ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของโป๊ยเซียน

Effects of Phosphorus on Growth and Development, and Quality of Crown of Thorns (*Euphorbia milii*)

วุฒิพงษ์ แปงใจ และ สายชล สุขญาณกิจ*
Wutthipong Pangjai and Saychol Sukyankij*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จ. พระนครศรีอยุธยา 13000
Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand
**Corresponding author: Email: saychol.agri@gmail.com*

(Received: 23 May 2023; Accepted: 15 September 2023)

Abstract: Phosphorus (P) is an important nutrient for the growth and quality of ornamental plants. The aim of this study was to investigate the effects of phosphorus on the growth and flower quality of crown of thorns. The experimental design was conducted in a completely randomized design (CRD) with three replications and six treatments. Treatments were T1 as control (no P fertilizer); T2 to T6 consisted of P fertilizer at the rates of 25, 50, 100, 200 and 400 mg P_2O_5 per kg (growing media), respectively. The results showed that the application of P fertilizer at different rates resulted in significant differences in chlorophyll a and total chlorophyll ($P < 0.05$). Plant height and total phosphorus concentration were not significantly different ($P > 0.05$). The increase in P fertilization clearly affected the number of flowers per plant. Application of P fertilizer at the rate of 400 mg P_2O_5 per kg (growing media) resulted in the highest number of flowers per plant (8.67 ± 2.31 flowers per plant). On the other hand, an increase in P fertilizer decreased the flower diameter of the crown of thorns. The application of P fertilizer at a rate of 100 mg P_2O_5 per kg of growing media yielded comparable outcomes in terms of flower diameter, number of inflorescences, and number of flowers per plant as the treatment that generated the most favorable results. Therefore, the application of P fertilizer at the rate of 100 mg P_2O_5 per kg (material) was appropriate for planting crown of thorns.

Keywords: Phosphorus, chlorophyll content, flower quality, crown of thorns

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของไม้ประดับ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพดอกของโป๊ยเซียน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ 6 ตำรับทดลอง ดังนี้ ตำรับทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ตำรับทดลองที่ 2 ถึง 6 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 25, 50, 100, 200 ละ 400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกันมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์รวมในโป๊ยเซียนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่ความสูงและความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้นส่งผลให้จำนวนดอกต่อต้นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ให้จำนวนดอกต่อต้นมากที่สุด (8.67 ± 2.31 ดอกต่อต้น) ในทางตรงข้ามอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้นกลับมีผลให้ดอกโป๊ยเซียนมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 100 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ให้ค่าความกว้างดอก จำนวนช่อดอก และจำนวนดอกต่อต้นไม่แตกต่างจากตำรับทดลองที่ให้ค่าดังกล่าวสูงที่สุด ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 100 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) จึงเป็นอัตราการใส่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกโป๊ยเซียน

คำสำคัญ: ฟอสฟอรัส ปริมาณคลอโรฟิลล์ คุณภาพดอก โป๊ยเซียน

บทนำ

โป๊ยเซียนเป็นพืชในวงศ์ Euphorbiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Euphorbia milii* และชื่อสามัญ crown of thorns หรือ Christ thorn ซึ่งแปลว่ามงกุฎหนาม มีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปแอฟริกา มาดาร์กัสการ์ อบิสซิเนีย และแถบทวีปอเมริกา ซึ่งสามารถพบได้ในหลายประเทศ ลักษณะสำคัญของพืชชนิดนี้คือ ลำต้นมีลักษณะอวบน้ำ มีหนามแหลม มียางสีขาวซึ่งเป็นพิษหากถูกผิวหนัง และเป็นพืชที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี (Poruksa and Krasaechai, 1997) ในประเทศไทยมีแหล่งปลูกโป๊ยเซียนเพื่อการจำหน่าย เช่น ในพื้นที่จังหวัดอ่างทอง และจังหวัดปทุมธานี (Department of Agricultural Extension, 2023) ส่วนสายพันธุ์ของโป๊ยเซียนนั้นมีค่อนข้างหลากหลาย หนึ่งในนั้นคือพันธุ์เศรษฐีสยาม เป็นพันธุ์ที่ดอกมีลักษณะสีแดงสดดอกใหญ่ ปลูกเลี้ยงง่าย และเป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมจากกลุ่มผู้เลี้ยงโป๊ยเซียน นอกจากนี้ ยังมีพันธุ์อื่น ๆ เช่น พันธุ์เศรษฐีใหม่ ดอกสีชมพูแต้มเขียว พันธุ์ศรีเบญจวรรณ ดอกมีสีเหลืองนวล เป็นต้น (Jakkawanchai, 1996) โดยปกติการปลูกโป๊ยเซียนเพื่อจำหน่ายเป็นไม้กระถางนั้นนิยมใช้การขยายพันธุ์โดยวิธีปักชำแล้วเสียบยอดด้วยกิ่งพันธุ์ดี และจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกโป๊ยเซียนในจังหวัดอ่างทอง พบว่าใช้วิธีเสียบยอดเป็นส่วนใหญ่ โดยใช้ต้นตอเป็นพันธุ์แดงอุดม เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่แข็งแรง ทนทานต่อการเกิดโรค และระบบรากดี เมื่อได้ต้นตอแล้วจึงเสียบยอดด้วยพันธุ์ตามที่ต้องการ สำหรับการปลูกจะปลูกในดินผสมที่ทำขึ้นจากดินร่วน ปุ๋ยคอก ขุยมะพร้าว และแกลบดำในอัตราส่วน 1:1:1:1 ภายหลังการเสียบยอดแล้วอย่างน้อยสามเดือนจึงนำออกจำหน่าย การใช้ปุ๋ยสำหรับโป๊ยเซียนนั้นไม่มีรายงานที่ชัดเจนว่าอัตราการใส่ธาตุอาหารแต่ละชนิดที่เหมาะสมควรเป็นเท่าใด มีเพียงการใช้ปุ๋ยในภาพรวมซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นปุ๋ยเคมีเกรดเสมอ เช่น เกรด 15-15-15 หรือเกรดอื่น ๆ ที่มีอัตราส่วนของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเป็น 1:1:1 เท่านั้น (Jakkawanchai, 1996) ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยเคมีได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีบทบาทจำเพาะต่อการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารหลักในอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไป สำหรับการปลูกโป๊ยเซียนเพื่อให้ออกดอกอาจเน้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงกว่าธาตุอาหารหลักชนิดอื่น ๆ เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของเซลล์พืช เกี่ยวข้องกับการออกดอก การติดผล รวมทั้งการพัฒนาของรากพืช (Sukyankij *et al*., 2023) อย่างไรก็ตาม

ข้อมูลที่เกี่ยวกับธาตุฟอสฟอรัสในพืชกลุ่มไม้ประดับโดยเฉพาะโป๊ยเซียนพบว่ายังมีจำกัด และจากรายงานของ Caspersen and Bergstrand (2020) ซึ่งศึกษาการให้ธาตุฟอสฟอรัสอย่างจำกัดต่อประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสและคุณภาพในเบญจมาสและคริสต์มาส ซึ่งเป็นพืชในสกุลใกล้เคียงกับโป๊ยเซียนกล่าวว่าในพืชทั้งสองชนิดนี้เมื่อเข้าสู่ระยะกำเนิดช่อดอกฟอสฟอรัสมีการเคลื่อนย้ายจากส่วนเหนือดินไปสู่ส่วนที่มีความสำคัญในการสืบพันธุ์ และอัตราการเจริญเติบโต รวมทั้งอัตราการดูดใช้ฟอสฟอรัสลดลง เมื่อพืชทั้งสองชนิดมีอายุมากขึ้น ซึ่งบ่งบอกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสควรให้ในช่วงที่พืชมีการเจริญเติบโตทางลำต้นซึ่งส่งผลด้านการเจริญเติบโต และการดูดใช้ฟอสฟอรัส รวมทั้งยังอาจส่งผลให้คุณภาพดอกและจำนวนดอกดีกว่าการให้ในช่วงที่พืชเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ และจากการทดลองนี้พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 24 - 48 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้พืชทดสอบมีจำนวนดอกต่อต้นสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 6 - 18 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ ปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสก็มีความสำคัญเช่นกัน โดยอัตราการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สูงเกินไปอาจเป็นพิษและมีผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ทั้งนี้อาการเป็นพิษที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับสายพันธุ์ของพืชด้วย (Whipker and Hammer, 1994) ปริมาณรงควัตถุเป็นหนึ่งในตัวบ่งชี้ที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยได้ มีรายงานหลายฉบับกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสกับรงควัตถุในพืช เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Poudyal *et al*., 2021) และการขาดฟอสฟอรัสส่งผลให้ระบบการสังเคราะห์แสงแปรปรวนไปโดยเฉพาะระบบ PS II (Xu *et al*., 2007) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าฟอสฟอรัสมีส่วนสำคัญในการเพิ่มปริมาณแคโรทีนอยด์ในพืชด้วย (El-Sawy *et al*., 2015; Wongsnansilp *et al*., 2016) ดังนั้น การศึกษาอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น และคุณภาพของดอกในโป๊ยเซียนจึงเป็นข้อมูลที่สำคัญประการหนึ่งที่จะช่วยชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อพืชชนิดนี้เพื่อเป็นข้อมูลให้เกษตรกรที่ปลูกโป๊ยเซียนเพื่อจำหน่ายสามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพของโป๊ยเซียนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนการทดลองและเก็บข้อมูล

การทดลองนี้เริ่มดำเนินการในระหว่างเดือนตุลาคม 2565 ถึงเดือนเมษายน 2566 ภายใต้สภาพโรงเรือนคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ใช้โป๊ยเซียนพันธุ์เศรษฐีสยามที่ผ่านการเสียบยอดมาแล้วเป็นเวลา 3 เดือน ซึ่งมีความสูงต้นเฉลี่ย 5.6 เซนติเมตร นำมาย้ายลงกระถางใหม่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร (กระถางทรงกรวยตัด ปริมาตรประมาณ 3.43 ลิตร) ซึ่งมีวัสดุปลูกเป็น ดินร่วน ปุ๋ยหมัก ขุยมะพร้าว และแกลบดำอัตรา 1:1:1:1 (อัตราส่วนโดยปริมาตร) โดยใส่วัสดุปลูกในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อกระถาง วิเคราะห์สมบัติของวัสดุปลูกตามวิธีการของ Land Development Department (2010) ประกอบด้วย พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สมบัติของวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดลองแสดงใน Table 1 ภายหลังย้ายปลูกแล้ว 1 เดือนจึงนำมาทดสอบการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ 6 ตำรับการทดลอง ดังนี้ ตำรับทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ตำรับทดลองที่ 2 ถึง 6 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 25, 50, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ตามลำดับ โดยใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) เป็นแหล่งให้ธาตุฟอสฟอรัส ด้านการจัดการธาตุอาหารหลักอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจนและโพแทสเซียมใส่ในอัตรา 100 มิลลิกรัม ($N-K_2O$) ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) เป็นแหล่งในการให้ธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม ในการใส่ปุ๋ยทดสอบนั้นใส่เพียงครั้งเดียวที่ระยะเริ่มต้นการทดลอง (ภายหลังย้ายปลูกแล้ว 1 เดือน) รดน้ำทุก ๆ 3 วันในอัตรา

Table 1 Properties of growing media used in the experiment (mean ±SD, n=3)

Properties	Unit	Values
pH (1:5)	-	6.52 ± 0.12 (N)†
Electrical conductivity	dS/m	1.21 ± 0.03 (VL)
Organic matter	g/kg	165 ± 7.50 (VH)
Total nitrogen	g/kg	4.62 ± 0.24 (VH)
Total phosphorus	g/kg	2.25 ± 0.18 (NR)
Total potassium	g/kg	4.86 ± 0.25 (NR)
Available phosphorus	mg/kg	81.0 ± 2.50 (VH)
Exchangeable potassium	mg/kg	195 ± 35.0 (VH)

† The letters in bracket are interpreted according to Land Classification Division and FAO Project Staff (1973): N = neutral; VL = very low; VH = very high; NR = no required.

100 มิลลิลิตรต่อกระถาง ด้านการป้องกันและกำจัดโรคและแมลงดำเนินการโดยวิธีกลเมื่อพบการระบาดเท่านั้น

การเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่ระยะ 60 วันหลังจากให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความสูงต้นโดยคำนวณจากสูตร [{(ความสูงต้นสิ้นสุดการทดลอง – ความสูงต้นเริ่มทดลอง) / ความสูงต้นเริ่มทดลอง} x 100)}] ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี ผลรวมของคลอโรฟิลล์ เอ และบี และปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบ เส้นผ่านศูนย์กลางดอก จำนวนช่อดอกต่อต้น และจำนวนดอกต่อต้น

การวิเคราะห์ทางเคมี

การวิเคราะห์ทางเคมีประกอบด้วย (1) การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบโป๊ยเซียน โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Dharmanitivedya (2019) ดังนี้ นำตัวอย่างใบพืชที่สมบูรณ์อยู่ในช่วงขยายแผ่นใบเต็มที่ (ใบที่ 4 นับจากยอด) นำมาเจาะด้วยเครื่องเจาะรูเป็นวงกลม จำนวน 3 ตำแหน่งในแผ่นใบ นำใส่ในหลอดแก้ว เติมสาร N,N-dimethylformamide (DMF) จำนวน 10 มิลลิลิตร นำไปเก็บในที่มืด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายสีเขียวที่สกัดได้ไปวัดความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 480, 647, 664 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ดังนี้

Chlorophyll a = $(12A_{664}-3.11A_{647}) \times V / (\text{dilution} \times \text{area} \times 100)$

Chlorophyll b = $(20.78A_{647}-4.88A_{664}) \times V / (\text{dilution} \times \text{area} \times 100)$

Totalchlorophyll = Chlorophyll a + Chlorophyll b

Total carotenoids (CX+C) = $(100A_{480} - 1.12\text{Chl a} - 34.07\text{Chl b}) / 245$

(2) วิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรูปของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) ในส่วนใบ โดยย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมสองชนิด (acid mixture: HNO_3-$HClO_4$ ในอัตราส่วน 2 :1 v/v.) (Attanandana and Chanchareonsook, 1999) สารละลายที่ได้จากการย่อยสลายนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 5 จากนั้นนำสารละลายใสที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีพัฒนาสีด้วยกรดวานาโดโม-ลิบเดท (vanadomolybdo-phosphoric acid method) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Kuo, 1996)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโตของโป๊ยเซียน

ปัจจัยด้านการเจริญเติบโตพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความสูงของต้นโป๊ยเซียน (Figure 1) โดยพบว่า การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกัน 6 ระดับ (0-400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก)) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ความสูงต้นโป๊ยเซียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความสูงมีค่าพิสัยระหว่าง 18.6 - 23.8 เปอร์เซ็นต์ Khandan-Mirkohi *et al.* (2015) ศึกษาการจัดการธาตุฟอสฟอรัสในต้นคริสต์มาสที่ใช้พีทเป็นวัสดุปลูกรายงานว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับการปลูกต้นคริสต์มาสเท่ากับ 35 มิลลิกรัมต่อลิตร (วัสดุปลูก) โดยการใส่ในปริมาณที่สูงกว่านี้ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นคริสต์มาส และควรมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้บ่อยครั้งขึ้นในช่วงก่อนที่ต้นคริสต์มาสจะเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ ขณะที่ Caspersen and Bergstrand (2020) รายงานว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 24 มิลลิกรัมต่อลิตร (วัสดุปลูก) ทำให้ต้นคริสต์มาสมีน้ำหนักแห้งต่อต้น จำนวนกิ่ง และความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด ทั้งนี้ การเจริญเติบโตของพืชทางลำต้นส่วนใหญ่แล้วได้รับอิทธิพลจากธาตุไนโตรเจนเป็นหลัก (Osotsapar, 2015) แต่ก็มีบางงานวิจัยที่พบว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีบทบาทต่อความสูงของพืชเช่นกัน เช่นจากรายงานของ Ruamrungsri *et al*. (2009) ทำการศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของแกลดิโอลัส พบว่าการเพิ่มระดับของฟอสฟอรัสจาก 50 เป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ความสูงของแกลดิโอลัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ ฟอสฟอรัสและไนโตรเจนมีอันตรกิริยาในเชิงส่งเสริมกัน เนื่องจากพืชดูดใช้ฟอสฟอรัสในรูปของแอนไอออน ($H_2PO_4^-$ หรือ HPO_4^{2-}) ส่วนไนโตรเจนพืชสามารถดูดใช้ในรูปของแคตไอออน (NH_4^+) ซึ่งไอออนทั้งสองมีขั้วที่ต่างกันทำให้สามารถดูดยึดกันได้ ดังนั้น ในขั้นตอนของการดูดใช้ธาตุอาหารโดยพืชไอออนของธาตุทั้งสองชนิดนี้ถูกดูดเข้าสู่ระบบท่อลำเลียงของพืชได้ง่ายกว่าไอออนที่มีขั้วเหมือนกัน (Sukyankij *et al.*, 2018) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้นจึงมีผลให้การดูดใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความสูงของพืชเพิ่มขึ้นนั่นเอง (Osotsapa, 2015)

ปริมาณคลอโรฟิลล์

ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์พิจารณาจากปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ในใบที่ระยะ 60 วันหลังจากให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (Table 2) จากผลการทดลองพบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0 - 400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

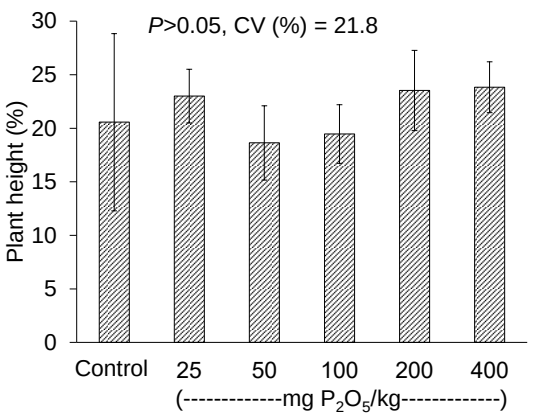

Figure 1 Effect of different phosphorus levels on plant height of crown of thorns. The vertical bars represented standard deviation (n = 3).

Table 2. Effects of phosphorus on chlorophyll and carotenoids in leaves of crown of thorns (mean ±SD, n=3)

Treatments	Chlorophyll a†	Chlorophyll b†	Total chlorophyll†	Total carotenoids†
	(---------- mg/m^2 ----------)			
Control	758 ± 159^{b}	377 ± 70	1,135 ± 113^{b}	233 ± 35
25 mg P_2O_5/kg	1,000 ± 153^{a}	406 ± 32	1,407 ± 184^{a}	284 ± 38
50 mg P_2O_5/kg	989 ± 183^{a}	436 ± 53	1,426 ± 233^{a}	278 ± 48
100 mg P_2O_5/kg	996 ± 17^{a}	366 ± 81	1,362 ± 71^{a}	276 ± 2
200 mg P_2O_5/kg	871 ± 75^{ab}	359 ± 32	1,230 ± 106^{ab}	241 ± 10
400 mg P_2O_5/kg	1,021 ± 184^{a}	383 ± 87	1,395 ± 271^{a}	284 ± 48
F-test	*	ns	*	ns
CV (%)	12.8	17.7	12.8	10.6

† Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using DMRT at $P < 0.05$, * = significant difference at 0.05 probability levels, ns = no significant

และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 400 และ 50 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ส่งผลให้โป๊ยเซียนมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวมสูงที่สุด (1,021 ± 184 และ 1,426 ± 233 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ) ทั้งนี้พบว่า ค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองอื่น ๆ ที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์บีและแคโรทีนอยด์พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ($P > 0.05$) โดยมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 359 ± 32 – 436 ± 81 และ 233 ± 35 – 284 ±48 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชนั้นมีความสัมพันธ์กับธาตุไนโตรเจนและแมกนีเซียม เนื่องจากทั้งสองธาตุนี้เป็นองค์ประกอบในระดับโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นในประเด็นการเจริญเติบโตของต้นโป๊ยเซียนนั้น การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลในเชิงส่งเสริมให้พืชสามารถดูดใช้ไนโตรเจนได้เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับธาตุแมกนีเซียมซึ่งมีอันตรกิริยาเชิงบวกกับฟอสฟอรัสเช่นกัน (Osotsapar, 2015) ซึ่งอาจเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบโป๊ยเซียนมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ทั้งนี้ พืชที่ได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอจะมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์หลายชนิด เช่น ATP synthesis, phosphoglycerate kinase และมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชลดลง (Poudyal *et al.,* 2021) และจากรายงานของ Poudyal *et al.* (2021) ซึ่งศึกษาความต้องการฟอสฟอรัสของไม้ประดับสามชนิดในการสะสมชีวมวลและประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงพบว่า การเพิ่มระดับของฟอสฟอรัสส่งผลให้ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงมีค่าสูงขึ้น ขณะที่ประสิทธิภาพการใช้แสงของพืช (Fv'/Fm') มีการตอบสนองต่อฟอสฟอรัสที่ใส่ในปริมาณต่ำ (0.7-1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) มากกว่าฟอสฟอรัสที่ใส่ในปริมาณสูงกว่า (2.5 - 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าในระบบการสังเคราะห์แสง PS II การได้รับฟอสฟอรัสในอัตราต่ำช่วยให้พืชสามารถใช้แสงได้เกิดประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้ มีรายงานบางฉบับกล่าวว่าการที่พืชได้รับฟอสฟอรัสในอัตราต่ำไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์และประสิทธิภาพในการใช้แสงของพืช (Campbell and Sage, 2006) ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์นั้น ถึงแม้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลองแต่มีรายงานว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณแคโรทีนอยด์ในพืชรวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่นที่มีรงควัตถุชนิดนี้ได้ (El-Sawy *et al.*, 2015; Wongsnansilp *et al.*, 2016)

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส

ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสในใบโป๊ยเซียน แสดงใน Figure 2 จากผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกัน (0 - 400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก)) ไม่มีผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบโป๊ยเซียนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยค่าพิสัยความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบมีค่าระหว่าง 7.79 - 9.13 กรัมต่อกิโลกรัม จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นไม่ได้มีผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในพืชเพิ่มขึ้นเสมอไป ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Caspersen and Bergstrand (2020) และ Poudyal *et al.* (2021) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้นมีผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในต้นคริสต์มาสและไม้ดอกอื่น ๆ เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้การดูดใช้ธาตุอาหารในพืชนอกจากปริมาณธาตุอาหารที่เติมลงไปยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ด้วย สำหรับในกรณีของการทดลองในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าจากการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุปลูกที่นำมาใช้ในการทดลอง (Table 1) พบว่า วัสดุปลูกที่ใช้มีค่าพีเอชและปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) อยู่ในเกณฑ์เหมาะสม (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) โดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก (81.0 ± 2.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งอาจเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลองที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส นอกจากนี้วัสดุปลูกที่ใช้ยังมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงมาก (165 ± 7.50 กรัมต่อกิโลกรัม) อินทรียวัตถุในวัสดุปลูกถือว่ามีบทบาทในการควบคุมระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่อพืช เนื่องจากโครงสร้างของอินทรียวัตถุที่มีพื้นที่ผิวมากทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารได้ดี (Sukyankij *et al.*, 2023) และเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินจะปลดปล่อยธาตุอาหารที่ดูดซับไว้ให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ ดังนั้นในดินหรือวัสดุปลูกที่มีอินทรียวัตถุสูงจึงมีโอกาสน้อยที่พืชจะแสดงอาการขาดธาตุอาหาร ซึ่งอาจเป็นเหตุผลอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลองที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

คุณภาพดอกโป๊ยเซียน

จากผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ความกว้างดอก จำนวนช่อดอกต่อต้น และจำนวนดอกต่อต้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$ และ $P < 0.05$ ตามลำดับ) ในส่วนของความกว้างดอก การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา

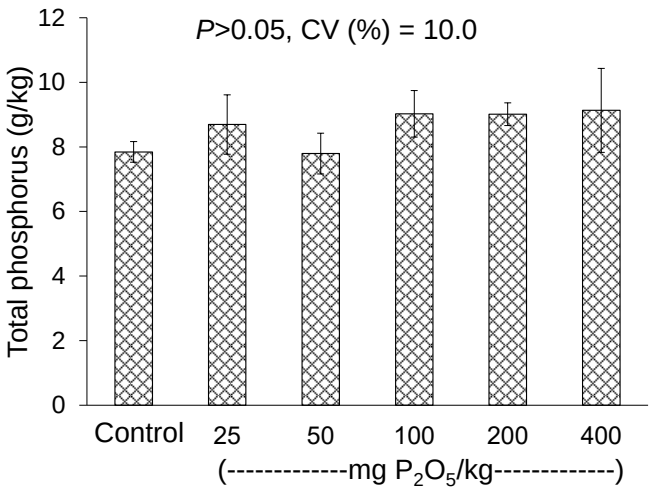

Figure 2 Effect of different phosphorus levels on phosphorus concentration in leaves of crown of thorns. The vertical bars represented standard deviation (n=3)

25 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ให้ค่าความกว้างดอกสูงที่สุด (4.50 ± 0.20 เซนติเมตร) (Table 3 และ Figure 3) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 100 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ในส่วนจำนวนช่อดอกต่อต้น การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 100 และ 200 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) มีจำนวนช่อดอกต่อต้นสูงที่สุดเท่ากัน (2.67 ± 0.57 ช่อดอกต่อต้น) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองอื่น ๆ ที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (Table 3) และสุดท้ายคือจำนวนดอกต่อต้น การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูงขึ้นส่งผลให้จำนวนดอกต่อต้นของโป๊ยเซียนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ให้ปริมาณจำนวนดอกต่อต้นสูงที่สุด (8.67 ± 2.31 ดอกต่อต้น) (Table 3)

การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณสูงขึ้นส่งผลให้จำนวนดอกโป๊ยเซียนต่อต้นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (Table 3) ทั้งนี้ ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อการติดดอกออกผลในพืช (Osotsapar, 2015; Sukyankij *et al*., 2023) ดังนั้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นจึงอาจมีผลให้จำนวนดอกต่อต้นเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับจำนวนช่อดอกต่อต้นที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 100 และ 200 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม สอดคล้องกับงานทดลองของ Ruamrungsri *et al*. (2009) ที่พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราสูงขึ้นจาก 50 เป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรส่งผลให้จำนวนดอกย่อยของแกลดิโอลัสมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ขนาดของดอกซึ่งพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางดอกนั้น (Table 3, Figure 3) พบว่า อัตราการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ขนาดของดอกโป๊ยเซียนเล็กลง จากรายงานของ Bumphenyoo and Ruamrungsri (2003) และ Kidsadawanich and Ruamrungsri (2005) ระบุว่าไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพดอก ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราสูงขึ้น (50 - 400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก)) ส่งผลให้จำนวนดอกโป๊ยเซียนมีมากขึ้น แต่ขนาดของดอกลดลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 200 - 400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ทั้งนี้โดยปกติแล้วธาตุอาหารที่พืชดูดได้ถูกลำเลียงและแบ่งปันไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนาอวัยวะ ซึ่งในที่นี้ฟอสฟอรัสส่งผลอย่างชัดเจนต่อจำนวนดอกของพืชที่เพิ่มขึ้น แต่ถึงกระนั้นคุณภาพของดอก เช่น ขนาดของดอกอาจถูกควบคุมด้วยปัจจัยอื่น เช่น ธาตุไนโตรเจน (Bumphenyoo and Ruamrungsri, 2003; Kidsadawanich and Ruamrungsri 2005) ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิดการแก่งแย่งธาตุ ไนโตรเจนที่มีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากปริมาณที่ใส่เท่ากันทุกตำรับทดลอง ทำให้ตำรับทดลองที่มีจำนวนดอกมากมีการแก่งแย่งธาตุดังกล่าวสูง ส่งผลให้ขนาดของดอกเล็กกว่าตำรับที่มีจำนวนดอกน้อยกว่านั่นเอง สำหรับคุณภาพดอกนั้นพิจารณาจากขนาดดอกเป็นสำคัญ โดยโป๊ยเซียนพันธุ์เศรษฐีสยามที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในกลุ่มของโป๊ยเซียนดอกใหญ่ และตามหลักเกณฑ์ของการประกวดโป๊ยเซียนกำหนดไว้ว่าดอกที่บานเต็มที่ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร (Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, 2011) โดยทุกตำรับทดลองเป็นไปตามมาตรฐานดังกล่าว ทั้งนี้อาจต้องพิจารณาจากจำนวนช่อดอกและจำนวนดอกต่อต้นด้วย ผลจากข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 100 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ให้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางดอก จำนวนช่อดอก และจำนวนดอกต่อต้นไม่แตกต่างทางสถิติจากตำรับที่ให้ค่าผลการทดลองสูงที่สุด ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 100 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) จึงเป็นอัตราการใส่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกโป๊ยเซียน

Table 3 Effects of phosphorus on chlorophyll and carotenoids in leaves of crown of thorns (mean ±SD, n=3)

Treatments	Flower diameter (cm) †	Number of inflorescences (No./ plant) †	Number of flowers (No./plant) †
Control	4.33±0.21^{a}	1.33±0.57^{b}	2.67±1.15^{c}
25 mg P_2O_5/kg	4.50±0.20^{a}	1.67±0.57^{ab}	4.67±1.15^{bc}
50 mg P_2O_5/kg	3.87±0.12^{bc}	2.33±0.57^{ab}	6.33±1.52^{ab}
100 mg P_2O_5/kg	4.10±0.10^{ab}	2.67±0.57^{a}	7.67±0.57^{ab}
200 mg P_2O_5/kg	3.67±0.15^{c}	2.67±0.57^{a}	7.67±2.08^{ab}
400 mg P_2O_5/kg	3.53±0.35^{c}	2.33±0.57^{ab}	8.67±2.31^{a}
F-test	**	*	*
CV (%)	5.6	23.8	27.2

† Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using DMRT at P<0.05, *,** = significant difference at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

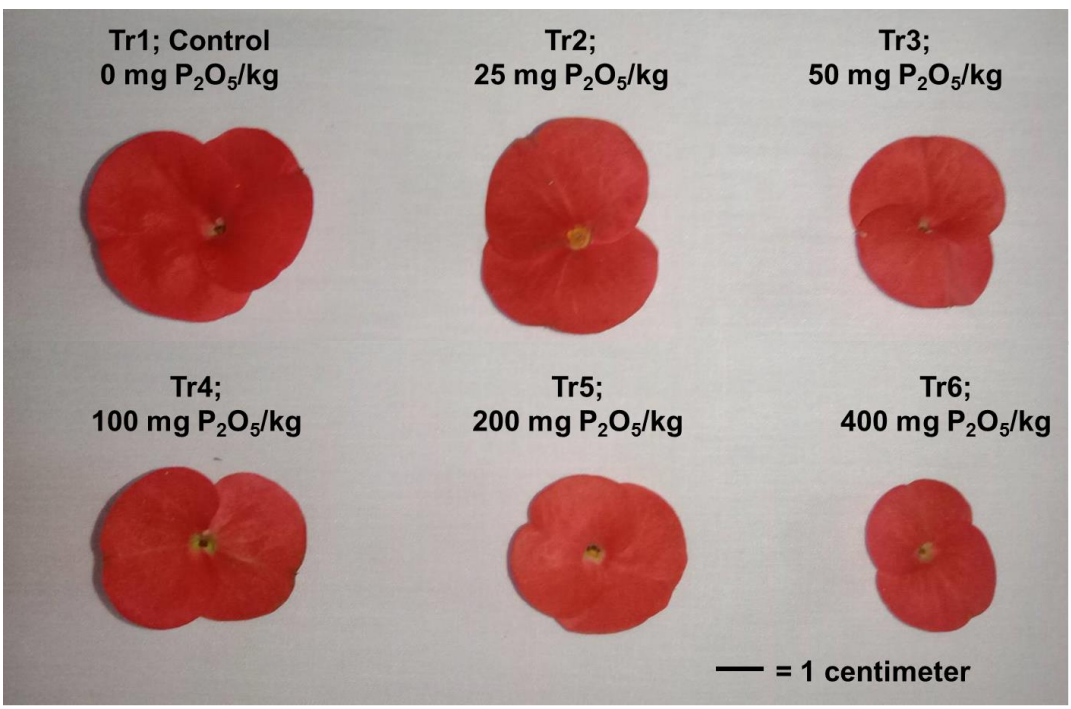

Figure 3 Effects of different phosphorus levels on flower width of the crown of thorns

สรุป

อัตราการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น (25 - 400 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก)) มีผลอย่างชัดเจนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นอกจากนี้ยังส่งผลให้จำนวนดอกต่อต้นเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้ขนาดของดอกเล็กลง โดยการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่ำ (25 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก)) ให้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางดอกสูงที่สุดแต่กลับมีจำนวนช่อดอก และจำนวนดอกต่อต้นต่ำกว่าตำรับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอื่น ๆ ขณะที่การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 100 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) ให้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางดอก จำนวนช่อดอก และจำนวนดอกต่อต้นไม่แตกต่างทางสถิติจากตำรับที่ให้ค่าผลการทดลองสูงที่สุด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 100 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม (วัสดุปลูก) เป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับการปลูกโป๊ยเซียน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.): งบประมาณด้านวิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประจำปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการ 165440

เอกสารอ้างอิง

Attanandana, T. and J. Chanchareonsook. 1999. Practice and Manual of Soil and Plant Analysis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 108 p. (in Thai)

Bumphenyoo, W. and S. Ruamrungsri. 2003. Deficiency of mineral nutrients in *Globba* spp. Journal of Agriculture 19(2): 116-124. (in Thai)

Caspersen, S. and K.J. Bergstrand. 2020. Phosphorus restriction influences P efficiency and ornamental quality of poinsettia and chrysanthemum. Scientia Horticulturae 267: 109316, doi: 10.1016/j.scienta.2020.109316.

Department of Agricultural Extension. 2023. Ornamental Plants: Crown of thorns. (Online). Available: http://www.agriinfo.doae.go.th/year60/plant/rortor/ornament/poysian.pdf (March 15, 2023). (in Thai)

Dharmanitivedya, S. 2019. Pigment extraction from plant leaves for physiology studies. Naresuan Agriculture Journal 16(1): 73-81. (in Thai)

El-Sawy, M.M., I.A. El-Garhi, A.S. Metwally and A.S. Elrys. 2015. Phosphorus nutrition of wheat plant grown on a calcareous soil as affected by application of nitrogen and humate fertilizers. Middle East Journal of Applied Sciences 5(4): 975-983.

Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. 2011. The Manual for the Competition of Ornamental Plants, Garden, Adenium and Crown of Thorns. (Online). Available: https://www.agri.cmu.ac.th/2017/files/Download/50010055.pdf (December 10, 2011). (in Thai)

Jakkawanchai, P. 1996. Crown of Thorns. Pat Book Co.Ltd., Nonthaburi. 128 p. (in Thai)

Khandan-Mirkohi, A., M.K. Schenk and M. Fereshtian. 2015. Study on phosphorus supply management of poinsettia grown in peat-based substrate. Journal of Agricultural Science and Technology 17(1): 179-188.

Kidsadawanich, H. and S. Ruamrungsri. 2005. Nitrogen, phosphorus and potassium

deficiency in *Freesia* spp. Journal of Agriculture 21(3): 197-204. (in Thai)

Kuo, S. 1996. Phosphorus. pp. 869-919. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Land Classification Division, Land Development Department, Bangkok. 169 p.

Land Development Department. 2010. Operating Manual: Analysis Process of Plant, Fertilizer and Soil Amendment. (Online). Available:https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-07.pdf (November 16, 2020). (in Thai)

Osotsapar, Y. 2015. Plant Nutrition. Kasetsart University Press, Bangkok. 548 p. (in Thai)

Poruksa, R. and A. Krasaechai. 1997. Genetic inheritance of crown of thorns (*Euphobia splendens* Bojer ex Hook.f.). Journal of Agriculture 13(1): 1-8. (in Thai)

Poudyal, S., J.S. Owen Jr., T.D. Sharkey, R.T. Fernandez and B. Cregg. 2021. Phosphorus requirement for biomass accumulation is higher compared to photosynthetic biochemistry for three ornamental shrubs. Scientia Horticulturae 275: 109719, doi: 10.1016/j.scienta.2020.109719.

Ruamrungsri, S., H. Kidsadawanich, R. Kijkar, P. Kansan and T. Phornsawatchai. 2009. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and development of *Gladiolus hybrida*. Journal of Agriculture 25(1): 31-39. (in Thai)

Sukyankij, S., C. Khongsud and T. Panich-pat . 2023. Responses of phosphorus applications in two cultivars of Thailand's dwarf yard-long beans. Current Applied Science and Technology 23(4), doi: 10.55003/cast.2023.04.23.012.

Sukyankij, S., S. Samithiarporn, T. Pluemphuak and T. Panich-pat. 2018. Effects of biochar and Fe-EDTA on yield, nutrient uptake and iron translocation in Lettuce (*Lactuca sativa* var.crispa). KKU Science Journal 46(4): 732-743. (in Thai)

Whipker, B.E. and P.A. Hammer. 1994. Determination of injurious phosphorus levels in poinsettias. Hort Science 29(2): 85-87.

Wongsnansilp, T., N. Juntawong and Z. Wu. 2016. Effects of phosphorus on the growth and chlorophyll fluorescence of a *Dunaliella salina* strain isolated from saline soil under nitrate limitation. Journal of Biological Research 89: 5866, doi: 10.4081/jbr.2016.5866.

Xu, H.X., X.Y. Weng and Y. Yang. 2007. Effect of phosphorus deficiency on the photosynthetic characteristics of rice plants. Russian Journal of Plant Physiology 54: 741-748.