ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน
Effects of Silicon on Growth and Physiological Characters in Oil Palm Seedlings

ชุติมา ต้องชู
Chutima Tongchu

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน
Effects of Silicon on Growth and Physiological Characters in Oil Palm Seedlings

ชุติมา ต้องชู
Chutima Tongchu

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน
ผู้เขียน นางสาวชุติมา ต้องชู
สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวภา ด้วงปาน)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

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

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ มณีพงศ์)

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

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวภา ด้วงปาน)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เอกสมทราเมษฐ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และของแสดงความขอบคุณบุคคลที่เกี่ยวข้อง

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวภา ด้วงปาน)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(ชุติมา ต้องชู)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อนและไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(ชุติมา ต้องชู)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน
ผู้เขียน นางสาวชุติมา ต้องชู
สาขาวิชา พืชศาสตร์
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ซิลิกอนเป็นธาตุอาหารเสริมประโยชน์สำหรับพืช ช่วยส่งเสริมให้พืชได้รับประโยชน์หลายประการ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 1 ต้น ให้แคลเซียมซิลิเกตในปริมาณที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ให้แคลเซียมซิลิเกต (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 3 และ 4 ให้แคลเซียมซิลิเกต 0.5 3.5 และ 7.0 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สามารถสะสมซิลิกอนได้ เนื่องจากพบความเข้มข้นของซิลิกอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อให้ซิลิกอนเพิ่มขึ้น รวมถึงส่งผลให้ปัจจัยการเคลื่อนย้ายของซิลิกอนจากรากสู่ใบเพิ่มขึ้น

การให้ซิลิกอนจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับซิลิกอนเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น และมีการจัดสรรมวลชีวภาพไปยังส่วนเหนือดินมากขึ้น รวมทั้งอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความสูง ขนาดเส้นรอบวงของโคนต้น และความยาวใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับซิลิกอนเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ซิลิกอนจะมีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับซิลิกอน พบว่า ซิลิกอนส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงยังมีแนวโน้มช่วยเพิ่มปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่เกิดประโยชน์ในการนำซิลิกอนมาใช้ในการผลิตกล้าปาล์มน้ำมันต่อไป

Thesis title Effects of Silicon on Growth and Physiological Characters of Oil Palm Seedlings
Author Chutima Tongchu
Major Program Plant Science
Academic Year 2018

Abstract

Silicon is a beneficial element for plant which promotes several benefits in various mechanisms in plant. This present study aimed to investigate the effects of silicon on growth and physiological characters in oil palm seedlings. The experimental design was completely randomized design with 3 replications. The experiment composed of 4 rates of calcium silicate (0, 0.5, 3.5 and 7 gram per plant). The results showed that oil palm is silicon-accumulating plant. The increased rate of calcium silicate resulted in increased concentration of silicon in oil palm seedlings. Also, the more calcium silicate applied the higher translocation factor from root to leaf observed.

In addition, silicon affected growth in oil palm seedlings. The results showed that high level of calcium silicate applied to oil palm seedlings enhanced relative growth rate of biomass and biomass allocation from root to shoot. Moreover, the relative growth rates of plant height, leaf length and stem diameter were positively affected by calcium silicate. The higher relative growth rate of plant height, stem diameter and leaf length were observed when higher concentrations of calcium silicate were applied.

Additionally, the results suggested that silicon affected physiological characters in oil palm seedlings. The increased photosynthesis efficiency was demonstrated with higher concentration of calcium silicate applied. Chlorophyll content and total nitrogen accumulation in leaf tended to increase in the calcium silicate-treated seedling when compared to control. These results could be used for utilization of silicon in oil palm seedling production.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวภา ด้วงปาน ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา ช่วยเหลือชี้แนะและแนะนำแนวทาง รวมถึงข้อคิดและคำสอนต่างๆ ที่มอบให้แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไข จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ มณีพงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ระวี เจียรวิภา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาพืชศาสตร์ทุกท่านและรองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ และวิชาการในด้านต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า ขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ต้นกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา พันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 และช่วยให้ข้าพเจ้ามีโอกาสได้เรียนรู้วิธีการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ และการเพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาพืชศาสตร์ทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ตลอดจนขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ รวมถึงขอบคุณตัวข้าพเจ้าเองที่มีความอดทน มุ่งมานะ ใฝ่รู้ และเพียรพยายาม จนทำให้การทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภททั่วไป มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และทุนวิจัยความเป็นเลิศ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณยิ่ง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณ คุณพ่อไสว และคุณแม่ศรีรัตน์ ต้องชู และทุกคนในครอบครัว รวมถึงทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในทุกๆ เหตุการณ์ระหว่างช่วงชีวิตในการทำวิทยานิพนธ์ส่งผลให้งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ชุติมา ต้องชู

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการรูป	(10)
รายการภาคผนวก	(11)
บทที่	1
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	11
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	12
วัสดุ	12
อุปกรณ์	13
วิธีการทดลอง	13
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	18
4. สรุป	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	40
ประวัติผู้เขียน	48

รายการตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1. สมบัติดินที่เหมาะสมเพื่อใช้เพาะกล้าปาล์มน้ำมัน..... 9
2. ชนิดและการใช้ปุ๋ยในระยะอนุบาลแรก..... 11
3. พารามิเตอร์และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน..... 13
4. สมบัติเบื้องต้นบางประการของดินก่อนปลูกต้นกล้าปาล์มน้ำมัน..... 18
5. ผลของซิลิกอนต่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของซิลิกอนในส่วนราก ลำต้น ใบ และทั้งหมดของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน..... 23
6. ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 2 และ 4 เดือน..... 26
7. ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์ ของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน..... 30
8. ผลของซิลิกอนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน..... 31
9. ผลของซิลิกอนต่อการสะสมของไนโตรเจนทั้งหมดในใบต้นกล้าปาล์มน้ำมัน..... 32

รายการรูป

ตารางรูปที่ **หน้า**

1. การสะสมของซิลิกอนทั้งต้นในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน..... 19
2. การสะสมของซิลิกอนในส่วนรากของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน..... 20
3. การสะสมของซิลิกอนในส่วนลำต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน..... 21
4. การสะสมของซิลิกอนในส่วนใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุม และได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน..... 22
5. ผลของซิลิกอนต่อเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของซิลิกอนในราก ลำต้น และใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน..... 24
6. ผลของซิลิกอนต่อปัจจัยการเคลื่อนย้าย (Translocation factor; TF) ของซิลิกอนจากรากไปสู่ใบ (อัตราส่วนความเข้มข้นของซิลิกอนของใบต่อราก) ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน..... 25
7. ผลของซิลิกอนต่ออัตราส่วนของส่วนเหนือดินต่อราก ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน..... 27
8. ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของขนาดโคนต้น ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอน..... 28
9. ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้น ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอน..... 28
10. ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความความยาวใบ ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอน..... 29

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

1. ปริมาณการสะสมของซิลิกอนในรากของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน..... 40
2. ปริมาณการสะสมของซิลิกอนในลำต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน..... 40
3. ปริมาณการสะสมของซิลิกอนในใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน..... 41
4. ปริมาณการสะสมของซิลิกอนทั้งต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน..... 41
5. ผลของซิลิกอนต่อเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของซิลิกอนในราก ลำต้น และใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน และปัจจัยการเคลื่อนย้าย (Translocation factor; TF) ของซิลิกอนจากรากไปสู่ใบ (อัตราส่วนความเข้มข้นของซิลิกอนของใบต่อราก) ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน 42
6. ผลของซิลิกอนต่ออัตราส่วนของส่วนเหนือดินต่อราก ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน..... 42
7. ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของขนาดโคนต้น ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอน..... 43
8. ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้น ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอน..... 43
9. ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความยาวใบ ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอน..... 44

รายการรูปภาคผนวก

รูปภาคภาคผนวกที่ **หน้า**

1. การจัดวางถุงเป็นรูปสามเหลี่ยมในโรงเรือนกระจก..... 45
2. ย้ายต้นกล้าปาล์มน้ำมันลงปลูกในระยะอนุบาลหลัก..... 45
3. ต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีอายุ 3 เดือนในระยะอนุบาลหลัก และลักษณะการวางชุดการทดลอง สำหรับเริ่มการทดลอง..... 46
4. ต้นกล้าปาล์มน้ำมันอายุ 5 เดือนในระยะอนุบาลหลัก เมื่อให้ปุ๋ยซิลิกอนเป็นเวลานาน 2 เดือน ในชุดการทดลองควบคุม, ให้แคลเซียมซิลิเกต 0.5 3.5 และ 7.0 กรัมต่อต้น 46
5. ต้นกล้าปาล์มน้ำมันอายุ 7 เดือนในระยะอนุบาลหลัก เมื่อให้ซิลิกอนเป็นเวลานาน 2 เดือน ในชุดการทดลองควบคุมและให้แคลเซียมซิลิเกต 0.5 3.5 และ 7.0 กรัมต่อต้น..... 47

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis quineensis* Jacq.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ จัดเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันอื่น ๆ ทุกชนิด (Meijaard *et al.,* 2018) น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของมนุษย์ทั้งด้านการบริโภคและอุปโภค สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงหรือแปรรูปเพิ่มมูลค่าในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง รวมทั้งในด้านพลังงานทดแทน (biodiesel) (ธีระ และคณะ, 2548) ประเทศไทยเริ่มมีการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อการค้าในปี พ.ศ. 2511 โดยพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่ของประเทศไทยอยู่ทางภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดกระบี่ ตรัง ชุมพร สุราษฎร์ธานี และสตูล ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันไปยังภูมิภาคอื่น ๆ ของประเทศ ได้แก่ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี พ.ศ. 2547 รัฐบาลได้กำหนดกลยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมน้ำมันระยะ 25 ปี (2547-2572) เพื่อมุ่งสู่การเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์มเคียงคู่ผู้นำระดับโลกอย่างมาเลเซียและอินโดนีเซีย นอกจากนี้ยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มของสำนักงานเศรษฐกิจเกษตร ปี พ.ศ. 2558-2569 มีแผนขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเป็น 7.5 ล้านไร่ ในปี 2569 เพิ่มผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยจาก 3.2 ตันเป็น 3.5 ตัน และเพิ่มอัตราปริมาณน้ำมันจากร้อยละ 17 เป็นร้อยละ 20 เพิ่มอุปสงค์ให้มีการใช้ปาล์มน้ำมันเพื่อการบริโภคจาก 1.02 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2558 เป็น 1.35 ล้านตันในปี พ.ศ. 2569 นโยบายดังกล่าวได้เพิ่มความสำคัญของปาล์มน้ำมันในประเทศเป็นอย่างมาก ส่งผลให้เป็นแรงจูงใจให้เกิดการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันอย่างรวดเร็ว โดยในปี พ.ศ. 2558 พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตทั่วประเทศแล้วประมาณ 4.3 ล้านไร่ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2559) และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ

ในการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อให้ได้ผลผลิตอย่างต่อเนื่อง และมีรายได้คุ้มค่ากับการลงทุน เกษตรกรจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่จะนำมาปลูก พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน การจัดการสวนและการดูแลรักษา ซึ่งการปฏิบัติที่ถูกวิธีตั้งแต่ระยะเริ่มแรกจะช่วยให้ได้ต้นปาล์มน้ำมันที่สมบูรณ์ แข็งแรง และให้ผลผลิตสูงอย่างต่อเนื่อง (ธีระพงศ์, 2553) นอกจากนี้ในการปลูกสวนปาล์มน้ำมันควรเลือกใช้ต้นกล้าที่มีคุณภาพสูง ไม่แสดงลักษณะที่ผิดปกติ เพราะต้นกล้าที่มีคุณภาพจะใช้ระยะเวลาสั้นในการเริ่มให้ผลผลิต ช่วยสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรสวนปาล์มน้ำมันได้เร็วยิ่งขึ้น โดยทั่วไปในการปลูกสวนปาล์มน้ำมันจะใช้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันอายุ 8-12 เดือน ที่ผ่านการคัดเลือกต้นกล้าที่ผิดปกติทิ้งไปในระยะอนุบาล หากนำต้นกล้าที่ไม่สมบูรณ์หรือมีลักษณะผิดปกติไปปลูกลงแปลงจะส่งผลกระทบในทางลบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันเป็นอย่างมากทั้งในระยะสั้นและระยะยาว หลังจากนำปลูกลงแปลง ต้นกล้าปาล์มน้ำมันในช่วงอายุ 1-3 ปีแรก ควรได้รับน้ำและปุ๋ยอย่างเพียงพอ เพื่อส่งเสริมให้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโต

อย่างต่อเนื่อง มีอัตราเพิ่มจำนวนใบ และพื้นที่ใบสูง ซึ่งจะช่วยให้การสร้างอาหารจากการสังเคราะห์ด้วยแสงมีมาก และช่วยเพิ่มผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันในที่สุด (ธีระ และธีรพงศ์, 2556)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการดูแลต้นกล้าปาล์มน้ำมันให้มีการเจริญเติบโตดีมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตในแปลงโดยตรง โดยเฉพาะในปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นพืชที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตนานกว่า 25-30 ปี โดยทั่วไปการดูแลปาล์มน้ำมันในระยะต้นกล้าที่สำคัญ คือ การให้น้ำอย่างเพียงพอ และการใส่ปุ๋ยอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ การให้ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารเสริมประโยชน์ เช่น ซิลิกอน ซึ่งจัดเป็นธาตุอาหารเสริมประโยชน์แก่พืช (beneficial element) (ยงยุทธ, 2558; Synder *et al.,* 2001) โดยซิลิกอนจะมีบทบาทสำคัญต่างๆ เช่น เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์มีเสถียรภาพสูงขึ้น ช่วยให้พืชแข็งแรง ลำต้นตั้งตรงป้องกันการล้มและช่วยให้ใบตั้งจึงรับแสงได้มากขึ้น จึงส่งผลต่อด้านสรีระ นั่นคือ ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืช ทำให้มีผลต่อการเจริญโตของพืช ซึ่งประกอบด้วยผลต่อการพัฒนาของราก การเจริญของผลและผลผลิตพืช ดังนั้น ซิลิกอนอาจช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันรวมถึงลดการเกิดลักษณะผิดปกติที่ไม่ได้เกิดจากพันธุกรรมได้ ดังตัวอย่างที่เห็นในพืชชนิดอื่นๆ เช่น ข้าว และอ้อย เป็นต้น

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ซิลิกอนจัดเป็นธาตุอาหารพืชที่จำเป็นในทางการเกษตรสำหรับพืชบางชนิดที่สำคัญ เช่น ข้าว (*Oryza sativa* L.) อ้อย (*Sarcharum officinarum* L.) (Savent *et al.,* 1997; Ma and Takahashi, 2002) โดยการช่วยปกป้องพืชให้สามารถทนต่อสภาวะเครียดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตได้ (Epstein, 1999; Ma, 2004; Currie and Perry, 2007) กล่าวคือ ซิลิกอนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น การพัฒนาราก และการเพิ่มผลผลิต รวมถึงสามารถช่วยให้พืชดูดซึมธาตุอาหารพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (ยงยุทธ, 2558; Synder *et al.,* 2007; Epstein, 2009) อีกทั้งยังช่วยปกป้องพืชจากการทำลายของแมลงและศัตรูพืช เมื่อพืชดูดซิลิกอนในรูปของกรดซิลิซิก (H_4SiO_4) เข้าไปในเซลล์พืช ซิลิกอนจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแข็งที่เรียกว่าไฟโทลิท (phytoliths) ตามผนังเซลล์ ซึ่งทำให้เพิ่มความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืช สามารถทนต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง (Marschner, 1995) ลดอัตราการคายน้ำในพืช (Ma and Takahashi, 2002; Gao *et al.,* 2004) และทำให้ใบอยู่ในตำแหน่งที่สามารถรับแสงได้มากขึ้น ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Gao *et al.,* 2004; Takahashi, 1995; Yoshida, 1959) ทั้งนี้ พืชที่มีการตอบสนองต่อซิลิกอนจะต้องเป็นพืชที่สามารถสะสมซิลิกอนในเนื้อเยื่อได้เท่านั้น โดยประโยชน์ของซิลิกอนจะเด่นชัดขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสม (stress) ต่างๆ จากรายงานของ Munevar และ Romero (2014) จากการสำรวจปริมาณซิลิกอนในใบของปาล์มน้ำมันที่กระจายตัวอยู่ในประเทศโคลอมเบีย พบว่า ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สามารถสะสมซิลิกอนได้ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าซิลิกอนอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของปาล์มน้ำมันเช่นเดียวกับพืชสะสมซิลิกอนอื่นๆ

การศึกษาการใช้ธาตุอาหารเสริมในปาล์มน้ำมันยังมีจำกัด จึงทำให้การนำธาตุอาหารเสริมมาใช้ในปาล์มน้ำมันยังไม่แพร่หลายนัก การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ จึงมีความจำเป็น เพื่อสนับสนุนการนำซิลิกอนมาใช้ในการผลิตปาล์มน้ำมันให้ถูกต้องและเกิดประโยชน์สูงสุด

2. การตรวจเอกสาร

2.1 ธาตุซิลิกอน

ซิลิกอน จัดเป็นธาตุที่พบมากเป็นอันดับสองในเปลือกโลก แต่ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบของแร่ซึ่งละลายน้ำได้ยาก ส่วนที่ละลายได้และอยู่ในรูปของสารละลายดินมีเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่ในดินซิลิกอนจะอยู่ในรูปของสารประกอบซิลิเกต (silicate) หรืออะลูมิโนซิลิเกต และเป็นองค์ประกอบในแร่ควอตซ์ (quartz) และแร่อะลูมิโนซิลิเกตชนิดต่างๆ เช่น แพลจิโอเคลส (plagioclase) ออร์โทเคลส (orthoclase) และเฟลด์สปาร์ (feldspars) ในแร่ดินเหนียว เช่น เคโอลิไนต์ (kaolinite) เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) และสเมกไทต์ (smectite) รวมถึงซิลิกาอสัณฐาน (amorphous silica) ในสารละลายดินส่วนใหญ่จะพบซิลิกอนอยู่ในรูปกรดซิลิซิก (H_4SiO_4) ซึ่งเป็นรูปที่พืชดูดไปใช้ได้และกรดพอลิซิลิซิก (polysilicic) สภาพละลายได้ของกรดดังกล่าวในน้ำ (ที่ 25 °C) ประมาณ 2 มิลลิโมลาร์หรือ 56 มิลลิกรัม Si/ลิตร โดยความเข้มข้นของกรดโมโนซิลิซิกมีค่าอยู่ระหว่าง 14 ถึง 20 มิลลิกรัม Si/ลิตร หากมีค่าเกิน 56 มิลลิกรัม Si/ลิตร ถือได้ว่าเป็นสารละลายอิ่มตัวอย่างยิ่ง ทำให้กรดซิลิซิกเริ่มรวมตัวเป็นพอลิเมอร์ และถ้าบอกความเข้มข้นของกรดซิลิซิกในสารละลายดินในหน่วยมิลลิโมลาร์ จะมีอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 1.99 มิลลิโมลาร์ โดยค่านี้อาจมีการแปรผันอยู่เสมอ เนื่องจากพืชมีการดูดนำไปใช้ มีการสลายและละลายออกมาจากแร่ รวมถึงการดูดซับที่ผิวของเซสควิออกไซด์ (sesquioxide) ในดิน สำหรับดินเขตร้อนมีเซสควิออกไซด์มาก ทำให้มีการดูดซับมากด้วย นอกจากนี้ความเป็นประโยชน์ของซิลิกอนสูงสุดในดินที่มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 9.8 และดินส่วนใหญ่ที่ขาดธาตุซิลิกอนจะมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5-6 (Frings *et al.*, 2014) ปริมาณของซิลิกอนที่รากพืชดูดได้ขึ้นอยู่กับความเป็นประโยชน์ของซิลิกอนในดิน ซึ่งสกัดได้ด้วยสารละลาย 0.01 โมลาร์ $CaCl_2$ (10 ถึง 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (Henriet *et al.,* 2008)

ธาตุซิลิกอน ถือได้ว่าเป็นธาตุอาหารเสริมประโยชน์แก่พืช (beneficial element) ไม่ได้จัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชทั่วไป (ยงยุทธ, 2558; Synder *et al.,* 2001) แต่ซิลิกอนจะมีประโยชน์ต่อพืชหลายชนิด (Epstein, 2001; Ma and Yamaji, 2006) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า พืชดูดซึมซิลิกอนในรูปของกรดซิลิซิก (H_4SiO_4) ในพืชจะพบซิลิกอนอยู่ในรูปซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นส่วนใหญ่ และมีพืชบางชนิดเท่านั้นที่มีการตอบสนองกับธาตุซิลิกอน โดยพืชเหล่านั้นจะต้องมีการสะสมซิลิกอน ซึ่งจะพบมากในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวโดยเฉพาะพืชในวงศ์ Gramineae และ Cyperaceae เช่น ข้าว ข้าวสาลี อ้อย และข้าวฟ่าง พืชชั้นสูงดูดซิลิกอนจากดินมาสะสมมากน้อยแตกต่างกันตามชนิดพืช โดยปริมาณซิลิกอนที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชมีความเข้มข้น 1 ถึง 10% ขึ้นไป (Epstein, 1999; Guntzer *et al.,* 2012; Hodson *et al.,* 2005) Ma และ Takahashi (2002) ได้นำเสนอหลักเกณฑ์การแบ่งแยกพืชที่มีการสะสมซิลิกอนและไม่มีการสะสมซิลิกอน ดังนี้

พืชที่สะสมซิลิกอน คือ พืชที่มีความเข้มข้นซิลิกอนในต้นมากกว่า 1% SiO_2 และมีอัตราส่วนซิลิกอนต่อแคลเซียม (Si/Ca) มากกว่า 1 เป็นพืชในวงศ์ Cyperaceaec และพืชในวงศ์ Gramineae เช่น ข้าวมี 10 ถึง 15% SiO_2

พืชที่ไม่สะสมซิลิกอน คือ พืชที่มีความเข้มข้นซิลิกอนในต้นน้อยกว่า 0.5% SiO_2 และมีอัตราส่วนซิลิกอนต่อแคลเซียม (Si/Ca) น้อยกว่า 0.5 ส่วนมากเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเหลืองมี 0.2% SiO_2

พืชที่มีความเข้มข้นซิลิกอนและอัตราส่วนซิลิกอนต่อแคลเซียมนอกเหนือจากค่าดังกล่าวจะจัดเป็นประเภท intermediate เป็นพืชวงศ์ Gramineae เช่น อ้อย ธัญพืช และพืชใบเลี้ยงคู่บางชนิดมี 1 ถึง 3% SiO_2

Munevar และ Romero (2014) ได้สำรวจความเข้มข้นซิลิกอนในใบปาล์มน้ำมันที่กระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ ในประเทศโคลอมเบีย พบว่า ในใบของปาล์มน้ำมันมีความเข้มข้นซิลิกอนสูง แสดงให้เห็นว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สามารถสะสมซิลิกอนได้

การดูดซิลิกอนจะมีความแตกต่างในพืชแต่ละชนิด (Jones and Handreck, 1967; Ma *et al.,* 2001; Richmond and Sussman, 2003) ในพืชบางชนิด อย่างเช่น พืชในวงศ์ Gramineae มีการดูดซิลิกอนแบบไม่ใช้พลังงาน (passive) (Jones and Handreck, 1967) แต่ในพืชบางชนิด เช่น ข้าว จะดูดซิลิกอนแบบใช้พลังงาน (active) (Ma and Yamaji, 2006; Van Soest, 2006) อย่างไรก็ตาม ในปี 2005 Mitani และ Ma รายงานว่า จะมีตัวขนส่งซิลิกอน (Si transportor) ควบคุมการผ่านเข้า-ออกของซิลิกอนจากรากไปยังไซเล็มในพืชแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งหากมีตัวขนส่งซิลิกอนแบบใช้พลังงานที่สูง จะนำไปสู่การสะสมของซิลิกอนที่สูงในส่วนเหนือดินของพืช (Goto *et al.,* 2001) โดยรากจะดูดซิลิกอนในรูปของกรดซิลิซิกจากไรโซสเฟียร์และลำเลียงต่อไปยังไซเล็ม (Ma and Yamaji, 2006)

ซิลิกอนในพืชจะมีการสะสมอยู่ในรูปที่เรียกว่า ฟิโทลิท (phytolith) ซึ่งจะสะสมในผนังเซลล์ และช่องว่างระหว่างเซลล์ ในส่วนของราก ยอด ลำต้น และช่อดอก ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับพืช ในแปลงปลูกที่มีพืชค่อนข้างหนาแน่นหรือใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูง ใบพืชส่วนปลายมีแนวโน้มที่จะโค้งลง และเกิดการบังแสงกันเอง เมื่อพืชได้รับซิลิกอน การสะสมซิลิกอนที่ผนังเซลล์ชั้นผิวนอกของใบ ทำให้แผ่นใบแข็งและตั้งชันจึงช่วยให้ใบสามารถรับแสงได้ดีขึ้น ส่งผลให้มีการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้น และมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากตามไปด้วย ซิลิกอนยังมีคุณสมบัติช่วยลดการหักล้ม (lodging) ของต้นพืชได้ ช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บเกี่ยวผลผลิต (Dorairaj *et al.,* 2015; Epstein, 2009) นอกจากนี้ การเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ของพืช ยังส่งเสริมความสามารถในการต้านทานการเข้าทำลายของโรคพืช และแมลงศัตรูพืชได้ เช่น ซิลิกอนมีผลเพิ่มการต้านทานโรคไหม้ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในระบบการผลิตข้าวอินทรีย์ (วนิดา, 2555)

การศึกษาในข้าวพบว่า ซิลิกอนช่วยทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณไนโตรเจนในใบมีมากขึ้น เมื่อมีการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้นจึงทำให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตในต้นข้าวระยะต่างๆ จะแตกต่างกันออกไป โดยระยะที่เห็นผลมากที่สุดคือ ข้าวที่กำลังเข้าสู่ระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive stage) นั่นคือ หากมีการให้ซิลิกอนในระยะนี้ จะทำให้น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นถึง 30% ในทางตรงกันข้ามข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่ขาดธาตุซิลิกอนจะเจริญเติบโตช้า และให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก (Ma *et al.,* 1989) สอดคล้องกับการทดลองในพืชอื่นๆ อีกหลายชนิด นอกจากนี้ ยังพบว่าซิลิกอนมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชหลายอย่าง

เช่น พืชที่ได้รับซิลิกอนจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากขึ้น สัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เพิ่มขึ้น การศึกษาในข้าวสาลี พบอัตราการดูดซิลิกอนของรากข้าวสาลีมีความสัมพันธ์กับอัตราการคายน้ำ (transpiration) ดังนั้นจึงอาจใช้ค่าความเข้มข้นของซิลิกอนเป็นตัวบ่งชี้ ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชชนิดนี้ได้ (Nable *et al*, 1990) ซิลิกอนยังมีผลต่อระดับน้ำสัมพันธ์ (relative water content) ช่วยรักษาระดับน้ำในเซลล์พืชให้อยู่ในระดับปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากการขาดน้ำ หรือความเค็ม การช่วยรักษาระดับน้ำในเซลล์พืชจะทำให้พืชเจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ ช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเครียดนั้นๆ (Epstein, 2009) และซิลิกอนยังมีผลต่อการสะสมโพรลีน (proline) ที่เกิดจากการที่พืชอยู่ในสภาวะขาดน้ำ ปริมาณโพรลีนที่เพิ่มขึ้นจะช่วยปรับความดันออสโมติกในพืชให้เหมาะสม ช่วยลดการสูญเสียน้ำจากเซลล์ โดยการศึกษาผลของซิลิกอนต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชสอดคล้องกันในพืชหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าว ข้าวสาลี และข้าวโพด นอกจากนี้ ยังพบว่าการตอบสนองต่อซิลิกอนในพืชจะขึ้นอยู่กับปัจจัยพันธุ์ด้วย (Maghsoudi *et al.,* 2013)

2.2 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชยืนต้น (perennial crop) สามารถเก็บผลผลิตได้นานกว่า 20 ปี ซึ่งปาล์มน้ำมันจัดอยู่ในพืชตระกูลปาล์ม (Palmae ซึ่งปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น Arecaceae) ตระกูลย่อย (sub-family) เดียวกับมะพร้าว คือ Cocoideae สกุล *Elaeis* ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ *Elaeis guineensis, E. oleifera,* และ *E. odora* โดย *E. guineensis* มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุด ซึ่งมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (ธีระ และคณะ, 2548) ดังนี้

2.2.1 ราก

ปาล์มน้ำมันมีระบบรากแบบรากฝอย โดยรากอ่อนจะงอกออกจากเมล็ดเป็นอันดับแรก เรียกว่า แรดิเคิล (radical) เมื่อต้นกล้าอายุได้ประมาณ 2–4 เดือน รากอ่อนจะหยุดการเจริญเติบโตและหายไป และระบบรากจริงจะงอกออกจากส่วนฐานของลำต้น ต้นปาล์มน้ำมันที่เจริญเติบโตเต็มที่จะประกอบด้วยราก 4 ชุด ซึ่งทำหน้าที่ช่วยค้ำจุนลำต้น ดูดซับน้ำและธาตุอาหาร (กรมวิชาการเกษตร, 2550) ดังนี้

รากชุดแรก (primary roots) เป็นรากที่เกิดจากฐานของลำต้นรูปกรวย มีการเจริญเติบโต 2 แนว คือ แนวดิ่งลง (descending) และแนวราบ (horizontal) รากมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-10 มิลลิเมตร ความยาว 3-4 เมตร อาจยาวได้มากกว่านี้ ส่วนของรากที่ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหาร อยู่ตรงส่วนกลางของราก

รากชุดที่สอง (secondary roots) เป็นรากที่เกิดจากเนื้อเยื่อเพอริไซเคิล (pericycle) ของรากชุดแรกเกิดในแนวระดับมากกว่าในแนวดิ่ง ทิศทางการแตกแขนงของรากชุดที่สองมี 2 ประเภท คือ รากที่แตกแขนงในแนวดิ่งขึ้น (ascending secondary roots) และในแนวดิ่งลง (descending secondary roots) โดยทั้ง 2 ประเภทนี้จะตั้งฉากกับรากชุดแรก แต่มีขนาดเล็กกว่า จำนวนที่เกิดเกือบเท่ากัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2–4 มิลลิเมตร

รากชุดที่สาม (tertiary roots) เกิดจากเนื้อเยื่อเพอริไซเคิลของรากชุดที่สอง มีทิศของการเกิดตั้งฉากกับรากชุดที่สอง แต่ขนานกับรากชุดแรก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7–1.2 มิลลิเมตร

รากชุดที่สี่ (quaternary roots) อาจจะมีหรือไม่มี ถ้ามีจะเจริญหรือพัฒนาการมาจากรากชุดที่สาม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1–0.3 มิลลิเมตร ความยาวไม่เกิน 3 เซนติเมตร

รากทุกชุดไม่มีขนราก (root hairs) โดยการดูดซึมและดูดยึดธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันนำมาใช้ประโยชน์ที่ระดับความลึก 50–80 เซนติเมตรจากผิวดิน นอกจากนี้ ศักดิ์ศิลป์ และคณะ (2541) รายงานว่า ความหนาแน่นของรากจะพบในบริเวณรัศมีของพุ่มใบ และลึกลงไปประมาณ 15 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งการแผ่กระจายของรากขึ้นกับสภาพแวดล้อม เช่น สภาพของดิน ปริมาณธาตุอาหาร ความตื้นของระดับน้ำในดิน เป็นต้น โดยการดูดซึมและดูดยึดธาตุอาหารจะเกิดตรงส่วนที่เรียกว่า ไฮโปเดอร์มิส (hypodermis) บริเวณถัดจากปลายของรากแขนงแต่ละชุด นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันมีรากอีกชุดหนึ่ง คือ รากอากาศ (aerial roots) มีจุดกำเนิดจากเนื้อเยื่อเอพิเดอร์มิส (epidermis) และไฮโปเดอร์มิของลำต้นในระดับสูงจากพื้นดินตั้งแต่ 1 เมตรลงมา โดยทำหน้าที่จับและแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างเนื้อเยื่อรากและบรรยากาศ

2.2.2 ลำต้น

ลำต้นของปาล์มน้ำมันมีลักษณะตั้งตรง ไม่มีกิ่งแขนง ประกอบด้วยข้อและปล้องที่ถี่มาก แต่ละข้อมีหนึ่งทางใบเกิดเวียนรอบลำต้น ในระยะที่ปาล์มอายุยังน้อย (น้อยกว่า 3 ปี) จะสังเกตเห็นทางใบอยู่ติดกับลำต้นมากกว่า 40 ทางใบ เมื่อปาล์มมีอายุมากขึ้นและเริ่มมีการตัดแต่งทางใบ จะสังเกตเห็นฐานทางใบที่เป็นรอยตัดแต่งติดอยู่รอบๆลำต้น รอยแผลที่ฐานใบติดกับลำต้นก็คือข้อของลำต้น และส่วนที่อยู่ระหว่างข้อของลำต้นคือปล้อง ต้นปาล์มน้ำมันที่แก่ (อายุมากกว่า 20 ปี) อาจมีความสูงถึง 15–18 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 30–38 เซนติเมตร โดยทั่วไปความสูงของต้นปาล์มจะเพิ่มขึ้นปีละประมาณครึ่งเมตร (ธีระ และคณะ, 2548) และเมื่อต้นปาล์มอายุมากขึ้นกาบใบรอบลำต้นจะร่วง ลำต้นปาล์มน้ำมันจะเรียบเหมือนต้นมะพร้าว (เอกชัย, 2548) นอกจากนี้ Jacquemard (1979) รายงานว่าลำต้นของปาล์มน้ำมัน มีความแปรปรวน ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยของสภาพแวดล้อม และพันธุกรรม โดยภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ปริมาณแสงที่น้อยหรืออุณหภูมิที่ต่ำ จะส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโตที่ช้ามากและการปลูกหนาแน่นส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันมีการยืดตัวสูงเร็วกว่าปกติ

ลำต้นของปาล์มน้ำมันมีหน้าที่สำคัญคือชูใบรับแสงเพื่อสังเคราะห์อาหาร ลำเลียงน้ำและอาหารผ่านกลุ่มมัดท่อลำเลียงน้ำและอาหารภายในลำต้น ซึ่งระบบเนื้อเยื่อภายในประกอบด้วยกลุ่มมัดท่อน้ำหรือไซเล็ม ท่ออาหารหรือโฟลเอ็ม (phloem) ถึง 20,000 หน่วย เป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิต โฟลเอ็มส่วนมากทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอาหารทางลง ส่วนระบบเนื้อเยื่อลำเลียงภายนอกประกอบด้วยเซลล์เวสเซลที่ไม่มีชีวิตจำนวนมาก ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายน้ำและธาตุอาหารทางขึ้น ระบบเนื้อเยื่อลำเลียงดังกล่าวติดต่อถึงกันหมดตลอดทั้งลำต้นและใบ (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

2.2.3 ใบหรือทางใบ

ใบหรือทางใบเป็นใบประกอบรูปขนนก (pinnate) แต่ละใบแตกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นแกนกลางที่มีใบย่อยอยู่ 2 ข้าง แต่ละทางมีใบย่อยประมาณ 100–160 คู่ ใบย่อยยาวประมาณ 100–120 เซนติเมตร กว้างประมาณ 4–6 เซนติเมตร (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

ใบ ประกอบด้วยแกนทางใบ ก้านใบและใบย่อย ซึ่งเกิดจากการพัฒนาของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดลำต้นเป็นจุดกำเนิดตาใบ มีประมาณ 40–50 ตาใบ เมื่อปาล์มโตเต็มที่ทางใบอาจจะมี

ความยาว 6–9 เมตร ขึ้นอยู่กับระยะปลูกและสภาพแวดล้อม โดยทางใบจะเกิดเป็นลักษณะเกลียวรอบต้น ซึ่งเกลียงวงรอบต้นนี้จะเห็นได้เมื่อตัดใบจนถึงโคนใบออก การเกิดทางใบมีทั้งเวียนซ้ายและเวียนขวา มีประโยชน์สำหรับนับอายุของปาล์ม เช่น ชั้นของทางใบมี 3–4 ชั้น หมายถึงต้นปาล์มอายุ 1 ปี (เอกชัย, 2548) โดย Corley และคณะ (1971) รายงานว่า ใบเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยส่งผลต่อการติดทะลายและขนาดของทะลาย เนื่องจากใบเป็นส่วนที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างอาหาร และอาหารจะถูกลำเลียงไปสะสมในส่วนต่างๆ ของต้นปาล์ม โดยเฉพาะที่ทะลายปาล์ม

2.2.4 ช่อดอก

ปาล์มน้ำมันมีทั้งช่อดอกเพศผู้และช่อดอกเพศเมียอยู่บนต้นเดียวกัน (monoecious) แต่อยู่กันคนละช่อ ซึ่ง 1 ทางใบมีตาดอก 1 ตา โดยตาดอกเกิดอยู่บริเวณซอกใบที่ติดกับต้น และดอกสามารถพัฒนาเป็นช่อดอกเพศผู้หรือช่อดอกเพศเมียก็ได้ บางครั้งช่อดอกเพศผู้และช่อดอกเพศเมียอาจอยู่รวมกันในช่อดอกเดียว เรียกช่อดอกประเภทนี้ว่า ช่อดอกกะเทย โดยการกำหนดเพศของช่อดอกเพศเมียขึ้นอยู่กับลักษณะประจำพันธุ์ สภาพแวดล้อมและการจัดการ (ธีระ และคณะ, 2548) โดยการพัฒนาตาดอกจนถึงดอกบานพร้อมจะได้รับการผสม ใช้เวลาประมาณ 33–34 เดือน (สำหรับปาล์มน้ำมันที่ให้ทางใบ 2 ทางใบต่อเดือน) การกำหนดเพศของตาดอกจะเกิดขึ้นในช่วง 20–22 เดือนก่อนดอกบาน ถ้าสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ช่อดอกจะพัฒนาเป็นช่อดอกเพศเมียเป็นส่วนใหญ่มีลมและแมลงเป็นพาหะในการผสมเกสร โดยเฉพาะด้วงงวงปาล์มน้ำมัน (*Elaeidobius kamerunicus*) เป็นแมลงที่มีความสำคัญต่อการช่วยผสมเกสร ซึ่งหลังจากผสม 5–6 เดือน ช่อดอกเพศเมียจะพัฒนาเป็นทะลายที่สุกแก่เต็มที่ (ธีระพงศ์, 2553)

2.2.5 ผลและเมล็ด

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีเมล็ดแบบเมล็ดแข็ง (drupe) (ศักดิ์ศิลป์ และคณะ, 2541) ผลปาล์มประกอบด้วย ชั้นผิวเปลือกหรือเปลือกนอก (exocarp) เปลือกชั้นกลางหรือเนื้อปาล์ม (mesocarp) และเปลือกชั้นในหรือกะลา (shell) ชั้นเปลือกนอกจะมีสีแตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากพวกสารแอนโทไซยานินและสารพวกแคโรทีน ลักษณะนี้สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้

Hartley (1977) ใช้ความแตกต่างของสีในชั้นเปลือกนอก แบ่งประเภทของปาล์มน้ำมันได้ 3 ชนิดคือ

Virescens type เมื่อผลสุกจะเปลี่ยนสีเปลือกนอกจากสีเขียวเป็นสีส้มแดง แต่จุกยังเป็นสีเขียวอยู่ ส่วนมากเป็นพันธุ์ที่ปลูกในทวีปเอเชีย

Nigrescens type มีสีน้ำตาลดำในขณะที่ยังอ่อนอยู่ เมื่อผลสุกสีจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีแดง แต่จุกผลยังเป็นสีน้ำตาลดำเหมือนเดิม

Albescens type จะไม่มีสารแคโรทีนในเปลือกชั้นนอก เนื่องจากสีผลป็นสีเขียวเข้ม แต่เดิมเรียกผลชนิดนี้ว่า Abefita พบมากในแถบประเทศคองโกไนจีเรีย

ในสภาพปกติเมล็ดปาล์มน้ำมันจะงอกช้า เนื่องจากเมล็ดปาล์มน้ำมันอยู่ในสภาวะพักตัว การพักตัวของเมล็ดปาล์มน้ำมันแก้ไขได้โดยให้ความร้อนแก่เมล็ดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

นาน 80 วัน ความชื้นเมล็ดที่ 22 เปอร์เซ็นต์เหมาะต่อการงอกของเมล็ด (ศักดิ์ศิลป์ และคณะ, 2541) กระบวนการงอกของเมล็ดจนได้เป็นต้นกล้าใช้เวลาประมาณ 3–4 วัน

2.3 ต้นกล้าปาล์มน้ำมันและการอนุบาล

2.3.1 ต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

ต้นกล้าปาล์มน้ำมันพัฒนามาจากเอ็มบริโอที่อยู่ในเนื้อในเมล็ดโดยงอกมาทางช่องไมโครไพล์ (micropyle) หลังจากเพาะประมาณ 3 วัน ช่วงแรกของการเจริญเติบโตรากอ่อนจะโผล่ออกมาเป็นส่วนแรก เมื่อรากยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ยอดอ่อนจึงจะโผล่ออกมา ในช่วง 2 เดือนแรกต้นกล้าจะอาศัยอาหารจากจาวในเมล็ด เมื่อปาล์มน้ำมันอายุได้ประมาณ 6 เดือน รากฝอยจะงอกออกจากวงแหวนที่อยู่เหนือจุดเชื่อมระหว่างรากอ่อน และลำต้นใต้ใบเลี้ยงพร้อมที่จะทำหน้าที่แทนรากอ่อน Turner และ Gillbanks (1974) รายงานว่า ระบบรากที่ต้นกล้าปาล์มน้ำมันสร้างขึ้นจะทำหน้าที่ดูดธาตุอาหารจำพวกสารอนินทรีย์ หลังจากต้นกล้าปาล์มน้ำมันงอกได้ประมาณ 1 เดือนก็จะเริ่มเกิดใบจริงรูปหอก (lanceolate leaf) ชุดแรก เมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันโตขึ้นจะเปลี่ยนเป็นใบสองแฉก (bifurcate leaf) และใบรูปขนนก ตามลำดับ

2.3.2 การอนุบาลต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

การอนุบาลต้นกล้าปาล์มน้ำมันสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเพาะกล้าแบบอนุบาลครั้งเดียว และการเพาะกล้าแบบอนุบาลสองครั้ง โดยทั่วไปการเพาะกล้าแบบอนุบาลสองครั้งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันมากกว่าการเพาะกล้าแบบอนุบาลครั้งเดียว โดยมีขั้นตอนในการอนุบาลกล้าปาล์มน้ำมันแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

1) ระยะอนุบาลแรก (pre nursery) เป็นการดูแลต้นกล้าประมาณ 3 เดือนแรกในการเพาะชำที่ถาวรหรือชั่วคราวที่มีอายุคงทนอยู่ได้ไม่ต่ำกว่า 1 ปี โดยเพาะชำต้นกล้าในถุงดำพลาสติกขนาด 15x23 ตารางเซนติเมตร หนาอย่างน้อย 250 เกจ หลังจากนั้นจึงย้ายต้นกล้าลงถุงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

2) ระยะอนุบาลหลัก (main nursery) เป็นการดูแลรักษาต้นกล้าตั้งแต่อายุ 3 เดือนจนถึงนำไปปลูกลงในแปลงปลูกจริง ซึ่งต้นกล้ามีอายุตั้งแต่ 10–14 เดือน โดยเพาะชำต้นกล้าในถุงพลาสติกสีดำขนาดไม่ต่ำกว่า 40x45 ตารางเซนติเมตร หนาอย่างน้อย 500 เกจ

2.3.3 การคัดทิ้งกล้าปาล์มน้ำมันที่ผิดปกติ

การคัดกล้ากล้าปาล์มน้ำมันที่ผิดปกติเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญมากสำหรับแปลงเพาะกล้าปาล์มน้ำมันทุกแปลง เนื่องจากจะส่งผลกระทบในระยะยาวต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันเมื่อถูกนำไปปลูกในแปลง ดังนั้นหากต้นกล้าใดมีลักษณะผิดปกติหรือคาดว่าน่าจะเป็นลักษณะผิดปกติให้ทำการคัดทิ้งทันที โดยทั่วไปหากแปลงเพาะกล้าปาล์มน้ำมันที่มีการจัดการดี การเพาะกล้าแบบอนุบาลครั้งเดียวจะมีการคัดทิ้งลักษณะผิดปกติไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเพาะกล้าแบบอนุบาลสองครั้ง ในระยะอนุบาลแรกจะมีการคัดทิ้งลักษณะผิดปกติไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (ส่วนใหญ่เป็นต้นกล้าที่ตาย ไม่สมบูรณ์ และผิดปกติ) ส่วนในระยะอนุบาลหลักจะมีการคัดทิ้งลักษณะผิดปกติไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์

ในการคัดทิ้งลักษณะผิดปกติควรดำเนินการ 2 ครั้ง คือเมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีอายุได้ 3 เดือน และ 6 เดือน ซึ่งเป็นระยะที่สามารถสังเกตลักษณะผิดปกติได้ชัดเจน หากกล้าปาล์มน้ำมันมีอายุมากกว่า 10 เดือน การสังเกตลักษณะผิดปกติต่างๆ จะยากมาก ลักษณะผิดปกติที่พบในแต่ละระยะอนุบาล มีดังนี้

1) ลักษณะผิดปกติในกล้าปาล์มน้ำมันที่ต้องคัดทิ้งในระยะอนุบาลแรก ได้แก่ ใบเรียวแคบ ยอดและใบบิดเบี้ยว ใบม้วนย่น ต้นแคระแกร็นและใบกึ่งกลางขอด

2) ลักษณะผิดปกติในกล้าปาล์มน้ำมันที่ต้องคัดทิ้งในระยะอนุบาลหลัก ได้แก่ ใบย่อยไม่คลี่ ต้นสูงชะลูด ต้นเล็กแคระแกร็น ใบใหม่เกิดสั้น ใบด่าง ใบย่อยห่างกัน ใบย่อยแคบ ทางใบตกและต้นอ่อนแอ

2.3.4 ลักษณะของดินที่ใช้เพาะกล้าปาล์มน้ำมัน

ใช้ดินที่มีการระบายน้ำได้ดี ร่อนดินผ่านตะแกรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1 เซนติเมตร เพื่อแยกเศษหินและวัสดุอื่นที่มีขนาดใหญ่ออก การบรรจุใส่ถุงควรเลือกหน้าดินที่มีสมบัติทางกายและทางเคมีที่เหมาะสมเป็นดินร่วนปนเหนียว และมีความอุดมสมบูรณ์สูงรวมถึงมีการระบายน้ำและอากาศได้ หากเป็นดินเหนียวควรผสมด้วยวัสดุปลูกอื่น เช่น แกลบ ขุยมะพร้าว ในอัตราส่วนดินต่อวัสดุปลูก เท่ากับ 2:1 โดยมีข้อควรระวังคือต้องใช้ดินร่วนปนเหนียวที่ไม่แตกออกจากกัน เนื่องจากในขณะย้ายต้นกล้าลงในถุงใหญ่ หากดินแตกออกจากกันจะทำให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อราก ส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าเกิดการชะงัก (transplanting shock) สำหรับการบรรจุดินควรเตรียมไว้ล่วงหน้าก่อนการเพาะเมล็ดประมาณ 7 วัน ซึ่งในการบรรจุดินควรอัดดินให้แน่นพอสมควร และควรรดน้ำพอประมาณเพื่อให้ดินยุบ หลังจากนั้น 1–2 วัน ควรเติมดินให้อยู่ในระดับเสมอปากถุง (ธีระ และคณะ, 2548) สมบัติดินที่เหมาะสมที่ใช้เพาะกล้าปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติดินที่เหมาะสมเพื่อใช้เพาะกล้าปาล์มน้ำมัน

Soil properties	Optimal value
pH (pH; 1:5, soil:water)	>4.5
Sand content (%)	30-60
Clay content (%)	25-45
Organic carbon (%)	2-3
Total N (%)	0.15-0.20
Available P (Bray II, mg/kg)	>25
Extractable K (cmol/kg)	>0.2
Extractable Mg ($cmol_c$/kg)	>0.4

ที่มา : Rankine และ Fairhurst (1998)

2.3.5 การพรางแสง

การเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระยะแรกจะอ่อนแอต่อแสงแดดมาก โดยเฉพาะส่วนของใบอ่อนและยอดอ่อน ซึ่งจะแสดงอาการใบไหม้ (sun scorch) มีอาการใบเรียวแคบกว่าปกติ และมีการเจริญเติบโตช้า ดังนั้นในระยะเวลา 10 สัปดาห์แรกของการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระยะแรกควรมีการทำร่มเงา เพื่อลดความร้อนจากแสงแดดโดยตรงและให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตและมีการพัฒนาอย่างปกติ (ผาสุก และคณะ, 2528) โดยใช้ตาข่ายพรางแสงที่สามารถลดความเข้มแสง (light intensity) ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในระยะอนุบาลแรกจะต้องสร้างโรงเรือนเพื่อติดตั้งตาข่ายให้สูงกว่าระดับพื้นดินประมาณ 2 เมตร และควรหลีกเลี่ยงการให้ร่มเงาที่มากเกินไป เนื่องจากจะทำให้ต้นกล้ายืดตัว (etiolation) เพื่อรับแสง จึงส่งผลให้ต้นกล้าอ่อนแอ ยอดและใบหักง่าย อีกทั้งทำให้อัตราการเข้าทำลายของเชื้อราเพิ่มขึ้น

2.3.6 การให้น้ำและการใส่ปุ๋ย

พรชัย (2523) รายงานว่า การให้น้ำในระยะต้นกล้ามีทั้งแบบฉีดรดด้วยสายยางและแบบ sprinkler ซึ่งการให้น้ำแบบใช้สายยางฉีดรดมักจะเป็นการให้น้ำแก่ต้นกล้าในระยะแรกเท่านั้น โดยปริมาณความต้องการน้ำของต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่มีอายุแตกต่างกันในแปลงเพาะ แสดงดังนี้

กล้าปาล์มอายุ 0–2 เดือน ต้องการปริมาณน้ำ 4 มิลลิเมตรต่อวัน
กล้าปาล์มอายุ 2–4 เดือน ต้องการปริมาณน้ำ 5 มิลลิเมตรต่อวัน
กล้าปาล์มอายุ 4–6 เดือน ต้องการปริมาณน้ำ 7 มิลลิเมตรต่อวัน
กล้าปาล์มอายุ 6–8 เดือน ต้องการปริมาณน้ำ 10 มิลลิเมตรต่อวัน

หากต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับน้ำไม่เพียงพอ จะส่งผลให้ต้นกล้ามีความเสียหายมาก โดยจะเจริญเติบโตช้ากว่าปกติและจะมีลักษณะอาการผิดปกติแสดงให้เห็นแตกต่างกัน (ธีระ และคณะ , 2548)

ในระยะอนุบาลแรกจะใส่ปุ๋ยเมื่อใบแรกของต้นกล้าปาล์มน้ำมันเจริญเต็มที่หรือจะใส่ประมาณสัปดาห์ที่ 4 หลังจากปลูก ซึ่งจะทำการเริ่มใส่ปุ๋ยและให้ปุ๋ยในทุกๆ สัปดาห์จนกว่าจะย้ายต้นกล้าปาล์มน้ำมันไปปลูกในระยะอนุบาลหลัก โดยการให้ปุ๋ยจะให้ในรูปของสารละลายหรือปุ๋ยทางใบ ซึ่งจะเริ่มจากการให้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) เมื่อใบแรกของต้นกล้าปาล์มน้ำมันเจริญเต็มที่ ดังแสดงในตารางที่ 2

ในระยะอนุบาลหลักการใช้ปุ๋ยอาจมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากช่วงอนุบาลแรก ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของปุ๋ยผสม ความถี่ และอัตราการใส่ปุ๋ย การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-6-4 (N-P_2O_5-K_2O-MgO) ในช่วง 5 เดือนแรกหลังการย้ายกล้าจากช่วงอนุบาลแรก ควรใส่ในอัตรา 7 กรัมต่อต้น ในช่วง 2 เดือนแรก และเพิ่มเป็น 2 เท่าในเดือนที่ 3 หลังการย้ายกล้า ในเดือนที่ 6 เปลี่ยนเป็นใช้ปุ๋ยสูตรอื่น โดยมีการเพิ่มธาตุอาหารจุลธาตุ ใส่ปุ๋ยสูตร 15-12-17-4+TE (N-P_2O_5-K_2O-MgO+Trace elements) ในอัตรา 14 กรัมต่อต้น และใส่เพิ่มขึ้นเป็น 21 กรัม ในเดือนที่ 7 ถึงเดือนที่ 10 (Kushairi and Rajanaidu, 2000)

ตารางที่ 2 ชนิดและการใช้ปุ๋ยในระยะอนุบาลแรก

Age of oil palm seedling (week)	Fertilizer type	Utilization rate / 500 seedlings
4 (leaf 1, fully developed)	46-0-0	40 g + water 25 L
5	18-46-0	75 g + wate 25 L
6	15-15-15/1.2 MgO	75 g + wate 25 L
7	18-46-0	100 g + wate 30 L
8	15-15-15/1.2 MgO	110 g + wate 30 L
9	18-46-0	150 g + wate 30 L
10	15-15-15/1.2 MgO	150 g + wate 30 L

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2550)

ในระยะอนุบาลหลัก (กล้าปาล์มมีอายุตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป) การให้ปุ๋ยเม็ดผสมที่นิยมใช้มี 2 ชนิด (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลผลิตปาล์มน้ำมัน, 2548) คือ ปุ๋ยผสมชนิดที่ 1 : 15-15-6-4 (N-P_2O_5-K_2O-MgO) ปุ๋ยผสมชนิดที่ 2 : 12-12-17-2+TE (N-P_2O_5-K_2O-MgO +Trace elements)

ปริมาณการใช้ปุ๋ยทั้งสองชนิดนี้ที่แนะนำไว้ขึ้นอยู่กับอายุต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ทั้งนี้การพิจารณาใช้ปุ๋ยจำเป็นต้องสังเกตลักษณะการขาดธาตุอาหารต่างๆ ในกล้าปาล์มน้ำมันด้วย การจัดการปุ๋ยที่ดีและเหมาะสมจะต้องคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสม ไม่ใส่น้อยหรือมากจนเกินไป เพราะการใช้ปุ๋ยเปรียบเสมือนต้นทุนการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันด้วยเช่นกัน วิธีการใส่ปุ๋ยสูตรต่างๆ สามารถหว่านปุ๋ยรอบต้นในถุงพลาสติก โดยพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้เม็ดปุ๋ยไปโดนต้นหรือใบปาล์มน้ำมัน และต้องให้น้ำทันทีหลังจากใส่ปุ๋ยและรักษาระดับความชื้นดินอย่างอย่างสม่ำเสมอ (พรชัย, 2549; Gillbanks, 2003)

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของซิลิกอนต่อการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตและสรีรวิทยา ได้แก่ การสะสมไนโตรเจน การสร้างคลอโรฟิลล์ การสังเคราะห์ด้วยแสง รวมทั้งการสะสมของซิลิกอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ

1.1 ต้นกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา พันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 อายุ 4 เดือน
1.2 ดินปลูก
1.3 ถุงดำพลาสติกขนาด 16x18 นิ้ว
1.4 ถุงกระดาษ
1.5 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5
1.6 เทปกาว
1.7 ปุ๋ยเชิงผสม 15-9-15 (N-P_2O_5-K_2O)
1.8 แคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate : Ca_2SiO_4)
1.9 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid : 98 % (w/w) H_2SO_4)
1.10 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid : 37 % (w/w) HCl)
1.10 กรดบอริก (Boric acid : H_3BO_3)
1.11 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid : $C_6H_8O_6$)
1.12 กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid : $C_4H_6O_6$)
1.13 กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid : 48 % (w/v) HF)
1.14 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH)
1.15 โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3 : 17 % (w/v) Sodium sulfite)
1.16 แอมโมเนียมโมลิปเดต (Ammonium molybdate : $(NH_4)_6Mo_7O_2{\cdot}4H_2O$)
1.17 แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride : $CaCl_2{\cdot}2H_2O$)

2. อุปกรณ์

2.1 ตู้อบตัวอย่างพืช (hot air oven)
2.2 เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 กรัม
2.3 เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.0001 กรัม
2.4 เครื่องย่อยตัวอย่าง (digestion block)
2.5 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (nitrogen distillation apparatus)
2.6 เครื่องเขย่า (table rotary shaker)
2.7 เครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (visible spectrophotometer)
2.8 เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)
2.9 เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (conductivity meter)
2.10 ตะแกรงร่อนดินขนาดช่อง 2 มิลลิเมตร
2.11 พลั่วตักดิน
2.12 เครื่องบดตัวอย่างพืช
2.13 เครื่องแก้วต่างๆ
2.14 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
2.15 เครื่อง MultispeQ V.1, PhotosynQ

3. วิธีการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์ดินก่อนปลูกพืช

สุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองมาผึ่งลมให้แห้ง ร่อนดินผ่านตะแกรงขนาดตาช่อง 2 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง สภาพการนำไฟฟ้าของดิน ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่สกัดได้ แมกนีเซียมที่สกัดได้ เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของดินและปริมาณธาตุอาหารต่อต้นกล้าปาล์มน้ำมัน และวิเคราะห์ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนเริ่มการทดลองตามวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน

Parameter	Methods
pH	pH meter soil:water = 1:5 (Onthong, 2017)
EC (dS/m)	Electrical conductivity soil:water = 1:5 (Onthong, 2017)
Total N (%)	Kjeldahl method (Onthong, 2017)
Available P (mg/kg)	Bray II, Molybdenum blue method (Onthong, 2017)
Extractable K (cmol/kg)	1 M NH_4OAc pH 7 Flame photometer (Onthong, 2017)
Extractable Mg ($cmol_c$/kg)	1 M NH_4OAc pH 7 Atomic Absorbtion Spectrophotometer (Onthong, 2017)
Extractable Ca (cmol/kg)	1 M NH_4OAc pH 7 Atomic Absorbtion Spectrophotometer (Onthong, 2017)
Available Si (mg/kg)	Yellow molybdenum blue method (Estefan *et al*., 2013)

3.2 การเตรียมพืชและการให้สารซิลิกอน

เตรียมเมล็ดปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา พันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 นำเมล็ดมาผ่านกระบวนการเพาะเมล็ดงอกในถาดเพาะเมล็ด ทำการย้ายต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระยะอนุบาลแรก อายุ 7 เดือน มาอนุบาลหลัก โดยเลือกต้นที่มีลักษณะแข็งแรงดีและมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ปลูกในถุงปลูกพลาสติกสีดำขนาดใหญ่ (16x18 นิ้ว) ที่บรรจุดินร่วนเหนียวปนทรายที่ผ่านการร่อนดินผ่านตะแกรงขนาดช่อง 0.5 เซนติเมตร เพื่อแยกเศษหินและวัสดุอื่นที่มีขนาดใหญ่ออก วางถุงพลาสติกที่ปลูกต้นกล้าปาล์มน้ำมันเรียบร้อยแล้วในโรงเรือนกระจก โดยวิธีการวางถุง วางเป็นรูปสามเหลี่ยม ระยะห่าง 30x30 ตารางเซนติเมตร รดน้ำทุกๆ วัน ในปริมาตร 1.5 ลิตรต่อต้น และใส่ปุ๋ยเชิงผสม 15-9-15 (N-P_2O_5-K_2O) ปริมาณ 7 กรัมต่อต้น เดือนละ 2 ครั้ง หลังจากย้ายปลูก เพื่อให้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโตดีและปรับตัวในสภาพเรือนกระจกก่อนการทดลอง เริ่มการทดลองเมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีอายุ 4 เดือนในระยะอนุบาลหลัก

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 12 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น โดยให้ซิลิกอนในรูปผงแคลเซียมซิลิเกต (Ca_2SiO_4) ที่ระดับต่างๆ รวม 4 ชุดการทดลอง ได้แก่

1. ให้แคลเซียมซิลิเกตปริมาณ 0.0 กรัม/ต้น
2. ให้แคลเซียมซิลิเกตปริมาณ 0.5 กรัม/ต้น
3. ให้แคลเซียมซิลิเกตปริมาณ 3.5 กรัม/ต้น
4. ให้แคลเซียมซิลิเกตปริมาณ 7.0 กรัม/ต้น

เริ่มให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตหลังจากย้ายปลูกได้ 4 เดือนในระยะอนุบาลหลัก โดยให้เดือนละ 1 ครั้งเป็นเวลา 4 เดือน การให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตจะให้ทางราก โดยโรยผงแคลเซียมซิลิเกตบนดินรอบๆ ห่างจากโคนต้นประมาณ 10 เซนติเมตร

3.3 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

3.3.1 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันโดยไม่ทำลายต้น

เพื่อวัดการเจริญเติบโตแบบไม่ทำลายต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยทำการเก็บข้อมูลครั้งแรกก่อนเริ่มให้แคลเซียมซิลิเกต และบันทึกข้อมูลทุก 2 เดือน เป็นเวลา 4 เดือน โดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตต่างๆ ดังนี้

- ขนาดเส้นรอบวงของโคนต้น (เซนติเมตร) วัดสูงจากบริเวณผิวดินรอบโคนต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 0.5 เซนติเมตร
- ความสูงของต้น (เซนติเมตร) วัดจากผิวดินถึงบริเวณข้อใบที่ยาวที่สุดของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน
- ความยาวทางใบ (เซนติเมตร) วัดจากโคนก้านใบของทางใบที่ยาวที่สุดของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

3.3.2 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันโดยทำลายต้น

ทำการสุ่มตัดต้นกล้าปาล์มน้ำมันจำนวน 3 ซ้ำ (ต้น)/ทรีตเมนต์ โดยทำการเก็บข้อมูลครั้งแรกก่อนเริ่มให้แคลเซียมซิลิเกต และหลังจากนั้นเมื่อให้แคลเซียมซิลิเกตจะเก็บผลทำลายต้น บันทึกข้อมูลทุก 2 เดือน เป็นเวลา 4 เดือน จะได้ข้อมูลการเจริญเติบโตแบบทำลายต้นทั้งหมด 3 ครั้ง และทำการชั่งน้ำหนักสด (กรัม/ต้น) ของราก ลำต้น และใบ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักแห้งคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ของราก ลำต้น และใบ เพื่อหาอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (relative growth rate) และการจัดสรรมวลชีวภาพ (biomass allocation)

อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate)

$$\text{Relative Growth Rate (RGR)} = (\ln w_2 - \ln w_1)/(t_2-t_1)$$

(Hoffann, W.A. and H. Poorter., 2002.)

โดยที่ W_1 คือ มวลชีวภาพก่อนการทดลอง
W_2 คือ มวลชีวภาพหลังการทดลอง
t_1 คือ เวลาที่เริ่มต้นทำการทดลอง
t_2 คือ เวลาที่สิ้นสุดการทำการทดลอง

การจัดสรรมวลชีวภาพ (Biomass allocation)

Biomass allocation = Shoot biomass (g) / Root biomass (g)

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

นำตัวอย่างพืชมาวิเคราะห์ธาตุอาหาร เพื่อศึกษาความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ โดยทำการเก็บข้อมูลครั้งแรกก่อนเริ่มให้แคลเซียมซิลิเกต และหลังจากนั้นเมื่อให้แคลเซียมซิลิเกตจะบันทึกข้อมูลทุก 2 เดือน เป็นเวลา 4 เดือน สำหรับตัวอย่างต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ทำการสุ่มตัดต้นกล้าปาล์มน้ำมันจำนวน 3 ซ้ำ (ต้น)/ทรีตเมนต์ นำต้นสดแยกส่วนของราก ลำต้น และใบ ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บดด้วยเครื่องบดให้ละเอียด เพื่อนำไปวิเคราะห์ซิลิกอนโดยวิธี Molybdenum blue method (Saito *et. al.,* 2005; ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542) เพื่อหาปริมาณการสะสมซิลิกอนในพืช (Si accumulation) การกระจายตัวของซิลิกอนในส่วนต่างๆ ของพืช (Si distribution) และปัจจัยการเคลื่อนย้ายของซิลิกอน (Translocation factor) รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยวิธีของ Kjeldahl method (จำเป็น, 2560) เพื่อตรวจสอบผลของซิลิกอนต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

การกระจายตัวของซิลิกอนในส่วนต่าง ๆ ของพืช (Si distribution)

Si distribution = (Si concentration in each of part organ/Total Si concentration) x 100

ปัจจัยการเคลื่อนย้ายของซิลิกอน (Translocation factor)

TF = Si concentration in shoot/Si concentration in root

3.5 การเก็บข้อมูลทางสรีรวิทยา

3.5.1. การวัดค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (maximum quantum efficiency of photosystem II, F_v/F_m)

ทำการวัดค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยเครื่อง MultispeQ V.1 ที่ตำแหน่งทางใบที่ 3 ค่าที่ได้จากเครื่องมือเป็นค่า Phi2 โดยทำการสุ่มวัดต้นกล้าจำนวน 5 ซ้ำ (ต้น)/ทรีตเมนต์ ในช่วงเวลา 9.00–10.00 น. วัดทุก 2 เดือนหลังจากการเริ่มให้แคลเซียมซิลิเกตกับต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

3.5.2. การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบต้นกล้าปาล์มน้ำมันหลังจากทำาการให้แคลเซียมซิลิเกตแก่ต้นกล้าปาล์มน้ำมันเป็นเวลา 4 เดือนโดยทำการสุ่มต้นกล้าจำนวน 3 ซ้ำ (ต้น)/ทรีตเมนต์ เพื่อวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยใช้ทางใบที่ 3 ด้วยวิธีการดังนี้

เจาะใบเป็นแผ่นวงกลม ขนาดพื้นที่ 0.84 ตารางเซนติเมตร นำตัวอย่างแผ่นใบใส่ในหลอดแก้วที่เติมสาร DMF (N,N-Dimethyformamide) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดแก้ว นำไปเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายโดยแสง หลังจากเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง คลอโรฟิลล์จะถูกสกัดออกจากเนื้อเยื่อทั้งหมด นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ที่มีความยาวคลื่น 647 และ 664 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) โดยใช้สารละลาย DMF บริสุทธิ์เป็นตัวตั้งค่าที่ศูนย์ ค่าดูดแสงที่ได้ใช้คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ มีหน่วยเป็น g/m^2 (Moran, 1982) ตามสมการ คือ

Chlorophyll a = [-2.99(A_{647}) + 12.64(A_{664})]*Vol / (X*Area*100)

Chlorophyll b = [23.26(A_{647}) – 5.60(A_{664})]*Vol / (X*Area*100)

Total Chlorophyll = [10.27(A_{647}) + 7.04(A_{664})]*Vol / (X*Area*100)

เมื่อ A_{647} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 647 nm

A_{664} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 nm

Vol = ปริมาตรของ DMF ที่ใช้สกัดคลอโรฟิลล์ (ml)
สัดส่วนของการเจือจาง (เท่ากับปริมาตรสารละลายเริ่มต้นหารด้วย
ปริมาตสารละลาย ถ้ามีการเจือจาง ใช้เมื่อสารละลายสกัดครั้งแรกมี

X = ความเข้มข้นสูงเกินไปจนค่าดูดกลืนแสงอ่านค่าเกิน 0.8)

Area = พื้นที่แผ่นใบที่ใช้สกัด, cm^2

3.6 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิตของตัวแปรต่างๆ ที่ทำการศึกษา และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fisher's Least-Significant Difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. สถานที่ทำการวิจัย

4.1 เรือนกระจกคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

4.2 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

4.3 ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช ภาคชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติของดิน

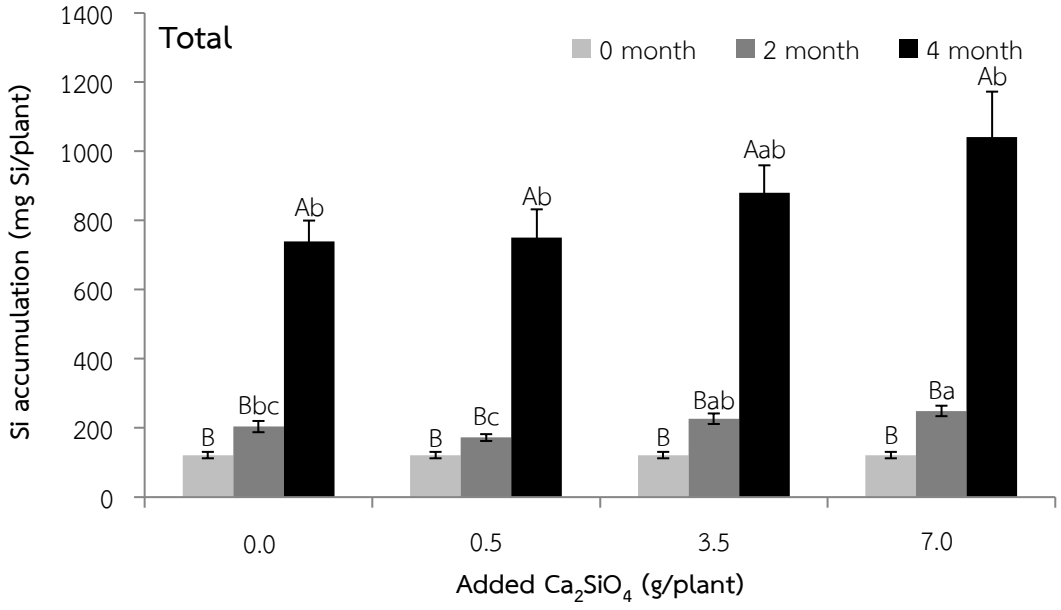
จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นบางประการของดินก่อนปลูกต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยดินกรดเป็นดินที่เหมาะแก่การใช้ปลูกกล้าปาล์มน้ำมันอย่างแพร่หลาย (Rankine and Fairhurst, 1998) พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีสภาพเป็นกรด (pH 4.76) และมีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ เนื่องจาก มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่ำ ส่วนปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่า ในดินก่อนปลูกพืชมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ ดังนั้น จึงมีการให้ปุ๋ยเชิงผสม 15-9-15 (N-P_2O_5-K_2O) แก่ต้นกล้าปาล์มน้ำมันปริมาณเท่ากันทุกต้น เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตอย่างเพียงพอและเหมาะสม

ตารางที่ 4 สมบัติเบื้องต้นบางประการของดินก่อนปลูกต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

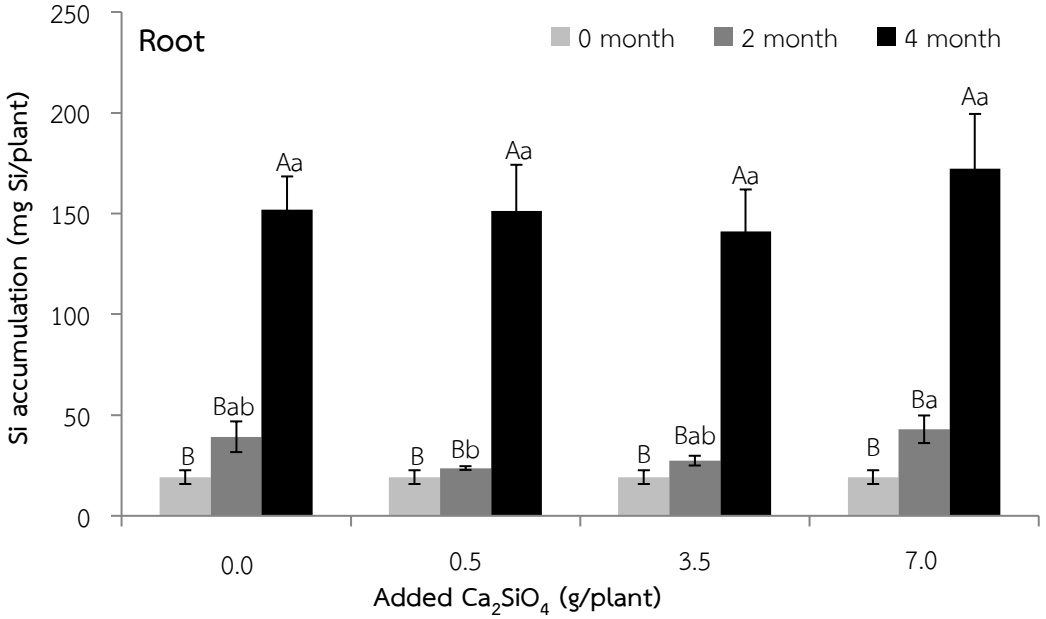
Soil properties	Methods	Analytical value
pH	1:5, soil : water	4.76
EC	Electrical conductivity 1:5, soil : water	0.303 ds/m
Total N	Kjeldahl method	0.262 g/kg
Available P	Bray II, Molybdinum blue method	1.729 mg/kg
Extractable K	NH_4OAc method	0.073 cmol/kg
Extractable Ca	NH_4OAc method	0.034 cmol/kg
Extractable Mg	NH_4OAc method	0.020 $cmol_c$/kg
Available Si	Yellow molybdenum blue method	8.774 mg/kg
Texture	Hydrometer	Sandy Clay Loam

2. ผลของซิลิกอนต่อการสะสมซิลิกอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

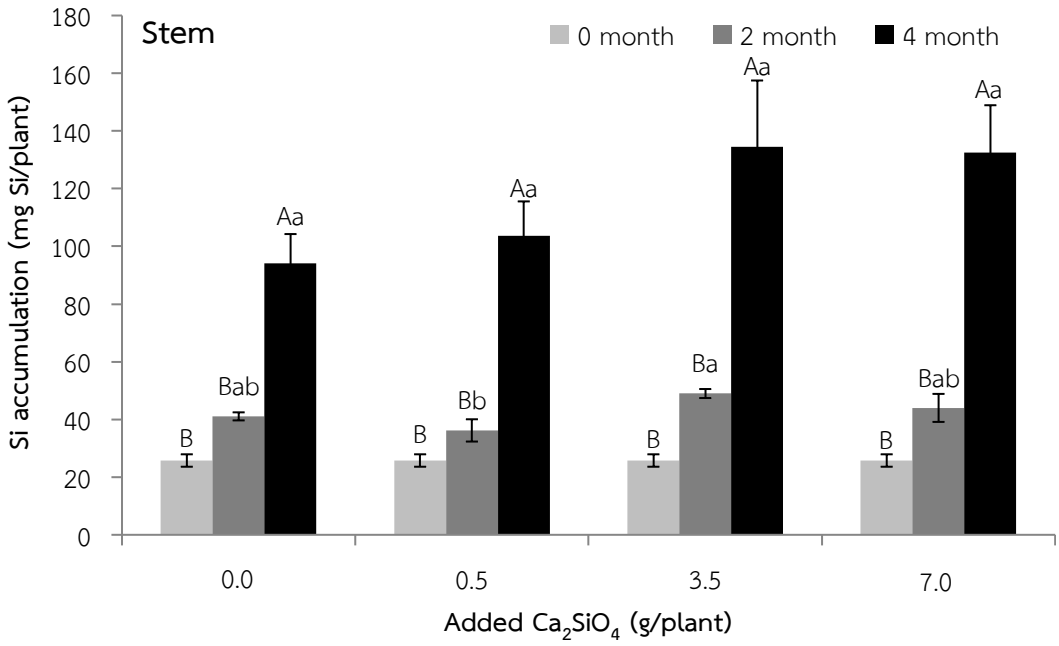
จากผลการทดลองระดับความเข้มข้นของการให้แคลเซียมซิลิเกตต่อการสะสมซิลิกอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน พบว่า การให้แคลเซียมซิลิเกตในอัตราที่แตกต่างกัน มีผลทำให้การสะสมของซิลิกอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1) โดยเฉพาะในส่วนของใบมีการสะสมซิลิกอนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อต้นกล้าได้รับแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4) แต่จะเห็นได้ว่า ในส่วนของรากและลำต้น การสะสมซิลิกอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 2-3)



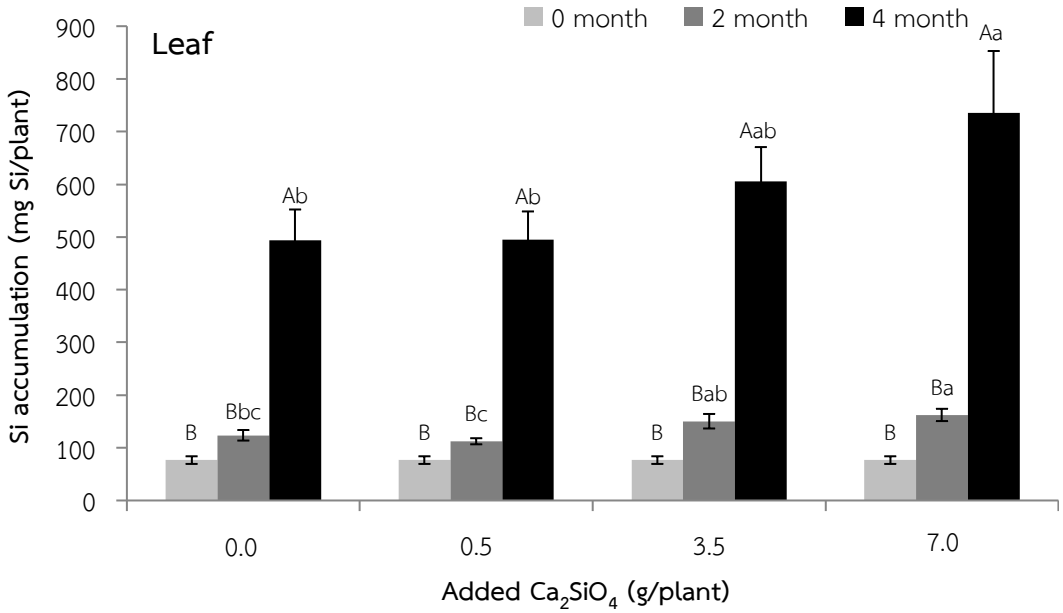
ภาพที่ 1 การสะสมของซิลิกอนทั้งต้นในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)
ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนต่อชุดการทดลอง โดยวิธี LSD
ตัวอักษรพิมพ์เล็กต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองในแต่ละเดือน โดยวิธี LSD



ภาพที่ 2 การสะสมของซิลิกอนในส่วนรากของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)
ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนต่อชุดการทดลอง โดยวิธี LSD
ตัวอักษรพิมพ์เล็กต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองในแต่ละเดือน โดยวิธี LSD



ภาพที่ 3 การสะสมของซิลิกอนในส่วนลำต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)
ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนต่อชุดการทดลอง โดยวิธี LSD
ตัวอักษรพิมพ์เล็กต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองในแต่ละเดือน โดยวิธี LSD



ภาพที่ 4 การสะสมของซิลิกอนในส่วนใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE) ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนต่อชุดการทดลอง โดยวิธี LSD ตัวอักษรพิมพ์เล็กต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองในแต่ละเดือน โดยวิธี LSD

ตารางที่ 5 ผลของซิลิกอนต่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของซิลิกอนในส่วนราก ลำต้น ใบ และทั้งหมดของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

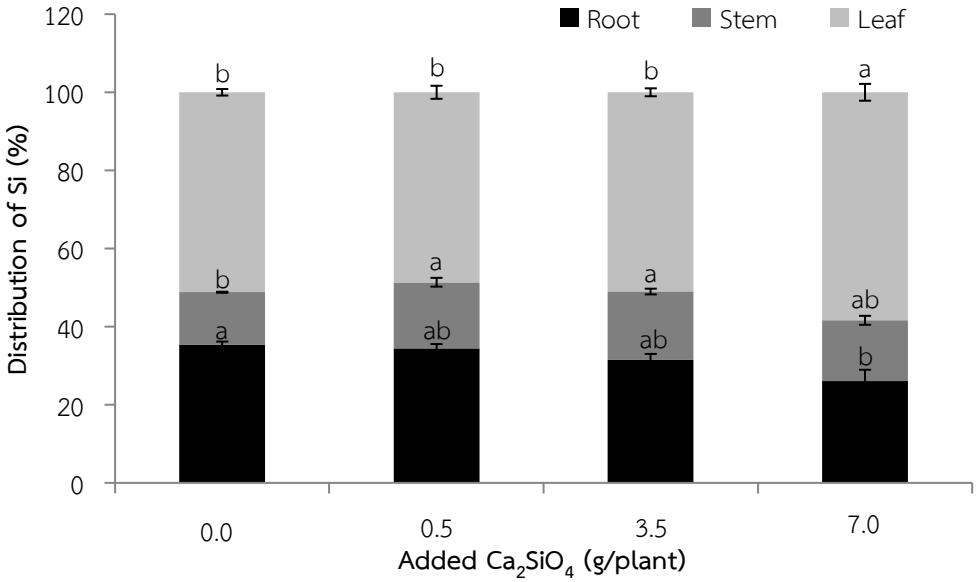
Ca_2SiO_4	Si concentration (%)			
(g/plant)	Root	Stem	Leaf	Total
0.0	0.45 ± 0.01	0.17 ± 0.09b	0.66 ± 0.02b	1.20 ± 0.04b
0.5	0.45 ± 0.02	0.22 ± 0.01ab	0.63 ± 0.05b	1.31 ± 0.08ab
3.5	0.45 ± 0.02	0.25 ± 0.01a	0.74 ± 0.02ab	1.35 ± 0.05ab
7.0	0.40 ± 0.05	0.24 ± 0.01a	0.89 ± 0.04a	1.51 ± 0.04a
F-test	ns	*	*	*
CV (%)	11.60	7.80	8.54	5.34

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

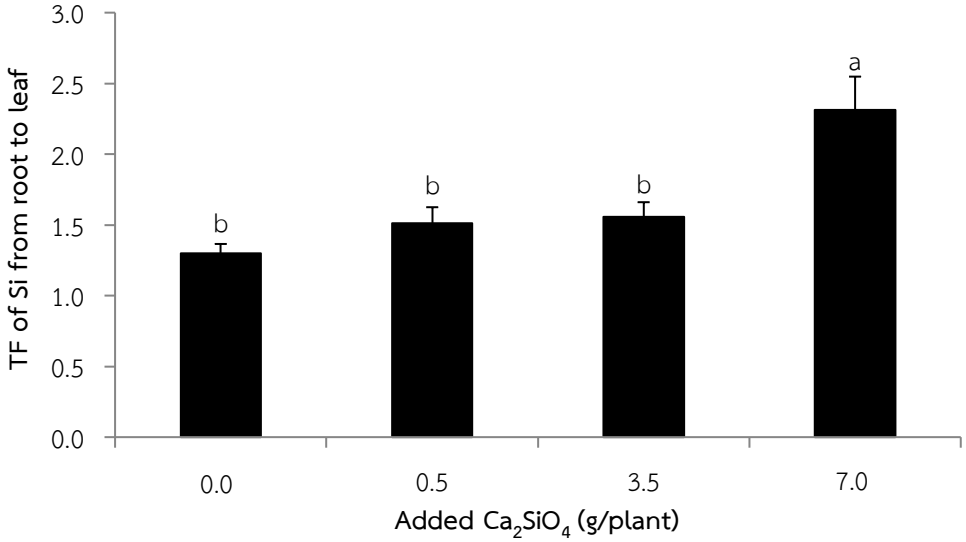
จากผลการทดลองผลของซิลิกอนต่อความเข้มข้นของซิลิกอนในส่วนราก ลำต้น ใบ และทั้งหมดของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 5) พบว่า เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของซิลิกอนในต้นกล้าส่วนเหนือดินจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับซิลิกอนเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ต้นกล้าปาล์มน้ำมันจะมีซิลิกอนอยู่ในช่วง 1.20–1.51 เปอร์เซ็นต์ จากการรายงานของ Ma และ Takahashi (2002) ได้นำเสนอหลักเกณฑ์การแบ่งแยกพืชที่มีการสะสมซิลิกอนและไม่มีการสะสมซิลิกอน โดยพืชที่สะสมซิลิกอนในระดับปานกลางจะมีการสะสมซิลิกอนในต้น 1 ถึง 3% SiO_2 ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สะสมซิลิกอนในระดับปานกลาง จึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับการทำการศึกษาซิลิกอนในปาล์มน้ำมันต่อเพิ่มเติมในด้านต่างๆ เช่น ความต้านทานโรค หรือด้านผลผลิตของปาล์มน้ำมัน เนื่องจาก พืชที่มีการตอบสนองต่อซิลิกอน จะต้องเป็นพืชที่มีการสะสมซิลิกอนในเนื้อเยื่อได้ (Ma and Takahashi, 2002) และจากการรายงานในพืชบางชนิดจะจัดเป็นพืชที่สะสมซิลิกอนในระดับสูง อาทิเช่น ข้าว สะสมซิลิกอนได้ถึง 10 ถึง 15% SiO_2 และพืชบางชนิดโดยเฉพาะพืชใบเลี้ยงคู่ จะมีการสะสมซิลิกอนได้ต่ำ (< 1% SiO_2) แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีการศึกษาผลของซิลิกอนในพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น มะเขือเทศ พบว่า การให้ซิลิกอนทำให้ผลผลิตของมะเขือเทศเพิ่มขึ้น อีกทั้ง ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในใบมะเขือเทศ เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส มากกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับซิลิกอน เป็นต้น (Jarosz, 2014)

จากผลการทดลองระดับความเข้มข้นของการให้แคลเซียมซิลิเกตต่อเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของซิลิกอนในส่วนต่างๆ ของพืช (ภาพที่ 5) พบว่าการให้ซิลิกอนในอัตราที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ความเข้มข้นของซิลิกอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในส่วนของราก ลำต้น และใบ กล่าวคือ เมื่อพืชได้รับความเข้มข้นของซิลิกอนเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของซิลิกอนในรากลดลง แต่ในทางตรงกันข้าม พบว่า เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของซิลิกอนในใบเพิ่มสูงขึ้น

ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลของระดับความเข้มข้นของการให้ซิลิกอนต่อปัจจัยการเคลื่อนย้ายธาตุซิลิกอนจากรากไปสู่ใบ (translocation factor; TF) พบว่า การให้ซิลิกอนในอัตราที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ปัจจัยการเคลื่อนย้ายธาตุซิลิกอนจากรากไปสู่ใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 6) กล่าวคือ เมื่อพืชได้รับความเข้มข้นของซิลิกอนเพิ่มขึ้น ทำให้ปัจจัยการเคลื่อนย้ายธาตุซิลิกอนจากรากไปสู่ใบเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า พืชมีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารซิลิกอนจากรากไปยังใบมากกว่าการเก็บสะสมไว้ที่ราก เนื่องจาก พืชที่มีการสะสมซิลิกอนจะมีการดูดใช้ซิลิกอนแบบใช้พลังงาน (Ma and Yamaji, 2006) โดย Mitani และ Ma (2005) รายงานว่า ตัวขนส่งซิลิกอนจะควบคุมการผ่านเข้า-ออกของซิลิกอนจากเซลล์คอร์ติซอลไปยังไซเลมในพืชแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งหากมีตัวขนส่งซิลิกอนแบบใช้พลังงาน (active Si transporter) ที่สูง จะนำไปสู่การสะสมของซิลิกอนที่สูงในส่วนเหนือดินของพืช (Goto *et al.,* 2001) โดยรากจะดูดซึมซิลิกอนในรูปของกรดซิลิซิกจากไรโซสเฟียร์และลำเลียงต่อไปยังไซเล็ม (Ma and Yamaji, 2006) ซิลิกอนในพืชจะมีการสะสมอยู่ในรูปที่เรียกว่า ฟิโทลิท ซึ่งจะสะสมที่ผนังเซลล์ และช่องว่างระหว่างเซลล์ในส่วนของราก ยอด และลำต้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับการสะสมซิลิกอนในส่วนต่างๆ ของข้าว นั่นคือ ความเข้มข้นของซิลิกอน (% SiO_2) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ จากอวัยวะส่วนล่างขึ้นไปยังส่วนบน (Sun *et al.,* 2008)



ภาพที่ 5 ผลของซิลิกอนต่อเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของซิลิกอนในราก ลำต้น และใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE) ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD



ภาพที่ 6 ผลของซิลิกอนต่อปัจจัยการเคลื่อนย้าย (Translocation factor; TF) ของซิลิกอนจากรากไปสู่ใบ (อัตราส่วนความเข้มข้นของซิลิกอนของใบต่อราก) ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE) ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

3. ผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

3.1 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพ

จากการทดลองผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพ พบว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เมื่อได้รับซิลิกอนในระดับต่างๆ เป็นเวลา 4 เดือน พบว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มวลชีวภาพเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับซิลิกอนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยจะเห็นได้ว่า การใช้แคลเซียมซิลิเกตปริมาณ 3.5 และ 7.0 กรัมต่อต้น ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพของต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 6) โดยเฉพาะในส่วนเหนือดิน ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของซิลิกอนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5) แสดงให้ว่า การให้ซิลิกอนในระดับที่เหมาะสม จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตมากกว่าการไม่ได้รับซิลิกอน ซึ่งผลที่ได้ดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการศึกษาผลของซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตในข้าวสาลี พบว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของรากเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับซิลิกอน (Mali and Aery, 2013) โดยรากจัดเป็นอวัยวะสำคัญในการดูดน้ำและธาตุอาหารพืช (Epstein, 1999) และจากการศึกษาผลของการใช้ซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตในข้าวสาลี เมื่อให้ซิลิกอนแก่พืชที่ความเข้มข้นสูงถึง 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Mali and Aery, 2013) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การใช้ซิลิกอนจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางด้านมวลชีวภาพ

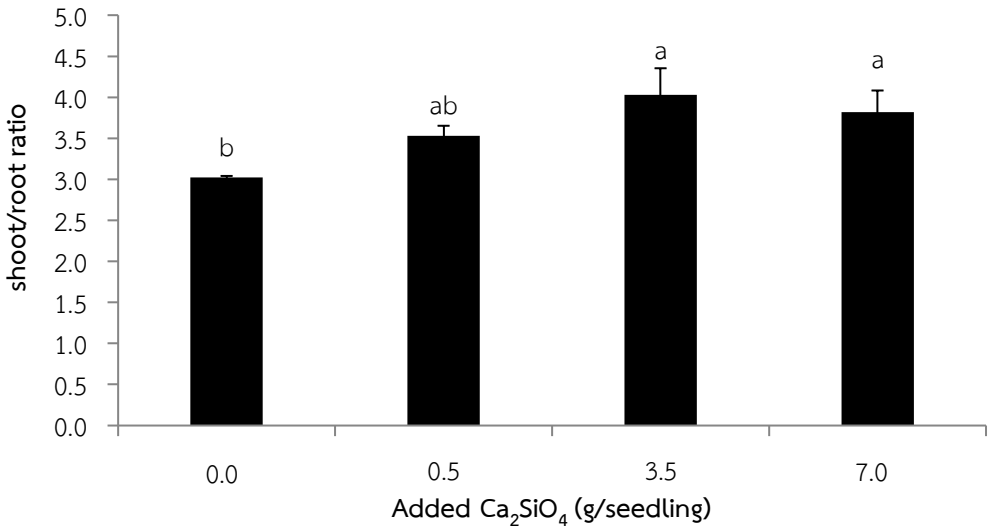
3.2 การจัดสรรมวลชีวภาพของส่วนเหนือดินต่อราก

ผลการทดลองระดับการให้แคลเซียมซิลิเกตต่อการจัดสรรมวลชีวภาพ พบว่า การให้แคลเซียมซิลิเกตในอัตราที่แตกต่างกัน มีผลทำให้การจัดสรรมวลชีวภาพในส่วนเหนือดินและในรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 7) กล่าวคือ เมื่อพืชได้รับความเข้มข้นของซิลิกอนเพิ่มขึ้นทำให้พืชมีการจัดสรรมวลชีวภาพไปยังส่วนใบเพิ่มขึ้น โดยได้มีการรายงานในพืชชนิดต่างๆ เช่น ฝ้าย (Li *et al.,* 1989) และข้าวฟ่าง (Hattori *et al.,* 2003) ว่าซิลิกอนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช นั่นคือ การเจริญเติบโตของส่วนต้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองควบคุม อาจเนื่องมาจากซิลิกอนมีผลต่อการยืดขยายขนาดของผนังเซลล์ของพืช ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวจัดเป็นพารามิเตอร์หลักที่จะกำหนดอัตราการยืดตัวของเซลล์ (Soga *et al.,* 1999) ซึ่งจะมีความสอดคล้องกับการศึกษาการขยายขนาดของเซลล์ เมื่อมีการใช้ซิลิกอนในข้าว พบว่า ซิลิกอนช่วยเพิ่มการขยายขนาดของเซลล์อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในรากและส่วนเหนือดิน (Hossain *et al.,* 2002)

ตารางที่ 6 ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 2 และ 4 เดือน

Ca_2SiO_4 (g/plant)	Relative growth of biomass (g/day)					
	2 months			4 months		
	Root	Shoot	Total	Root	Shoot	Total
0.0	2.38	3.59b	3.84ab	3.56	4.80ab	5.05ab
0.5	2.25	3.48c	3.73b	3.45	4.70b	4.95b
3.5	2.27	3.70a	3.91a	3.60	4.98a	5.20a
7.0	2.44	3.73a	3.96a	3.68	5.00a	5.23a
F-test	ns	*	*	ns	*	*
CV (%)	7.90	1.54	1.86	4.28	2.86	2.50

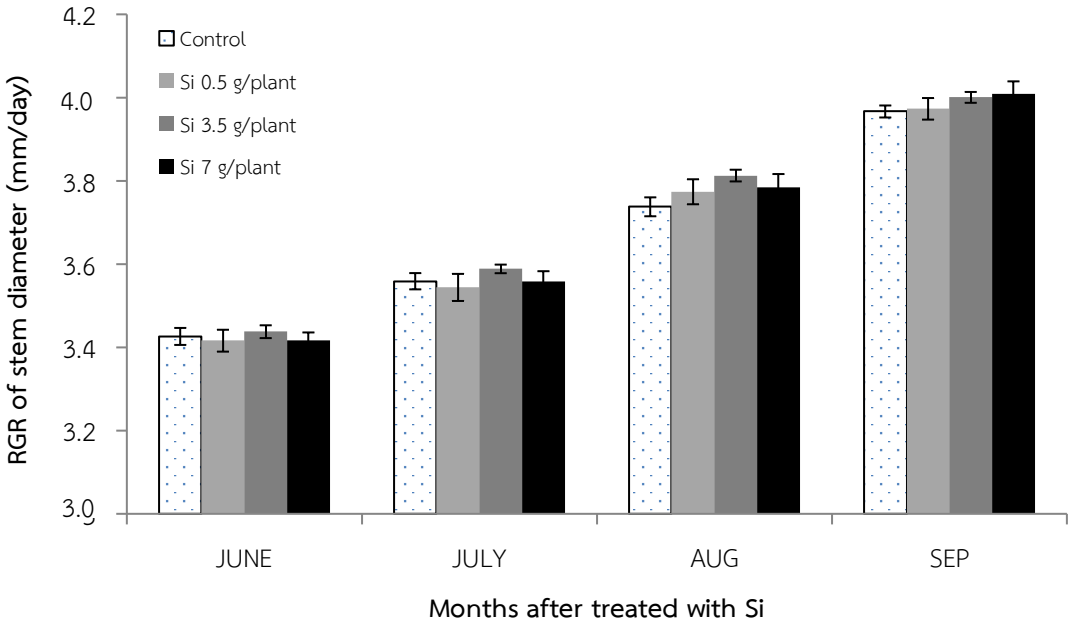
ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD



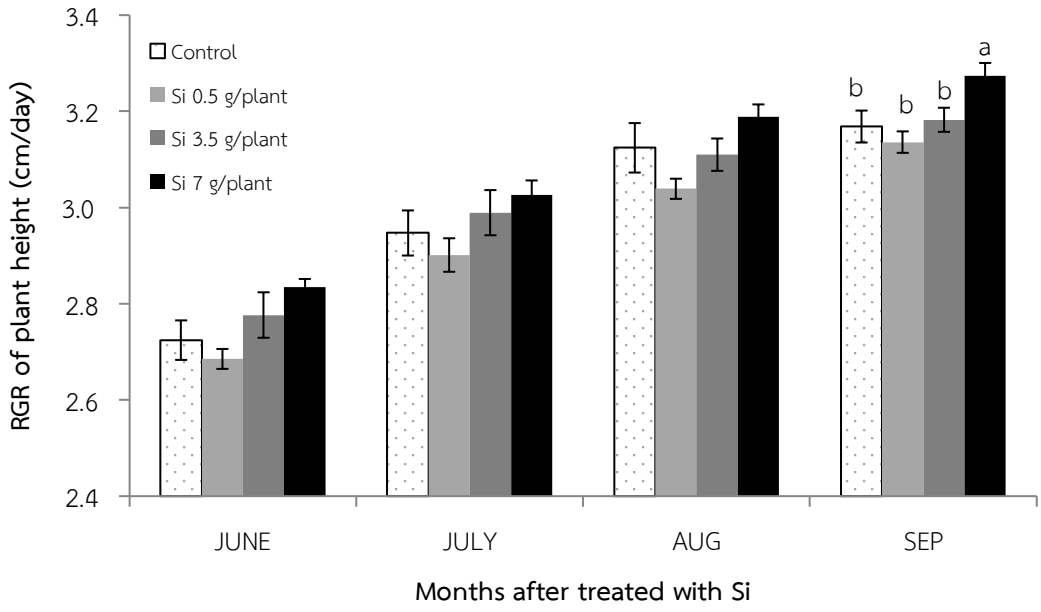
ภาพที่ 7 ผลของซิลิกอนต่ออัตราส่วนของส่วนเหนือดินต่อราก ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE) ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

3.3 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของขนาดเส้นรอบวงของโคนต้น ความสูง และความยาวใบ

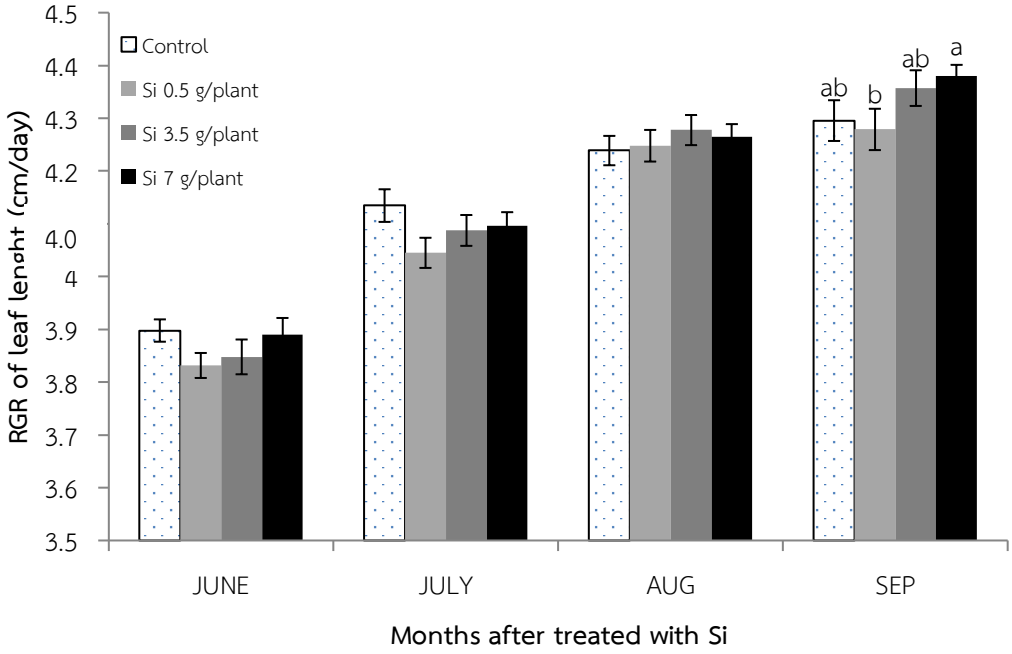
จากการทดลองผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของขนาดเส้นรอบวงของโคนต้น ความสูง และความยาวใบ พบว่า การเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความสูง มีความแตกต่างทางสถิติ และการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของขนาดเส้นรอบวงของโคนต้นและความยาวใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อได้รับแคลเซียมซิลิเกตในระดับต่างๆ เป็นระยะเวลานาน 4 เดือน แต่จะเห็นได้ว่า เมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับซิลิกอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้น ขนาดเส้นรอบวงของโคนต้น และความยาวทางใบเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 8–10) โดยผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับ Prado และ Natale (2005) ซึ่งได้ศึกษาการใช้แคลเซียมซิลิเกตต่อการเจริญเติบโตในต้นเสาวรส พบว่า ซิลิกอนส่งผลให้ความสูงต้น และขนาดโคนต้นของต้นเสาวรสเพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์ในเชิงบวกของความสูงต้นและขนาดเส้นรอบวงของโคนต้น เป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบที่สำคัญทางด้านสัณฐานและสรีรวิทยาของพืชที่สะท้อนให้เห็นถึงทิศทางในการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงของพืช (Ferri, 1985) อีกทั้งในหลายๆ งานวิจัยพบว่า ซิลิกอนมีอิทธิพลในเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (Sávio *et al.*, 2011)



ภาพที่ 8 ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของขนาดเส้นรอบวงของโคนต้น ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)



ภาพที่ 9 ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้น ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE) ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD



ภาพที่ 10 ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความความยาวใบ ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE) ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

4. ผลของซิลิกอนต่อสรีรวิทยาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

4.1 ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากการทดลองผลของซิลิกอนต่อประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง พบว่า ค่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้นเป็นระยะเวลานาน 2 เดือน และเมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับแคลเซียมซิลิเกตในระดับต่างๆ เป็นระยะเวลานาน 4 เดือน ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 7) แต่จะเห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก ซิลิกอนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช นั่นก็คือ กรดซิลิซิก (H_4SiO_4) จะเคลื่อนย้ายไปสะสมในผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อชั้นผิว มีลักษณะเป็นชั้นบางๆ เรียกว่า ชั้นซิลิกา (silica layer) ทำให้ใบพืชมีความแข็งแรงและใบตั้งตรง ช่วยในการเพิ่มพื้นที่ของใบพืชและความหนาของใบมากขึ้น จึงส่งเสริมให้พืชมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีขึ้น (Epstein and Bloom, 2005)

ตารางที่ 7 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์ ของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	maximum quantum efficiency of photosystem II, Fv/Fm		
(g/plant)	0 Month	2 Months	4 Months
0.0	0.54 ± 0.02	0.54 ± 0.03ab	0.59 ± 0.04
0.5	0.57 ± 0.03	0.45 ± 0.06b	0.61 ± 0.02
3.5	0.57 ± 0.04	0.58 ± 0.03a	0.63 ± 0.01
7.0	0.57 ± 0.03	0.60 ± 0.03a	0.63 ± 0.01
F-test	ns	*	ns
CV (%)	11.82	16.49	7.90

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

4.2 ปริมาณของคลอโรฟิลล์

ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้น จะมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวสำคัญซึ่งทำหน้าที่ในการเก็บเกี่ยวพลังงานแสง เพื่อใช้ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จากการทดลองผลของซิลิกอนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เมื่อได้รับแคลเซียมซิลิเกตในระดับต่างๆ เป็นระยะเวลานาน 4เดือน พบว่าเมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับซิลิกอนเพิ่มขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 8) โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์เอ ซึ่งจัดเป็นรงควัตถุหลักที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสงหนึ่งและระบบแสงสอง นำมาซึ่งการผลิต ATPและ NADPH เพื่อนำไปใช้ในวัฏจักรคัลวินต่อไป ซึ่งผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการศึกษาผลของซิลิกอนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในมะเขือเทศ จากรายงาน ได้อธิบายถึงการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์ที่อาจเกี่ยวข้องกับการเพิ่มของซิลิกอนในเซลล์อิพิเดอร์มิสในส่วนเหนือดิน สามารถช่วยปรับมุมของใบให้อยู่ในตำแหน่งที่สามารถรับใช้แสงได้ดี จึงช่วยกระตุ้นการผลิตคลอโรฟิลล์ได้เพิ่มขึ้น (Aliva *et al,* 2010) การเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การจัดสรรคาร์บอนในพืชเพิ่มขึ้น ทำให้มวลชีวภาพของพืชเพิ่มสูงขึ้น (Mikiciuk and Mikiciuk, 2009) และจากการศึกษาของพงศกร และคณะ (2558) กล่าวว่า การให้แคลเซียมซิลิเกตมีผลต่อการเพิ่มขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์แสง จึงสามารถวัดการเจริญเติบโต และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าข้าวโพดได้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8 ผลของซิลิกอนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Chlorophyll content (g/m^2)		
(g/plant)	Chl *a*	Chl *b*	Total Chl
0.0	0.66 ± 0.04ab	0.19 ± 0.02ab	0.85 ± 0.05ab
0.5	0.61 ± 0.01b	0.17 ± 0.00b	0.78 ± 0.01b
3.5	0.76 ± 0.02a	0.22 ± 0.01a	0.98 ± 0.04a
7.0	0.71 ± 0.04a	0.18 ± 0.01ab	0.91 ± 0.05ab
F-test	*	*	*
CV (%)	7.29	11.29	7.89

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

5. ผลของซิลิกอนต่อการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

จากผลการทดลองผลของซิลิกอนต่อการสะสมซิลิกอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมันก่อนหน้านี้ จะเห็นได้ว่า ต้นกล้าปาล์มน้ำมันสะสมซิลิกอนมากในส่วนของใบ เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนรากและลำต้น จึงเป็นไปได้ว่า ซิลิกอนจะมีผลโดยตรงต่อส่วนของใบ จึงได้ทำการศึกษาการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในใบ เพื่อดูผลของซิลิกอนต่อการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในใบ จากผลการทดลองผลของระดับแคลเซียมซิลิเกตต่อการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในใบ พบว่า การสะสมไนโตรเจนในใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้รับแคลเซียมซิลิเกตมากขึ้น(ตารางที่ 9) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลของซิลิกอนต่อการดูดซึมธาตุอาหารในข้าว พบว่า ซิลิกอนจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมธาตุไนโตรเจน (Jawahar and Vaiyapuri, 2013) เนื่องจาก ไนโตรเจนจัดเป็นองค์ประกอบหลักสำคัญของคลอโรฟิลล์ โดยหากไนโตรเจนเพิ่มขึ้นสามารถมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักสำคัญในการรับพลังงานแสง เพื่อใช้ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น จึงอาจเป็นไปได้ว่า ข้อสนับสนุนดังกล่าวอาจส่งผลให้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่ได้รับซิลิกอน มีการจัดสรรมวลชีวภาพไปส่วนเหนือดินมากกว่าส่วนของราก

ตารางที่ 9 ผลของซิลิกอนต่อการสะสมของไนโตรเจนทั้งหมดในใบ ของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Nitrogen accumulation (g N/plant)		
(g/plant)	0 Month	2 Months	4 Months
0.0	0.38 ± 0.02	0.82 ± 0.01b	2.26 ± 0.06ab
0.5	0.38 ± 0.02	0.82 ± 0.03b	1.87 ± 0.10b
3.5	0.38 ± 0.02	1.08 ± 0.02a	2.44 ± 0.05ab
7.0	0.38 ± 0.02	1.03 ± 0.01a	2.58 ± 0.17a
F-test	ns	*	*
CV (%)	9.77	7.39	16.78

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

บทที่ 4

สรุป

ปาล์มน้ำมัน จัดเป็นพืชที่มีการสะสมซิลิกอนในระดับปานกลาง การให้ซิลิกอนส่งผลทำให้การสะสมซิลิกอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นซิลิกอนในรากลดลงแต่ความเข้มข้นซิลิกอนในใบเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจัยการเคลื่อนย้ายของซิลิกอนจากรากสู่ใบเพิ่มขึ้น การให้ซิลิกอนจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยทำให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพ ความสูง ขนาดโคนต้น และความยาวใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับแคลเซียมซิลิเกตในระดับต่างๆ พืชจะมีการจัดสรรมวลชีวภาพไปยังส่วนเหนือดินมากขึ้น เมื่อได้รับแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก การใช้ซิลิกอนมีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับซิลิกอน จะเห็นได้ว่า ซิลิกอนส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์อาจเกี่ยวข้องกับการเพิ่มของซิลิกอนในเซลล์เอพิเดอร์มิสในส่วนเหนือดิน สามารถช่วยปรับมุมของใบให้อยู่ในตำแหน่งที่สามารถรับใช้แสงได้ดี จึงช่วยกระตุ้นการผลิตคลอโรฟิลล์ได้เพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่า ไนโตรเจนทั้งหมดในใบปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น เมื่อได้รับซิลิกอน เนื่องจาก ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ หากปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การจัดสรรคาร์บอนในพืชเพิ่มขึ้น ทำให้มวลชีวภาพของพืชเพิ่มสูงขึ้น รวมถึง เราควรให้ธาตุอาหารแก่พืชในระดับที่เหมาะสมเพียงพอแก่พืชไม่มากและไม่น้อยจนเกินไป เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่พืชทำให้ได้ผลผลิตสูงสุดและมีความคุ้มค่ากับการลงทุน และจากผลการศึกษาซิลิกอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เราจะเห็นได้ว่า ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สะสมซิลิกอนในระดับปานกลาง จึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับการทำการศึกษาซิลิกอนในปาล์มน้ำมันต่อเพิ่มเติมในด้านต่างๆ เช่น ความต้านทานโรค หรือด้านผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่เกิดประโยชน์ในการนำซิลิกอนมาใช้ในการผลิตกล้าปาล์มน้ำมันต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2550. เอกสารวิชาการเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

จำเป็น อ่อนทอง. 2560. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา: ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2554. อัตราพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ของลักษณะเชิงปริมาณในการปรับปรุงพันธุ์น้ำมัน. สงขลา: ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และธีระพงศ์. 2556. คู่มือปาล์มน้ำมัน. สงขลา: ศูนย์วิจัยและการพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. สงขลา: Neo Point.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2553. พันธุ์ปาล์มน้ำมันและการผลิตกล้าปาล์มน้ำมัน. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตกล้าปาล์มน้ำมัน สถานวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศักดิ์ศิลป์ โชติสกุล, วินาภรณ์ กฎีรัตน์ และกิจจารักษ์ วงษ์กุดเลาะ. 2541. ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ: กองส่งเสริมพืชไร่นา กรมส่งเสริมการเกษตร.

ผาสุก กุลละวณิชย์, สัณห์ชัย กลิ่นพิกุล, สุมณฑา กุลละวณิชย์, สุระเชษฐ์ ชิระมณี และจาตุรงค์ แซ่ลี่. 2528. ปาล์มน้ำมันและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม. สงขลา: ฝ่ายบริการการศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พงศกร นิตย์มี, พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง, ศุภชัย อำคา และธงชัย มาลา. 2558. ผลของการเคลือบเมล็ดด้วยแคลเซียมซิลิเกต และการให้ทางดินต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. แก่นเกษตร 43: 76-82.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2523. การปลูกปาล์มน้ำมัน *ใน* ปาล์มน้ำมัน หน้า 60-64. สงขลา: ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2549. คัมภีร์ปาล์มน้ำมันพืชเศรษฐกิจเพื่อบริโภคและอุปโภค. กรุงเทพฯ: มติชน.

วนิดา วัฒนพายัพกุล. 2555. อิทธิพลของซิลิกอนต่อการต้านทานโรคไหม้ การเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105ในระบบการผลิตข้าวอินทรีย์. ดุษฎีนิพนธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกชัย พฤกษ์อำไพ. 2548. คู่มือปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ: เพ็ท-แพล้น พับลิชชิ่ง.

Avila, F.W., D.P. Baliza, V. Faquin, J. Araujo and S.J. Ramos. 2010. Silicon-nitrogen interaction in rice cultivated under nutrient solution. Revista Ciencia Agronomica 41: 184–190.

Corley, R.H.V., J.J. Hardon and G.Y. Tan. 1971. Analysis of growth in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Estimate of growth parameters and application in breeding. Euphytica 20: 307–315.

Dorairaj, D., M.R. Ismail, U.R. Sinniah, and T.K. Ban. 2015. Influence of silicon on growth, yield and lodging resistance of Mr219, a lowland rice of Malaysia. Journal of Plant Nutrition. doi: 10.1080/01904167.2016.1264420.

Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 91: 11–17.

Epstein, E. 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 641–664.

Epstein, E. 2001. Silicon in plants: facts vs. concepts *In* Silicon in agriculture. (eds. L.E. Datnoff, G.H. Snyder and G.H. Korndofer), pp. 1–16. Amsterdam: Elsevier.

Epstein, E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. Annals of Applied Biology 155: 155–160.

Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plant: principles and perspectives (eds. F.A. Rodrigues and L.E. Datnoff) Sinauer Associates, Sunderland.

Estefan, G., R. Sommer and J. Ryan. 2013. Methods of soil, plant, and water analysis: A Manual for the West Asia and North Africa Region. *In* Soil Chemical Analysis, pp. 135–136. Beirut: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.

Ferri, M.G. 1985. Fisiologia vegetal (ed. R. Atual.), pp. 362, São Paulo, EPU.

Frings P.J., W. Clymans, E. Jeppesen, T.L. Lauridsen, E. Struyf and Conley D.J. 2014. Lack of steady-state in the global biogeochemical Si cycle: Emerging evidence from lake Si sequestration. Biogeochemistry 117: 255–277.

Gao, X., C. Zou, L. Wang and F. Zhang. 2004. Silicon improves water use efficiency in maize plants. Journal of Plant Nutrition 27: 1457–1470.

Gillbanks, R.A. 2003. Standard agronomic procedures and practices. *In* Oil Palm: Management for Large and Sustainable Yields. (eds. T. Fairhurst and R. Hardter.), pp. 115-149, Oxford: Oxford Graphic Printers Pte Ltd.

Goto, S., J.F. Ma, K. Tamai and M. Ichii. 2001. Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. Plant Physiology 127: 1773–1780.

Guntzer, F., C. Keller and J. Meunier. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. Agronomy for Sustainable Development 32: 201–213.

Hartley C.W.S. 1982. The Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.), pp. 416–477, London: Longmans.

Hattori, T., S. Inanaga, E. Tanimoto, A. Lux, M. Luxova and Y. Sugimoto. 2003. Silicon-induced changes in viscoelastic properties of sorghum root cell walls. Plant Cell Physiol 44: 743–749.

Hattori, T., S. Inanaga, H. Araki, P. An, S. Morita, M. Luxová and A. Lux. 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. Physiology Plantarum 123: 459–466.

Henriet, C., L. Bodarwe, M. Dorel, X. Draye and B. Delvaux. 2008. Leaf silicon content in banana (*Musa* spp.) reveals the weathering stage of volcanic ash soils in Guadeloupe. Plant and Soil: international journal on plant-soil relationships 313: 71-82

Hoffann, W.A. and H. Poorter. 2002. Avoiding bias in calculation of relative growth rate. Annals of Botany 90: 37-42.

Hossain, M.T., R. Mori, K. Wakabayashi, S. Kamisaka, S. Fujii, R. Yamamoto, T. Hoson. 2002. Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings. Journal of Plant Research 115: 23–27.

Jacquemard, J.C. 1979. Contribution to the study of the height growth of the stems of (*Elaeis guineensis* Jacq.) study of the L2T x D10D cross. Oleagineaux 34: 492-497.

Jarosz, Z. 2014. The effect of silicon application and type of medium on yielding and chemical composition of tomato. Acta Scientiarum Polonorum Horticulture 13: 171-183.

Jawahar, S. and V. Vaiyapuri. 2013. Effect of sulphur and silicon fertilization on yield, nutrient uptake and economics of rice. International Research Journal of Chemistry 3: 35–43.

Jones, L.H.P. and K.A. Handreck. 1967. Silica in Soils, Plants, and Animals. *In* Advances in agronomy (eds. Y. Basiron and B.S. Jala) pp. 107–149. New York: Academic Press.

Kjeldahl, J. 1883. New method for the determination of nitrogen in organic substances. Zeitschrift fur analytische Chemie 22: 366–383.

Kushairi, A. and N. Rajanaidu. 2000. Breeding populations, seed production and nursery management *In* Avances Oil Palm Research (eds. Y. Basiron, B.S. Jalani and K.W. Chan) pp. 39-96. Malaysia: Smart Print and Stationer Sdn. Bhd.

Li, Y.C., A.K. Alva and M.E. Sumner. 1989. Response of cotton cultivars to aluminum in solutions with varying silicon concentrations. Journal of Plant Nutrition 12: 881–892.

Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. New York: John Wiley and Son.

Ma, J.F., K. Nishimura and E. Takahashi. 1989. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. Soil Science and Plant Nutrition 35: 347-356.

Ma, J.F., and E. Takahashi. 2002. Soil Fertilizer and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.

Ma, J.F. and N. Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science 11: 392–397.

Maghsoudi, K., Y. Emam and M. Ashraf. 2015. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance. Turkish Journal of Botany 39: 625–634.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. (2nd ed.). New York: Academic Press.

Mali, M. and N.C. Aery. 2008. Influence of silicon on growth, relative water content and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. Journal of Plant Nutrition 31: 1867–1876.

McKeague, J.A. and M.G. Cline. 1963. Silica in soil solutions: I. the form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soils. Canadian Journal of Soil Science 43: 70–82.

Meijaard, E., J. Garcia-Ulloa, D. Sheil, S.A Wich, K.M. Carlson, D. Juffe-Bignoli and T.M. Brooks. 2018. Oil palm, some facts and figures. *In* Oil palm and Biodiversity pp. 4–9. Gland: IUCN.

Mikiciuk, G. and M. Mikiciuk, 2009. The influence of foliar application of potassium and silicon fertilizer on some physiological features of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.), variety Elvira. Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, sectio 64: 19–27

Mitani, N. and J.F. Ma. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. Journal of Experimental Botany 56: 1255–1261.

Moran, R. 1982. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethylformamide. Plant Physiology 69: 1376–1381.

Munevar, M. and F. Romero. 2014. Soil and plant silicon status in oil palm crops in Colombia. Experimental Agriculture 51: 382–392.

Nable, R.O., C. Reg and C.M. Lance. 1990. Uptake of boron and silicon by barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. Annals Botany 66: 83–90.

Prado, R.M., and W. Natale. 2005. Efeito da aplicação de silicato de cálcio no crescimento, no estado nutricionale na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 9: 185–190.

Rankine, I and T.H. Fairhurst. 1998. Field Handbook: Oil Palm Series Vol I. Singapore: Potash and Phosphate Institute.

Richmond, K.E. and M. Sussman. 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Current Opinion in Plant Biology 6: 268–272.

Saito, K., A. Yamamoto, T. Sa and M. Saigusa. 2005. Rapid, micro-Methods to estimate plant silicon content by dilute hydrofluoric acid extraction and spectrometric molybdenum method: I. silicon in rice plants and molybdenum yellow method. Soil Science and Plant Nutrition 51: 29–36.

Sávio, F.L., G.C. Silva, I.R. Teixeira and A. Borém. 2011. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. Semina: Ciências Agrárias 32: 103–110.

Soga, K., K. Harada, K. Wakabayashi, T. Hoson and S. Kamisaka. 1999. Increased molecular mass of hemicellulosic polysaccharides is involved in growth inhibition of maize coleoptiles and mesocotyls under hypergravity conditions. Journal of Plant Research 112: 273–278.

Sun, L., L.H. Wu, T.P. Ding and S.H. Tian. 2008. Silicon isotope fractionation in rice plants, an experimental study on rice growth under hydroponic conditions. Plant and Soil 304: 291–300.

Synder, G.H., V.V. Matichenkov and L.E. Datnoff. 2007. Silicon. *In* Handbook of Plant Nutrition. (eds. A.V. Barker and D.J. Pilbleam) pp. 551-568. New York: CRC Press.

Takahashi, E. 1995. Uptake mode and physiological functions of silica. *In* Science of the Rice Plant. (eds. T. Matsuo, K. Kumazawa, R. Ishii, K. Ishihara and H. Hirata) pp. 420-433. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center.

Turner, P.D. and P.D. Gillbanaks. 1974. Oil Palm Culvation and Management. Kuala Lumpur: Yau Seng Press.

Van Soest, P.J. 2006. Rice straw, the role of silica and treatments to improve quality. Animal Feed Science and Technology 130: 137–171.

Wedepohl, K.H. 1995. The composition of the continental crust. Geochim Cosmochim Acta 59: 1217–1232.

Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi. 1959. Role of silicon in rice nutrition. Soil and Plant Food 5: 127–133.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 การสะสมของซิลิกอนในรากของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุม และได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Si content in root (mg Si/plant)		
(g/plant)	0 month	2 months	4 months
0.0	19.2 ± 3.4	39.2 ± 7.6ab	152.1 ± 16.4
0.5	19.2 ± 3.4	23.7 ± 0.9b	151.2 ± 23.0
3.5	19.2 ± 3.4	27.4 ± 2.4ab	141.0 ± 20.9
7.0	19.2 ± 3.4	43.0 ± 6.8a	172.4 ± 27.0
F-test	ns	*	ns
CV (%)	30.78	22.50	28.77

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 2 การสะสมของซิลิกอนในลำต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุม และได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Si content in stem (mg Si/plant)		
(g/plant)	0 month	2 months	4 months
0.0	25.8 ± 2.2	41.1 ± 1.4ab	94.1 ± 10.2
0.5	25.8 ± 2.2	36.2 ± 3.9b	103.6 ± 12.0
3.5	25.8 ± 2.2	49.0 ± 1.6a	134.5 ± 23.0
7.0	25.8 ± 2.2	44.0 ± 4.9ab	132.4 ± 16.5
F-test	ns	*	ns
CV (%)	14.52	12.63	27.89

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 3 การสะสมของซิลิกอนในใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Si content in leaf (mg Si/plant)		
(g/plant)	0 month	2 months	4 months
0.0	76.6 ± 7.3	123.7 ± 10.0bc	494.2 ± 58.0b
0.5	76.6 ± 7.3	112.4 ± 5.8c	495.2 ± 53.2b
3.5	76.6 ± 7.3	150.4 ± 13.8ab	605.2 ± 65.5ab
7.0	76.6 ± 7.3	162.3 ± 11.6a	735.7 ± 117.2ab
F-test	ns	*	*
CV (%)	16.44	11.42	26.91

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 4 การสะสมซิลิกอนทั้งต้น ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Si content in all part (mg Si/plant)		
(g/plant)	0 month	2 months	4 months
0.0	121.6 ± 9.3	204.0 ± 16.2bc	740.3 ± 59.5b
0.5	121.6 ± 9.3	172.3 ± 9.9c	750.0 ± 82.3b
3.5	121.6 ± 9.3	226.8 ± 15.3ab	880.7 ± 78.9ab
7.0	121.6 ± 9.3	249.3 ± 15.2a	1040.5 ± 132.2ab
F-test	ns	*	*
CV (%)	13.21	10.07	21.62

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลของซิลิกอนต่อการกระจายตัวของซิลิกอนในราก ลำต้น และใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน และปัจจัยการเคลื่อนย้าย (Translocation factor; TF) ของซิลิกอนจากรากไปสู่ใบ (อัตราส่วนความเข้มข้นของซิลิกอนของใบต่อราก) ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Si distribution (%)			TF
(g/plant)	Root	Stem	Leaf	
0.0	35.5 ± 0.7a	13.3 ± 0.1b	51.2 ± 0.8b	1.3 ± 0.1b
0.5	34.5 ± 1.0ab	16.9 ± 1.1a	48.6 ± 1.7b	1.5 ± 0.1b
3.5	31.5 ± 1.5ab	17.5 ± 0.7a	51.0 ± 1.0b	1.6 ± 0.1b
7.0	26.1 ± 2.9b	15.6 ± 1.2ab	58.4 ± 2.2a	2.3 ± 0.2a
F-test	*	*	*	*
CV (%)	9.47	9.69	5.01	21.33

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลของซิลิกอนต่ออัตราส่วนของส่วนเหนือดินต่อราก ภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอนเป็นเวลา 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4 (g/plant)	shoot:root ratio
0.0	3.02 ± 0.02b
0.5	3.53 ± 0.12ab
3.5	4.03 ± 0.33a
7.0	3.82 ± 0.26a
F-test	*
CV (%)	10.44

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของขนาดโคนต้น ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Relative growth rate of stem diameter (mm/day)			
(g/plant)	JUNE	JULY	AUG	SEP
0.0	3.43 ± 0.02	3.43 ± 0.02	3.74 ± 0.02	3.97 ± 0.01
0.5	3.42 ± 0.03	3.42 ± 0.03	3.78 ± 0.03	3.97 ± 0.03
3.5	3.44 ± 0.02	3.44 ± 0.02	3.81 ± 0.01	4.00 ± 0.01
7.0	3.42 ± 0.02	3.42 ± 0.02	3.78 ± 0.03	4.01 ± 0.03
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.72	1.85	1.92	1.57

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้น ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Relative growth rate of plant height (cm/day)			
(g/plant)	JUNE	JULY	AUG	SEP
0.0	2.72 ± 0.04	2.95 ± 0.05	3.12 ± 0.05	3.17 ± 0.03b
0.5	2.69 ± 0.02	2.90 ± 0.03	3.04 ± 0.02	3.14 ± 0.02b
3.5	2.78 ± 0.05	2.99 ± 0.05	3.11 ± 0.03	3.18 ± 0.03b
7.0	2.83 ± 0.02	3.03 ± 0.03	3.19 ± 0.03	3.27 ± 0.03a
F-test	ns	ns	ns	*
CV (%)	3.50	3.85	3.17	2.41

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 9 ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความยาวใบ ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะควบคุมและได้รับซิลิกอน (ค่าเฉลี่ย ± SE)

Ca_2SiO_4	Relative growth rate of leaf lenght (cm/day)			
(g/plant)	JUNE	JULY	AUG	SEP
0.0	3.90 ± 0.02	4.13 ± 0.03	4.24 ± 0.03	4.30 ± 0.03ab
0.5	3.83 ± 0.02	4.04 ± 0.03	4.25 ± 0.03	4.28 ± 0.02b
3.5	3.85 ± 0.03	4.09 ± 0.03	4.28 ± 0.03	4.36 ± 0.03ab
7.0	3.89 ± 0.03	4.10 ± 0.03	4.26 ± 0.02	4.38 ± 0.03a
F-test	ns	ns	ns	*
CV (%)	2.04	1.99	1.84	2.22

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD

ภาพภาคผนวกที่ 1 การจัดวางถุงเป็นรูปสามเหลี่ยมในโรงเรือนกระจก

ภาพภาคผนวกที่ 2 ย้ายต้นกล้าปาล์มน้ำมันลงปลูกในระยะอนุบาลหลัก

ภาพภาคผนวกที่ 3 ต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีอายุ 3 เดือนในระยะอนุบาลหลัก และลักษณะการวางชุดการทดลอง สำหรับเริ่มการทดลอง

ภาพภาคผนวกที่ 4 ต้นกล้าปาล์มน้ำมันอายุ 5 เดือนในระยะอนุบาลหลัก เมื่อให้แคลเซียมซิลิเกตปริมาณ 0 0.5 3.5 และ 7 กรัม/ต้น เป็นเวลา 2 เดือน (ดูจากซ้ายไปขวา)

รูปภาคผนวกที่ 5 ต้นกล้าปาล์มน้ำมันอายุ 7เดือนในระยะอนุบาลหลัก เมื่อให้แคลเซียมซิลิเกต ปริมาณ 0 0.5 3.5 และ 7 กรัม/ต้น เป็นเวลา 4 เดือน (ดูจากซ้ายไปขวา)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวชุติมา ต้องชู

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6010620055

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2559

ทุนการศึกษา

1. ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภททั่วไป มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ทุนสนันสนุนจากสถานวิจัยความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร และทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ชุติมา ต้องชู จำเป็น อ่อนทอง และเสาวภา ด้วงปาน. 2562. ผลของการใช้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตต่อการสะสมซิลิคอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน. รายงานการประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 6 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 3–5 กรกฎาคม 2562 หน้า 189–196.