



Research Article

Effects of *Bacillus megaterium* Biological Agent in Combined with Nutrient Management on Growth, Yield, and Nutrient Uptake of Sisaket 1 chili

ผลของสารชีวภัณฑ์ *Bacillus megaterium* ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1

Arjin Sahachat^{1*} and Wipa Homhaul¹

อาจินต์ สหชาติ^{1*} และวิภา หอมhaul¹

¹Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University Phitsanulok 65000

¹คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

*Correspondence: arjins65@nu.ac.th

Abstract

Chili is an economically vital crop with high nutrient requirements, meaning its production relies heavily on large amounts of chemical fertilizers, which increases production costs and adversely affects long-term soil quality. Utilizing plant growth-promoting bacteria, such as *Bacillus megaterium*, in combination with integrated nutrient management serves as a sustainable alternative strategy to reduce production costs and enhance chili yields. This research aimed to investigate the effects of *B. megaterium* NK12-1 biological agent in combination with nutrient management using organic and chemical fertilizers on the growth, yield, and nutrient uptake of 'Sisaket 1' chili. The experiment was conducted using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four replications, comprising eight treatments: treatment 1 control, treatment 2 organic fertilizer at 1,000 kg/rai, treatment 3 organic fertilizer at 500 kg/rai combined with chemical fertilizer based on soil analysis, treatment 4 chemical fertilizer based on soil analysis, treatment 5 seed soaking with *B. megaterium* NK12-1 biological agent, treatment 6 seed soaking with *B. megaterium* NK12-1 biological agent combined with organic fertilizer at 1,000 kg/rai, treatment 7 seed soaking with *B. megaterium* NK12-1 biological agent combined with organic fertilizer at 500 kg/rai and chemical fertilizer based on soil analysis and treatment 8 seed soaking with *B. megaterium* NK12-1 biological agent combined with chemical fertilizer based on soil analysis. The results indicated that nutrient management (treatments 3, 4, 7, and 8) significantly influenced canopy width ($p \leq 0.01$), chlorophyll content ($p \leq 0.05$), and yield ($p \leq 0.01$). Specifically, treatment 3 organic fertilizer at 500 kg/rai combined with chemical fertilizer based on soil analysis achieved the maximum canopy width of 60.44 cm, the highest chlorophyll content of 39.72 SPAD units, and the highest yield at 49.16 kg/rai compared to the control; however, nutrient management showed no significant effects on plant height or fruit size. Regarding nutrient uptake, nitrogen and potassium uptake

did not differ significantly among treatments. However, for phosphorus uptake, the treatment involving seed soaking with *B. megaterium* NK12-1 biological agent combined with organic fertilizer at 500 kg/rai and chemical fertilizer based on soil analysis resulted in the highly significantly highest ($p \leq 0.01$) phosphorus uptake at 0.0191 g/dry plant (roots, stems, and leaves) compared to the control.

Keywords: *Bacillus megaterium*, biological agent, chili, nutrient uptake

บทคัดย่อ

พริกเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่มีความต้องการธาตุอาหารสูง การผลิตพริกจึงต้องพึ่งพาปุ๋ยเคมีในปริมาณมาก ซึ่งเพิ่มต้นทุนการผลิตและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดินในระยะยาว การใช้แบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus megaterium* เพื่อช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสาน จึงเป็นแนวทางเลือกในการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิตพริกได้อย่างยั่งยืน ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารจากปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ควบคุม, กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่, กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน, กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน, กรรมวิธีที่ 5 แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 เพียงอย่างเดียว, กรรมวิธีที่ 6 แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่, กรรมวิธีที่ 7 แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และกรรมวิธีที่ 8 แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ผลการศึกษาพบว่า การจัดการธาตุอาหาร (กรรมวิธีที่ 3, 4, 7, 8) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความกว้างทรงพุ่ม ($p \leq 0.01$) ค่าความเขียว ($p \leq 0.05$) และผลผลิต ($p \leq 0.01$) โดยกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน มีความกว้างทรงพุ่มสูงสุด เท่ากับ 60.44 เซนติเมตร มีค่าความเขียวสูงสุด เท่ากับ 39.72 SPAD และมีน้ำหนักผลผลิตต่อไร่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม เท่ากับ 49.16 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่มีผลต่อความสูงลำต้นและขนาดผลพริก ด้านการดูดใช้ธาตุอาหาร พบว่า การดูดใช้ไนโตรเจนและโพแทสเซียมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการดูดใช้ฟอสฟอรัสกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินมีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุด เท่ากับ 0.0191 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

คำสำคัญ: บาซิลลัส เมกาเทอเรียม, สารชีวภัณฑ์, พริกชี้หนูผลใหญ่, การดูดใช้ธาตุอาหาร

บทนำ

พริก (*Capsicum* spp.) เป็นพืชผักเศรษฐกิจที่มีความสำคัญทั้งในระดับโลกและระดับประเทศ เนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น แคปไซซิน วิตามินซีและแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ (Olatunji & Afolayan, 2018) สำหรับประเทศไทย พริกถือเป็นพืชผักที่สำคัญลำดับต้น ๆ โดยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 90,000 ไร่ สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจหลายพันล้านบาทต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566)

พริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 เป็นพันธุ์แนะนำของกรมวิชาการเกษตรที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง ทนต่อโรคแอนแทรกโนสในระดับต้นทวน สามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้ดี (กรมวิชาการเกษตร, 2559) และเกษตรกรสามารถเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองได้ จึงเหมาะสมต่อการผลิตทั้งเพื่อบริโภคสดและการแปรรูป (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.)

อย่างไรก็ตาม การผลิตพริกในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพาปุ๋ยเคมีเป็นหลักในการจัดการธาตุอาหารพืช ซึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องในปริมาณมากส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของดิน ทำให้ดินเสื่อมโทรมลดความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดิน รวมถึงเพิ่มต้นทุนการผลิตให้แก่เกษตรกร (Ye et al., 2020) และการสะสมของสารเคมีในระยะยาวยังนำไปสู่สภาวะดินเป็นกรด ดินอัดตัวแน่นและการลดลงของอินทรีย์วัตถุ (Pahalvi et al., 2021) นอกจากนี้ ปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดินมีประสิทธิภาพในการดูดใช้โดยพืชเพียง 30 – 50% ของปริมาณที่ใส่เท่านั้น ส่วนที่เหลือสูญเสียไปในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การชะล้าง การระเหยและการตรึงในดิน (Bhardwaj et al., 2014) ดังนั้น การหาแนวทางการจัดการธาตุอาหารพืชที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

สารชีวภัณฑ์จากแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* spp. จัดเป็นจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria; PGPR) ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีกลไกหลายประการในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ การตรึงไนโตรเจน การละลายฟอสเฟต การผลิตฮอร์โมนพืช เช่น กรดอินโดลแอซิดิก (IAA) และการผลิตสารปฏิชีวนะยับยั้งเชื้อโรคพืช (Hashem et al., 2019) ผลการวิจัยจำนวนมากรายงานว่าการใช้ *Bacillus* spp. ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราที่ลดลงสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชได้หลายชนิด เช่น ข้าว มะเขือเทศ และถั่วเหลือง (Kumar et al., 2021; Saxena et al., 2020) นอกจากนี้แล้วมีรายงานการนำ *B. megaterium* มาใช้ในพริก เช่น การศึกษาของ Zhao et al. (2019) ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ผสมซึ่งมี *B. megaterium* ร่วมกับ *B. mucilaginous* พบว่า ช่วยเพิ่มผลผลิตพริกได้ และยังมีรายงานว่า การคลุกเมล็ดพริกด้วย *B. megaterium* สายพันธุ์ CDK25 ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน เส้นใยและธาตุอาหาร (แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็กและสังกะสี) (Bhatt & Maheshwari 2020) สอดคล้องกับงานของ Han et al. (2006) ที่พบว่า *B. megaterium* ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารในพริก ผลการศึกษาเหล่านี้ชี้ให้เห็นศักยภาพของ *B. megaterium* ในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัสในการผลิตพริก

แม้ว่าจะมีรายงานการใช้แบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* spp ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอย่างกว้างขวาง แต่พบว่างานวิจัยที่ผ่านมายังมีช่องว่างขององค์ความรู้หลายประการ ประการแรก การศึกษาส่วนใหญ่ดำเนินการในพืชชนิดอื่น เช่น ข้าว มะเขือเทศ และถั่วเหลือง (Kumar et al., 2021; Saxena et al., 2020) มากกว่าที่จะเป็นพริก ประการที่สอง งานวิจัยที่ใช้ *B. megaterium* ในพริกที่มีอยู่มักใช้เชื้อต่างสายพันธุ์ ดำเนินการในสภาพโรงเรือนหรือกระถางทดลอง โดยยังไม่ได้ศึกษาการใช้สารชีวภัณฑ์รวมกับการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีภายใต้สภาพแปลงปลูกจริง ประการที่สามการศึกษาการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานในพริกที่ผ่านมามีพิจารณาเฉพาะการผสมผสานระหว่างปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยเคมี โดยไม่ได้รวมองค์ประกอบของสารชีวภัณฑ์เข้าไว้ด้วย และประการสุดท้าย สารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ซึ่งมีความสามารถในการผลิตฮอร์โมน IAA (ชนกฤต, 2560) ยังไม่เคยมีการนำมาประเมินผลในพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ทั้งในด้านการเจริญเติบโต ผลผลิตและโดยเฉพาะประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม) ภายใต้สภาพดินที่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ

ด้วยเหตุนี้ การวิจัยครั้งนี้จึงถูกออกแบบเพื่อเติมเต็มช่องว่างขององค์ความรู้ดังกล่าว โดยการทดสอบสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 เพียงอย่างเดียว ใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในรูปแบบการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานภายใต้สภาพแปลงปลูกจริง โดยศึกษาครอบคลุมทั้งด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ไปพร้อมกัน เพื่อระบุแนวทางการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสม และสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี เพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร และสนับสนุนการผลิตพริกที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

สถานที่ทำการทดลอง

การทดลองดำเนินการในแปลงทดลองของศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 6 จังหวัดพิษณุโลก ตำบลจี่วังงาม อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก เป็นกลุ่มดินร่วนปนดินเหนียว ชุดดินตะพานหิน (กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, ม.ป.ป.) ตั้งอยู่ที่พิกัด UTM โซน 47 เหนือ ที่ตำแหน่ง X 634417 mE และ Y 1843733 mN ดำเนินการทดลองตั้งแต่ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2566 ถึง เมษายน 2567 ซึ่งครอบคลุมช่วงฤดูหนาวต่อเนื่องถึงฤดูร้อน จากข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2567) พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 25.9 – 32.3 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเข้าสู่ฤดูร้อน ด้านปริมาณน้ำฝน พบว่า มีฝนตกน้อย รวมปริมาณน้ำฝนตลอดช่วงการทดลองเท่ากับ 107.4 มิลลิเมตร สภาพอากาศที่ค่อนข้างร้อนและแห้ง

การวางแผนการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการประเมินผลของสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 (ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีแห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง, ม.ป.ป.) ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 โดยทำการแช่เมล็ดพันธุ์พริกด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์พริกไปเพาะลงในถาดหลุมและอนุบาลต้นกล้าภายในโรงเรือนเพาะกล้า เป็นระยะเวลา 30 วัน จึงย้ายปลูกลงแปลงทดลอง ซึ่งการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารชีวภัณฑ์ *Bacillus megaterium* NK12-1 ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารจากปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ภายใต้สภาพแปลงปลูก การทดลองนี้วางแผนการทดลองตามแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 ไม่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ และไม่ใส่ปุ๋ย (ควบคุม), กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (N=2.2%, P=6.7%, K=0.7%) อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่, กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (N=2.2%, P=6.7%, K=0.7%) อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 13-0-12.5 ตามค่าวิเคราะห์ดิน, กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 24-16-16 ตามค่าวิเคราะห์ดิน, กรรมวิธีที่ 5 แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 และไม่ใส่ปุ๋ย, กรรมวิธีที่ 6 แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (N=2.2%, P=6.7%, K=0.7%) อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่, กรรมวิธีที่ 7 แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (N=2.2%, P=6.7%, K=0.7%) อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 13-0-12.5 ตามค่าวิเคราะห์ดิน และกรรมวิธีที่ 8 แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 24-16-16 ตามค่าวิเคราะห์ดิน

การใส่ปุ๋ย

ดำเนินการใส่ปุ๋ยอินทรีย์รองพื้นตามกรรมวิธีที่กำหนด ได้แก่ กรรมวิธีที่ 2, 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ กรรมวิธีที่ 3, 7 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยเคมีในกรรมวิธีที่กำหนด ได้แก่ กรรมวิธีที่ 3, 7 ใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 13-0-12.5 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 4, 8 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 24-16-16 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแบ่งใส่ทั้งหมด 3 ครั้ง ดังนี้ ครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีหลังจากย้ายกล้าปลูกประมาณ 15 วัน หรือเมื่อต้นกล้าสามารถตั้งตัวได้ ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีระยะเริ่มออกดอก และครั้งที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งแรก (กรมวิชาการเกษตร, 2565)

การดำเนินการทดลอง

ก่อนดำเนินการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินสถานะความอุดมสมบูรณ์ของดิน และประกอบการคำนวณอัตราการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (2566) นอกจากนี้ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองได้รับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารโดยกรมวิชาการเกษตรก่อนนำมาใช้ สำหรับการเตรียมต้นกล้า ทำการเตรียมสารชีวภัณฑ์ 20 กรัมต่อน้ำสะอาดต้มสุก 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากันวางไว้ในที่ร่ม 24 ชั่วโมง ดำเนินการโดยนำเมล็ดพริกแช่ในสารแขวนลอยชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 (10^8 CFU/ml) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีแห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง, ม.ป.ป.) จากนั้นจึงเพาะเมล็ดลงในถาดหลุม 104 หลุม และอนุบาลต้นกล้าภายในโรงเรือนเพาะกล้า (seeding greenhouse) โดยให้น้ำวันละ 2 ครั้ง ในช่วงเช้าและเย็น เมื่อต้นกล้ามีอายุ 30 วัน จึงย้ายปลูกลงแปลงทดลอง ทำการเตรียมแปลงทดลองจำนวน 32 แปลง แต่ละแปลงมีขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 14 เมตร ติดตั้งระบบให้น้ำแบบเทปน้ำหยด และย้ายปลูกต้นกล้าพริกลงแปลงที่ระยะปลูก 0.50×1.00 เมตร (ระหว่างต้น $\times$ ระหว่างแถว) แปลงละ 28 ต้น จากนั้นเก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตและผลผลิต ในพื้นที่เก็บเกี่ยวตัวอย่างขนาด 10.5 ตารางเมตรต่อแปลงย่อย โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตจากต้นพริกทั้งหมดภายในพื้นที่ดังกล่าว เพื่อนำมาคำนวณผลผลิตมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อไร่

การดูแลรักษาและการจัดการศัตรูพืชในแปลงทดลอง

การดูแลรักษาแปลงทดลองดำเนินการตามคำแนะนำการผลิตพริกของกรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วย การให้น้ำ การกำจัดวัชพืชและการป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชโดยปฏิบัติเหมือนกันทุกกรรมวิธีและทุกซ้ำ การให้น้ำภายหลังย้ายกล้าพริกลงแปลงทดลอง ให้น้ำทุกวันในระยะแรก เพื่อให้ต้นกล้าตั้งตัว จากนั้นปรับความถี่ของการให้น้ำทุก 7 วัน หรือตามความชื้นของดิน โดยสังเกตความชื้นบริเวณโคนต้น หากดินยังมีความชื้นเพียงพออาจเว้นระยะการให้น้ำ ด้านการกำจัดวัชพืชในแปลงทดลอง เริ่มดำเนินการหลังจากต้นพริกตั้งตัวแล้วด้วยการถอนด้วยมือร่วมกับการพรวน ดินกลบโคนต้นพร้อมการใส่ปุ๋ย ส่วนการป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชในแปลงทดลองแบบผสมผสาน เริ่มจากการสำรวจแปลงอย่างสม่ำเสมอ การกำจัดวัชพืชที่เป็นพืชอาศัยของโรคและแมลง ร่วมกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเมื่อพบการระบาดของตามคำแนะนำโรคและแมลงศัตรูที่สำคัญของพริก (กรมวิชาการเกษตร, 2565)

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

ก่อนเริ่มการทดลองได้เก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองเพื่อส่งวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ณ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูก แสดงดัง Table 1

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้สุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด

โพแทสเซียมทั้งหมดและค่าความเป็นกรด-ด่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพและคำนวณปริมาณธาตุอาหารที่พืชจะได้รับ แสดงดัง Table 2

Table 1. chemical property analysis of the soil in the experimental plot before planting

Properties	Analyzable value	Level / Interpretation
Organic matter	1.04 %	Low
Available phosphorus	5 Mg/Kg	Very low
Available potassium	40 Mg/Kg	Moderate
pH	5.89	Slightly acidic
Recommended nutrient levels for chili peppers (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) 24-16-16 Kg/Rai		

Sources: ผลการวิเคราะห์จากกรมพัฒนาที่ดิน (2566)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลการเจริญเติบโตของพริกขี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ประเมินจากความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม และค่าความเขียวของใบด้วยเครื่องวัดคลอโรฟิลล์ในใบพืช รุ่น SPAD-502 Plus ที่อายุ 4 เดือนหลังย้ายปลูกตามแนวทางของกรมวิชาการเกษตร (2562) บันทึกข้อมูลผลผลิต ได้แก่ ความยาวผล ความกว้างผล และผลผลิตต่อไร่ตามวิธีการประเมินผลผลิตพืชผักของกรมวิชาการเกษตร (2562)

Table 2. Chemical property analysis of the organic fertilizer used in the experiment

Properties	
Total nitrogen	2.2 %
Total P ₂ O ₅	6.7 %
Total K ₂ O	0.7 %
pH	6.8
C/N	7/1

Sources: ผลการวิเคราะห์จากกรมวิชาการเกษตร (2566)

การดูแลใช้ธาตุอาหาร

การดูแลใช้ธาตุอาหารของพริกขี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ประเมินจากปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ในราก ใบ และลำต้นพืชภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งสุดท้าย โดยทำการย่อยตัวอย่างพืชด้วย digestion mixture (H₂SO₄ -Na₂SO₄ -Se mixture) (Gallaher et al., 1976) จากนั้นวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี Kjeldahl วิเคราะห์ฟอสฟอรัสด้วยวิธีการเทียบสี (Vanado-molybdate yellow color method) และวิเคราะห์โพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2565) แล้วนำค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ได้มาคำนวณการดูแลใช้ธาตุอาหารของพืช โดยใช้สูตรดังนี้

การดูแลใช้ธาตุอาหาร (กรัม/ต้น (ราก, ต้น และใบ)) =

$$\frac{\text{น้ำหนักลำต้น ราก และใบแห้ง (กรัม)} \times \text{ความเข้มข้นธาตุอาหาร (เปอร์เซ็นต์)}}{100}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยรายงานผลในรูปค่าเฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of variation)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการเจริญเติบโตของพริกชี้หูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1

ผลการศึกษาผลของสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพริกชี้หูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ที่อายุ 4 เดือนหลังย้ายปลูก แสดงดัง Table 3 พบว่า ความสูงต้นของพริกในแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม พริกที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทั้งที่แช่และไม่แช่สารชีวภัณฑ์ (T3, T4, T7 และ T8) มีแนวโน้มความสูงต้นมากกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 86.06 – 99.34 เซนติเมตร ขณะที่กรรมวิธีควบคุม (T1) มีความสูงเพียง 67.51 เซนติเมตร ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มส่งเสริมการเจริญเติบโตทางความสูงของพริกได้ดีกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ทันที ในขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินและเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหาร (Ye et al., 2020) การใช้ปุ๋ยทั้งสองประเภทร่วมกันจึงส่งผลให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอและต่อเนื่องตลอดช่วงการเจริญเติบโต

สำหรับความกว้างทรงพุ่ม พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) มีความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด เท่ากับ 60.44 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T4), กรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) และกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T8) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 58.29 – 58.57 เซนติเมตร ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม (T1) มีความกว้างทรงพุ่มต่ำที่สุด (32.41 เซนติเมตร) ความกว้างทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกรรมวิธีที่ได้รับการจัดการธาตุอาหารแสดงถึงการพัฒนาของกิ่งก้านและใบที่ดี ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสังเคราะห์แสงและศักยภาพในการให้ผลผลิตของพืช ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Kumar et al. (2021) ที่พบว่าการใช้ *Bacillus* spp. ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบของพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในส่วนของคุณค่าความเขียวใบ (SPAD value) พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) มีค่าความเขียวสูงที่สุด เท่ากับ 39.72 SPAD ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T4), กรรมวิธีที่แช่ชีวภัณฑ์เพียงอย่างเดียว (T5), กรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) และกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T8) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 38.43 – 39.55 SPAD ในขณะที่กรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1,000

กิโลกรัมต่อไร่ (T6) มีค่าความเขียวต่ำที่สุด (30.44 SPAD) ผลดังกล่าวอาจเกิดจากการที่ปุ๋ยอินทรีย์ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหาร ทำให้ธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชในช่วงการเจริญเติบโต และส่งผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (Bhardwaj et al., 2014) และเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (T1) ที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ย อาจเกิดจากการไม่เติมฟอสฟอรัสส่วนเกิน พืชจึงดูดซับจุลธาตุสังกะสีและเหล็กที่มีอยู่ในดินได้ตามปกติ ถึงแม้ว่าดินจะมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่ก็ไม่มีปัจจัยรบกวนสมดุลจุลธาตุ ในทางตรงข้าม กรรมวิธีที่ที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T6) มีการเติมฟอสฟอรัสปริมาณมากจากปุ๋ยอินทรีย์ที่มี P_2O_5 สูงจึงเกิดภาวะฟอสฟอรัสสูงเกินและไปยับยั้งการดูดซับจุลธาตุ ทำให้คลอโรฟิลล์ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม มีรายงานว่า การสะสมฟอสฟอรัสจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างสม่ำเสมอเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการขาดสังกะสีในดินและในพืช (Khan et al., 2023)

เมื่อพิจารณาบทบาทของสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 พบว่ากรรมวิธีที่แช่สารชีวภัณฑ์เพียงอย่างเดียว (T5) มีการเจริญเติบโตดีกว่ากรรมวิธีควบคุม (T1) โดยเฉพาะในด้านความสูงต้น (84.14 เทียบกับ 67.51 เซนติเมตร) ความกว้างทรงพุ่ม (44.79 เทียบกับ 32.41 เซนติเมตร) และค่าความเขียวใบ (SPAD value) (38.43 เทียบกับ 33.73 SPAD) ผลดังกล่าวอาจเกิดจากกลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยแบคทีเรียกลุ่ม PGPR ซึ่ง *B. megaterium* NK12-1 มีความสามารถในการผลิตฮอร์โมนพืช indole-3-acetic acid (IAA) (ธนภฤต, 2560) โดย IAA เป็นฮอร์โมนออกซินที่มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ การพัฒนาราก และการเจริญเติบโตของพืชโดยรวม (Hashem et al., 2019)

สัณฐานวิทยาของผลพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1

ผลการศึกษาผลของสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารต่อผลผลิตของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 (Table 4) พบว่า ความยาวผลและความกว้างผลของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ในแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยความยาวผลมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.44 – 7.37 เซนติเมตร และความกว้างผลมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.99 – 1.16 เซนติเมตร ผลดังกล่าวบ่งชี้ว่าขนาดผลของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 เป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นหลัก และได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านการจัดการธาตุอาหารค่อนข้างน้อย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Olatunji and Afolayan (2018) ที่ระบุว่าขนาดและรูปร่างของผลพริกขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของแต่ละพันธุ์ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับรายงานของกรมวิชาการเกษตร (2559) ที่ระบุว่าพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 มีลักษณะประจำพันธุ์ที่คงที่ในด้านขนาดและรูปร่างของผล

น้ำหนักผลสดและผลผลิตต่อไร่ของพริกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) มีน้ำหนักผลผลิตต่อไร่สูงที่สุด เท่ากับ 49.16 กิโลกรัมต่อไร่, กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T4) เท่ากับ 46.09 กิโลกรัมต่อไร่, กรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) เท่ากับ 41.94 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T8) เท่ากับ 44.50 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม (T1) มีน้ำหนักผลผลิตต่ำที่สุด เท่ากับ 9.57 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมมีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตของพริก โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มผลผลิตได้สูงถึง 5 เท่า เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ye et al. (2020) ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราที่ลดลงและสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Table 3. Effects of *Bacillus megaterium* NK12-1 biological agent in combined with nutrient management on growth of Sisaket 1 chili

Treatment	Plant height (cm)	Canopy width (cm)	SPAD value
T1	67.51	32.41d	33.73ab
T2	73.24	44.38cd	35.68ab
T3	99.34	60.44a	39.72a
T4	86.09	58.37ab	39.55a
T5	84.14	44.79cd	38.43a
T6	76.13	46.17bc	30.44b
T7	86.88	58.57ab	38.48a
T8	86.06	58.29ab	38.52a
p-value	0.147	0.001	0.02
F-test	ns	**	*
CV %	18.0	16.3	10.1

Remark: Means followed by different letters in the same column indicate significant differences at $p \leq 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

ns = not significant; * = significant at $p \leq 0.05$; ** = significant at $p \leq 0.01$

(T1 = control (no inoculation, no fertilizer); T2 = organic fertilizer 1,000 kg/rai; T3 = organic fertilizer at 500 kg/rai combined with chemical fertilizer; T4 = chemical fertilizer based on soil analysis; T5 = seed soaking with the bio-agents; T6 = seed soaking combined with organic fertilizer at 1,000 kg/rai; T7 = seed soaking combined with organic fertilizer at 500 kg/rai and chemical fertilizer; T8 = seed soaking combined with chemical fertilizer based on soil analysis.)

การที่กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) ให้ผลผลิตสูงที่สุดอาจเกิดจากการส่งเสริมกัน ระหว่างปุ๋ยทั้งสองประเภท โดยปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหาร เนื่องจากแปลงทดลองเป็นกลุ่มดินร่วนปนดินเหนียวชุดดินตะพานหินมีข้อจำกัดคือได้ชั้นไทรพรวนมักแน่นทึบ (ชั้นดินดาน) ส่งผลให้รากพืชชอนไชได้ยาก ดังนั้น จึงควรแก้ไขโดยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูง (กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, ม.ป.ป.) รวมถึงส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Zhang et al., 2023) กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นนี้ยังช่วยเร่งการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและการปลดปล่อยธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Wu et al., 2024) ในขณะที่ปุ๋ยเคมีช่วยเสริมธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่เพียงพอและทันต่อความต้องการในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (Bhardwaj et al., 2014) การใช้ปุ๋ยทั้งสองประเภทร่วมกันจึงเป็นการชดเชยข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยเพียงชนิดเดียว กล่าวคือ การใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวแม้ให้ธาตุอาหารรวดเร็วแต่ไม่ช่วยปรับปรุงสมบัติดินและเกิดการสูญเสียได้ง่าย ขณะที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียวปลดปล่อยธาตุอาหารช้าและมีความเข้มข้นของธาตุอาหารต่ำ การจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานจึงช่วยให้การปลดปล่อยและการดูดใช้ธาตุอาหารสอดคล้องกับความต้องการของพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโตได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) ให้ผลผลิตต่อไร่และน้ำหนักผลสดสูงกว่ากรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว (Malik et al., 2011) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และ

ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและกรรมวิธีที่ 7 แซ่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับ การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) ซึ่งได้รับการจัดการธาตุอาหารเหมือนกันทุกประการ ต่างกันเพียงการแซ่เมล็ดด้วย สารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ในกรรมวิธีที่ 7 พบว่า แม้มผลผลิตต่อไร่ของกรรมวิธีที่ 3 (49.16 กิโลกรัมต่อไร่) จะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากรรมวิธีที่ 7 (41.94 กิโลกรัมต่อไร่) ในเชิงตัวเลข แต่ทั้งสองกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ อาจเกิดจากการให้เชื้อในรูปแบบการแซ่เมล็ดเพียงครั้งเดียวในระยะกล้า ทำให้ไม่เพียงพอต่อการตั้ง รกรากของเชื้อในบริเวณรอบรากภายใต้สภาพแปลงจริง เนื่องจากต้องแข่งขันกับจุลินทรีย์ประจำถิ่นในดิน ส่งผลให้ ประชากรเชื้อและการแสดงออกของประโยชน์มีความไม่สม่ำเสมอ

เมื่อพิจารณาผลของสารชีวภัณฑ์ต่อผลผลิต พบว่า กรรมวิธีที่แซ่สารชีวภัณฑ์เพียงอย่างเดียว (T5) มีน้ำหนัก ผลผลิต เท่ากับ 19.80 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ *B. megaterium* NK12-1 ในการเพิ่มผลผลิตพริกแม่ ในสภาพที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ผลดังกล่าวอาจเกิดจากกลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยแบคทีเรียกลุ่ม PGPR ซึ่ง *B. megaterium* NK12-1 มีความสามารถในการผลิตฮอร์โมนพืช indole-3-acetic acid (IAA) (ธนภฤต, 2560) สอดคล้องกับ Kang et al. (2014) ที่รายงานว่า *B. megaterium* สายพันธุ์ mj1212 ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช การที่ระบบรากพัฒนาดีขึ้นจากการทำงานของ IAA ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำและธาตุอาหาร โดย IAA มีบทบาท สำคัญในการกระตุ้นการยึดตัวของเซลล์ การพัฒนาราก และการเจริญเติบโตของพืชโดยรวม (Hashem et al., 2019) นอกจากนี้ *Bacillus* spp. ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารและสุขภาพของพืช (Saxena et al., 2020)

กรรมวิธีที่แซ่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T6) ให้ผลผลิตเฉลี่ย เท่ากับ 23.39 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว (T2) เท่ากับ 19.05 กิโลกรัมต่อไร่ บ่งชี้ว่าการใช้ สารชีวภัณฑ์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้สารชีวภัณฑ์ *B. Megaterium* NK12-1 ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) สามารถให้ผลผลิต เท่ากับ 41.94 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T4) เท่ากับ 46.09 กิโลกรัมต่อไร่ แต่สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ เนื่องจากในกรรมวิธีที่แซ่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ร่วมกับ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนปุ๋ยเคมี บางส่วน ประกอบกับสารชีวภัณฑ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงาน ของ Kumar et al. (2021) ที่พบว่าการใช้ *Bacillus* spp. ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราที่ลดลงสามารถให้ผลผลิตพืชได้ไม่ แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวในอัตราแนะนำ และสนับสนุนแนวทางการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสาน (Integrated Nutrient Management; INM) ที่มุ่งเน้นการลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมี ลดต้นทุนการผลิตให้แก่เกษตรกร และเพิ่มการใช้ปัจจัยการผลิตทางชีวภาพเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Ye et al., 2020)

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาระดับผลผลิตตลอดฤดูกาล พบว่า แม้กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) จะให้ผลผลิตสูงที่สุดในการทดลองนี้ เท่ากับ 49.16 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ยังคงต่ำกว่า ศักยภาพการให้ผลผลิตของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 อยู่มาก ซึ่งมีรายงานผลผลิตสดรวมในพื้นที่ปลูกภาค ตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือในฤดูแล้งอยู่ในช่วง 1,030 – 1,870 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.) ความแตกต่างที่มากขึ้นนี้บ่งชี้ว่าระดับผลผลิตที่ได้ในการทดลองถูกจำกัดโดยปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและการจัดการ ในช่วงฤดูปลูกเป็นสำคัญ มิได้สะท้อนศักยภาพทางพันธุกรรมของพันธุ์หรือประสิทธิภาพของกรรมวิธีที่ทดสอบแต่อย่างใด

ปัจจัยจำกัดผลผลิตที่สำคัญประการแรก คือ ความเครียดจากสภาพอากาศร้อนและแห้งในระยะออกดอก และติดผล เนื่องจากการทดลองดำเนินการระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเมษายน 2567 ซึ่งครอบคลุมช่วงปลายฤดู หนาวต่อเนื่องถึงฤดูร้อน โดยมีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดการทดลองเพียง 107.4 มิลลิเมตร และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนเพิ่ม

สูงขึ้นถึง 32.3 องศาเซลเซียส สภาพอุณหภูมิสูงและความชื้นที่จำกัดในระยะสืบพันธุ์ส่งผลให้เกิดการร่วงของดอกและอัตราการติดผลลดลง ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อการให้ผลผลิตของพริก (กรมอุตุฯ, 2567) ประการที่สอง ข้อจำกัดทางกายภาพของดิน โดยเฉพาะชั้นดินดานใต้ชั้นไผ่พรุนของชุดดินตะพานหินที่จำกัดการขนไซของราก ทำให้พืชเข้าถึงน้ำและธาตุอาหารในชั้นดินล่างได้อย่างจำกัด (กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, ม.ป.ป.) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากทุกกรรมวิธีถูกปลูกและจัดการภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันในแปลงเดียวกันตามแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ ปัจจัยจำกัดดังกล่าวจึงส่งผลกระทบต่อทุกกรรมวิธีในลักษณะใกล้เคียงกัน การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีจึงยังคงมีความหมายและสามารถสะท้อนอิทธิพลของการจัดการธาตุอาหารและสารชีวภัณฑ์ได้ แม้ว่าระดับผลผลิตจะต่ำกว่าศักยภาพของพันธุ์ก็ตาม

Table 4. Effects of *Bacillus megaterium* NK12-1 biological agent in combined with nutrient management on fruit morphology of Sisaket 1 chili

Treatment	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Yield (kg/rai)
T1	6.62	0.99	9.57b
T2	6.50	1.02	19.05b
T3	6.68	1.05	49.16a
T4	7.37	1.10	46.09a
T5	6.44	1.08	19.80b
T6	6.73	1.11	23.39b
T7	7.15	0.99	41.94a
T8	7.30	1.16	44.50a
<i>p</i> -value	0.22	0.074	0.00008
F-test	ns	ns	**
CV %	8.8	7.4	34.0

Remark: Means followed by different letters in the same column indicate significant differences at $p \leq 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

ns = not significant; * = significant at $p \leq 0.05$; ** = significant at $p \leq 0.01$

(T1 = control (no inoculation, no fertilizer); T2 = organic fertilizer 1,000 kg/rai; T3 = organic fertilizer at 500 kg/rai combined with chemical fertilizer; T4 = chemical fertilizer based on soil analysis; T5 = seed soaking with the bio-agents; T6 = seed soaking combined with organic fertilizer at 1,000 kg/rai; T7 = seed soaking combined with organic fertilizer at 500 kg/rai and chemical fertilizer; T8 = seed soaking combined with chemical fertilizer based on soil analysis.)

ผลการใช้ธาตุอาหารของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1

การดูดใช้ในโตรเจน (N)

ผลการทดลอง พบว่า การดูดใช้ในโตรเจนของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 5) อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) มีค่าการดูดใช้ในโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ 0.192 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) รองลงมาคือตำรับที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T8) เท่ากับ 0.163 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) เท่ากับ 0.128 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T2) เท่ากับ 0.122 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม (T1) มีค่าการดูดใช้ในโตรเจนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.076 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ)

แม้ว่าผลการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์แนวโน้มพบว่าประเด็นที่น่าสนใจที่สุด คือ อิทธิพลของสารชีวภัณฑ์ต่อการดูดใช้ในโตรเจนปรากฏเด่นชัดเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี กล่าวคือ การเติมสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 เข้าไปในกรรมวิธีที่มีปุ๋ยเคมีทำให้ค่าเฉลี่ยการดูดใช้ในโตรเจนเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันทั้งสองคู่เปรียบเทียบ ได้แก่ กรรมวิธีที่ 7 เท่ากับ 0.192 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) เทียบกับกรรมวิธีที่ 3 ที่ไม่แช่สารชีวภัณฑ์ เท่ากับ 0.128 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) และกรรมวิธีที่ 8 เท่ากับ 0.163 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) เทียบกับกรรมวิธีที่ 4 ที่ไม่แช่สารชีวภัณฑ์ เท่ากับ 0.112 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้สารชีวภัณฑ์เพียงอย่างเดียว กรรมวิธีที่ 5 เท่ากับ 0.105 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) หรือใช้สารชีวภัณฑ์กับปุ๋ยอินทรีย์ กรรมวิธีที่ 6 เท่ากับ 0.121 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ซึ่งกรรมวิธีที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว เท่ากับ 0.122 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) กลับไม่พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่ชัดเจน รูปแบบดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 มีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ในโตรเจนก็ต่อเมื่อมีไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่อย่างเพียงพอในระบบ ซึ่งอธิบายได้จากคุณสมบัติของ *B. megaterium* NK12-1 ในการผลิตฮอร์โมนออกซิน (IAA) (ชนกฤต, 2560)

การดูดใช้ฟอสฟอรัส (P)

ผลการทดลอง พบว่า การดูดใช้ฟอสฟอรัสของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.001$) ระหว่างกรรมวิธีการทดลอง (Table 5) โดยกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุด เท่ากับ 0.0191 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) เท่ากับ 0.0140 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T4) เท่ากับ 0.0119 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่กรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 เพียงอย่างเดียว (T5) มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำที่สุด เท่ากับ 0.0041 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ)

ผลการทดลอง พบว่า กรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 6.7 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2566) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุด สามารถอธิบายได้จากคุณสมบัติของ *B. megaterium* ในการละลายฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ สอดคล้องกับรายงานของ Kang et al. (2014) ที่พบว่า *B. megaterium* mj1212

มีความสามารถในการผลิตกรดอินทรีย์ (organic acids) เช่น กรดมาลิก (malic acid) และกรดควินิก (quinic acid) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการละลายฟอสเฟตให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ นอกจากนี้ Silva et al. (2024) รายงานว่า *B. megaterium* B119 สามารถผลิตเอนไซม์ phosphatase ที่ช่วยเปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสจากรูปอนินทรีย์เป็นรูปอนินทรีย์ที่พืชดูดใช้ได้ง่ายขึ้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการดูดใช้ฟอสฟอรัสของกรรมวิธีที่ที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T8) พบความผิดปกติที่ควรอภิปรายคือ มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.0056 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ซึ่งต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T4) เท่ากับ 0.0119 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งที่ทั้งสองกรรมวิธีได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 24-16-16 ในอัตราเท่ากัน และ กรรมวิธีที่ 8 ยังได้รับสารชีวภัณฑ์เพิ่มเข้าไปด้วย และสวนทางกับกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) ที่มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) อีกทั้งกรรมวิธีที่ที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T8) มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำซึ่งใกล้เคียงหรือต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม (T1) ที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลย เท่ากับ 0.0066 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ผิดปกติอย่างชัดเจน

ความผิดปกติดังกล่าวอาจอธิบายได้ในเชิงกลไกจากปรากฏการณ์การตรึงฟอสฟอรัสโดยจุลินทรีย์ (microbial immobilization) กล่าวคือ การเติมแบคทีเรียลงไปในดินอาจทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์บางส่วนถูกดึงเข้าไปสะสมในมวลชีวภาพของจุลินทรีย์แทนที่จะถูกพืชดูดใช้ ส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้ลดลง โดยทิศทางของผลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างคาร์บอน ฟอสฟอรัส และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน สอดคล้องกับรายงานของ Zhou et al. (2025) ที่พบว่า การเติมแบคทีเรียละลายฟอสเฟตสามารถลดการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชได้ในบางเงื่อนไข และทำให้ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำและฟอสฟอรัสในดินลดลงพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในมวลชีวภาพจุลินทรีย์ นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของสารชีวภัณฑ์กลุ่มนี้มักไม่สม่ำเสมอและขึ้นกับสภาพแวดล้อมเมื่อใช้ในสภาพแปลงจริง (Bhardwaj et al., 2014) ทั้งนี้ ข้อสังเกตที่ว่าสารชีวภัณฑ์ให้ผลบวกต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในกรรมวิธีที่ 7 ที่มีปุ๋ยอินทรีย์ร่วมด้วย แต่ให้ผลลบในกรรมวิธีที่ 8 ที่ไม่มีปุ๋ยอินทรีย์ ชี้ให้เห็นว่าการมีอินทรีย์วัตถุร่วมด้วยอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สารชีวภัณฑ์แสดงบทบาทเชิงบวกต่อฟอสฟอรัส เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์เป็นทั้งแหล่งคาร์บอนที่ช่วยให้จุลินทรีย์ได้อยู่อาศัยและเป็นแหล่งฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ถูกปลดปล่อยผ่านการทำงานของเอนไซม์ ในทางกลับกันกรรมวิธีที่ 8 ภายใต้สภาพที่มีเฉพาะปุ๋ยเคมี จุลินทรีย์ที่เติมลงไปอาจตั้งอาศัยได้ไม่ดีและมีแนวโน้มตรึงฟอสฟอรัสมากกว่าปลดปล่อย

เมื่อเปรียบเทียบการดูดใช้ฟอสฟอรัสระหว่างกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T6) กับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่เพียงอย่างเดียว (T2) เนื่องจากสมมติฐานของการศึกษาคาดว่าการเติมสารชีวภัณฑ์ซึ่งควรช่วยเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชให้สูงขึ้น แต่ผลการทดลองกลับพบว่ากรรมวิธีที่ 6 มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.0053 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ซึ่งต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 2 มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.0093 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ซึ่งเป็นทิศทางตรงข้ามกับที่สมมติฐานคาดไว้ อย่างไรก็ตามทั้งสองกรรมวิธีไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าเฉลี่ยดังกล่าวอาจบ่งชี้ว่าการเติมสารชีวภัณฑ์ในกรรมวิธีนี้ไม่ได้ช่วยเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสตามที่สมมติฐานคาดไว้ มากกว่าจะเป็นการยืนยันว่าสารชีวภัณฑ์ทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสลดลงอย่างแท้จริง และเป็นที่น่าสังเกตว่าแม้กรรมวิธีที่ 6 จะได้รับปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่สูง (1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีฟอสฟอรัสทั้งหมด 6.7 เปอร์เซ็นต์) แต่กลับมีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสอยู่ในกลุ่มต่ำใกล้เคียงกรรมวิธีควบคุม แสดงว่าแนวโน้มที่ขัดต่อสมมติฐานนี้จำเพาะต่อฟอสฟอรัส

สาเหตุที่ผลไม่เป็นไปตามสมมติฐานอาจอธิบายได้จากปรากฏการณ์การตรึงฟอสฟอรัสโดยจุลินทรีย์ กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงเป็นการเพิ่มคาร์บอนปริมาณมากลงสู่ดิน ซึ่งกระตุ้นการเพิ่มจำนวนของมวลชีวภาพจุลินทรีย์ และความต้องการฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ถูกตรึงเข้าสู่มวลชีวภาพจุลินทรีย์มากขึ้นและเหลือให้พืชดูดใช้น้อยลง โดยการเพิ่มสารชีวภัณฑ์เข้าไปอาจยิ่งเสริมกระบวนการตรึงนี้แทนที่จะเพิ่มการปลดปล่อยฟอสฟอรัสตามที่คาดไว้ ทั้งนี้ทิศทางว่าจุลินทรีย์จะตรึงหรือปลดปล่อยฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับอัตราส่วนคาร์บอนต่อฟอสฟอรัส และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน สอดคล้องกับรายงานของ Zhou et al. (2025) ที่พบว่า การเพิ่มคาร์บอนร่วมกับแบคทีเรียละลายฟอสเฟตทำให้ฟอสฟอรัสในมวลชีวภาพจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น พร้อมกับการลดลงของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืช นอกจากนี้ประสิทธิภาพของสารชีวภัณฑ์ในการส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารมักไม่สม่ำเสมอและขึ้นกับสภาพแวดล้อมและชนิดของปุ๋ยที่ใช้ร่วม (Bhardwaj et al., 2014) ซึ่งอาจเป็นเหตุให้ผลไม่เป็นไปตามสมมติฐานในกรณีวิธีนี้ ทั้งนี้ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ 7 ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่ำกว่า (500 กิโลกรัมต่อไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมีซึ่งให้ฟอสฟอรัสในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ทันที และมีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุด จะเห็นได้ว่าสารชีวภัณฑ์สอดคล้องกับสมมติฐาน คือช่วยเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสภายใต้การจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานที่สมดุลมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราสูงเพียงอย่างเดียว

ความผิดปกติที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งปรากฏในกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T8) เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T4) กล่าวคือการเพิ่มสารชีวภัณฑ์กลับให้ผลตรงข้ามกันระหว่างการดูดใช้ในโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยกรรมวิธีที่ 8 มีค่าการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 0.165 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) สูงกว่ากรรมวิธีที่ 4 เท่ากับ 0.113 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) แต่กลับกันกรรมวิธีที่ 8 มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัส 0.0056 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 4 เท่ากับ 0.0119 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่สารชีวภัณฑ์ชนิดเดียวกันในกรรมวิธีเดียวกันส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารสองชนิดในทิศทางตรงข้ามกันเช่นนี้เป็นประเด็นที่ควรอภิปรายในความแตกต่างของทิศทางดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากการที่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสถูกควบคุมด้วยกระบวนการที่ต่างกัน ในด้านไนโตรเจน สารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 มีคุณสมบัติผลิตฮอร์โมนออกซิน (IAA) ซึ่งกระตุ้นการแตกแขนงและการเจริญของราก ทำให้พืชมีพื้นที่ผิวรากในการดูดซับไนโตรเจนที่อยู่ในรูปเป็นประโยชน์จากปุ๋ยเคมีได้มากขึ้น ประกอบกับไนโตรเจนถูกจัดหาในปริมาณที่เพียงพอจากปุ๋ยเคมี การส่งเสริมระบบรากจึงแปรเป็นการดูดใช้ในโตรเจนที่สูงขึ้น (Kang et al., 2014; Hashem et al., 2019) ในทางตรงกันข้าม สำหรับฟอสฟอรัส การเพิ่มจำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างจุลินทรีย์กับพืชในการดูดออร์โธฟอสเฟตจากสารละลายดิน และมีการตรึงฟอสฟอรัสเข้าสู่มวลชีวภาพจุลินทรีย์ซึ่งพืชนำไปใช้ไม่ได้ชั่วคราว โดยจุลินทรีย์ในดินเป็นคู่แข่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการช่วงชิงฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยเฉพาะ (Richardson & Simpson, 2011; Zhou et al., 2025) ผลสุทธิต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสจึงเป็นลบ แม้ในขณะเดียวกันการดูดใช้ในโตรเจนจะได้ประโยชน์จากการส่งเสริมระบบราก กล่าวคือการเพิ่มสารชีวภัณฑ์ช่วยเพิ่มการดูดใช้ในโตรเจนผ่านการส่งเสริมราก แต่ขณะเดียวกันกลับตรึงฟอสฟอรัสไว้ในมวลชีวภาพจุลินทรีย์ จึงเกิดผลตรงข้ามกันในธาตุอาหารสองชนิด

การดูดใช้โพแทสเซียม (K)

ผลการทดลอง พบว่า การดูดใช้โพแทสเซียมของพริกชี้ใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 5) อย่างไรก็ตามพบว่าค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีที่แช่เมล็ดด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T7) มีค่าการดูดใช้โพแทสเซียมสูงที่สุด เท่ากับ 0.226 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่

และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T3) เท่ากับ 0.224 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (T4) เท่ากับ 0.215 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ) ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม (T1) มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.121 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้น และใบ)

แม้ว่าผลการทดลองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พิจารณาแนวโน้มที่พบแสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มการดูดใช้โพแทสเซียมของพริก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Malik et al. (2011) ที่พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มการดูดใช้โพแทสเซียมในพริกหวาน นอกจากนี้บทบาทของ *B. megaterium* ในการผลิตกรดอินทรีย์อาจช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินด้วยเช่นกัน เนื่องจากโพแทสเซียมส่วนใหญ่ในดินถูกตรึงอยู่ในโครงสร้างผลึกของแร่ซิลิเกตที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและพืชนำไปใช้ได้ยาก โดยกรดอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นช่วยปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ซิลิเกต ส่งผลให้โพแทสเซียมที่ถูกตรึงเปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำและแลกเปลี่ยนได้ ทำให้พืชสามารถดูดโพแทสเซียมนำไปใช้ได้ สอดคล้องกับ Anjanadevi et al. (2016) ได้คัดเลือก *B. megaterium* สายพันธุ์ ANctcri7 ที่สามารถละลายโพแทสเซียมจากแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบได้โดยตรง

Table 5. Effects of *Bacillus megaterium* NK12-1 biological agent in combined with Nutrient Management on Nutrient Uptake of Sisaket 1 chili

Treatment	N Uptake [(g/plant)(roots, stems, and leaves)]	P Uptake [(g/plant)(roots, stems, and leaves)]	K Uptake [(g/plant)(roots, stems, and leaves)]
T1	0.076	0.0066cd	0.121
T2	0.122	0.0093bc	0.160
T3	0.128	0.0140b	0.224
T4	0.112	0.0119b	0.215
T5	0.105	0.0041d	0.159
T6	0.121	0.0053cd	0.141
T7	0.192	0.0191a	0.226
T8	0.163	0.0056cd	0.196
p-value	0.08	0.001	0.105
F-test	ns	**	ns
CV %	38.4	30.2	31.6

Remark: Means followed by different letters in the same column indicate significant differences at $p \leq 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

ns = not significant; * = significant at $p \leq 0.05$; ** = significant at $p \leq 0.01$

(T1 = control (no inoculation, no fertilizer); T2 = organic fertilizer 1,000 kg/rai; T3 = organic fertilizer at 500 kg/rai combined with chemical fertilizer; T4 = chemical fertilizer based on soil analysis; T5 = seed soaking with the bio-agents; T6 = seed soaking combined with organic fertilizer at 1,000 kg/rai; T7 = seed soaking combined with organic fertilizer at 500 kg/rai and chemical fertilizer; T8 = seed soaking combined with chemical fertilizer based on soil analysis.)

ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างทรงพุ่ม ค่าความเขียวใบ และผลผลิตของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างทรงพุ่ม ค่าความเขียวใบ และผลผลิตต่อไร่ของพริกชี้หนูผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Table 6) พบว่า ตัวแปรทั้งสามมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ทุกคู่ โดยความกว้างทรงพุ่มมีความสัมพันธ์กับผลผลิตในระดับสูงมาก ($r = 0.935$) ค่าความเขียวใบมีความสัมพันธ์กับผลผลิตในระดับปานกลาง ($r = 0.617$) และความกว้างทรงพุ่มมีความสัมพันธ์กับค่าความเขียวใบในระดับปานกลาง ($r = 0.611$) ทั้งนี้การแปลผลระดับความสัมพันธ์อ้างอิงตามเกณฑ์ของ Hinkle et al. (2003)

ความสัมพันธ์ทางบวกในระดับสูงมากระหว่างความกว้างทรงพุ่มกับผลผลิต ($r = 0.935$) สะท้อนว่าขนาดของทรงพุ่มเป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพการให้ผลผลิตของพริกได้ดี เนื่องจากทรงพุ่มที่กว้างขึ้นสัมพันธ์กับพื้นที่ใบที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงที่มากขึ้น ส่งผลให้พืชสะสมสารอาหารและติดผลได้มากขึ้น (Kumar et al., 2021) ซึ่งสอดคล้องกับ Ganefianti et al. (2024) ที่รายงานว่าลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ มีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตของพริก เนื่องจากพริกติดผลบริเวณง่ามกิ่ง ทรงพุ่มที่ใหญ่จึงมีตำแหน่งติดผลมากขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองใน Table 3 และ Table 4 ที่กรรมวิธีการจัดการธาตุอาหาร (T3, T4, T7 และ T8) มีความกว้างทรงพุ่มมากและจะให้ผลผลิตสูงตามไปด้วย

ส่วนความสัมพันธ์ทางบวกในระดับปานกลางระหว่างความกว้างทรงพุ่มกับค่าความเขียวใบ ($r = 0.611$) อธิบายได้จากการที่ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่เป็นตัวขับเคลื่อนร่วมของทั้งสองลักษณะ กล่าวคือ ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของโมเลกุลคลอโรฟิลล์และมีบทบาทโดยตรงต่อการแบ่งเซลล์และการขยายพื้นที่ใบ กรรมวิธีที่ได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอจึงมีแนวโน้มเพิ่มทั้งความกว้างทรงพุ่มและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบไปพร้อมกัน (Bhardwaj et al., 2014) นอกจากนี้ ใบที่มีคลอโรฟิลล์สูงย่อมมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงดี ทำให้พืชสร้างคาร์โบไฮเดรตและนำไปใช้ในการเจริญเติบโตทางลำต้นและการขยายทรงพุ่มได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Muharam et al. (2014) ที่รายงานว่าค่าที่วัดจากเครื่องวัดความเขียวใบ (SPAD) มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความกว้างทรงพุ่ม

สำหรับค่าความเขียวใบซึ่งมีความสัมพันธ์กับผลผลิตในระดับปานกลาง ($r = 0.617$) อธิบายได้ว่าค่าความเขียวใบสะท้อนปริมาณคลอโรฟิลล์และสถานะไนโตรเจนของพืช ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานของกระบวนการสังเคราะห์แสง (Bhardwaj et al., 2014) แต่เนื่องจากผลผลิตเป็นลักษณะเชิงปริมาณที่ถูกกำหนดโดยหลายปัจจัยร่วมกัน ค่าความเขียวใบจึงมีอิทธิพลต่อผลผลิตน้อยกว่าขนาดทรงพุ่มที่สะท้อนปริมาณแหล่งผลิตโดยรวมของพืช

Table 6. Effects of *Bacillus megaterium* NK12-1 biological agent in combined with correlation coefficients among canopy width, SPAD value, and yield of Sisaket 1 chili

Variable	1	2	3
1. Canopy width	1		
2. SPAD value	0.611**	1	
3. Yield	0.935**	0.617**	1

Remark: ** = Significant correlation at $p \leq 0.01$ (2-tailed); $n = 32$ (8 treatments $\times$ 4 replications).

สรุป

การศึกษาผลของสารชีวภัณฑ์ *Bacillus megaterium* NK12-1 ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารต่อพริกชี้หนู ผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1 พบว่า การจัดการธาตุอาหารมีผลต่อความกว้างทรงพุ่ม ค่าความเขียวใบและผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อความสูงของลำต้นและขนาดผลพริก กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (T3) ให้ผลผลิตสูงสุด 49.16 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมถึง 5 เท่า ขณะที่กรรมวิธีที่ใส่สารชีวภัณฑ์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี (T7) ให้ผลผลิต 41.94 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีที่การใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (T4) เท่ากับ 46.09 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ใช้ปุ๋ยเคมีน้อยกว่า ด้านการดูใช้ธาตุอาหาร ดาร์บีที่ใส่สารชีวภัณฑ์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี (T7) มีค่าการดูใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ (0.0191 กรัมต่อต้นแห้ง (ราก, ต้นและใบ)) แสดงถึงผลของการส่งเสริมกันระหว่างสารชีวภัณฑ์ ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี นอกจากนี้การใส่ชีวภัณฑ์เพียงอย่างเดียว (T5) ก็ช่วยเพิ่มผลผลิตได้ประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ผลการศึกษารังนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้สารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการลดการใช้ปุ๋ยเคมี เพิ่มประสิทธิภาพการดูใช้ธาตุอาหาร และสนับสนุนการผลิตพริกอย่างยั่งยืนต่อไป

ข้อเสนอแนะในการทดลอง

การศึกษารังนี้ดำเนินการในฤดูปลูกเพียงฤดูเดียว (ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเมษายน 2567) และในพื้นที่ทดลองเพียงแห่งเดียว (ชุดดินตะพานหิน จังหวัดพิษณุโลก) ผลการทดลองที่ได้จึงอาจได้รับอิทธิพลจากสภาพภูมิอากาศเฉพาะของฤดูปลูกนั้น ซึ่งค่อนข้างร้อนและแห้ง (ปริมาณน้ำฝนรวมเพียง 107.4 มิลลิเมตร และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยถึง 32.3 องศาเซลเซียส) ตลอดจนสมบัติเฉพาะของชุดดินในพื้นที่ ทำให้การนำผลไปประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมหรือฤดูกาลอื่นอาจมีข้อจำกัด ดังนั้น เพื่อยืนยันความสม่ำเสมอและเพิ่มความน่าเชื่อถือของผล ควรมีการศึกษซ้ำในหลายฤดูปลูกหรือหลายปี เพื่อประเมินอิทธิพลของความแปรปรวนด้านสภาพภูมิอากาศระหว่างฤดูกาลที่มีต่อประสิทธิภาพของสารชีวภัณฑ์ *B. megaterium* NK12-1 ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสาน นอกจากนี้ควรขยายการทดลองไปยังหลายพื้นที่ที่มีชนิดดินและสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน เพื่อประเมินว่ากรรมวิธีกับสภาพแวดล้อม และให้ได้ข้อสรุปที่นำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางและเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาคำแนะนำการใช้สารชีวภัณฑ์ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตพริกในเชิงปฏิบัติต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 6 จังหวัดพิษณุโลก กรมส่งเสริมการเกษตรเป็นอย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ความสะดวก วัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ได้กรุณาสับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย วัสดุอุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณนางสาววรรณวิสา สพประสงค์ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรชำนาญการ ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและสนับสนุนให้งานวิจัยสำเร็จ ได้ด้วยดี

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผลประโยชน์ทับซ้อนผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในบทความ

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: อาจินต์ สหะชาติ และวิภา หอมหวล. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: อาจินต์ สหะชาติ และวิภา หอมหวล. การ

จัดเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูล การแปรผล: อาจินต์ สหะชาติ และวิภา หอมหวล.การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุป: อาจินต์ สหะชาติ และวิภา หอมหวล. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: อาจินต์ สหะชาติ และวิภา หอมหวล. การให้การสนับสนุนเครื่องมือห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: วิภา หอมหวล.

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2566). *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. (2559). *พริกชี้ฟ้าผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. (2562). *คู่มือการประเมินผลผลิตพืชผัก*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. (2565). *คู่มือการผลิตเมล็ดพันธุ์พริก*. โครงการกระจายพืชพันธุ์ดีสู่กลุ่มผู้ใช้ประโยชน์. ศรีสะเกษ: ศูนย์วิจัยพืชสวนศรีสะเกษ.
- กรมวิชาการเกษตร. (2566). *คู่มือวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. (ม.ป.ป.). *พริกชี้ฟ้าผลใหญ่พันธุ์ศรีสะเกษ 1*. ฐานข้อมูลพรรณพืชและเชื้อพันธุกรรมพืช. สืบค้นจาก <https://doaplant.doa.go.th/RecFront/PlantDetail/327>
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). *รายงานสภาพอากาศรายเดือน: ปริมาณฝนและปริมาณฝนสะสม ภาคเหนือ เดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเมษายน 2567*. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. (ม.ป.ป.). *คำแนะนำการจัดการดินตามรายชุดดิน*. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. [http://iddindee.idd.go.th/SoilSeries/T_1_20032021/5_Series_\(Tph\).pdf](http://iddindee.idd.go.th/SoilSeries/T_1_20032021/5_Series_(Tph).pdf)
- จำเริญ อ่อนทอง, และ จักรกฤษณ์ พูนภักดี. (2565). *คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช*. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธนกฤต เลิศจันทร์ทางกุล. (2560). *การคัดแยกและศึกษาคุณสมบัติของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจากดินรอบรากพริก (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร)*.
- ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีแห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง. (ม.ป.ป.). *บาซิลลัส เอ็นเค12-1 (Bacillus NK12-1) [ฉลากผลิตภัณฑ์]*. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2566*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Anjanadevi, I. P., John, N. S., John, K. S., Jeeva, M. L., & Misra, R. S. (2016). Rock inhabiting potassium solubilizing bacteria from Kerala, India: Characterization and possibility in chemical K fertilizer substitution. *Journal of Basic Microbiology*, 56(1), 67–77. <https://doi.org/10.1002/jobm.201500139>
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13(1), 66. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
- Bhatt, K., & Maheshwari, D. K. (2020). *Bacillus megaterium* strain CDK25, a novel plant growth promoting bacterium enhances proximate chemical and nutritional composition of *Capsicum annuum* L. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1147. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01147>
- Gallaher, R. N., Weldon, C. O., & Futral, J. G. (1976). An aluminum block digester for plant and soil analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 39(4), 803-806.
- Ganefianti, D. W., Gusmara, H., & Mindro, N. A. (2024). Correlation between growth and yield of chili pepper cultivated in histisols. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1302(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1302/1/012013>
- Han, H. S., Supanjani, & Lee, K. D. (2006). Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant, Soil and Environment*, 52(3), 130-136. <https://doi.org/10.17221/3356-PSE>

- Hashem, A., Tabassum, B., & Fathi Abd Allah, E. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
- Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences* (5th ed.). Houghton Mifflin.
- Kang, S. M., Radhakrishnan, R., Khan, A. L., Kim, M. J., Park, J. M., Kim, B. R., Shin, D. H., & Lee, I. J. (2014). Phosphate solubilizing *Bacillus megaterium* mj1212 regulates endogenous plant carbohydrates and amino acids contents to promote mustard plant growth. *Indian Journal of Microbiology*, 54(4), 427-433.
- Khan, S. T., Malik, A., Alwarthan, A., & Shaik, M. R. (2023). The enormity of the zinc deficiency problem and available solutions: An overview. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(3), 103668. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103668>
- Kumar, S., Diksha, Sindhu, S. S., & Kumar, R. (2021). Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100094.
- Malik, A. A., Chattoo, M. A., Sheemar, G., & Rashid, R. (2011). Growth, yield and fruit quality of sweet pepper hybrid SH-SP-5 (*Capsicum annuum* L.) as affected by integration of inorganic fertilizers and organic manures (FYM). *Journal of Agricultural Technology*, 7(4), 1037-1048.
- Muharam, F. M., Bronson, K. F., Maas, S. J., & Ritchie, G. L. (2014). Inter-relationships of cotton plant height, canopy width, ground cover and plant nitrogen status indicators. *Field Crops Research*, 169, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.008>
- Olatunji, T. L., & Afolayan, A. J. (2018). The suitability of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) for alleviating human micronutrient dietary deficiencies: A review. *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2239-2251. <https://doi.org/10.1002/fsn3.790>
- Pahalvi, H. N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. N. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In *Microbiota and Biofertilizers, Vol 2* (pp. 1-20). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1
- Richardson, A. E., & Simpson, R. J. (2011). Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant Physiology*, 156(3), 989-996. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175448>
- Saxena, A. K., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N., & Bagyaraj, D. J. (2020). *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of Applied Microbiology*, 128(6), 1583-1594. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>
- Silva, U. C., Cuadros-Orellana, S., Silva, D. R. C., Freitas-Júnior, L. F., Fernandes, A. C., Leite, L. R., Oliveira, C. A., & de Oliveira, C. A. (2024). Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1426166.
- Wu, Z., Chen, X., Lu, X., Zhu, Y., Han, X., Yan, J., Yan, L., & Zou, W. (2024). Impact of combined organic amendments and chemical fertilizers on soil microbial limitations, soil quality, and soybean yield. *Plant and Soil*, 507, 317-334. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06733-4>
- Ye, L., Zhao, X., Bao, E., Li, J., Zou, Z., & Cao, K. (2020). Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. *Scientific Reports*, 10(1), 177. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56954-2>
- Zhang, X., Li, J., Shao, L., Qin, F., Yang, J., Gu, H., Zhai, P., & Pan, X. (2023). Effects of organic fertilizers on yield, soil physico-chemical property, soil microbial community diversity and structure of *Brassica rapa* var. *Chinensis*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1132853. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1132853>

- Zhao, Y., Zhang, M., Yang, W., Di, H. J., Ma, L., Liu, W., & Li, B. (2019). Effects of microbial inoculants on phosphorus and potassium availability, bacterial community composition, and chili pepper growth in a calcareous soil: A greenhouse study. *Journal of Soils and Sediments*, 19(10), 3597-3607. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02319-1>
- Zhou, G., Wang, M., Zhu, H., Wang, J., & Zhang, S. (2025). Effects of organic carbon, inorganic phosphorus, and phosphorus-solubilizing bacteria on maize growth, nutrient uptake, and rhizosphere phosphorus availability. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1644448. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1644448>