายคลอโรฟิลล์ เมื่อเก็บสารละลายที่ได้จากการสกัดคลอโรฟิลล์ด้วย DMF ในที่มืด สามารถเก็บได้นานถึงประมาณ 42 ชั่วโมง โดยที่ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเก็บในสภาพห้องทดลองจะเก็บได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เพราะหลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อสารละลายได้รับแสงอย่างเต็มที่โดยวางไว้กลางแดดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายจะลดลงเหลือน้อยกว่า 5% ของค่าเริ่มต้นภายในเวลาเพียง 6 ชั่วโมง (พูนพิภพ และคณะ, 2537)

8. คลอโรฟิลล์มิเตอร์

คลอโรฟิลล์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในพืช มีลักษณะขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้งานได้ง่าย รวดเร็วและเป็นวิธีการที่ไม่ต้องทำลายใบพืช (Anonymous, 1986; Saberioon *et al*., 2014; Chang and Robison, 2003; Netto *et al.,* 2005; Uchino *et al*., 2013) เครื่องมือชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นในญี่ปุ่น เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนของข้าว (Chubachi *et al*., 1986 อ้างโดย Chang and Robison, 2003) ต่อมาได้มีการศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในพืชหลายชนิดด้วยกัน เช่น ข้าว (Yang *et al*., 2003; Gholizadeh *et al*., 2009) ข้าวฟ่างหวาน (Uchino *et al*., 2013) ข้าวโพด (Rostami *et al*., 2008) องุ่น (Brunetto *et al*., 2012) กาแฟ (Netto *et al*., 2005) ปาล์มน้ำมัน (Law *et al*., 2014; Sim *et al*., 2015) เงาะและ

ลองกอง (สุภาณี และสายัณห์, 2545) ส้มโอ (สิริมาส และคณะ, 2555) เป็นต้น ข้อดีของคลอโรฟิลล์มิเตอร์สามารถให้ผลการประเมินได้รวดเร็วกว่าการวิเคราะห์เนื้อเยื่อพืช และประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ผลในรูปแบบเก่า ที่จะต้องวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่ละตัวอย่างสามารถทำได้หลายซ้ำ สามารถวัดได้หลายเวลา (Saberioon *et al.,* 2014) แต่คลอโรฟิลล์มิเตอร์มีข้อจำกัดเช่นกัน ทางด้านสภาพอากาศก็จะมีผลต่อการวัด ไม่สามารถวัดได้ในช่วงที่พืชอยู่ในระยะแรกของการเจริญเติบโต หรือไม่มีความเครียด และชนิดของคลอโรฟิลล์มิเตอร์ มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความต้องการการใช้งานของผู้ใช้งาน (ภาพที่ 3) ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน Minolta chlorophyll meter: SPAD-502 (Rendana *et al*., 2015) ดังนั้นคลอโรฟิลล์มิเตอร์จึงนำมาประยุกต์ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนในพืช เพื่อจัดการในความต้องการของไนโตรเจนของพืชในแปลงปลูกได้ และลดอันตรายจากการให้ปุ๋ยแก่พืชมากหรือน้อยเกินไปเพื่อตอบสนองความต้องการของพืชแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน

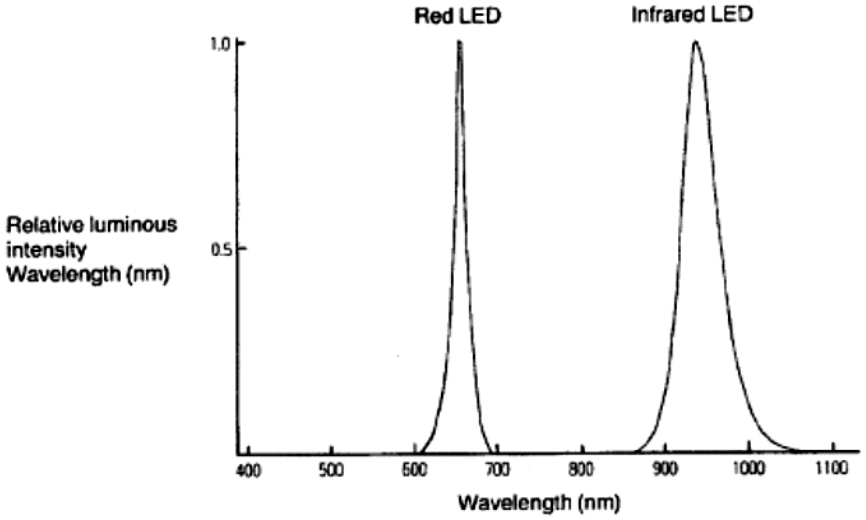
ภาพที่ 3 ตัวอย่างของคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ได้แก่ Leaf-clip sensors (a),SPAD-502 (b) และ CCM-200 (c)

ที่มา : Saberioon และคณะ (2014)

9. หลักการทำงานของคลอโรฟิลล์มิเตอร์

เมื่อนำคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD 502 Minolta Co., Ltd., Japan) ไปวัดปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบพืช ค่าที่สามารถอ่านได้จากการวัดด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์จะมีความสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช โดยค่าจะถูกคำนวณจากปริมาณแสงที่ส่องผ่านใบพืช ใน 2 ช่วงความยาวคลื่นแสงที่คลอโรฟิลล์สามารถดูดซับได้ในช่วงแสงที่แตกต่างกัน คือ ช่วงแสงสีแดง (Red) มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร และช่วงแสงสีแดงไกล (Infared) มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร (ภาพที่ 4) LEDs (light-emitting diodes) ซึ่งเป็นตัวให้แสงจะถูกสร้างขึ้นภายในหัววัดของคลอโรฟิลล์ทั้ง 2 ด้านคือ Emitting window และ Receiving window เมื่อทำการวัดแสงจะถูกปล่อยออกมาจาก Emitting window ผ่านตัวอย่างใบพืชเข้าสู่ Receiving window เมื่อทำการวัด LEDs ซึ่งเป็นตัวให้

แสงที่อยู่ในระบบให้แสง (Illuminating system) จะปล่อยแสงสีแดงและแสงสีแดงไกลออกมา แสงจะส่องผ่านตัวอย่างไปใบพืชไปชนกับตัวรับแสง (Receptors) จากนั้นจะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณอัตโนมัติ โดยตัวแปลงสัญญาณ (Amplifier และ A/D converter) แล้วส่งสัญญาณต่อไปยัง Microprocessor ซึ่งจะแปลงสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง แล้วแสดงผลค่าที่ได้จากการวัดออกมาที่จอแสดงผล (display) และเก็บไว้ในหน่วยความจำข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำสามารถเรียกดู และลบออกได้ตามความต้องการของผู้ใช้ (Saberioon *et al*., 2014; Anooymous, 1986)



ภาพที่ 4 ความเข้มของการส่องสว่างช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดง (Red) และแสงสีแดงไกล (Infrared) ที่คลอโรฟิลล์สามารถดูดซับได้

ที่มา : Anonymous (1986)

10. การใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบพืช

ในการประเมินธาตุอาหารพืชเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชและเกี่ยวกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชสีเขียว โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักและมีบทบาทมากต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช (สุภาณี และสายัณห์, 2545) ดังนั้นในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์มาในการประเมินปริมาณไนโตรเจน และคลอโรฟิลล์ในพืชหลายชนิดด้วยกัน โดยค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ที่วิเคราะห์ได้จากใบพืชแต่ละชนิด

จากการศึกษาของ Li และคณะ (1998) ซึ่งได้ทำการศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์วัดปริมาณของคลอโรฟิลล์ และไนโตรเจนของใบ grapefruit พบว่า ปริมาณไนโตรเจนและค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีความสัมพันธ์กันสูง Shi และ Byrne (1995) ทำการศึกษาอัตราการเกิดอาการใบด่างเหลือง (chlorosis) กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของต้นตอของพืช ปรากฏว่าอัตราการเกิดใบด่างเหลืองกับค่าที่ได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดย

เมื่อค่าคลอโรฟิลล์มิเตอร์ที่วัดได้มีค่าต่ำอัตราการเกิดอาการใบด่างเหลืองจะสูง Sibley และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาระดับไนโตรเจนในใบด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ รุ่น SPAD-502 และการสกัดคลอโรฟิลล์ในใบ สำหรับคัดเลือกพันธุ์ของ red maple พบว่า ค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ Neilsen และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษาปริมาณไนโตรเจนในใบแอปเปิล จำนวน 4 พันธุ์ โดยปลูกในแปลงที่ให้ปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับ ร่วมกับการให้ปุ๋ยแคลเซียมไนเตรท โดยให้ปุ๋ยทางระบบน้ำ เมื่อทำการวัดด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ปรากฏว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์เช่นกัน Azia และ Stewart (2001) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดจากน้ำคั้นของใบกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบแตงเทศ (muskmelon) พบว่า ค่าที่ได้จากน้ำคั้นและค่าคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Berg and Perkins (2004) ที่ศึกษาในใบ sugar maple และหาความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

ต่อมา Chang และ Robison (2003) ทำศึกษาการประเมินค่าไนโตรเจนในใบของพืชไม้เนื้อแข็ง คือ sycamore, sweetgum, green ash และ swamp cottonwood พบว่า ปริมาณของไนโตรเจนในใบของพืชที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของพืชไม้เนื้อแข็งทั้ง 4 ชนิด มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ต่อมามีการศึกษาของ Brunetto และคณะ (2012) ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนในใบและผลผลิตองุ่นในชั้นดินทรายที่แตกต่างกันโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ Hawkins และคณะ (2009) ใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของวงจรชีวิตของประชากรพืชที่ใกล้จะสูญพันธ์โดยไม่ทำลายพืช พบว่าสามารถประยุกต์ใช้วัดปริมาณและดัชนีของคลอโรฟิลล์ในใบของ Lindera melissifolia โดยใช้รูปแบบ regression อธิบายการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ในในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตของพืชได้ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ Uchino และคณะ (2013) ศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์และความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบข้าวฟ่างหวาน (Sorghum bicolor) เมื่อข้าวฟ่างหวานมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นค่าความสัมพันธ์ทั้งสองมีการปรับตัวลง ปัจจัยทางด้านอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักของใบ (specific leaf area : SLA) ซึ่งสามารถบ่งบอกความหนาของใบเป็นปัจจัยส่วนสำคัญของการศึกษาครั้งนี้ ที่แนะนำให้มีการสังเกตควบคู่ไปกับระยะของการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างหวานที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ทั้งสองข้างต้น Netto และคณะ (2002) ได้เสนอการประเมินคลอโรฟิลล์ที่ไม่ต้องทำลายตัวอย่างใบของมะละกอโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ และมีการศึกษาของ Netto และคณะ (2005) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวของใบ การสังเคราะห์แสง ปริมาณในการสกัดคลอโรฟิลล์ด้วย Dimethyl sulfoxide (DMSO) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (chlorophyll fluorescence) กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ในใบกาแฟมีความสำพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาในประเทศมาเลเซียมีความสำเร็จในการนำคลอโรฟิลล์มิเตอร์มาใช้ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในพืชต่างๆ เช่น ปาล์มน้ำมัน (Law *et al*., 2014; Sim *et al*., 2015) ข้าวโพด (Rostami *et al*., 2008) ข้าว (Gholizadeh *et al*., 2009) เป็นต้น จากการศึกษาของ Law และคณะ (2014) เปรียบเทียบระหว่างค่าจากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าความ

ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันของต้นกล้าปาล์มน้ำมันทั้ง 9 สายพันธุ์ ภายใต้เงื่อนไขการตอบสนองต่อการงดให้ปุ๋ยไนโตรเจนและการฟื้นตัวหลังจากการให้ปุ๋ยไนโตรเจน พบว่า มีสายพันธุ์ของ A และ E มีการตอบสนองต่อการงดให้ปุ๋ยไนโตรเจนและการฟื้นตัวหลังจากการให้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ต่อมา Sim และ คณะ (2015) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สกัดจากใบและอัตราการสังเคราะห์แสงของใบปาล์มน้ำมัน พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบมีความสัมพันธ์กับค่าความเขียวใบของปาล์มน้ำมัน และอัตราการสังเคราะห์แสงมีความความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับค่าที่อ่านจากได้คลอโรฟิลล์มิเตอร์

สำหรับในประเทศไทยนั้นการศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์มีบทบาทมากขึ้นในการประเมินไนโตรเจนในใบพืช โดยจากการศึกษาของ สุภาณี และสายัณห์ (2545) ได้ทำการศึกษาการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ เพื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบของลองกอง และเงาะ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และไนโตรเจนในใบ พบว่า ค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและไนโตรเจนในใบของเงาะ และลองกอง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ต่อมา สุทธิพันธ์ และคณะ (2547) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ในใบของต้นตออ่อนพันธุ์ต่างๆ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมของใบต้นตออ่อนทั้ง 12 พันธุ์ที่ศึกษามีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พรทิพย์ และสายัณห์ (2548) ได้ศึกษาในสภาวะขาดน้ำของลองกอง พบว่า สามารถใช้เครื่องมือคลอโรฟิลล์มิเตอร์ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในใบลองกองภายใต้สภาวะขาดน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ สิริมาส และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวใบที่วัดด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (Minolta SPAD-502) กับความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ และความเป็นไปได้ในการใช้ค่าความเขียวใบประเมินระดับไนโตรเจนในใบของส้มโอ โดยใช้ตัวอย่างใบอายุต่างๆกันจากต้นส้มโอพันธุ์ทองดีที่ให้ปุ๋ยไนโตรเจนระดับต่างๆ พบว่า อัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บี มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รวมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ค่าความเขียวใบ และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รวมต่อหน่วยพื้นที่ใบและต่อหน่วยน้ำหนักสดใบมีความสัมพันธ์กัน ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รวมต่อหน่วยพื้นที่ใบกับระดับไนโตรเจนในใบมีความสัมพันธ์ที่แสดงด้วยสมการเส้นตรง และความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวใบกับระดับไนโตรเจนในใบสามารถแสดงด้วยสมการ quadratic

บทที่ 2
วิธีการวิจัย

1. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง

วางแผนการวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.1 วิจัย และพัฒนาเครื่องต้นแบบ

โดยการศึกษาข้อดีและข้อเสีย และเทคนิคการวัดแบบต่างๆ ที่มีใช้อยู่โดยเลือกเฉพาะเทคนิคที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้แบบพกพาได้ จากนั้นทำการออกแบบในส่วนของแหล่งกำเนิดแสง 2 ความยาวคลื่นและวัดการดูดกลืนแสง ออกแบบในส่วนของภาคแสดงผล ภาคประมวลผลสัญญาณ และเปรียบเทียบค่าเบื้องต้น และเปรียบเทียบค่าที่ได้ให้มีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการจริง แล้วปรับปรุงเครื่องให้ค่าที่อ่านได้ตรงกับค่าที่วัดได้กับปริมาณธาตุไนโตรเจนในใบพืช จากนั้นปรับปรุงในส่วนของวงจรให้มีขนาดเล็ก และใช้พลังงานต่ำ ดังนั้นเครื่องต้นแบบที่ได้จะเป็นเครื่องมือขนาดเล็กแบบพกพา ประกอบด้วยกล่องตัวเครื่องที่มีส่วนที่ให้แสงส่องผ่านใบโดยมีแป้นรองรับ ด้านหน้าตัวเครื่องมีคีย์บอร์ด และคลอโรฟิลล์รวม โดยเป็นสัดส่วนกับการดูดกลืนแสงของใบพืชด้วยการทำ Calibration curve โดยใช้ค่าที่ได้จากการนำใบพืชไปวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน โดยใช้ค่าที่ได้จากการนำใบพืชไปวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน โดยตรงในห้องปฏิบัติการและค่าคลอโรฟิลล์รวม โดยการวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

1.2 การทดสอบการวัดผลกับต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่มีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนต่างกัน 3 ระดับ

ทำการทดลองในระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมันอายุ 12 เดือน พันธุ์ทรัพย์ ม.อ.1 โดยคัดเลือกลักษณะความสูงและขนาดลำต้นให้มีความใกล้เคียงกัน และย้ายปลูกลงถุงเพาะชำ พร้อมทั้งใส่ปุ๋ยบำรุงต้นกล้าปาล์มน้ำมันด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 30 กรัมต่อต้น โดยทำการทดลอง ณ บริเวณโรงเรือนกระจก ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบรูณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) โดยปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ คือ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และระยะเวลาทำการทดลอง 3 เดือน แบ่งเป็น 3 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ต้น รวมทั้งหมด 30 ต้น ดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 : ไม่ให้ปุ๋ยไนโตรเจน (ควบคุม)
ทรีตเมนต์ที่ 2 : ให้ปุ๋ยไนโตรเจน ระดับปานกลาง อัตรา 40 กรัม/ต้น/เดือน
ทรีตเมนต์ที่ 3 : ให้ปุ๋ยไนโตรเจน ระดับสูง อัตรา 80 กรัม/ต้น/เดือน

2. การเก็บข้อมูล

2.1 ความอุดมสมบรูณ์ของดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนทำการทดลองและหลังการทดลองเสร็จสิ้น เพื่อวิเคราะห์หา ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เนื้อดิน ธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมด ธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และธาตุอาหารโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

2.2 ปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบ

เก็บบันทึกข้อมูลปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบ โดยเลือกใช้ทางใบที่ 3 สุ่มเลือกใบย่อยที่สมบรูณ์ต้นละ 3 ใบย่อย (สำหรับวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์) และสุ่มเลือกใบย่อยที่สมบรูณ์ต้นละ 12 ใบย่อย (สำหรับวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน) และวัดด้วยเครื่อง Chlorophyll meter (SPAD 502 Plus Minolta Co., Ltd., Japan) และเครื่องต้นแบบ (PSU -Chlorophyll meter) ทำการบันทึกทุกๆ 1 เดือน หลังจากนั้นตัดทางใบปาล์มน้ำมันมาวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ (สุนทรี และคณะ, 2543; Moran, 1982) และวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

3. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์

3.1 โดยเลือกทางใบที่ 3 ของต้นปาล์มน้ำมัน และสุ่มเลือกใบย่อยที่สมบูรณ์ และอยู่ในช่วงที่ขยายแผ่นใบเต็มที่ (young fully expanding leaf) จำนวน 3 ใบ/ทางใบและตัดใบมาวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน

3.2 หลังจากนั้นนำใบปาล์มน้ำมันมาเจาะโดยใช้ตุ๊ดตู่เจาะใบเป็นวงกลม จำนวน 3 ตำแหน่งให้กระจายทั่วทั้งใบปาล์มน้ำมัน จะมีขนาดพื้นที่ 0.82 ตารางเซนติเมตร (โดยหลีกเลี่ยงการใช้เนื้อเยื่อบริเวณเส้นใบ และขอบใบ) แล้วใส่หลอดแก้ว

3.3 เติมสาร *N,N*-dimethylformamide (DMF) ปริมาณ 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้วและปิดฝาให้สนิท และย้ายไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เพื่อสกัดคลอโรฟิลล์และป้องกันไม่ให้แสงทำลายคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้ถูกทำลาย

3.4 หลังจากนำสารละลายสีเขียวใสที่สกัดได้ ไปวัดค่าหาความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ โดยวิธีวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 647 และ 664 นาโนเมตร

3.5 นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาปริมาณของคลอโรฟิลล์รวม คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี โดยใช้สมการที่เสนอโดย Moran (1982) มีหน่วยเป็นปริมาณของคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบ (กรัม/ตารางเมตร)

สมการที่ใช้คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ (สุนทรี และคณะ, 2543; Moran, 1982) ตามสมการดังนี้

Chl_a = $(-2.99A_{647} + 12.64A_{664})*Vol /(X*Area*100)$

Chl_b = $(23.26A_{647} - 5.60A_{664})*Vol /(X*Area*100)$

Chl_{total} = $(20.27A_{647} + 7.04A_{664})*Vol /(X*Area*100)$

เมื่อ Chl_a = ปริมาณคลอโรฟิลล์ a, กรัม/ตารางเมตร

Chl_b = ปริมาณคลอโรฟิลล์ b, กรัม/ตารางเมตร

Chl_{total} = ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ผลบวกของคลอโรฟิลล์ a และ b, กรัม/ตารางเมตร)

A_{647} = ค่าดูดแสงที่ความยาวคลื่น 647 นาโนเมตร, ค่าสัดส่วน

A_{664} = ค่าดูดแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร, ค่าสัดส่วน

Vol = ปริมาณ DMF ที่ใช้สกัด, มิลลิลิตร

X = สัดส่วนการเจือจาง (เท่ากับปริมาตรสารละลายเริ่มต้นหารด้วยปริมาตรสารละลายถ้ามีการเจือจาง ใช้เมื่อสารละลายสกัดครั้งแรกมีความเข้มข้นสูงเกินไปจนค่าดูดแสงอ่านค่าเกิน 0.8)

Area = พื้นที่แผ่นใบที่ใช้สกัด, ตารางเซนติเมตร

4. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

4.1 โดยเลือกทางใบที่ 3 ของต้นปาล์มน้ำมัน เลือกใบปาล์มน้ำมันที่สมบูรณ์และอยู่ในช่วงที่ขยายแผ่นใบเต็มที่ (young fully expanding leaf) ไม่มีโรคระบาดหรือแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย พร้อมกับทำความสะอาด สุ่มเลือกใบย่อยที่สมบูรณ์ จำนวน 12 ใบ/ทางใบและตัดใบมาวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน

4.2 นำใบไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง จากนั้นบดตัวอย่างใบแห้งให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืช (Grinder)

4.3 เก็บใบที่บดละเอียดแล้วไว้ในถุงกระดาษ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในใบพืชโดยวิธีเจลดาล (Kjeldahl method) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การย่อยโดยใช้กรดซัลฟิวริก การกลั่น การไทเทรต และการคำนวณ (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

4.1 การย่อยโดยใช้กรดซัลฟิวริก

4.1.1 ชั่งตัวอย่างพืชที่ได้จากการบดตัวอย่างแห้งประมาณ 0.1000 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร

4.1.2 .เติมสารเร่งปฏิกิริยาลงไปประมาณ 1 กรัม

4.1.3 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร

4.1.4 นำไปย่อยในเตาย่อย โดยเริ่มย่อยที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง แล้วจึงเพิ่มเป็น 380 องศาเซลเซียส

4.1.5 ทำแบลงค์โดยนำไปเติมสารเร่งและกรดเช่นเดียวกับตัวอย่าง

6.เก็บสารละลายไว้กลั่นหาไนโตรเจน

4.2 การกลั่น

4.2.1 จัดเครื่องกลั่นให้พร้อมจะใช้งาน และเติมน้ำกลั่นลงไปในตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าจนตะกอนละลาย

4.2.2 นำหลอดใส่เข้าเครื่องกลั่น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปประมาณ 15 มิลลิลิตร

4.2.3 ตวงสารละลายกรดบอริกที่ผสมอินดิเคเตอร์ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตรนำไปวางตรงตำแหน่งที่รองรับแก๊สแอมโมเนียจากการกลั่น

4.2.4 กลั่นจนได้ปริมาตรปริมาณ 30 มิลลิลิตร จึงหยุดและฉีดล้างปลายคอนเดนเซอร์ (condenser) ด้วยน้ำกลั่น

4.3 การไทเทรต

4.3.1 เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 โมลาร์ (จะต้องทราบความเข้มข้นที่แน่นอน) ลงในบิวเรตและจัดบิวเรตให้พร้อมที่จะไทเทรต

4.3.2 นำสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งมีสีเขียวไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกตนเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง

การคำนวณ

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

โดย M = ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (โมลาร์)

V = ปริมาตรกรมซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรกรมซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)

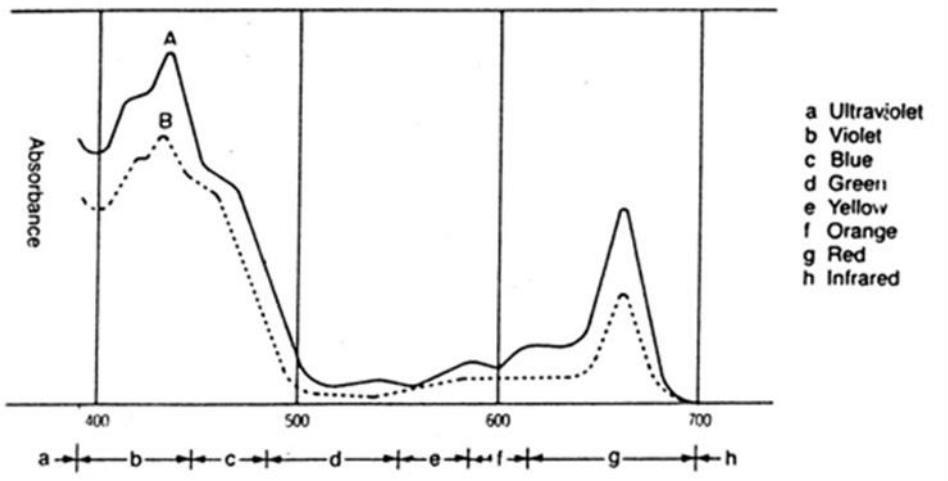
W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (มิลลิกรัม)

บทที่ 3
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลและหลักการการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบ

1.1 หลักการพื้นฐานของตัวตรวจวัดของเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์

เครื่องวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชมีหลักการทำงานโดยอาศัยคุณสมบัติการดูดซับแสงของคลอโรฟิลล์ในใบพืช จากภาพที่ 1ภาพที่ 5 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของคลอโรฟิลล์ในใบพืชทั้งสองที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ ใบชนิด A และชนิด B ซึ่งสังเกตได้ว่าใบชนิด A และชนิด B สามารถดูดกลืนแสงได้ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน โดยที่ใบชนิด B จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่น้อยกว่าใบชนิด A ด้วยหลักการดังกล่าว ทำให้สามารถสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการวัดคลอโรฟิลล์ด้วยการใช้แสงที่มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงสีแดง และช่วงความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงอินฟราเรด ผ่านใบของพืชที่ต้องการวัดค่าคลอโรฟิลล์ ซึ่งในใบของพืชจะดูดซับแสงส่วนหนึ่งไว้ ทำให้แสงที่ผ่านมีปริมาณน้อยลง

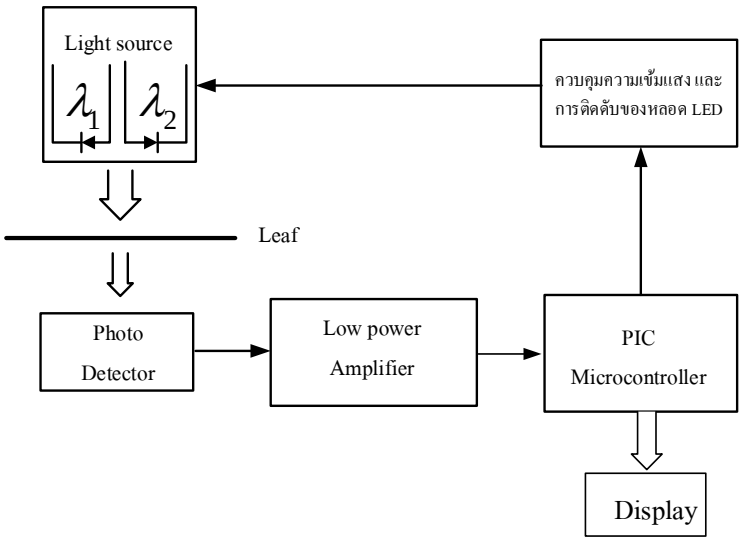


ภาพที่ 5 ลักษณะการดูดซับแสงของคลอโรฟิลล์ของใบพืชต่างชนิดกัน

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าช่วงที่คลอโรฟิลล์มีความไวต่อการดูดกลืนแสง มีสองช่วงความยาวคลื่น คือช่วงแสงสีม่วงที่ความยาวคลื่น 430 nm และช่วงแสงสีแดงความยาวคลื่น 660 nm ส่วนช่วงที่คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้น้อย คือ ช่วงแสงสีเขียว และช่วงที่คลอโรฟิลล์ไม่มีการดูดกลืนแสง คือ ช่วงความยาวคลื่นแสงอินฟราเรด

ด้วยคุณสมบัติของการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ที่ไวต่อแสงสีม่วงและแสงสีแดง พบว่า ณ ขณะที่คลอโรฟิลล์มีปริมาณเท่ากัน คลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนแสงสีม่วงได้มากกว่าแสงสีแดง ทำให้การวัดปริมาณแสงสีม่วงที่ผ่านใบพืชจะมีปริมาณแสงที่น้อยกว่าแสงสี แดง ส่งผลให้การวัด

ช่วงแสงสีม่วงทำได้ยากกว่าช่วงแสงสีแดงมาก และถ้าต้องการให้ photo detector สามารถวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในช่วงแสงสีม่วงจำเป็นต้องใช้พลังงานในการวัดมากกว่าช่วงแสงสีแดง ส่วนค่าการดูดกลืนแสงของทั้งสองช่วงแสงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้แหล่งกำเนิดแสงสีแดงสามารถหาซื้อได้ง่ายกว่าแสงสีม่วง เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ช่วงแสงสีแดงเป็นต้นกำเนิดแสงเนื่องจากมีความไวใกล้เคียงกันกับแสงสีม่วง แต่การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์มีน้อยกว่าทำให้แสงสามารถลอดผ่านใบพืชได้มากกว่า ดังนั้นการวัดความเข้มของช่วงแสงสีแดงจึงทำได้ง่ายกว่าการวัดความเข้มแสงที่ช่วงสีม่วง ส่วนการดูดกลืนแสงสีแดงจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบ ณ ขณะนั้น และการที่ปริมาณของคลอโรฟิลล์ไม่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดจึงใช้แสงอินฟราเรดเป็นแสงอ้างอิง เนื่องจากใบของพืชแต่ละประเภทมีสีใบที่แตกต่างกันและมีความหนาของใบไม่เท่ากัน ประกอบกับใบของพืชมีรงควัตถุชนิดอื่นรวมอยู่ ทำให้แสงสีแดงที่ใช้ในการประเมินปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบถูกดูดซับไว้ ทำให้แสงที่ผ่านออกมามีปริมาณแสงที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ต้องมีแสงอ้างอิงที่ใช้ได้กับใบพืชทุกประเภท ซึ่งแสงอินฟราเรดจะถูกดูดซับด้วยเช่นกันจากองค์ประกอบอื่นๆของใบพืช แต่จะไม่ถูกดูดซับจากคลอโรฟิลล์ในใบพืช ดังนั้นคณะวิจัยจึงใช้ปริมาณแสงอินฟราเรดเป็นแสงสำหรับอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับการดูดซับของแสงสีแดงจากใบพืช ซึ่งการดูดซับปริมาณแสงที่ความยาวคลื่นทั้งสองนี้นำมาเพื่อประเมินหาค่าปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบพืช ซึ่งคณะวิจัยเลือกคุณสมบัติดังกล่าวมาใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยการส่องแสงที่มีช่วงความยาวคลื่น 660 nm เป็นแสงสีแดง และช่วงความยาวคลื่น 940 nm เป็นแสงช่วงอินฟราเรด ผ่านใบของพืชที่ต้องการวัดคลอโรฟิลล์ ซึ่งในใบของพืชแต่ละชนิดจะดูดซับแสงส่วนหนึ่งไว้ทำให้แสงที่ผ่านมีปริมาณน้อยลง จากการทดลองพบว่าปริมาณของคลอโรฟิลล์ไม่ได้มีการกระจายที่สม่ำเสมอทั้งใบ คือกลางใบและขอบใบอาจมีปริมาณของคลอโรฟิลล์ที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นต้นกำเนิดแสงของแสงทั้งสองความยาวคลื่นต้องวัดปริมาณแสงที่ถูกลดทอนลงไปในตำแหน่งเดียวกัน จำเป็นต้องหาแหล่งกำเนิดแสงแหล่งเดียวแต่ให้แสงได้สองความยาวคลื่น เพื่อทำการวัดปริมาณแสงที่ถูกลดทอนกับพื้นที่เดียวกัน และบล็อกไดอะแกรมของเครื่องต้นแบบแสดงไว้ดังในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องต้นแบบ

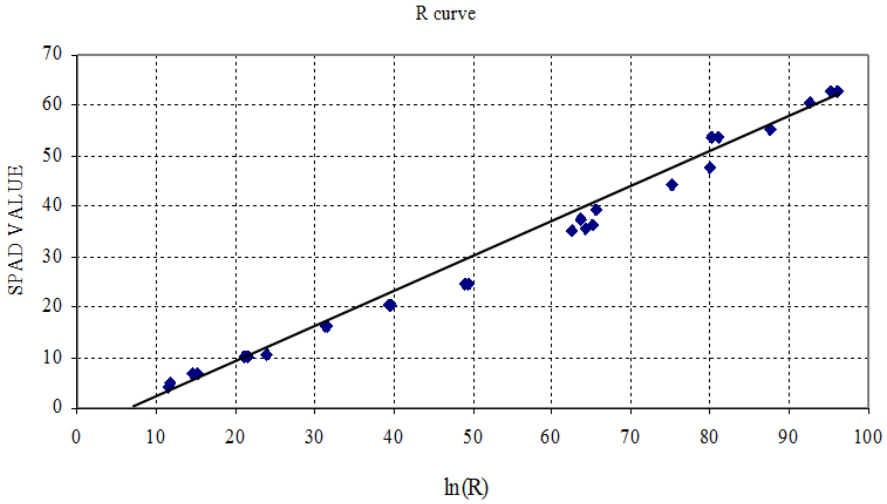
ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบคือ ตัววัดความเข้มแสง (Photo detector) และเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดปริมาณของคลอโรฟิลล์ได้แก่ Red LED ให้กำเนิดแสงสีแดง IR LED ให้กำเนิดแสงอินฟราเรด สำหรับตัววัดแสงจะมีเพียงตัวเดียวที่ใช้ในการวัดความเข้มของแสงทั้งสอง จากบล็อกไดอะแกรมภาพที่ 6 แสดงการทำงานของ Microcontroller ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหลอดไฟ LED ทั้งแสงสีแดงและแสงอินฟราเรด และส่วนของ photo detector จะทำการวัดค่าความเข้มแสงทั้งสอง ในขณะเริ่มทำการวัดความเข้มของ background หลอด LED ทั้งสองจะดับ เพื่อใช้ค่าความเข้มของแสงขณะนั้นเป็นค่าอ้างอิง โดยเก็บไว้ที่ REFCAL และค่าของความเข้มแสงที่ใช้อ้างอิงจะบันทึกทุกครั้งที่ทำการวัด เมื่อทำการวัดเพื่อประเมินค่าของคลอโรฟิลล์ในใบพืชโดยวัดความเข้มของแสงสีแดงที่ผ่านใบของพืชจะบันทึกไว้ที่ตัวแปร REDRD ส่วนความเข้มของแสงอินฟราเรดที่ผ่านใบของพืชจะบันทึกไว้ที่ตัวแปร IRRD จากนั้นนำค่าความเข้มของแสงทั้งสองที่ได้ มาคำนวณค่า R ratio ซึ่งมีสมการดังนี้

$$R = \ln\left(\frac{\Delta RED}{\Delta IR}\right)$$

โดยที่ ΔRED คือ $REDRD - REFCAL$

และ ΔIR คือ $IRRD - REFCAL$

นำค่า R index ที่คำนวณได้มาเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเครื่อง SPAD-502 เพื่อแปลงเป็นค่าคลอโรฟิลล์ต่อไป (ภาพที่ 7)

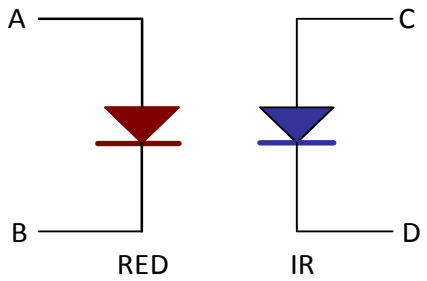


ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคลอโรฟิลล์กับค่าของ R index

1.2 การออกแบบวงจรเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์

การประเมินค่าคลอโรฟิลล์ในใบพืชโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงสูงสุดของแต่ละความยาวคลื่นของแสงเพื่อมาเปรียบเทียบ ซึ่งการวัดความเข้มของแสงทั้งสองความยาวคลื่นจะสลับกันทำงานดังนี้

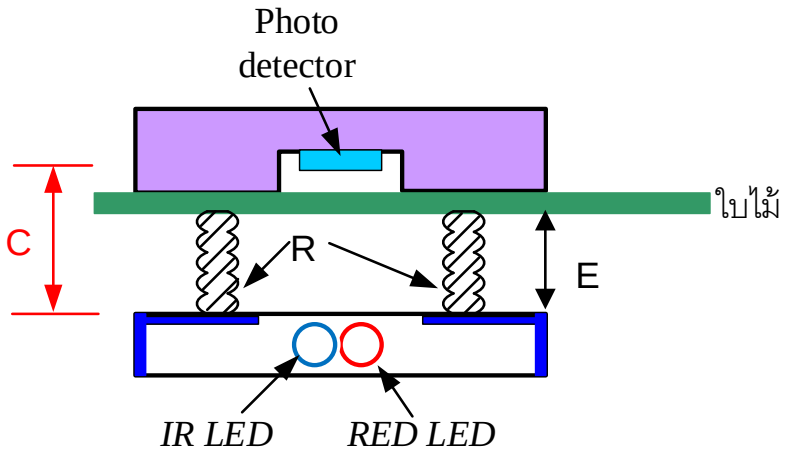
หลักการทำงานของระบบเริ่มจากการดับของหลอด LED ทั้งสอง เพื่อวัดความเข้มของแสงbackground และบันทึกเป็นค่าความเข้มแสงอ้างอิง หลังจากนั้นหลอด LED ของแสงสีแดงสว่างและส่องผ่านใบของพืชที่ทำการวัด โดยแสงสีแดงบางส่วนจะถูกดูดซับด้วยปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบของพืช ดังนั้นค่าความเข้มแสงสีแดงจะประเมินได้จากแสงสีแดงที่ทะลุผ่านออกมาจากใบของพืช หลังจากนั้นเมื่อวัดค่าความเข้มของแสงสีแดงแล้วหลอด LED ของแสงสีแดงจะดับลง ระบบจะทำการสลับให้หลอด LED ของแสงอินฟราเรดสว่างและส่องผ่านใบของพืชที่ทำการวัดเช่นเดียวกับแสงสีแดง และวัดค่าความเข้มของแสงอินฟราเรดที่ทะลุผ่านใบของพืช จากนั้นหลอด LED ของแสงอินฟราเรดจะหยุดทำงาน ในการวัดทุกครั้งจะทำการวัด background ของความเข้มแสงเพื่อบันทึกเป็นค่าอ้างอิง หลังจากนั้นจะเป็นการอ่านค่าความเข้มของแสงที่ถูกดูดซับไว้ ในขั้นตอนการควบคุมการเปล่งแสงของหลอดไฟทั้งสองและการอ่านค่าความเข้มของแสงที่ผ่านใบของพืชถูกควบคุมโดย microcontroller



ภาพที่ 8 วงจรไดอะแกรมของเซ็นเซอร์กำเนิดแสง

จากภาพที่ 8 หลอดไฟ LED ทั้งสองจะแยกกันโดยอิสระเพื่อความสะดวกในการควบคุมให้มีความสว่างคงที่ด้วยการให้กระแสไหลไฟฟ้าผ่านตลอดช่วงของการวัด และควบคุมการติดดับของหลอดไฟทั้งสองโดยใช้สัญญาณควบคุมจาก microcontroller ในการควบคุมการติดดับของ LED ทั้งสอง

1.3 การออกแบบเซ็นเซอร์หลอด LED และ photo detector



ภาพที่ 9 ต้นแบบโครงสร้างของหัวเซ็นเซอร์

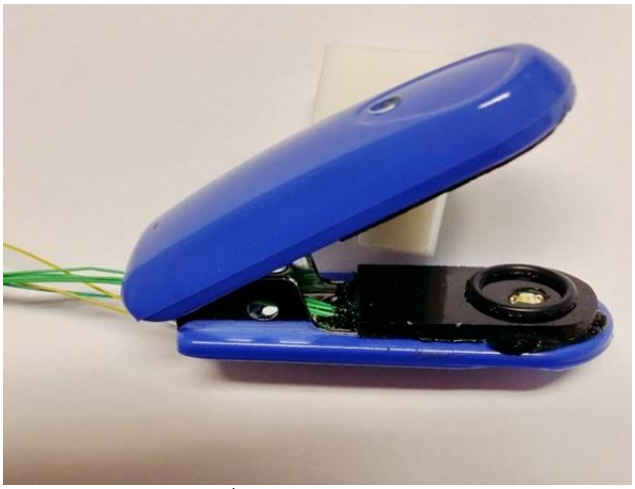
จากภาพที่ 9 แสดงแหล่งกำเนิดแสงสีแดงและแสงอินฟราเรดจะอยู่ใน package เดียวกัน ด้านบนและด้านข้างของหลอดไฟ LED เคลือบด้วยวัสดุทึบแสง และปรับปรุงให้ photo detector ติดตั้งไว้ด้านบนเพื่อลดการรบกวนจากแสงภายนอกในขณะที่ทำการวัด

R คือ วัสดุยางทึบแสงซึ่งสามารถยืดหดได้ทางแนวดิ่ง

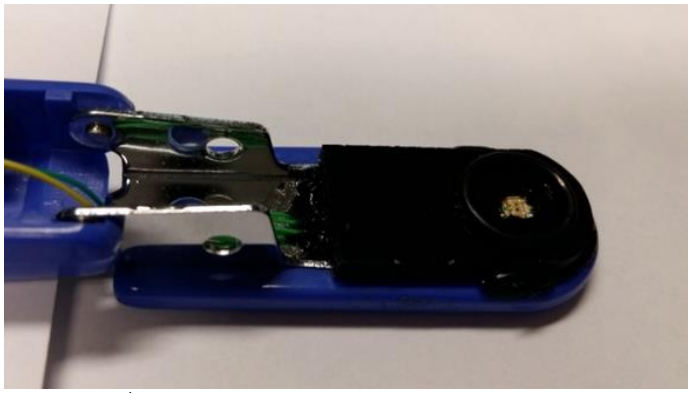
E คือ ระยะห่างจากใบถึงหลอดกำเนิดแสง ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาของใบที่นำมาทำการวัด

C คือ ระยะห่างระหว่างหลอดกำเนิดแสงกับ photo detector

C เป็นระยะที่จะถูกตรึงให้มีระยะคงที่เสมอ เพื่อที่จะรักษาให้มีระยะห่างคงที่ทุกครั้งที่ทำการวัด สำหรับ photo detector ติดตั้งด้านบนดังภาพที่ 9 ซึ่งอยู่ด้านหลังใบของพืชขณะที่ทำการวัด ทั้งนี้เพื่อลดแสงรบกวนจากภายนอกที่อาจเล็ดลอดเข้ามาขณะที่จะทำการวัด



ภาพที่ 10 คลิปหัวเซ็นเซอร์



ภาพที่ 11 แสดงในส่วนของ IR LED และ RED LED

ภาพที่ 12 แสดงให้เห็นในส่วนของ photo detector ที่วางไว้ด้านล่างสุด

2. ข้อมูลของดินที่ใช้ในการทดลอง

จากการเก็บตัวอย่างดินก่อนการทำการทำลองไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และชนิดเนื้อดิน (ตารางที่ 3) พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน 0.08 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัส 80.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียม 35.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.90 และลักษณะของเนื้อดินเป็นแบบดินร่วนเหนียวปนทราย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของดินที่เหมาะสมกับการใช้เพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมันโดยภาพรวม พบว่า คุณสมบัติของดินที่นำมาทดลองในครั้งนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่จะมีปริมาณของไนโตรเจนที่มีปริมาณที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สมบัติดินที่เหมาะสมเพื่อใช้เพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

สมบัติดิน	ค่าที่เหมาะสม
ความเป็นกรด-ด่าง [pH (ดิน:น้ำ, 1:5)]	>4.5
ปริมาณเนื้อดินทราย (%)	30-60
ปริมาณเนื้อดินเหนียว (%)	25-45
อินทรียวัตถุ (%)	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)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลอง

ตัวอย่างดิน	คุณสมบัติของดิน	หน่วย	ค่าวิเคราะห์
ชุดดินก่อนทำการทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด	%	0.08
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	mg/kg	80.67
	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์	mg/kg	35.93
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.90
	เนื้อดิน	-	ดินร่วนเหนียวปนทราย

จากตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังทำการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ทรีตเมนต์ โดยทรีตเมนต์ที่ 1 เมื่อนำดินไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และชนิดเนื้อดิน พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน 0.06 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัส 15.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียม 36.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.70 และลักษณะของเนื้อดินเป็นแบบดินร่วนเหนียวปนทราย ส่วนทรีตเมนต์ที่ 2 ค่าการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และชนิดเนื้อดิน พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน 0.20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัส 89.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียม 108.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.74 และลักษณะของเนื้อดินเป็นแบบดินร่วนเหนียวปนทราย และทรีตเมนต์ที่ 3 ค่าการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และชนิดเนื้อดิน พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน 0.62 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัส 144.92มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียม 153.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.99 และลักษณะของเนื้อดินเป็นแบบดินร่วนเหนียวปนทราย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของดินที่เหมาะสมกับการใช้เพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมันโดยภาพรวมของทั้ง 3 ทรีตเมนต์ พบว่า คุณสมบัติของดินหลังจากทำการทดลองครั้ง

นี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่จะมีปริมาณของไนโตรเจนของทรีตเมนต์ที่ 1 ที่มีปริมาณที่ต่ำกว่ามาตรฐานและปริมาณของไนโตรเจนทรีตเมนต์ที่ 3 ที่มีปริมาณสูงกว่ามาตรฐาน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังทำการทดลอง

ตัวอย่างดิน	**คุณสมบัติของดิน**	**หน่วย**	**ค่าวิเคราะห์**
ทรีตเมนต์ที่ 1	ไนโตรเจนทั้งหมด	%	0.06
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	mg/kg	15.02
	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์	mg/kg	36.05
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.70
	เนื้อดิน	-	ดินร่วนเหนียวปนทราย
ทรีตเมนต์ที่ 2	ไนโตรเจนทั้งหมด	%	0.20
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	mg/kg	82.92
	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์	mg/kg	108.02
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.74
	เนื้อดิน	-	ดินร่วนเหนียวปนทราย
ทรีตเมนต์ที่ 3	ไนโตรเจนทั้งหมด	%	0.62
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	mg/kg	144.92
	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์	mg/kg	153.00
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.99
	เนื้อดิน	-	ดินร่วนเหนียวปนทราย

3. ผลการทดลองการใช้เครื่องมือประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

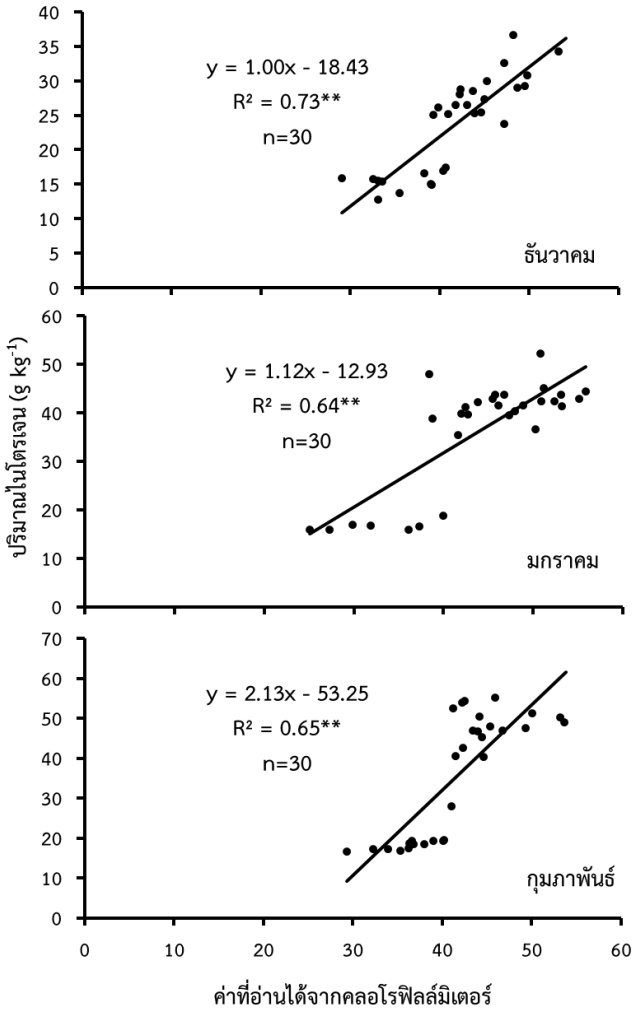
การทดลองในส่วนการใช้เครื่องมือต้นแบบและคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 เพื่อประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในระยะต้นกล้าปาล์มน้ำมันพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 (ภาพที่ 13) โดยทำการวัดเปรียบเทียบใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เลือกใช้ทางใบที่ 3 ที่มีความเหมาะสมในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในระยะต้นกล้าของปาล์มน้ำมัน โดยในส่วนของภาพที่ 13ก แสดงลักษณะการใช้เครื่องมือต้นแบบในการวัดข้อมูลจากใบปาล์มน้ำมันในระยะต้นกล้า และภาพที่ 13ข แสดงลักษณะการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 ในการวัดข้อมูลจากใบปาล์มน้ำมันในระยะต้นกล้า

ภาพที่ 13 การใช้เครื่องมือต้นแบบวัดข้อมูล (ก) เปรียบเทียบกับเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 (ข) ในการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน

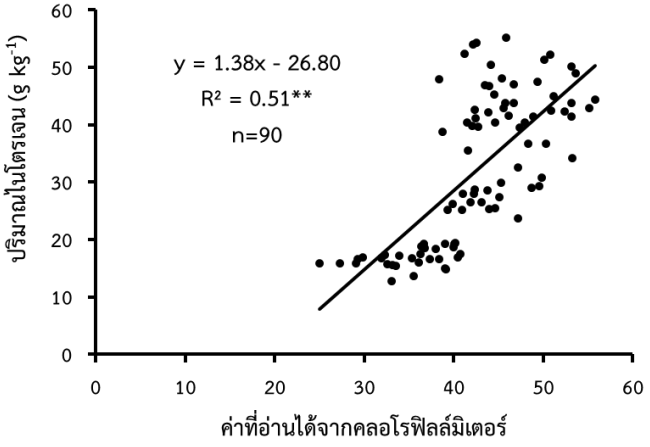
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนจากการวิเคราะห์โดยวิธีการของเจลดาล (Kjeldahl method) กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกเดือน โดยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 0.73 และต่ำสุดในเดือนมกราคม มีค่าเท่ากับ 0.64 (ภาพที่ 14) และเมื่อนำค่าปริมาณไนโตรเจนจากการวิเคราะห์จากทั้ง 3 เดือนมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีสมการความสัมพันธ์เป็น $Y = 1.38x - 26.80$ และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.51 (ภาพที่ 15)

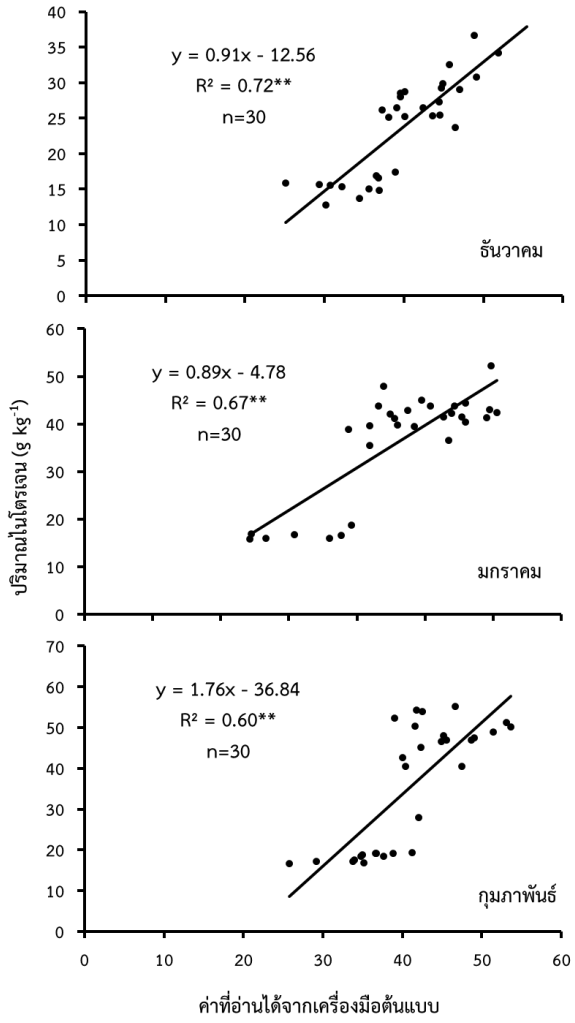
และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกเดือน โดยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 0.72 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.60 (ภาพที่ 16) และเมื่อนำค่าปริมาณไนโตรเจนจากการวิเคราะห์จากทั้ง 3 เดือนมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีสมการความสัมพันธ์เป็น $Y = 1.14x - 16.32$ และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.55 (ภาพที่ 17)



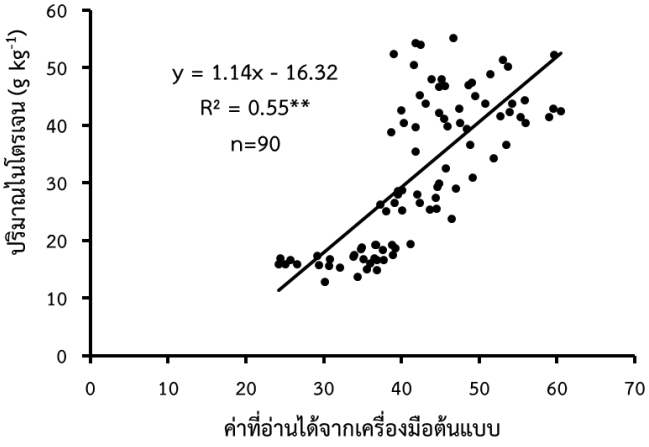
ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

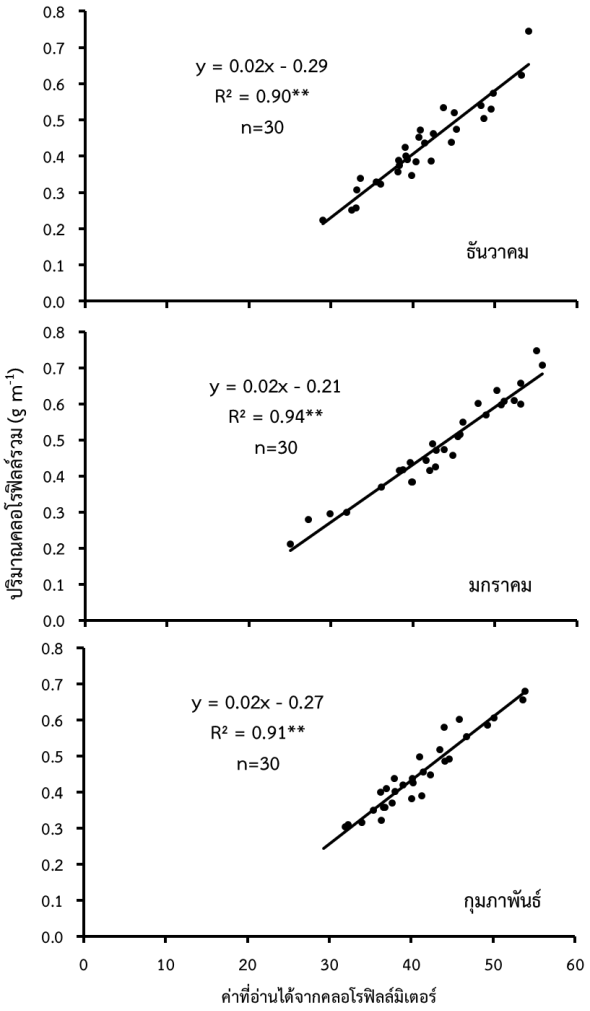


ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ-ต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

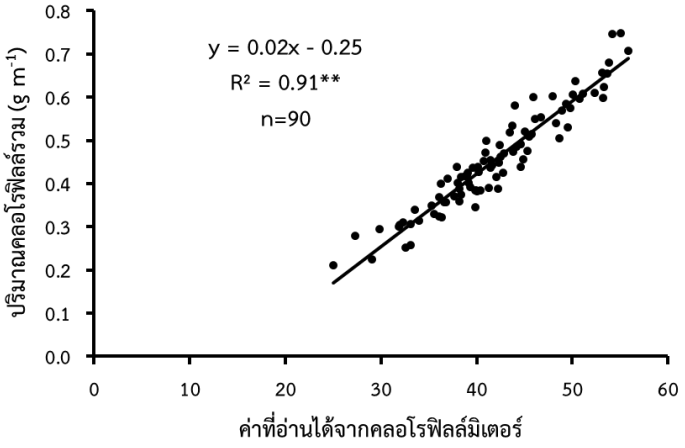
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมจากการวิเคราะห์โดยวิธีการของ Moran (1982) โดยใช้สารเคมี *N,N*-dimethylformamide (DMF) กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกเดือน โดยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าสูงสุดในเดือนมกราคม มีค่าเท่ากับ 0.94 และต่ำสุดในเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 0.90 (ภาพที่ 18) และเมื่อนำค่าปริมาณคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์จากทั้ง 3 เดือนมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีสมการความสัมพันธ์เป็น Y = 0.02x - 0.25 และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.90 (ภาพที่ 19)

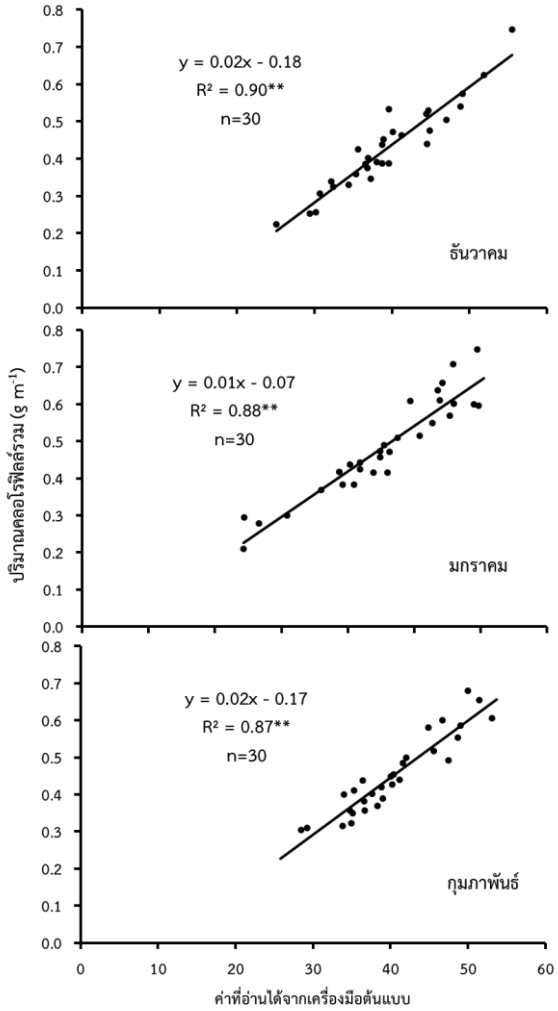
และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกเดือน โดยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 0.90 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.87 (ภาพที่ 20) และเมื่อนำค่าปริมาณคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์จากทั้ง 3 เดือนมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีสมการความสัมพันธ์เป็น Y = 0.01x - 0.10 และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.86 (ภาพที่ 21)



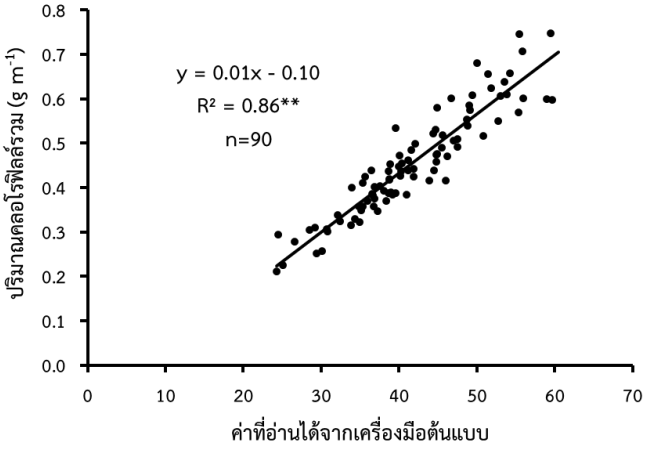
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

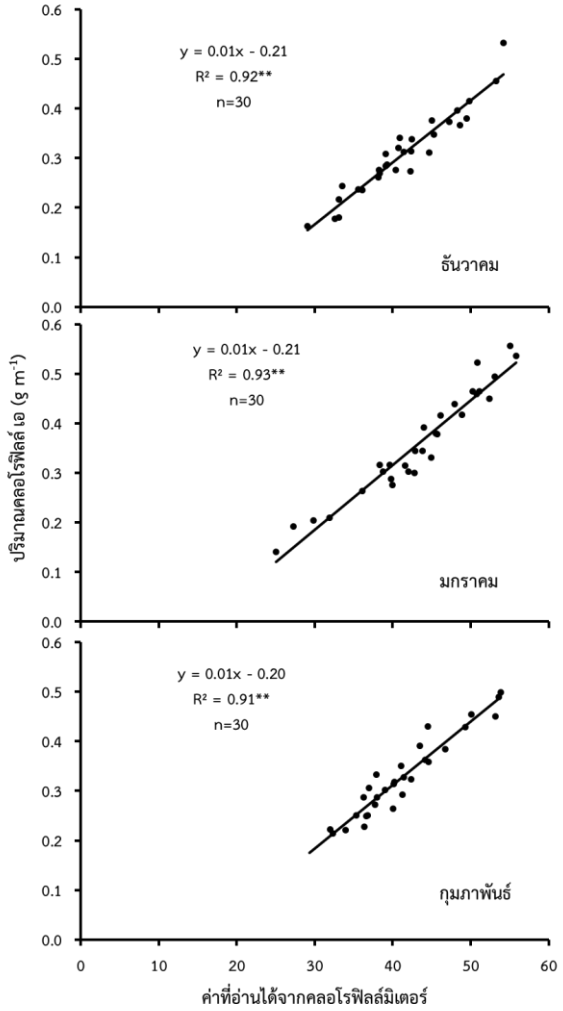


ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์รวมกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

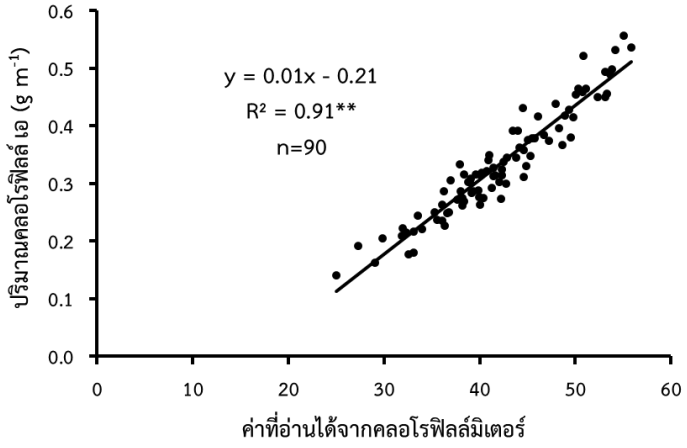
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอจากการวิเคราะห์โดยวิธีการของ Moran (1982) โดยใช้สารเคมี *N,N*-dimethylformamide (DMF) กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกเดือน โดยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าสูงสุดในเดือนมกราคม มีค่าเท่ากับ 0.93 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.91 (ภาพที่ 22) และเมื่อนำค่าปริมาณคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์จากทั้ง 3 เดือนมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีสมการความสัมพันธ์เป็น Y = 0.01x - 0.21 และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.91 (ภาพที่ 23)

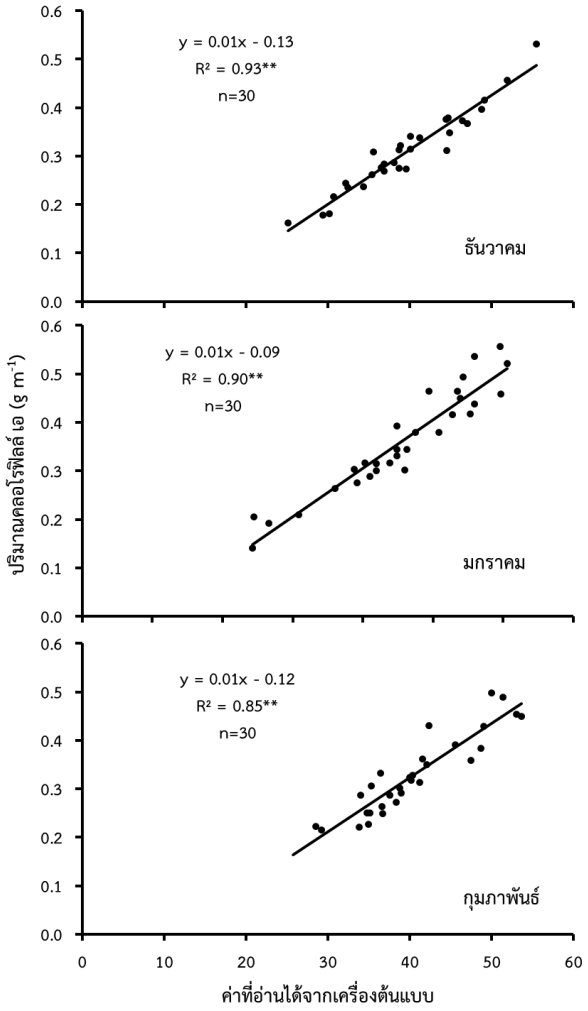
และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกเดือน โดยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 0.93 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.85 (ภาพที่ 24) และเมื่อนำค่าปริมาณคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์จากทั้ง 3 เดือนมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีสมการความสัมพันธ์เป็น Y = 0.01x - 0.10 และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.89 (ภาพที่ 25)



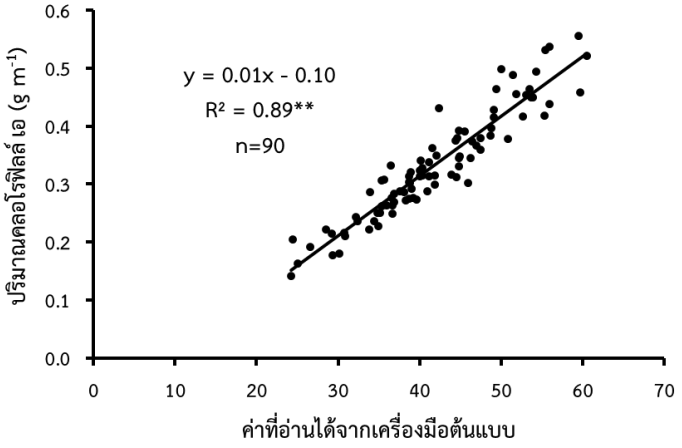
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

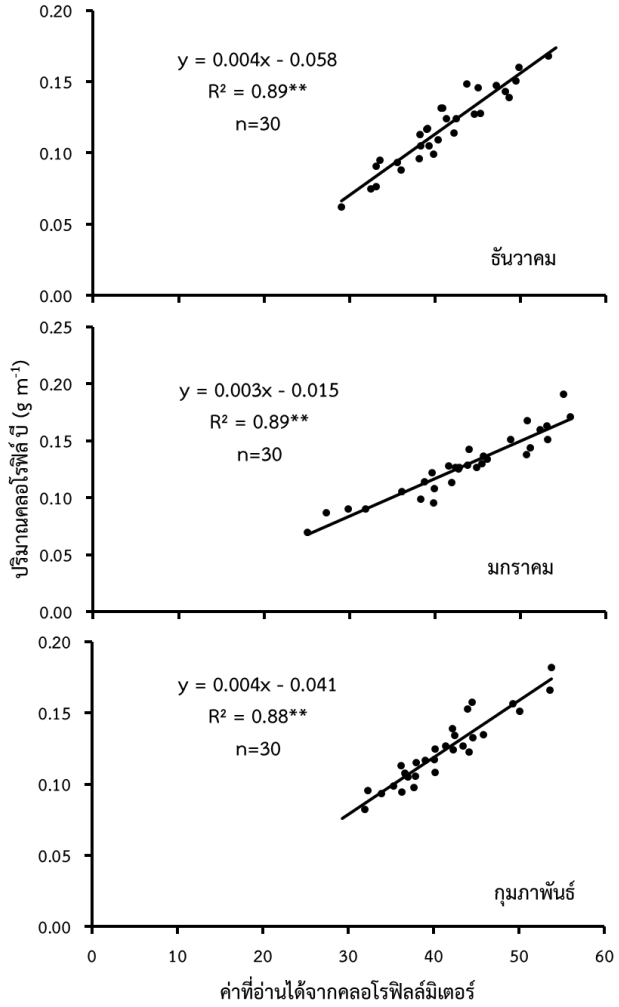


ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

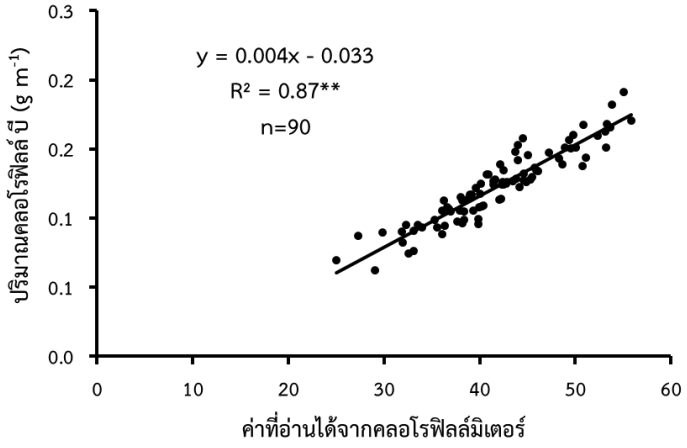
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีจากการวิเคราะห์โดยวิธีการของ Moran (1982) โดยใช้สารเคมี *N,N*-dimethylformamide (DMF) กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกเดือน โดยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคมและมกราคม มีค่าเท่ากับ 0.89 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.98 (ภาพที่ 26) และเมื่อนำค่าปริมาณคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์จากทั้ง 3 เดือนมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีสมการความสัมพันธ์เป็น Y = 0.004x - 0.033 และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.87 (ภาพที่ 27)

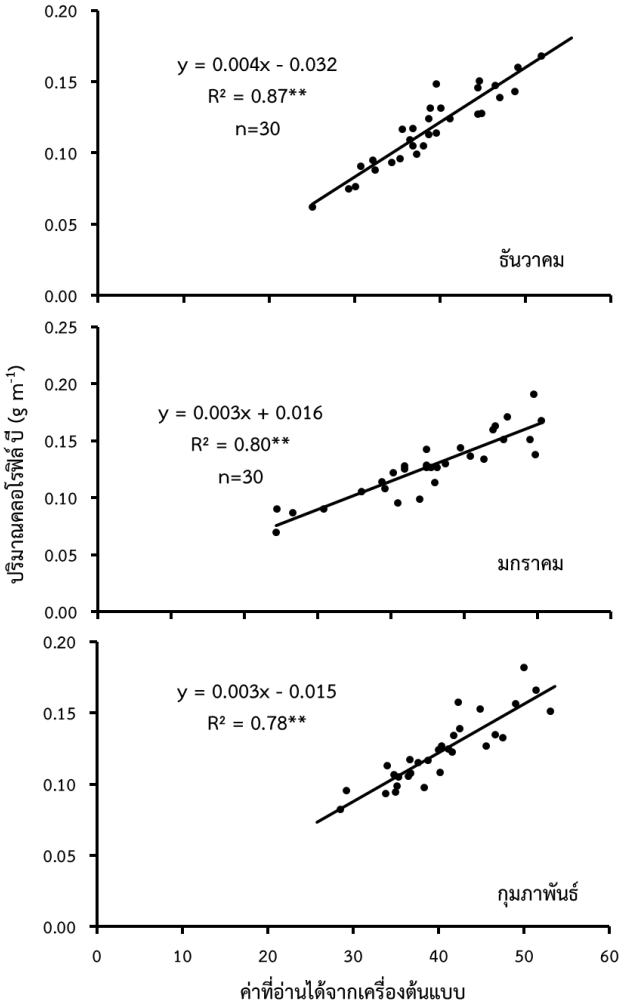
และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีจากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกเดือน โดยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 0.87 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.78 (ภาพที่ 28) และเมื่อนำค่าปริมาณคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์จากทั้ง 3 เดือนมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีสมการความสัมพันธ์เป็น Y = 0.003x - 0.006 และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.77 (ภาพที่ 29)



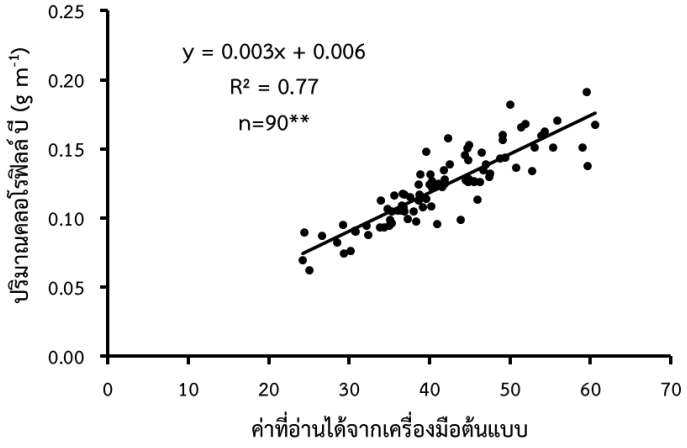
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



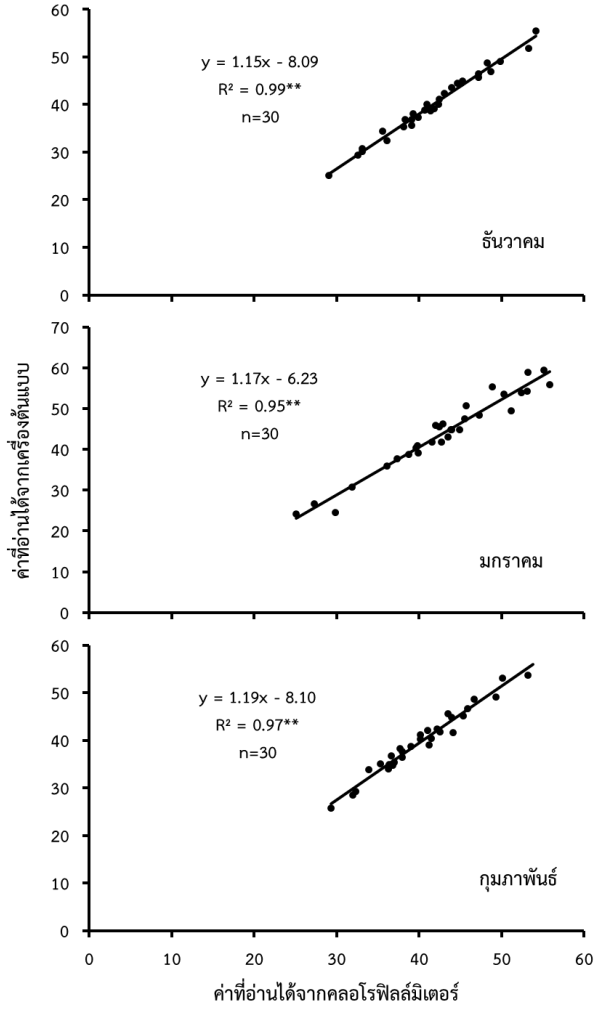
ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



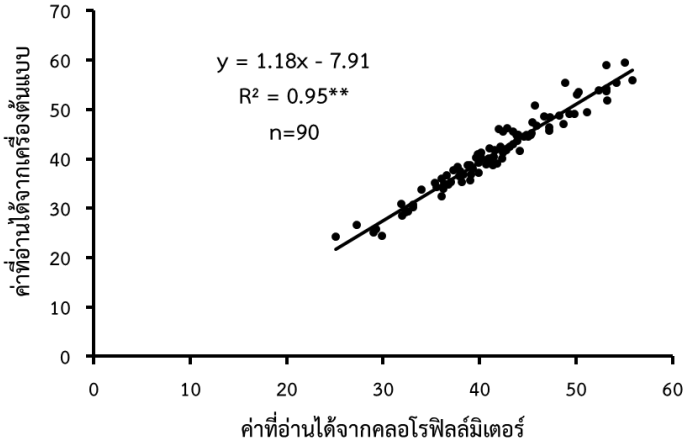
ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์รวมระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกเดือน โดยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 0.99 และต่ำสุดในเดือนมกราคม มีค่าเท่ากับ 0.95 (ภาพที่ 30) และเมื่อนำค่าปริมาณคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์จากทั้ง 3 เดือนมาหาความสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีสมการความสัมพันธ์เป็น $Y = 1.18x - 7.91$ และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.95 (ภาพที่ 31)



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์รวมระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบของใบปาล์มน้ำมันระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

4. วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ พบว่า ค่าความสัมพันธ์ของไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์จากใบปาล์มน้ำมันทุกเดือนที่ทำการศึกษามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง สอดคล้องกับการศึกษาของ Sim และ คณะ (2015) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สกัดจากใบและอัตราการสังเคราะห์แสงของใบปาล์มน้ำมัน พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบมีความสัมพันธ์กับค่าความเขียวใบของปาล์มน้ำมัน รวมทั้งการศึกษาของ Azia และ Stewart (2001) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดจากน้ำคั้นของใบกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ของใบแตงเทศ (muskmelon) พบว่า ค่าที่ได้จากน้ำคั้นและค่าคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Berg and Perkins (2004) ที่ศึกษาในใบ sugar maple และหาความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ดังนั้นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์จากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถมาใช้ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ได้ โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่างใบของปาล์มน้ำมันได้อย่างแม่นยำ

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบ พบว่า มีความสัมพันธ์กันกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination: R^2) เท่ากับ 0.95 (ภาพที่ 31) ซึ่งเครื่องมือต้นแบบและเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 มีประสิทธิภาพในการประมูลผลที่สามารถใช้งานในการประเมินไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำคลอโรฟิลล์มิเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาในด้านอื่น ๆ ดังเช่น การศึกษาของ พรทิพย์ และสายัณห์ (2548) ได้ศึกษาในสภาวะขาดน้ำของลองกอง พบว่าสามารถใช้เครื่องมือคลอโรฟิลล์มิเตอร์ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในใบลองกองภายใต้สภาวะขาดน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงมีการพัฒนาเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ให้สามารถประเมินไนโตรเจนได้โดยตรง เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดการการให้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ตามการศึกษาของ Maheswaran และ Asokan (2015) ที่มีการพัฒนาให้มีความจำเพาะเจาะจงในการประเมินสถานะของไนโตรเจนที่พืชได้รับ เพื่อให้มีความแม่นยำและเพียงพอต่อความต้องการของพืชที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือต้นแบบที่ใช้ในการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจน มีความสอดคล้องกันในแนวทางเดียวกันกับเครื่องมือคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 เพื่อเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือต้นแบบและค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ดังภาพที่ 30 และ ภาพที่ 31 อย่างไรก็ตามจะพบว่าในแต่ละช่วงเดือนที่ทำการศึกษาส่งผลต่อค่าความสัมพันธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประเมินไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน จะพบว่า ค่าค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ มีค่าลดลงและแปรปรวนในช่วงเดือนธันวาคม 2558 - กุมภาพันธ์ 2559 และเมื่อนำค่าทั้งหมดมาวิเคราะห์รวมทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ลดต่ำลงอย่างชัดเจน ดังนั้นในการใช้งานจริงในการประเมินไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน ควรทำการวัดในแต่ละเดือนเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือกับปริมาณไนโตรเจนจากการวิเคราะห์ใบ จะช่วยทำให้การประเมินไนโตรเจนมีความแม่นยำขึ้นมากขึ้น ดังเช่นในการศึกษาของ Menesatti และคณะ 2012 ที่ทำการศึกษาในต้นส้มและสามารถกำหนดช่วงของความต้องการไนโตรเจนของส้ม ในช่วงที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของส้มได้ นอกจากนี้ในการประเมินผลการใช้จำนวนตัวอย่างของพืช ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างเพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นและใช้จำนวนตัวอย่างที่วัดในแต่ละเดือนเพียง 30 ตัวอย่างเท่านั้น ในส่วนประเด็นของการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบ พบว่ ายังต้องปรับปรุงรูปลักษณ์เครื่องมือให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้ใช้ได้กระชับมือ สะดวกในการใช้งานและควรปรับหัววัดให้ยื่นออกมาจากตัวเครื่องมือเพื่อให้สอดเข้าไปถึงระหว่างใบปาล์มน้ำมัน เนื่องจากใบปาล์มน้ำมันเป็นใบประกอบซึ่งมีใบย่อยขนาบใบเรียงต่อเนื่องกัน ในกรณีที่จะนำไปวัดในสวนปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากขึ้นซึ่งจะใช้ในทางใบที่ 17 ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของปาล์มน้ำมัน ดังนั้นถ้าเครื่องมือต้นแบบนี้ได้จากการพัฒนาต่อไปจะช่วยในสามารถผลิดเป็นเครื่องมือที่มีราคาถูกลง ช่วยให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงการใช้ได้ เนื่องจากปัจจุบันเครื่องมือคลอโรฟิลล์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่นำเข้าและมีราคาค่อนข้างสูง

บทที่ 4
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ที่ได้จากการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลทั้ง 2 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ ดังนั้นจึงสามารถใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ในการประเมินไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบพืชได้ ทางทีมวิจัยจึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบการวัดกับคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 พบว่า ค่าที่อ่านได้จากเครื่องต้นแบบและค่าที่อ่านได้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นดังสมการเป็น $Y = 1.18x - 7.91$ และค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.95 ซึ่งการศึกษาและพัฒนาในครั้งนี้เพื่อให้ได้เครื่องมือต้นแบบในการปริมาณปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ โดยพบปัญหาการปกปิดส่วนของหัววัดที่มีการรบกวนของแสงจากภายนอก รวมทั้งลักษณะของรูปลักษณ์ของเครื่องมือต้นแบบ ซึ่งทางทีมวิจัยเล็งว่าสามารถที่จะพัฒนาให้เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินสถานะของธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันได้ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการธาตุอาหาร ให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ของปาล์มน้ำมันได้ และเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการจัดการการให้ปุ๋ยที่มากเกินความจำเป็นของปาล์มน้ำมันเช่นกัน และจะเป็นการส่งเสริมให้ เกษตรกรสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีในการจัดการระบบการให้ปุ๋ยของเกษตรกรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นการลดต้นทุนและปัจจัยอื่นๆ ที่ตามมาด้วย

เอกสารอ้างอิง

กองส่งเสริมพืชไร่นา. 2541. ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร.

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, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ประกิจ ทองคำ และปราณี สุวรรณรัตน์. 2553. หลักสำคัญของการจัดการสวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. สงขลา : สถานวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ชุติมา ยานสาร, ภัศจี คงศีล, สิรินทร์ ชุ่มอินทรจักร, ขวัญชนก คลายทุกข์, วิมลศิริ สีหะวงษ์ และปิยะกิตติภาดา. 2558. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และพื้นที่ใบสำปะหลังกับผลผลิตหัวสดมันสำปะหลัง. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 53 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน 3-6 กุมภาพันธ์ 2558 หน้า 516-522.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. สงขลา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2554. การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. สงขลา : คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

พรทิพย์ แก้งคง และสายัณห์ สดุดี. 2548. การประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์รวมในใบลองกองภายใต้สภาวะเครียดน้ำโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์. วารสารสงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 27 : 731-754.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์, พัชรียา บุญกอแก้ว, เจษฎา ภัทรเลอพงษ์, เพ็น สายขุนทด และรวี เสรฐภักดี. 2537. การประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์จากความเขียวใบพืชบางชนิดในประเทศไทย. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 32 สาขาพืช ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน 3-5 กุมภาพันธ์ 2537 หน้า 114-129.

มนต์สรวง เรืองขนาบ, กฤษดา สังข์สิงห์, สุจินต์ แม้นเหมือน และระวี เจียรวิภา. 2553. การตอบสนองทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (Elaeis guineensis Jacq.) ต่อสภาวะน้ำท่วมขัง. วารสารวิชาการเกษตร 1 : 43-57.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. 2541. การเปรียบเทียบวิธีการสกัดคลอโรฟิลล์จากใบพืชโดยใช้สาร Dimethyl sulfoxide และ *N,N*-Dimethylformamide ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 16 : 3-7.

ศรีนัดดา บำเพ็ญผล. 2554. การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบรับแสงภายใต้สภาพได้รับแสงสลับกับการพรางแสงของผักโขม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2547. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถานการณ์สินค้าที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2558. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

สิริมาส วงศ์สุบรรณ, กฤษณา กฤษณพุกต์ และลพ ภวภูตานนท์. 2555. การใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ประเมินระดับคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบส้มโอ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 : 40-50.

สุทธิพันธ์ รัตนสิงห์, รวี เสรฐภีรดี และอรวรรณ แก้วเนตร. 2547. การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และค่า SPAD ในใบของต้นตออุ่นพันธุ์ต่างๆ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 35 (พิเศษ): 533-535.

สุนทรี ยิ่งชัชวาล, จินตณา บางจั่น และจิตฤทัย ชูมาก. 2543. ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบมะม่วงภายใต้สภาพน้ำขัง. รายงานโครงการวิจัยวิธีการให้อากาศเพื่อกู้ชีวิตต้นมะม่วงที่ประสบอุทกภัย ณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 31 กรกฎาคม 2543 หน้า 69-84.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, คัทลียา ฉัตร์เที่ยง, จิตรฤทัย ชูมาก, ธาดา ชัยสีหา, สุทิน หิรัญอ่อน, จินตณา บางจั่น, สุภาพร เรืองวิทยาโชติ และภูริพงศ์ ดำรงวุฒิ. 2544. เส้นตอบสนองต่อแสงจุดชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ ค่านำไหลของผิวใบสองด้านและปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบส้มเขียวหวาน. รายงานโครงการพัฒนาวิชาการข้อมูลพื้นฐานทาง สรีรวิทยาของส้มเขียวหวาน ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 31 กรกฎาคม 2544 หน้า 82-96.

สุภาณี ชนะวีรวรรณ และสายัณห์ สดุดี. 2545. การใช้เครื่องมือ SPAD-502 เพื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและไนโตรเจนในใบของลองกองและเงาะ. วารสารสงขลานครินทร์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 1 : 9-14.

Anonymous. 1986. Chlorophyll meter SPAD-502 instruction manual. Japan : 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.

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.

Brunetto, G., Trentin, G., Ceretta, C. A., Girotto, E., Lorensini, F., Miotto, A., Moser, G. R. Z. and Melo, W. 2012. Use of the SPAD-502 in estimating nitrogen content in leaves and grape yield in grapevines in soils with different texture. American Journal of Plant Sciences 3 : 1549-1561.

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.

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.

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 & 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.

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.

Menesatti, P., Pallottino, F., Antonucci, F., Roccuzzo, 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. Srivastava, A. K.), pp 113-123. Netherlands : Springer.

Moran, R. 1998. Formulae for determination of chlorophyll pigments extracted with *N,N*-Dimethylformamide. Plant Physiology 69 : 1376-1381.

Moran, R. and Porath, D. 1980. Chlorophyll determiniation in intact tissues using *N,N*-Dimethylformamide. Plant Physiology 65 : 478-476.

Mutert, E., Esquivez, A. S., Santos, A. O. and Cervantes, E. O. 1999. The oil palm nusery : foundation for high production. Batter Crop International 13 : 39-44.

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. Brasil Journal 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.

Nielsen, 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.

Patane, P. and Vibhute, A. 2014. Chlorophyll and nitrogen estimation techniques: a review. International Journal of Engineering Research and Reviews 2 : 33-41.

Rankine, I. R. and Fairhurst, T. H. 19998. Field handbook-Oil palm series, Vol.1, Nursery. Oxford Graphic Printers Pte. ltd, Singapore. 93p.

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 Agriculture Environment Biological Science 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. Tolerence off prunus rootstock to potassium carbonate-induced chlorosis. Journal of American Society Horticultural Science 120 : 283-285.

Sim, C. C., Zaharah, A. R., Tan, M. S. and Goh, K. J. 2015. Rapid determination of leaf chlorophyll concentration, photosynthesis activity and NK concentration of Elaies guineensis via correlated SPAD-502 chlorophyll index. Asian Journal of agricultural Research 9 : 132-138.

Uchino, H., Watanabe, T., Ramu, K., Sahrawat, K. L., Marimuthu, S., Wani, S. P. and Ito, O. 2013. Calibrating chlorophyll meter (SPAD-502) reading by specific leaf area for estimating leaf nitrogen. Journal of Plant Nutrition 36 : 53-61.

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.