ผลของการใช้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตต่อการสะสมซิลิคอนของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

Effects of calcium silicate fertilizer on silicon accumulation of oil palm seedling

ชุติมา ต้องชู [1], จำเป็น อ่อนทอง [2] และ เสาวภา ด้วงปาน [1*]

Chutima Tongchu [1], Jumpen Onthong [2] and Saowapa Duangpan [1*]

(Received 29 Oct. 2019 ; Accepted 11 Dec. 2019)

บทคัดย่อ

ซิลิคอนเป็นธาตุอาหารพืชที่ช่วยส่งเสริมให้พืชได้รับประโยชน์หลายประการ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตต่อการสะสมซิลิคอนของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 1 ต้น โดยให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกต 4 ระดับ คือ ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกต (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกต 0.5, 3.5 และ 7.0 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันเมื่อได้รับปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตในระดับต่างๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่พบว่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น เมื่อได้รับปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นซิลิคอนในรากลดลงแต่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นในใบเพิ่มขึ้น และปัจจัยการเคลื่อนย้ายของซิลิคอนจากรากสู่ใบเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่เกิดประโยชน์ในการนำซิลิคอนมาใช้ในการผลิตกล้าปาล์มน้ำมันต่อไป

Abstract

Silicon is a beneficial nutrient which promotes several benefits in various mechanisms in plant. This present study aimed to investigate the effects of calcium silicate fertilizer on silicon accumulation of oil palm seedlings. The experimental design was completely randomized design with 3 replications. The experiment composed of 4 rates of calcium silicate fertilizer (0, 0.5, 3.5 and 7.0 g per plant). The results showed that relative growth rates of oil palm seedlings treated with calcium silicate fertilizer at different levels were not statistically different. However, the higher relative growth rate was observed when higher concentration of calcium silicate fertilizer was applied. Calcium silicate also affected the concentration of

คำสำคัญ : แคลเซียมซิลิเกต, ปาล์มน้ำมัน, ซิลิคอน, ปัจจัยการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[1] Department of Plant Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

[2] ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2] Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

[*] Corresponding author : saowapa.d@psu.ac.th

silicon in different parts of plants. The percentage of SiO_2 concentration in root decreased while the percentage of SiO_2 concentration in leaf increased with gradually higher level of calcium silicate fertilizer application. Also, the translocation factor of silicon indicated that more silicon was transferred from root to leaf in the calcium silicate-treated seedling when compared to control. These results could be used for utilization of silicon in oil palm seedling production.

บทนำ

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guinensis* Jacq.) จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ในการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อให้ได้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องและมีรายได้คุ้มค่ากับการลงทุนนั้น เกษตรกรจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับปัจจัยต่างๆ ซึ่งในการปลูกสวนปาล์มน้ำมันควรเลือกใช้ต้นกล้าที่มีคุณภาพสูง ไม่แสดงลักษณะที่ผิดปกติ เพื่อให้ได้ต้นปาล์มน้ำมันที่สมบูรณ์ แข็งแรง และให้ผลผลิตสูงอย่างต่อเนื่องในอนาคต เพราะหากนำต้นกล้าที่ไม่สมบูรณ์ หรือมีลักษณะผิดปกติจากระยะอนุบาลไปปลูกในแปลง จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันในเชิงลบทั้งในระยะสั้นและระยะยาวเป็นอย่างมาก จะเห็นได้ว่าการดูแลต้นกล้าปาล์มน้ำมันให้มีการเจริญเติบโตดีมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตในแปลงโดยตรง เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตนานกว่า 25-30 ปี (ธีระ และธีระพงศ์, 2556) ในการดูแลปาล์มน้ำมันในระยะต้นกล้าที่สำคัญคือการให้น้ำอย่างเพียงพอและการใส่ปุ๋ยอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ การให้ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารเสริมประโยชน์แก่พืช (beneficial element) เช่น ซิลิคอน อาจช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้ โดยซิลิคอนจะมีบทบาทสำคัญต่างๆ เช่น เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์มีเสถียรภาพสูงขึ้น ช่วยให้พืชแข็งแรง และช่วยปรับมุมใบจึงรับแสงได้มากขึ้น จึงส่งผลต่อด้านสรีรวิทยาในการช่วยเพิ่มการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืช (ยงยุทธ, 2558) ทำให้มีผลต่อการเจริญโตของพืช ซึ่งประกอบด้วยผลต่อการพัฒนาของราก การเจริญของผล และผลผลิตพืช (Synder *et al*., 2007; ยงยุทธ, 2558) อีกทั้งยังช่วยปกป้องพืชจากการทำลายของแมลงและศัตรูพืช เมื่อพืชดูดซิลิคอนในรูปของกรดโมโนซิลิซิก (H_4SiO_4) เข้าไปในเซลล์พืช ซิลิคอนจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแข็งที่เรียกว่าฟิโทลิท (phytoliths) ตามผนังเซลล์ ซึ่งทำให้เพิ่มความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืช สามารถทนต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง (Marschner, 1995) และทำให้ใบอยู่ในตำแหน่งที่สามารถรับแสงได้มากขึ้น ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Yoshida *et al*., 1959; Takahashi, 1995; Gao *et al*., 2004) พืชที่มีการตอบสนองต่อซิลิคอนจะต้องเป็นพืชที่สามารถสะสมซิลิคอนในเนื้อเยื่อได้เท่านั้น จากรายงานของ Munevar and Romero (2014) ในการสำรวจปริมาณซิลิคอนในใบของปาล์มน้ำมันที่กระจายตัวอยู่ในประเทศโคลอมเบีย พบว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สามารถสะสมซิลิคอนได้

Key words : calcium silicate, oil palm, silicon, translocation factor

ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าซิลิคอนอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับพืชสะสมซิลิคอนอื่นๆ ทั้งนี้ การศึกษาการใช้ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ในปาล์มน้ำมันยังมีจำกัด จึงทำให้การนำธาตุอาหารเสริมประโยชน์มาใช้ในปาล์มน้ำมันยังไม่แพร่หลายนัก ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เมื่อได้รับปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำซิลิคอนมาใช้ในการผลิตปาล์มน้ำมันให้ถูกต้องและเกิดประโยชน์สูงสุด

อุปกรณ์และวิธีการ

นำต้นกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา พันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 จากระยะอนุบาลแรก มาอนุบาลหลัก โดยเลือกต้นที่มีลักษณะแข็งแรงดีและมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ปลูกในถุงปลูกพลาสติกสีดำขนาดใหญ่ (16 นิ้ว x 18 นิ้ว) ที่บรรจุดินร่วนเหนียวปนทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องตา 0.5 เซนติเมตร เพื่อแยกเศษหินและวัสดุอื่นที่มีขนาดใหญ่ออก วางถุงพลาสติกที่ปลูกต้นกล้าปาล์มน้ำมันเรียบร้อยแล้วในโรงเรือนกระจก โดยวางถุงเป็นรูปสามเหลี่ยม ระยะห่างด้านละ 50 เซนติเมตร รดน้ำทุกๆ วัน ในปริมาตร 1.5 ลิตรต่อต้น และใส่ปุ๋ยเชิงผสม 15-9-15 (N-P_2O_5-K_2O) ปริมาณ 7.0 กรัมต่อต้นต่อครั้ง เดือนละ 2 ครั้ง หลังจากย้ายปลูก เพื่อให้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโตดี และปรับตัวในสภาพเรือนกระจกก่อนการทดลอง เริ่มการทดลองเมื่อต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีอายุ 3 เดือนในระยะอนุบาลหลัก วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely randomized design) โดยให้ซิลิคอนในรูปผงแคลเซียมซิลิเกต (Ca_2SiO_4) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ รวม 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกต (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตปริมาณ 0.5, 3.5 และ 7.0 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เริ่มให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตหลังจากย้ายปลูกได้ 4 เดือน โดยให้ซิลิคอนเดือนละ 1 ครั้งเป็นเวลา 4 เดือน การให้ซิลิคอนจะให้ทางราก โดยโรยผงแคลเซียมซิลิเกตบนดินรอบๆ ห่างจากโคนต้นประมาณ 10 เซนติเมตร

เก็บตัวอย่างต้นกล้าปาล์มน้ำมันเมื่ออายุ 8 เดือนในระยะอนุบาลหลัก โดยแบ่งส่วนต้นกล้าเป็นราก ลำต้น และใบ นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ เพื่อหาอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ โดยคำนวณจาก $RGR = (\ln W_2 - \ln W_1)/(t_2 - t_1)$ เมื่อ W_1 และ W_2 เป็นน้ำหนักแห้งของพืช ที่เวลา t_1 และ t_2 ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างไปบดด้วยเครื่องบดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์ซิลิคอนในส่วนราก ลำต้น และใบ ด้วยวิธี Molybdenum blue method สกัดซิลิคอนจากตัวอย่างพืชโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และวัดค่าความเข้มข้นของซิลิคอนโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร (Saito *et al*., 2005; ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้วิธี Least Significant Different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์

จากผลการทดลองระดับความเข้มข้นของการให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตต่อความเข้มข้นของซิลิคอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (Figure 1) พบว่า การให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตในอัตราที่แตกต่างกันมีผลทำให้ความเข้มข้นของซิลิคอนในต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในส่วนของใบมีความเข้มข้นของซิลิคอนเพิ่มขึ้น เมื่อต้นกล้าได้รับปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น ดังนั้น เราจะเห็นได้ว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สะสมซิลิคอน โดยจากผลการทดลองระดับความเข้มข้นของการให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตต่อเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของซิลิคอนในส่วนต่างๆ ของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (Figure 2) พบว่า การให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตในอัตราที่แตกต่างกันมีผลทำให้ความเข้มข้นของซิลิคอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในส่วนของรากลำต้น และใบ กล่าวคือ เมื่อพืชได้รับความเข้มข้นของแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของซิลิคอนในรากลดลง แต่ในทางตรงกันข้าม พบว่า เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของซิลิคอนในใบเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพืชได้รับความเข้มข้นของแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองระดับความเข้มข้นของการให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตต่อปัจจัยการเคลื่อนย้ายธาตุซิลิคอนจากรากไปสู่ใบ พบว่า การให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตในอัตราที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปัจจัยการเคลื่อนย้ายธาตุซิลิคอนจากรากไปสู่ใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3) กล่าวคือ เมื่อพืชได้รับความเข้มข้นของแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น ทำให้ปัจจัยการเคลื่อนย้ายธาตุซิลิคอนจากรากไปสู่ใบเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าพืชมีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารซิลิคอนจากรากไปยังใบมากกว่าการเก็บสะสมไว้ที่ราก เมื่อได้รับซิลิคอนในระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก

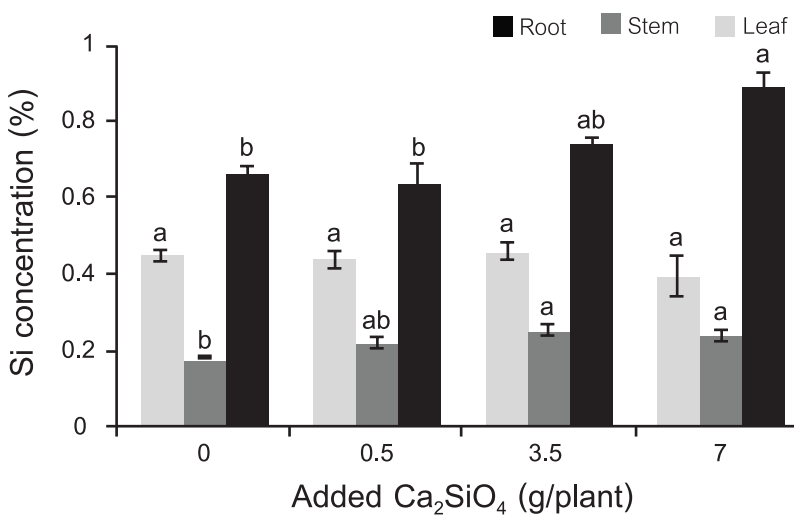

Figure 1 Effect of calcium silicate on percentage of Si concentration in root, stem and leaf of oil palm seedlings exposed to control and Si on month 4. Data represent the mean ± SE (n=3). Different letters indicate a significant difference (LSD test, $P \leq 0.0$).

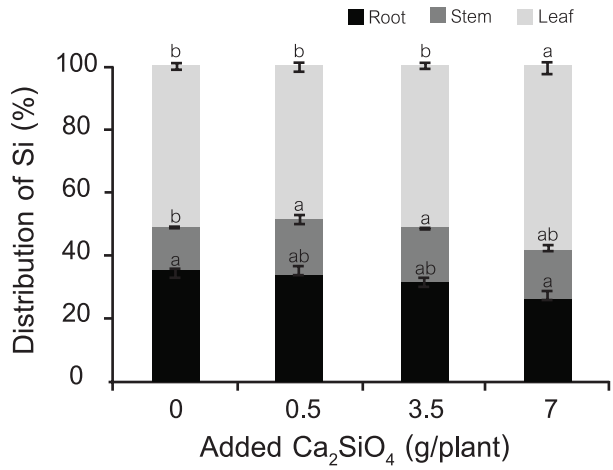

Figure 2 Effect of Si on calcium silicate accumulation in plant. Percentage of Si concentration in each of part organ/total Si concentration in plant is shown. Data represent the mean ± SE (n=3). Different letters indicate a significant difference (LSD test, $p \leq 0.0$).

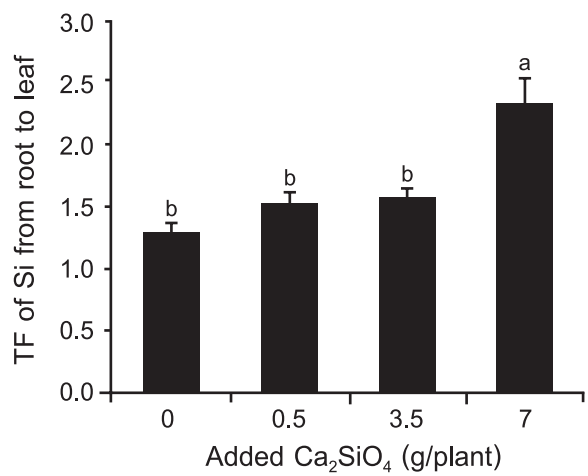

Figure 3 Effect of Si on translocation factor (TF) of calcium silicate from root to leaf (Si concentration ratio of leaf to root). Data represent the mean ± SE (n=3). Different letters indicate a significant difference (LSD test, $p \leq 0.0$).

พืชที่มีการสะสมซิลิคอนจะมีการจะดูดใช้ซิลิคอนแบบใช้พลังงาน (Ma and Yamaji, 2006) อย่างไรก็ตาม ในปี 2005 Mitani and Ma รายงานว่า มี Si transportor ควบคุมการผ่านเข้า-ออกของซิลิคอนจากเซลล์คอร์ติซอลไปยังไซเล็มในพืชแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งหากมี active Si transportor ที่สูง จะนำไปสู่การสะสมของซิลิคอนที่สูงในส่วนเหนือดินของพืช

(Goto *et al*., 2001) โดยรากจะดูดซึมซิลิคอนในรูปของกรดซิลิซิกจากไรโซสเฟียร์และลำเลียงต่อไปยังไซเล็ม (Ma and Yamaji, 2006) ซิลิคอนในพืชจะมีการสะสมอยู่ในรูปที่เรียกว่า phytoliths ซึ่งจะเกิดในผนังเซลล์ และช่องว่างระหว่างเซลล์ ในส่วนของราก ยอด และลำต้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับซิลิคอนในส่วนต่างๆ ของข้าว นั่นคือความเข้มข้นของซิลิคอนไดออกไซด์ ($\%SiO_2$) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ จากอวัยวะส่วนล่างขึ้นไปยังส่วนบน (Sun *et al*., 2008) และจากการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตที่ระดับความเข้มข้น 3.5 และ 7.0 กรัมต่อต้น ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Figure 4) ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นในส่วนของใบ แสดงว่าการให้แคลเซียมซิลิเกตในระดับที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตมากกว่าการไม่ได้รับแคลเซียมซิลิเกต และได้มีการรายงานในพืชชนิดต่างๆ เช่น ฝ้าย (Li *et al*., 1989) และข้าวฟ่าง (Hattori *et al*., 2003) ว่าซิลิคอนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช นั่นคือการเจริญเติบโตของส่วนต้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองควบคุม อาจเนื่องมาจากมีการขยายขนาดของผนังเซลล์ของพืช ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวจัดเป็นพารามิเตอร์หลักที่จะกำหนดอัตราการยืดตัวของเซลล์ (Soga *et al*., 1999) ซึ่งจะมีความสอดคล้องกับการศึกษาการขยายขนาดของเซลล์ เมื่อมีการใช้ซิลิคอนในข้าว พบว่า ซิลิคอนช่วยเพิ่มการขยายขนาดของเซลล์อย่างมีนัยสำคัญทั้งในรากและส่วนเหนือดิน (Hossain *et al*., 2002) นอกจากนี้ ซิลิคอนมีบทบาทในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อและเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้น (Ma and Takahashi, 2002)

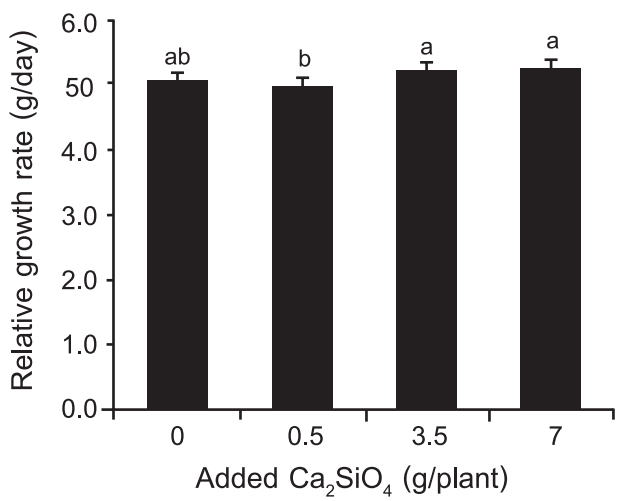

Figure 4 Effect of calcium silicate on relative growth rate of biomass in total of oil palm seedlings exposed to control and Si on month 4. Data represent the mean ± SE (n=3). Different letters indicate a significant difference (LSD test, $p \leq 0.0$).

สรุป

ความเข้มข้นของการให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตมีผลต่อความเข้มข้นของซิลิคอนในส่วนต่างๆ ของพืช โดยความเข้มข้นในรากลดลง แต่ความเข้มข้นในใบเพิ่มขึ้นและปัจจัยการเคลื่อนย้ายของซิลิคอนจากรากสู่ใบเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของการให้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตสูงสุด และอัตราการเจริญเติบโตทางด้านมวลชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำซิลิคอนมาใช้ในการผลิตกล้าปาล์มน้ำมันให้ถูกต้องและเกิดประโยชน์ต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุนสนับสนุนจากสถานวิจัยความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 2 และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 171 หน้า.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2556. คู่มือปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยและการพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 71 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 548 หน้า.

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.

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.

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.

Hossain, M.T., R. Mori, K. Wakabayashi, S. Kamisaka, S. Fujii, R. Yamamoto and 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.

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.

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

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: 392-7.

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

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

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.

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

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