



อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพฟ้าทะลายโจร

Influence of Organic Fertilizer on Growth and Quality of Kalmegh

สายชล สุขญาณกิจ^{1*}, ศิโรรัตน์ เขียนแมน², ชาลีนี คงสุต³

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

²สาขาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

³ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นครปฐม 73140

Saychol Sukyankij^{1*}, Siroat Khienman², Chalinee Khongsud³

¹Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University,
Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000

²Division of Plant Science, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of
Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000

³Central Laboratory and Greenhouse Complex, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,
Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

Received 7 December 2023; Received in revised 19 January 2024; Accepted 24 January 2024

บทคัดย่อ

ฟ้าทะลายโจรเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณช่วยบรรเทาอาการปอดอักเสบอันมีสาเหตุมาจากโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตฟ้าทะลายโจร โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ 5 ตำรับการทดลอง ประกอบด้วย ตำรับที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ตำรับที่ 2 ถึง 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เท่า ตามคำแนะนำของกรมส่งเสริมการเกษตร ซึ่งเทียบเท่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 62.5, 125, 187.5 และ 250 กรัม ต่อกระถาง ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 250 กรัมต่อกระถาง ให้ค่าน้ำหนักแห้งใบสูงที่สุด ซึ่งค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 125 และ 187.5 กรัมต่อกระถาง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสมีค่าลดลง ขณะที่อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสารแอนโดรกราโฟไลด์ในใบฟ้าทะลายโจร ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 187.5 กรัม

*ผู้รับผิดชอบบทความ: saychol.agri@gmail.com

ต่อกระถาง ให้ค่าคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับจากตำรับที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 125 และ 250 กรัมต่อกระถาง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 125 กรัมต่อกระถางเป็นอัตราการใส่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตฟ้าทะลายโจร

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมัก; ธาตุอาหารพืช; สารแอนโดรกราโฟไลด์; คลอโรฟิลล์

Abstract

Kalmegh is a medicinal plant known for its properties in alleviating pneumonia caused by the coronavirus (COVID-19). This study aimed to investigate the application of organic fertilizer on the growth, yield, and yield quality of Kalmegh. The experimental design was a completely randomized design (CRD) with 3 replications and 5 treatments. Specifically, the treatments included treatment 1 as a control (no organic fertilizer) and treatments 2 to 5, in which organic fertilizer was applied at 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 times the dose recommended by the Department of Agricultural Extension. This corresponded to the application of organic fertilizer at 62.5, 125, 187.5 and 250 g/pot. The result showed that the application of organic fertilizer at 250 g/pot provided the highest leaf dry weight, which was not significantly different from the application of organic fertilizer at 125 and 187.5 g/pot. The increased dosage of organic fertilizer reduced the concentration of phosphorus in the plant tissue. However, the different doses of organic fertilizer had no effect on the andrographolide content. Regarding the chlorophyll content in the leaf, the application of organic fertilizer at 187.5 g/pot resulted in the highest chlorophyll a and total chlorophyll, which was not significantly different from the application of organic fertilizer at 125 and 250 g/pot. Consequently, the application of organic fertilizer at 125 g/pot is a suitable dose for the production of Kalmegh.

Keywords: Compost; Plant nutrition; Andrographolide; Chlorophyll

1. บทนำ

สืบเนื่องจากสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) การใช้อยาสสมุนไพรมีผลผลิตจากฟ้าทะลายโจรได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีสรรพคุณช่วยบรรเทาอาการปอดอักเสบอันมีสาเหตุมาจากโรคดังกล่าวได้ และจากรายงานของกรมแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือกแนะนำว่าผู้ป่วยโควิด-19 ที่ไม่มีอาการสามารถใช้สารสกัดฟ้าทะลายโจรที่มีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ 20 มิลลิกรัม ขณะที่ผู้ป่วยโควิด-19 ที่มีอาการไม่รุนแรงสามารถใช้สารสกัดฟ้าทะลายโจรที่มีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ 60 มิลลิกรัม วันละ 3 ครั้ง ได้ติดต่อกันนาน 5 วัน [1] ทั้งนี้การใช้ฟ้าทะลายโจรในผู้ป่วยโรค COVID-19 ในประเทศไทยนั้นได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย และปัจจุบันมีหน่วยงานภาครัฐหลายหน่วยงานที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกฟ้าทะลายโจรเพื่อผลิตเป็นยาสมุนไพรรักษา เช่น กรมวิชาการเกษตรที่มีการทำวิจัยเกี่ยวกับสายพันธุ์ฟ้าทะลายโจรที่มีศักยภาพในการปลูกและให้ได้ผลผลิตและปริมาณสารสำคัญในระดับสูง และกรมส่งเสริมการเกษตรที่มีการแจกจ่ายทั้งเมล็ดพันธุ์และต้นพันธุ์ฟ้าทะลายโจรให้แก่เกษตรกรปลูก [2] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการผลิตพืชชนิดนี้เพื่อใช้เป็นยาสมุนไพรมีแนวโน้มที่จะเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญในอนาคต

การใช้ปุ๋ยเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญสำหรับการผลิตพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชสมุนไพรมี การใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชเหล่านี้อาจเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของธาตุพิษ เช่น ตะกั่ว และแคดเมียมที่สามารถติดมากับปุ๋ยในระหว่างกระบวนการผลิต [3] ทั้งนี้กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดปริมาณธาตุโลหะหนักที่สามารถเจือปนในสินค้าประเภทผลิตภัณฑ์ยาสมุนไพรวัดโดยอนุญาตให้มีตะกั่วและแคดเมียมปนเปื้อนได้ไม่เกิน 10 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ [4] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยชีวภาพมีส่วนช่วยให้พืชสมุนไพรมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี [3] ทั้งนี้สารแอนโดรกราโฟไลด์ถือเป็นสาร

ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญของฟ้าทะลายโจร มีรายงานว่าโดยทั่วไปความเข้มข้นของสารแอนโดรกราโฟไลด์ในฟ้าทะลายโจรมีค่าระหว่าง 11-16 กรัมต่อกิโลกรัม และอาจมีค่าเพิ่มมากขึ้นถึง 28-30 กรัมต่อกิโลกรัม เมื่อมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยชีวภาพร่วมด้วย [5, 6] ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการปลูกพืชสมุนไพรมี สำหรับการปลูกฟ้าทะลายโจรมีรายงานหลายฉบับที่ระบุถึงประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกพืชชนิดนี้ [7, 8, 9] โดย Detpiratmongkol et al. [9] ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของปุ๋ยคอก ได้แก่ ปุ๋ยมูลไก่ มูลสุกร และมูลวัวต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตฟ้าทะลายโจรที่ปลูกในชุดดินบางเขนพบว่า การใช้ปุ๋ยคอกในอัตราสูงสุดของการทดลอง (2 ตันต่อไร่) ให้ค่าความสูง น้ำหนักต้น น้ำหนักใบ และผลผลิตสูงสุด และไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชนิดของปุ๋ยคอก ทั้งนี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงอาจส่งผลเสียได้เช่นกัน เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากมูลสัตว์บางชนิด เช่น มูลไก่ และมูลสุกร มักมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง [10] ซึ่งอาจส่งผลให้พืชสมุนไพรมีการเจริญเติบโตทางลำต้นสูงเกินไป ทำให้อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช หักล้างง่าย และนำไปสู่การลดลงของผลผลิตได้เช่นกัน

นอกจากนี้ Basak et al. [5] รายงานว่าการเจริญเติบโตของพืชสมุนไพรมีนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์จะช่วยให้พืชสมุนไพรมีที่ปลูกมีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดีกว่า ทั้งนี้เป็นที่ทราบดีว่าข้อดีของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์นั้นนอกจากจะเป็นการหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของธาตุพิษที่อาจติดมากับตัวปุ๋ยแล้ว ปุ๋ยอินทรีย์ยังถือว่าเป็นปุ๋ยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบการปลูกพืชช่วยปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ ของดิน และยังมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าปุ๋ยเคมีทั่วไป [11] สำหรับการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่เหมาะสมสำหรับการผลิตฟ้าทะลายโจร เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์

อุดมไปด้วยธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ ประกอบกับมีคุณสมบัติในการช่วยปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ ของดิน โดยเฉพาะในดินเนื้อละเอียดเช่นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะมีผลให้โครงสร้างของดินดีขึ้น เกิดความร่วนซุย ซึ่งทำให้รากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี และช่วยลดความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของธาตุพิษชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยให้ผลผลิตพืชหลายโรคราที่ได้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคเพิ่มขึ้น สมมุติฐานของงานวิจัยนี้คือ อัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดความแตกต่างในด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารและสารสำคัญในพืชหลายโรครา โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสารแอนโดรกราโฟไลด์ในพืชหลายโรครา

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 แผนการทดลอง

เก็บตัวอย่างดินบนในพื้นที่แปลงนาเกษตรกรในพื้นที่อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จำนวน 500 กิโลกรัม นำมาผึ่งให้แห้งในโรงเรือนทดลองเป็นเวลา 15 วัน จากนั้นทุบดินให้แตกละเอียด แบ่งตัวอย่างดิน 1 กิโลกรัมไปวิเคราะห์สมบัติดินขั้นพื้นฐาน ประกอบด้วย เนื้อดินพืชเอนไซม์ ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมทั้งหมดในดินด้วย [12] (Table 1) โดยพบว่า ดินที่ใช้ทดลองเป็นดินเหนียว

Table 1 Physiochemical properties of soil and organic fertilizer used in the experiment

Properties	Soil	Organic fertilizer
Soil texture	Clay	-
pH (1 :1 _{soil} :1 _{water})	4.65	7.24
Electrical conductivity, EC _e (dS/m)	0.73	2.42
Organic matter (g/kg)	18.5	502
Available phosphorus (mg/kg)	13.7	-
Exchangeable potassium (mg/kg)	172	-
Total nitrogen (g/kg)	-	22.4
Total phosphorus (g/kg)	-	5.40
Total potassium (g/kg)	-	5.15
Total iron (mg/kg)	13,018	2,122
Total copper (mg/kg)	21.6	34.7
Total zinc (mg/kg)	42.2	49.2
Total lead (mg/kg)	16.5	ND
Total cadmium (mg/kg)	0.14	ND

ND = not detected

ค่าพีเอชดินอยู่ในระดับเป็นกรดรุนแรงมาก ($\text{pH} = 4.65$) ไม่เป็นดินเค็ม ($\text{EC}_e = 0.73 \text{ dS/m}$) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก [13] ส่วนปริมาณเหล็ก ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในดินที่ใช้ในการทดลอง พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติที่สามารถพบได้ในดินทั่วไป [14] ในส่วนสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองพบว่า ค่าต่าง ๆ ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณธาตุอาหารหลัก และปริมาณอินทรีย์วัตถุเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร [15] ขณะที่ปริมาณธาตุโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่วและแคดเมียมพบว่า มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบในปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง ส่วนตัวอย่างดินที่เหลือนำมาทดสอบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ในฟ้าทะลายโจร โดยเป็นการปลูกทดสอบในสภาพกระถาง ทั้งนี้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้คือปุ๋ยหมักที่ผลิตจากฟางข้าวและมูลวัวในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ดังแสดงใน Table 1 ด้านการวางแผนการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ 5 ดำรับทดลอง ดังนี้ ดำรับทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) ดำรับทดลองที่ 2 ถึง 5 (T2-T5) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เท่าของอัตราแนะนำโดยกรมส่งเสริมการเกษตร ซึ่งแนะนำการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในฟ้าทะลายโจรไว้ที่ 125 กรัมต่อต้น [16] ดังนั้น T2 ถึง T5 จึงใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 62.5, 125, 187.5 และ 250 กรัมต่อต้นตามลำดับ สำหรับเมล็ดพันธุ์ฟ้าทะลายโจรที่ใช้ในการทดลองใช้พันธุ์พิจิตร 4-4 (ได้รับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์จากสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 5 จังหวัดชัยนาท) นำมาเพาะในกระบะเพาะที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวซึ่งมีพีทมอสเป็นวัสดุเพาะหลุมละ 4-5 เมล็ด หลังจากเมล็ดงอกแล้ว 14 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม และเมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันจึงนำไปปลูกทดสอบในกระถาง ทำการชั่งตัวอย่างดินที่เก็บมาข้างต้นใส่กระถาง ๆ ละ 10 กิโลกรัม ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราตามแผนการทดลอง โดยใส่รองกันหลุมแล้วจึงนำกล้า

ฟ้าทะลายโจรลงปลูก การเก็บผลผลิตจะทำการเก็บเมื่อฟ้าทะลายโจรออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ (78 วันหลังปลูก) โดยวัดความสูงจากพื้นถึงยอดทรงพุ่ม จากนั้นเก็บใบที่แผ่เต็มที่ (นับจากยอดลงมา ใช้ใบที่ 4 หรือ 5) จำนวน 5 ใบต่อต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ แล้วใช้มีดตัดที่โคนต้นสูงจากพื้นดินประมาณ 3 เซนติเมตร นำมาแยกส่วนลำต้นและใบออกจากกัน จากนั้นล้างน้ำแล้วผึ่งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วจึงเก็บใส่ถุงกระดาษ นำไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้งสนิท (ใช้เวลาอบ 5 วัน) จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

2.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีจะวิเคราะห์เฉพาะเนื้อเยื่อส่วนใบเท่านั้น เนื่องจากเป็นส่วนที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตยาสมุนไพร โดยทำการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ประกอบด้วย

(1) ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม โดยทำการย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดผสมสองชนิด (acid mixed: $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$ อัตราส่วน 2: 1 v/v.) บนเตาความร้อน (Block digester) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีเทียบสี (vanadomolybdate yellow color method) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ส่วนปริมาณเหล็ก ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม วัดโดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer [12]

(2) ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ทำการสกัดด้วยเมทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์ด้วยเครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) [17]

(3) ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบฟ้าทะลายโจร โดยตัดแปลงจากวิธีการของ Dharmaraj [18] ดังนี้ นำตัวอย่างใบพืชที่สมบูรณ์อยู่ในช่วงขยายแผ่นใบเต็มที่ (ใบที่ 4 หรือ 5 นับจากยอด) นำมาเจาะด้วยเครื่องเจาะกระดาษเป็นวงกลมจำนวน 3 ตำแหน่งในแผ่นใบ นำใส่ในหลอดแก้ว เติมน้ำ N, N-dimethylformamide (DMF) จำนวน 10 มิลลิลิตร

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

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

$$\text{Total chlorophyll} = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b}$$

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

(4) คำนวณปริมาณผลผลิตสารแอนโทราโพลีโกล์หรือการดูดใช้ธาตุอาหาร (ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง และสังกะสี) ในเนื้อเยื่อส่วนใบของฟ้าทะลายโจรตามวิธีการของ Sukyankij et al. [19] โดยนำค่าความเข้มข้นของสารแอนโทราโพลีโกล์หรือความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชคูณกับน้ำหนักแห้งพืช

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS version 22 โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละตำรับทดลองโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) และวิเคราะห์แนวโน้มการตอบสนองต่อตำรับทดลองด้วยวิธี Orthogonal polynomial contrasts ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตฟ้าทะลายโจร

การเจริญเติบโตและผลผลิตพิจารณาจากค่าความสูง น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งต้นของฟ้าทะลายโจร (Table 2) ผลการทดลองพบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกันส่ง

นำไปเก็บในที่มืด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายสีเขียวที่สกัดได้ไปวัดความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 480, 647, 664 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ดังนี้

ผลให้ค่าน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน และค่าน้ำหนักแห้งใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ค่าความสูงและน้ำหนักแห้งต้นพบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเป็นการเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (Linear) ตามระดับของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่สูงขึ้นส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตฟ้าทะลายโจรเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 250 กรัมต่อกระถางส่งผลให้ฟ้าทะลายโจรมีค่าความสูง น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุด (22.3 ± 4.50 เซนติเมตร, 66.0 ± 6.80 , 15.1 ± 2.84 และ 5.65 ± 2.32 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) ซึ่งเทียบเท่า 71.7, 200, 136 และ 185 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม ทั้งนี้เป็นผลมาจากปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีองค์ประกอบของไนโตรเจนสูงถึง 22.4 กรัมต่อ กิโลกรัม (Table 1) ซึ่งถือว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐานถึงสองเท่าตัว [15] ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นในพืช [20] ซึ่งส่งผลต่อความสูงและการสะสมชีวมวลในพืช ดังนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณที่สูงขึ้นจึงส่งผลให้พืชได้รับไนโตรเจนสูงขึ้นตามไปด้วย จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงสุดของการทดลอง

(250 กรัมต่อกระถาง) ฟัทะลายโจรมีค่าการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงสุด ทั้งนี้ในส่วนของผลผลิต (น้ำหนักแห้งใบ) พบว่าค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 125 และ 187.5 กรัมต่อกระถาง สอดคล้องกับรายงานของ Chouhan et al. [11] ศึกษาการตอบสนองของปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจในฟัทะลายโจร พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งในรูปของปุ๋ยคอกและปุ๋ยมูลไส้เดือนส่งผลให้ฟัทะลายโจรมีผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีหรือไม่ใส่ปุ๋ย เช่นเดียวกับกับ Detpiratmongkol et al. [9] ที่พบว่าผลผลิตฟัทะลายโจรมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่สูงขึ้น ขณะที่ Basak et al. [5] รายงานว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มูล

ไส้เดือนนั้นส่งผลให้ฟัทะลายโจรมีผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มูลไส้เดือนสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้เร็วกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ อีกทั้งยังอุดมไปด้วยสารกระตุ้นการเจริญเติบโตในพืช วิตามิน และมีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

3.2 คุณภาพของผลผลิตฟัทะลายโจร

ด้านคุณภาพของผลผลิตฟัทะลายโจรพิจารณาจากค่าความเข้มข้นและปริมาณผลผลิตสารแอนโดรกราโฟไลด์ในเนื้อเยื่อส่วนใบของฟัทะลายโจร (Figure 1) จากผลการทดลองพบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสารแอนโดรกราโฟไลด์ในใบฟัทะลายโจรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าพิสัยของความเข้มข้นอยู่ระหว่าง

Table 2 Effects of organic fertilizer on growth and yield of Kalmegh (mean \pm SD, n=3)

Rates of organic fertilizer (g/pot)	Height (cm) ^{1/}	Total fresh weight (g/plant) ^{1/}	Leaf dry weight (g/plant) ^{1/}	Stem dry weight (g/plant) ^{1/}
0	13.0 \pm 3.60 ^b (-)	22.0 \pm 6.55 ^c (-)	6.3 \pm 1.36 ^c (-)	1.51 \pm 0.41 ^d (-)
62.5	13.6 \pm 0.57 ^b (5.13) ^{2/}	30.3 \pm 4.50 ^c (37)	8.6 \pm 0.80 ^{bc} (35)	2.38 \pm 0.49 ^c (57)
125	15.6 \pm 3.21 ^b (20.5)	45.0 \pm 10.5 ^b (104)	11.5 \pm 2.65 ^{ab} (80)	2.90 \pm 0.10 ^{bc} (92)
187.5	17.6 \pm 2.51 ^{ab} (35.9)	49.3 \pm 4.16 ^b (124)	11.6 \pm 0.55 ^{ab} (81)	3.38 \pm 0.59 ^b (123)
250	22.3 \pm 4.50 ^a (71.7)	66.0 \pm 6.80 ^a (200)	15.1 \pm 2.84 ^a (136)	4.31 \pm 0.07 ^a (185)
Orthogonal polynomial				
Linear	**	**	**	**
<i>p-value</i>	0.03	<0.01	<0.01	0.01
CV (%)	16.1	12.4	19.4	10.2

^{1/} Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using DMRT at $P<0.05$, ^{2/} The value in parentheses is the percentage increase in the individual parameters calculated in comparison to the control treatment, ** = significant difference at 0.01 probability levels.

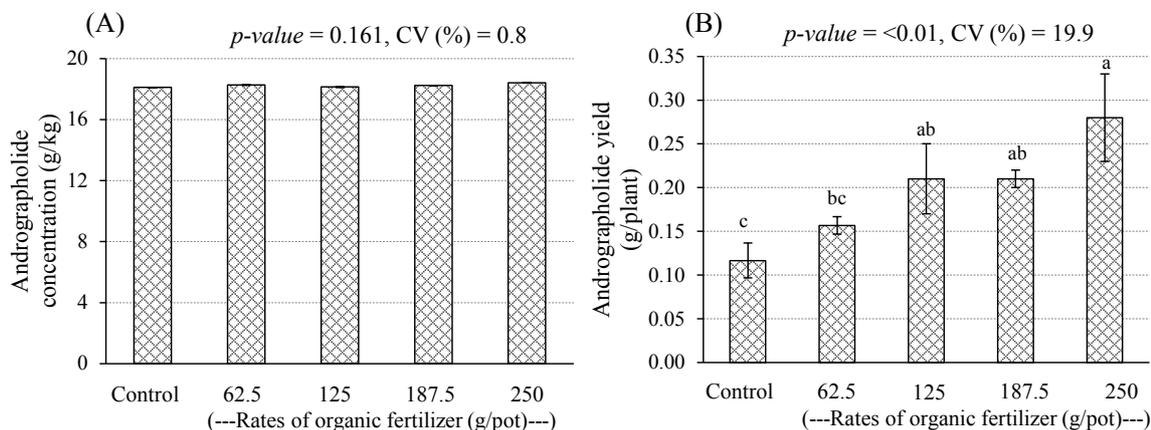


Figure 1 Effects of organic fertilizer on andrographolide concentration (A) and andrographolide yield (B) in Kalmegh; The vertical bars represented standard deviation (n=3).

18.1±0.01 - 18.4±0.01 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณผลผลิตสารแอนโดรกราโฟไลด์ในเนื้อเยื่อส่วนใบพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ฟ้าทะลายโจรมีผลผลิตสารแอนโดรกราโฟไลด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยเป็นการเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (Linear) ตามระดับของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 250 กรัมต่อกระถางให้ค่าปริมาณผลผลิตสารแอนโดรกราโฟไลด์ในใบสูงที่สุดเท่ากับ 0.28 ± 0.05 กรัมต่อต้น ทั้งนี้ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 125 และ 187.5 กรัมต่อกระถาง สอดคล้องกับรายงานของ Basak et al. [5] ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยมูลไส้เดือน และกากตะกอนละหุ่งให้ปริมาณผลผลิตสารแอนโดรกราโฟไลด์ไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมซึ่งไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ขณะที่ Tripathi and Singh [3] รายงานว่าการปลูกพืชสมุนไพรโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยกระตุ้นให้พืชผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีกว่าการปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากในปุ๋ยอินทรีย์อุดมไปด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถสร้างฮอริโมนหรือสารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compound) ซึ่งจะไปกระตุ้นให้พืชสมุนไพรสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพขึ้นมา ทั้งนี้กลไกที่ทำให้เกิดการ

สร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านั้นโดยจุลินทรีย์ยังไม่สามารถอธิบายได้ชัดเจน [21] ในส่วนของผลผลิตสารแอนโดรกราโฟไลด์ที่ได้พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ ทั้งนี้ผลผลิตสารแอนโดรกราโฟไลด์คือ ผลคูณระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนใบและความเข้มข้นสารแอนโดรกราโฟไลด์ในเนื้อเยื่อส่วนใบของฟ้าทะลายโจร [5, 19] และเนื่องจากน้ำหนักแห้งส่วนใบมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่จึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตสารแอนโดรกราโฟไลด์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง

3.3 ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารในฟ้าทะลายโจร

ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารพิจารณาเฉพาะในส่วนใบ ได้แก่ ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม (Table 3) โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเป็นการเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (Linear) ตามระดับของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ ขณะที่ความเข้มข้นของเหล็ก ทองแดง และสังกะสีในใบนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ($P > 0.05$) ส่วนปริมาณตะกั่วและแคดเมียมพบว่ามี

Table 3 Effects of organic fertilizer on nutrient concentration in Kalmegh (mean \pm SD, n=3)

Rates of organic fertilizer (g/pot)	Phosphorus (--- g/kg ---) ^{1/}	Iron (----- mg/kg -----) ^{1/}	Copper	Zinc
0	7.27 \pm 0.09 ^{ab}	151 \pm 2.01	11.5 \pm 2.02	64.1 \pm 4.23
62.5	7.92 \pm 0.90 ^a	179 \pm 41.6	10.6 \pm 1.81	67.1 \pm 1.30
125	6.94 \pm 0.27 ^b	141 \pm 3.27	9.76 \pm 2.44	62.7 \pm 1.26
187.5	6.46 \pm 0.18 ^b	146 \pm 14.3	10.1 \pm 2.51	61.6 \pm 1.29
250	6.97 \pm 0.18 ^b	147 \pm 7.64	9.96 \pm 2.44	62.6 \pm 1.33
Orthogonal polynomial				
Linear	*	ns	ns	ns
p-value	0.029	0.285	0.391	0.064
CV (%)	6.4	14.4	3.9	2.1

^{1/} 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 and ns = no significant difference.

ปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 62.5 กรัมต่อกระถาง ให้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ในเนื้อเยื่อส่วนใบสูงที่สุด (7.92 \pm 0.90 กรัมต่อกิโลกรัม) ขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 125-250 กรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสลดลง โดยมีค่าพิสัยระหว่าง 6.46 \pm 0.18 - 6.97 \pm 0.18 กรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก ทองแดง และสังกะสี พบว่ามีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 141 \pm 3.27 - 179 \pm 41.6, 9.76 \pm 2.44 - 11.5 \pm 2.02 และ 61.6 \pm 1.29 - 67.1 \pm 1.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ในส่วนของปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารดังแสดง ใน Table 4 พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง และสังกะสีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) โดยเป็นการเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (Linear) ตามระดับของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดใช้ธาตุอาหารที่สะสมในใบฟ้าทะเล

โจรเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 250 กรัมต่อกระถาง ส่งผลให้ค่าการดูดใช้ธาตุอาหาร ได้แก่ ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง และสังกะสีในใบมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.11 \pm 0.022 กรัมต่อต้น, 2.33 \pm 0.47, 0.15 \pm 0.06 และ 0.95 \pm 0.19 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 125 และ 187.5 กรัมต่อกระถาง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดใช้ธาตุอาหารพืชในใบฟ้าทะเลลายโจรมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ส่งเสริมให้ดินสามารถดูดซับธาตุอาหารได้เพิ่มขึ้น จากรายงานของ Sukyankij [22] ระบุว่า การเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุแก่ดินจะส่งผลให้ดินสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของอินทรีย์วัตถุมีประจุลบจำนวนมากจึงสามารถดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ ได้มากตามไปด้วย Fan et al. [23] รายงานว่า อินทรีย์วัตถุมีพื้นที่ผิวสูงถึง 800-900 ตารางเมตรต่อกรัม

นอกจากนี้ยังมีหมู่คาร์บอกซิลิกและฟิโนลิกเป็นองค์ประกอบซึ่งสามารถสร้างพันธะกับไอออนของธาตุอาหารพืชแล้วเกิดเป็นสารเชิงซ้อน ทำให้เกิดการลดการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารพืชในดิน ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดินจึงลดลงด้วย นอกจากนี้ Kashem and Singh [24] ยังรายงานว่า การใส่วัสดุอินทรีย์ลงดินส่งผลให้จุลธาตุโลหะมีสภาพการละลายได้ลดลง เนื่องจากอินทรีย์วัตถุช่วยเพิ่มประจุลบ ซึ่งมีสมบัติในการยึดเกาะกับประจุบวกของจุลธาตุ ทำให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างกัน ส่งผลให้ความเข้มข้นของไอออนจุลธาตุในสารละลายดินลดลง การดูดกินธาตุดังกล่าวจึงลดลงด้วย นอกจากนี้ยังอาจเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณสูงซึ่งส่งผลให้ฟัาทะเลลายโจรมีการเจริญเติบโตและน้ำหนักทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น (Table 2) ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เซลล์พืชมีการขยายและเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งอาจมีผลให้เกิดการกระจายของธาตุ

อาหารไปยังอวัยวะต่าง ๆ ของพืชเพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชมีค่าลดลง เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากการดูดใช้ธาตุอาหารในพืชแล้วจะพบว่า ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าการเจริญเติบโตที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งมีผลมาจากปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

3.4 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในฟัาทะเลลายโจร

ปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ในฟัาทะเลลายโจรพิจารณาจากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์ดังแสดงใน Table 5 จากผลการทดลองพบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยเป็นการเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (Linear) ตามระดับของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 187.5 กรัมต่อกระถาง ส่งผล

Table 4 Effects of organic fertilizer on nutrient uptake in Kalmegh (mean ±SD, n=3)

Rates of organic fertilizer (g/pot)	Phosphorus (- g/plant -) ^{1/}	Iron (----- mg/plant -----) ^{1/}	Copper	Zinc
0	0.05±0.009 ^c	0.96±0.20 ^b	0.07±0.01 ^b	0.41±0.06 ^c
62.5	0.07±0.004 ^{bc}	1.56±0.39 ^{ab}	0.09±0.01 ^b	0.58±0.05 ^{bc}
125	0.08±0.021 ^{ab}	1.62±0.34 ^{ab}	0.11±0.02 ^{ab}	0.72±0.15 ^{ab}
187.5	0.08±0.005 ^{ab}	1.70±0.10 ^a	0.12±0.02 ^{ab}	0.72±0.02 ^{ab}
250	0.11±0.022 ^a	2.33±0.47 ^a	0.15±0.06 ^a	0.95±0.19 ^a
Orthogonal polynomial				
Linear	**	**	**	**
p-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
CV (%)	22.2	22.5	24.7	19.4

^{1/} 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 0.01 probability levels.

ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์รวมมีค่าสูงที่สุด (653±35.1 และ 817±99.2 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร) ทั้งนี้ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 125 และ 250 กรัมต่อกระถาง ขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ในใบพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ($P>0.05$) ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชนั้นมีความสัมพันธ์อย่างมากกับไนโตรเจนในพืช รวมถึงธาตุอาหารพืชอื่น ๆ (ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ที่มีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 187.5 และ 250 กรัมต่อกระถาง ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใกล้เคียงกันมาก และมีความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่ต่ำกว่า (0 และ 62.5 กรัมต่อกระถาง) อาจเป็น

ผลมาจากพืชได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่มากขึ้นจึงมีผลให้ปริมาณรงควัตถุในพืชเพิ่มสูงขึ้น โดย Patel et al. [25] ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของโสมอินเดีย พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชที่เพิ่มสูงขึ้นนี้มีอิทธิพลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหาร รวมทั้งความเป็นประโยชน์ของธาตุไนโตรเจนที่ได้จากปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ (Table 1) จะเห็นได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีปริมาณธาตุไนโตรเจนสูง จึงอาจเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูง (187.5 และ 250 กรัมต่อกระถาง) ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชจึงเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

Table 5 Effects of organic fertilizer on chlorophyll and carotenoids content in Kalmegh (mean ±SD, n=3)

Rates of organic fertilizer (g/pot)	Chlorophyll a (----- mg/m ² -----) ^{1/}	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Total carotenoids
0	557±20.0 ^b	118±1.52	675±21.5 ^b	149±10.0
62.5	544±36.1 ^b	92±28.7	636±46.8 ^b	150±17.0
125	594±31.3 ^{ab}	128±4.15	722±35.4 ^{ab}	158±10.2
187.5	653±35.1 ^a	164±64.1	817±99.2 ^a	158±13.6
250	652±29.7 ^a	148±5.21	801±34.9 ^a	151±10.5
Orthogonal polynomial				
Linear	*	ns	*	ns
<i>p-value</i>	0.025	0.100	0.032	0.594
CV (%)	16.1	12.4	19.4	8.3

^{1/} 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 and ns = no significant difference.

4. สรุป

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลในเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตฟ้าทะลายโจรอย่างชัดเจน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 125-250 กรัมต่อกระถาง ให้ปริมาณผลผลิต (น้ำหนักแห้งใบ) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่สูงขึ้นกลับมีผลให้ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อส่วนใบของฟ้าทะลายโจรมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาจากค่าการดูดใช้ธาตุอาหาร (ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง และสังกะสี) พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 125-250 กรัมต่อกระถาง ให้ค่าการดูดใช้ธาตุอาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์รวม แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือใส่ในอัตรา 62.5 กรัมต่อกระถาง นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสารแอนโดรกราโฟไลด์ในใบฟ้าทะลายโจร ขณะที่ผลผลิตของสารแอนโดรกราโฟไลด์พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนรวม): งบประมาณด้านวิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประจำปีงบประมาณ 2566 เลขที่สัญญารับทุน ววน. 19/2566 และขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 5 จังหวัดชัยนาท กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ฟ้าทะลายโจรที่ใช้ในการทดลอง

6. References

- [1] Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, 2021, The recommendation for the use of *Andrographis paniculata* in outbreaks of the new coronavirus disease 2019, Samcharoen Panich (Thailand) Co. Ltd. Press. Bangkok, 33 p. (in Thai)
- [2] National News Bureau of Thailand, 2021, Promoting the cultivation of “*Andrographis paniculata*” to generate income for the country and farmers during the COVID-19 crisis, Available Source: [https:// thainews.prd.go.th/th/news/detail/TCATG210717121547158](https://thainews.prd.go.th/th/news/detail/TCATG210717121547158), July 17, 2021. (in Thai)
- [3] Tripathi, P. and Singh, A., 2021, Chapter 19 - Biofertilizers: “An ace in the hole” in medicinal and aromatic plants cultivation, pp 253-263, In Rakshit, A., Meena, V.S., Parihar, M., Singh, H.B. and Singh, A.K. (Eds.), Biofertilizers, Elsevier Inc., Amsterdam.
- [4] Ministry of Public Health, 2021, Standard criteria, purity value or other characteristics important for quality for registered herbal product formulations. Published in the Royal Gazette Vol. 138 Section 294D. (in Thai)
- [5] Basak, B.B., Jat, R.S., Gajbhiye, N.A., Saha, A. and Manivel, P., 2020. Organic nutrient management through manures, microbes and biodynamic preparation improves yield and quality of Kalmegh (*Andrographis*

- paniculata*), and soil properties, J. Plant Nutri, 43: 548-562.
- [6] Khan, K., Pankaj, U., Verma, S.K., Gupta, A.K., Singh, R.P. and Verma, R.K., 2015, Bio-inoculants and vermicompost influence on yield, quality of *Andrographis paniculata*, and soil properties, Ind. Crops Prod. 70: 404-409.
- [7] Sanjutha, S., Subramanian, S., Rani, I. and Maheswari, J., 2008. Integrated Nutrient Management in *Andrographis paniculata*, Research J. Agric. Biol. Sci. 4: 141-145.
- [8] Shahjahan, M., Solaiman, A.H.M., Sultana, N. and Kabir, K. 2013. Effect of organic fertilizers and spacing on growth and yield of kalmegh (*Andrographis paniculata* Nees), Inter. J. Agric. Crop Sci. 6: 769-775.
- [9] Detpiratmongkol, S., Ubolkerd, T. and Yoosukyingstaporn, S., 2014. Effects of chicken, pig and cow manures on growth and yield of kalmegh (*Andrographis paniculata* Nees). J. Agric. Technol. 10: 475-482.
- [10] Mala, T., 2007, Organic Fertilizer and Biofertilizer: Production Techniques and Uses, 2nd Edition, Kasetsart University Press, Bangkok, 300 p. (in Thai)
- [11] Chouhan, S., Meena, K.C., Soni, N., Patidar, D.K., Kachouli, B.K., Patidar, B.K. and Haldar. A., 2023, Response of recommended dose of fertilizers with organic manures on growth, yield and economics of kalmegh (*Andrographis paniculata* Nees.): A way to reduced use of chemical fertilizers, The Pharma Innov. J. 12: 119-124.
- [12] Attanandana, T. and Chanchareonsook, J., 1999, Manual of Soil and Plant Analysis, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 108 p. (in Thai)
- [13] Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973, Soil Interpretation Handbook for Thailand. Land Classification Division, Land Development Department, Bangkok. 169 p.
- [14] Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 1992, Trace Elements in Soil and Plant, 2nd ed. CCR Press, Boca Raton, Florida, 365 p.
- [15] Department of Agriculture, 2005, Standards for Organic Fertilizers B.E. 2548, Government Gazette, pp. 9 issue 122, special part 109. (in Thai)
- [16] Department of Agricultural Extension, 2022, Steps for planting and caring for *Andrographis paniculata*, Available Source: <http://www.agriman.doae.go.th/home/Research/Herb57/2018.pdf>, July 3, 2022. (in Thai)
- [17] Sharma, M., Sharma, A. and Tyagi, S., 2012, Quantitative HPLC analysis of andrographolide in *Andrographis paniculata* at two different stages of life cycle of plant, Acta Chim. Pharm. Indica 2: 1-7.
- [18] Dharmanitivedya, S., 2019, Pigment extraction from plant leaves for physiology studies, Naresuan Agric. J. 16: 73-81. (in Thai)

- [19] Sukyankij, S., Sukyankij, S. and Panich-pat, T., 2023, Effect of co-fertilizer application and dolomite amendments on yield and grain quality of rice grown on post-active acid sulfate soil. *AGRIVITA J. Agric. Sci.* 45: 311-321.
- [20] Osotsapar, Y. 2015. *Plant Nutrition*. Kasetsart University Press, Bangkok. 548 p. (in Thai)
- [21] Barnawal, D., Bharti, N., Tripathi, A., Pandey, S.S., Chanotiya, C.S. and Kalar, A., 2016, ACC-deaminase-producing endophyte *Brachybacterium paraconglomeratum* strain SMR20 ameliorates *Chlorophytum* salinity stress via altering phytohormone generation, *J. Plant Growth Regul.* 35(2): 553-564.
- [22] Sukyankij, S., 2019, Effect of phosphorus on kinetic release and availability indices of zinc for Khao Dawk Mali 105 rice in soils of Thung Kula Rong Hai area, Doctoral Dissertation, Kasetsart University, Bangkok, 168 p. (in Thai)
- [23] Fan, T.T., Wang, Y.J., Li, C.B., He, J.Z., Gao, J., Zhou, D.M., Friedman, S.P. and Sparks, D.L., 2016, Effect of organic matter on sorption of Zn on soil: Elucidation by wien effect measurements and EXAFS spectroscopy, *Environ. Sci. Technol.* 50: 2931-2937.
- [24] Kashem, M.A. and Singh, B.R., 2001, Metal availability in contaminated soils: I. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH and solubility of Cd, Ni and Zn, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 61: 247-255.
- [25] Patel, P.K., Jat, R.K., Shaikh, S. and Kumar, M., 2023, Effect of different organic sources of nutrients on quality and economics of Ashwagandha [*Withania somnifera* (L.) Dunal], *Inter. J. Plant Soil Sci.* 35: 137-143.