

ผลของสารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตผักบุ้งจีนและสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจนในดิน Effects of humic substance combination with nitrogen fertilizer on yield of water spinach and nitrogen activation coefficient in soil

ชาลินี คงสุต¹, พิกัสพงศ์ สิทธิกุล², ปัญญา วงษ์วิทยา² และสายชล สุขญาณกิจ^{2,3,*}
Chaline Khongsud¹, Pipatpong sitkul², Panya Wongwitaya² and Saychol Sukyankij^{2,3,*}

¹ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

³กลุ่มวิจัยนวัตกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

¹Central Laboratory and Greenhouse Complex, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,
Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

²Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University,
Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

³Cluster of Food Innovation and Smart Agriculture, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University,
Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

Received: 21-06-2026, Revised: 10-07-2026, Accepted: 19-07-2026, Published: 22-09-2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตผักบุ้งจีน นอกจากนี้ยังเพื่อศึกษาผลที่เกิดต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจนในดิน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ 5 ดำรับทดลอง ดังนี้ 1) ไม่ใส่สารฮิวมิกและปุ๋ยไนโตรเจน (ควบคุม) 2) ใส่สารฮิวมิกอัตรา 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 0.4 กรัมต่อกระบะทดลอง ($HA_{0.50}+Urea_{0.40}$) 3) ใส่สารฮิวมิกอัตรา 1.0 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 0.4 กรัมต่อกระบะทดลอง ($HA_{1.00}+Urea_{0.40}$) 4) ใส่สารฮิวมิกอัตรา 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 0.84 กรัมต่อกระบะทดลอง ($HA_{0.50}+AS_{0.84}$) 5) ใส่สารฮิวมิกอัตรา 1.0 กรัมร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 0.84 กรัมต่อกระบะทดลอง ($HA_{1.00}+AS_{0.84}$) จากผลการทดลองพบว่า $HA_{0.50}+Urea_{0.40}$ ให้ผลผลิตผักบุ้งจีนสูงสุด (245 กรัมต่อกระบะทดลอง) ขณะที่การใช้สารฮิวมิกอัตรา 1.0 กรัมต่อกระบะทดลองให้ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในผักบุ้งจีนสูงสุดใกล้เคียงกัน ($HA_{1.00}+Urea_{0.40} = 28.8$ กรัมต่อกิโลกรัม, $HA_{1.00}+AS_{0.84} = 28.6$ กรัมต่อกิโลกรัม) ในส่วนของปริมาณไนโตรเจนในดินหลังปลูกพบว่า $HA_{0.50}+Urea_{0.40}$ ให้ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สูงสุด (61.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยอยู่ในรูปแอมโมเนียมและไนเตรทเท่ากับ 50.2 และ 11.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจนในดิน (NAC) พบว่า $HA_{0.50}+Urea_{0.40}$ ให้ค่า NAC สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 3.47 จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่าการใช้สารฮิวมิกอัตรา 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 0.4 กรัมต่อกระบะทดลอง เป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักบุ้งจีน นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมให้เกิดการปลดปล่อยไนโตรเจนในปริมาณสูงอีกด้วย

คำสำคัญ : สารฮิวมิก, ยูเรีย, แอมโมเนียมซัลเฟต, ผักบุ้งจีน, สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจน

Abstract

This study aimed to investigate the effects of humic acid application in combination with nitrogen fertilizers on the growth and yield of water spinach, as well as to evaluate its influence on changes in the nitrogen activation coefficient. The experiment was conducted

using a completely randomized design (CRD) with three replications and five treatments: (1) control without humic acid and nitrogen fertilizer application, (2) humic acid at 0.5 g combined with urea at 0.4 g/tray ($HA_{0.50}+Urea_{0.40}$), (3) humic acid at 1.0 g combined with urea at 0.4 g/tray ($HA_{1.00}+Urea_{0.40}$), (4) humic acid at 0.5 g combined with ammonium sulfate (AS) at 0.84 g/tray ($HA_{0.50}+AS_{0.84}$), and (5) humic acid at 1.0 g combined with AS at 0.84 g/tray ($HA_{1.00}+AS_{0.84}$). The results demonstrated that $HA_{0.50}+Urea_{0.40}$ produced the highest fresh yield of water spinach (245 g/tray). Meanwhile, humic acid applied at 1.0 g/tray resulted in the highest plant nitrogen concentration, with comparable values observed under $HA_{1.00}+Urea_{0.40}$ and $HA_{1.00}+AS_{0.84}$ treatments (28.8 and 28.6 g/kg, respectively). Post-harvest soil analysis revealed that $HA_{0.50}+Urea_{0.40}$ significantly enhanced soil available nitrogen, reaching 61.8 mg/kg, with ammonium-N and nitrate-N concentrations of 50.2 and 11.67 mg/kg, respectively. Furthermore, the highest nitrogen activation coefficient (NAC) was observed under $HA_{0.50}+Urea_{0.40}$ (3.47%). Overall, the application of humic acid at 0.5 g combined with urea at 0.4 g/tray was identified as an effective strategy for improving water spinach productivity and enhancing nitrogen availability in soil. This combination also promoted greater nitrogen activation coefficient.

Keywords: Humic substance, Urea, Ammonium sulfate, Water spinach, Nitrogen activation coefficient

1. บทนำ

ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forssk.) เป็นผักใบที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เจริญเติบโตได้รวดเร็ว และสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี การผลิตผักบุ้งจีนเชิงการค้ามุ่งเน้นการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต โดยเฉพาะการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยธาตุไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอ เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก และคลอโรฟิลล์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืช (Wang et al., 2024) ดังนั้น เกษตรกรจึงนิยมใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงเพื่อเพิ่มผลผลิตผักบุ้งจีน (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2568) อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างต่อเนื่องและในปริมาณสูงอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของพืชลดลง เนื่องจากไนโตรเจนในดินสามารถสูญเสียได้หลายกระบวนการ เช่น การชะล้าง การระเหยเป็นก๊าซแอมโมเนีย และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ส่งผลให้พืชนำไนโตรเจนไปใช้ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ นอกจากจะเพิ่มต้นทุนการผลิตแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการสะสมไนเตรทในแหล่งน้ำและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย (Ma et al., 2024) ดังนั้น การพัฒนาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจึงเป็นประเด็นสำคัญในการผลิตพืชอย่างยั่งยืน

สารฮิวมิก (humic substances) เป็นสารอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของซากพืชและสัตว์ ประกอบด้วยกรดฮิวมิก กรดฟุลวิก และฮิวมิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) งานวิจัยหลายฉบับรายงานว่าสารฮิวมิกสามารถเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ช่วยรักษาธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ลดการสูญเสียไนโตรเจนจากดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืช ส่งผลให้พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (ธรรมธวัช และคณะ, 2558) นอกจากนี้ สารฮิวมิกยังมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์และการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดิน ซึ่งอาจส่งผลต่อรูปแบบและอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินด้วย (Jin et al., 2024) แม้ว่าจะมีรายงานการใช้สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในพืชหลายชนิด แต่ข้อมูลเกี่ยวกับ

ผลของสารชีวมิถต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินและการตอบสนองของผักบุ้งจีนยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะข้อมูลเชิงปริมาณที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินกับผลผลิตของพืช ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการใช้สารชีวมิถร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตผักบุ้งจีน และศึกษาสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจนในดิน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการไนโตรเจนและการผลิตผักบุ้งจีนอย่างยั่งยืนต่อไป

2. วัสดุและวิธีการทำวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินจากแปลงนาเกษตรกรในพื้นที่ตำบลกระแซง อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ($14^{\circ}29'42.94''\text{N}$ $100^{\circ}49'94.25''\text{E}$) ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร จำนวน 200 กิโลกรัม นำมาผึ่งให้แห้งในโรงเรือนเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นทำการทุบตัวอย่างดินให้มีขนาดเล็กลง สุ่มเก็บตัวอย่างดินดังกล่าวจำนวน 1 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติดินชั้นพื้นฐาน และจากผลการวิเคราะห์ดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 1) พบว่าค่าปฏิกิริยาดินอยู่ในระดับเป็นกรดปานกลาง ดินมีลักษณะเป็นดินเค็มปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง ไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก ขณะที่โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง (FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973) ส่วนตัวอย่างดินที่เหลือนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสารชีวมิถร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตผักบุ้งจีน โดยชั่งตัวอย่างดินใส่กระบะทดลองขนาด $20 \times 30 \times 6$ เซนติเมตร กระบะละ 3 กิโลกรัม

ตารางที่ 1 สมบัติดินเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลอง

Texture class	Soil pH (1:1)	EC _e (dS/m)	OM (%)	Total N (mg/kg)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
ดินเหนียว	5.64	5.50	3.17	280	47.1	105

หมายเหตุ : Texture class-เนื้อดิน, Soil pH-ค่าปฏิกิริยาดิน, EC_e-ค่าการนำไฟฟ้าของดินขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ, OM-ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน, Total N-ไนโตรเจนทั้งหมด, Avail. P-ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์, Exch. K-โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

2.2 การวางแผนการทดลอง

ในการปลูกผักบุ้งจีนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารชีวมิถร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนนั้นทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 5 ดำรับทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้ T1 ไม่ใส่สารชีวมิถและปุ๋ยไนโตรเจน (ควบคุม), T2 ใส่สารชีวมิถอัตรา 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.40 กรัมต่อกระบะทดลอง ($\text{HA}_{0.50} + \text{Urea}_{0.40}$), T3 ใส่สารชีวมิถ 1.0 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.40 กรัมต่อกระบะทดลอง ($\text{HA}_{1.00} + \text{Urea}_{0.40}$), T4 ใส่สารชีวมิถอัตรา 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 0.84 กรัมต่อกระบะทดลอง ($\text{HA}_{0.50} + \text{AS}_{0.84}$), T5 ใส่สารชีวมิถอัตรา 1.0 กรัมร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 0.84 กรัมต่อกระบะทดลอง ($\text{HA}_{1.00} + \text{AS}_{0.84}$) ทั้งนี้การใส่สารชีวมิถอัตรา 0.5 และ 1 กรัมต่อกระบะทดลองเทียบเท่าการใส่ในสภาพแปลงทดลอง 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 0.40 และ 0.84 กรัมต่อกระบะทดลองเป็นอัตราเทียบเท่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 18.4 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นอัตราแนะนำสำหรับการใส่ปุ๋ยในผักบุ้งจีน (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2568)

ทำการปลูกผักบุ้งจีนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน 2568 ณ โรงเรือนทดลองสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา โดยนำตัวอย่างดินที่ชั่งใส่กระบะทดลองเรียบร้อยแล้วมาใส่ปุ๋ยหมักพางข้าวเพื่อเป็นปุ๋ยรองพื้นอัตรา 38 กรัมต่อกระบะทดลอง

(เทียบเท่าการใส่ 4,000 กิโลกรัมต่อไร่) จากนั้นหยอดเมล็ดผักบุ้ง 50 เมล็ดต่อกระบะ แล้วตามด้วยใส่สารชีวมิถิรตามแผนการทดลอง หลังจากผักบุ้งขึ้นออก 5 วัน ทำการถอนแยกให้เหลือ 30 ต้นต่อกระบะ เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วัน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครั้งที่ 1 อัตราครึ่งเท่าของปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนตามแผนการทดลอง และใส่ปุ๋ยส่วนที่เหลืออีกครั้งเมื่อผักบุ้งขึ้นอายุ 14 วัน ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อผักบุ้งขึ้นมีอายุครบ 25 วัน โดยทำการวัดความสูง และค่าความเขียวใบด้วยเครื่อง SPAD meter จากนั้นใช้มีดตัดโคนต้นให้สูงจากพื้นดินประมาณ 3 เซนติเมตร นำมาชั่งและบันทึกน้ำหนักสด จากนั้นนำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างพืชแห้งสนิท (ใช้เวลา 5 วัน) นำออกจากตู้อบแล้วบันทึกน้ำหนักแห้งอีกครั้ง จากนั้นนำไปบดจนเป็นผงเพื่อนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารต่อไป นอกจากนี้จะมีการเก็บตัวอย่างดินจากแต่ละกระบะทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีด้วย

2.3 การวิเคราะห์พืชและดินทางเคมี

การวิเคราะห์พืชจะวิเคราะห์เฉพาะปริมาณไนโตรเจนตามวิธีการของ Jackson (1965) โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.2 กรัม ใส่ในหลอด Kjeldahl เติม mixed catalyst (K_2SO_4 - $CuSO_4$ -Se powder) แล้วย่อยสลายตัวอย่างด้วย conc. H_2SO_4 จนได้สารละลายใส จากนั้นนำไปกลั่นเพื่อหาไนโตรเจน โดยใช้ยา Boric acid indicator จับกับแอมโมเนียมที่ได้จากการกลั่น หลังจากนั้นจึงทำการไทเทรตด้วย standard 0.02N H_2SO_4 แล้วคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในพืช จากนั้นคำนวณค่าการดูดใช้ไนโตรเจนโดยนำค่าความเข้มข้นไนโตรเจนในพืชคูณกับน้ำหนักแห้งพืชในแต่ละคำรับทดลอง (Sukyankij et al., 2023)

ด้านการวิเคราะห์ดินหลังปลูกประกอบด้วยค่าปฏิกิริยาดิน โดยทำการสกัดดินด้วยน้ำกลั่นอัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 แล้ววัดด้วย pH meter (Thomas, 1996) วัดค่าการนำไฟฟ้าของดินโดยทำการวัดในขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำตามวิธีการของ Rhoades (1996) หาค่าอินทรีย์วัตถุในดินโดยการออกซิไดซ์ตัวอย่างดินด้วย $K_2Cr_2O_7$ และ H_2SO_4 จากนั้นวัดปริมาณ $Cr_2O_7^{2-}$ โดยการไทเทรตด้วย $FeSO_4$ ซึ่งจะได้ออกมาเป็นคาร์บอนอินทรีย์ แล้วนำค่าคาร์บอนอินทรีย์ที่ได้ไปคูณด้วยค่าคงที่ (1.724) จะได้เป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุออกมา (Nelson and Sommers, 1996) ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์วัดจากปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรทในดิน โดยทำการสกัดดินด้วย 2N KCl แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ โดยขั้นแรกจะนำสารละลายที่ได้ทำปฏิกิริยากับ MgO แล้วนำไปกลั่นเพื่อหาจับแอมโมเนียมในสารละลายดิน จากนั้นนำสารละลายเดิมมาทำปฏิกิริยากับ devarda alloy เพื่อให้ devarda alloy เปลี่ยนไนเตรทเป็นแอมโมเนียม แล้วจึงกลั่นอีกครั้ง สารละลายที่ได้จากการกลั่นทั้งสองครั้งนำมาไทเทรตด้วย standard 0.005N H_2SO_4 แล้วจึงคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรท หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ทั้งสองค่าบวกกันจะได้เป็นไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน (Mulvaney, 1996) ในส่วนของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินใช้วิธีการเดียวกันกับการวิเคราะห์พืช จากนั้นคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจน (NAC) ตามวิธีการของ Zhong et al. (2025) โดยนำค่าไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน ($NH_4^+ + NO_3^-$)หารด้วยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N) แล้วคูณด้วย 100

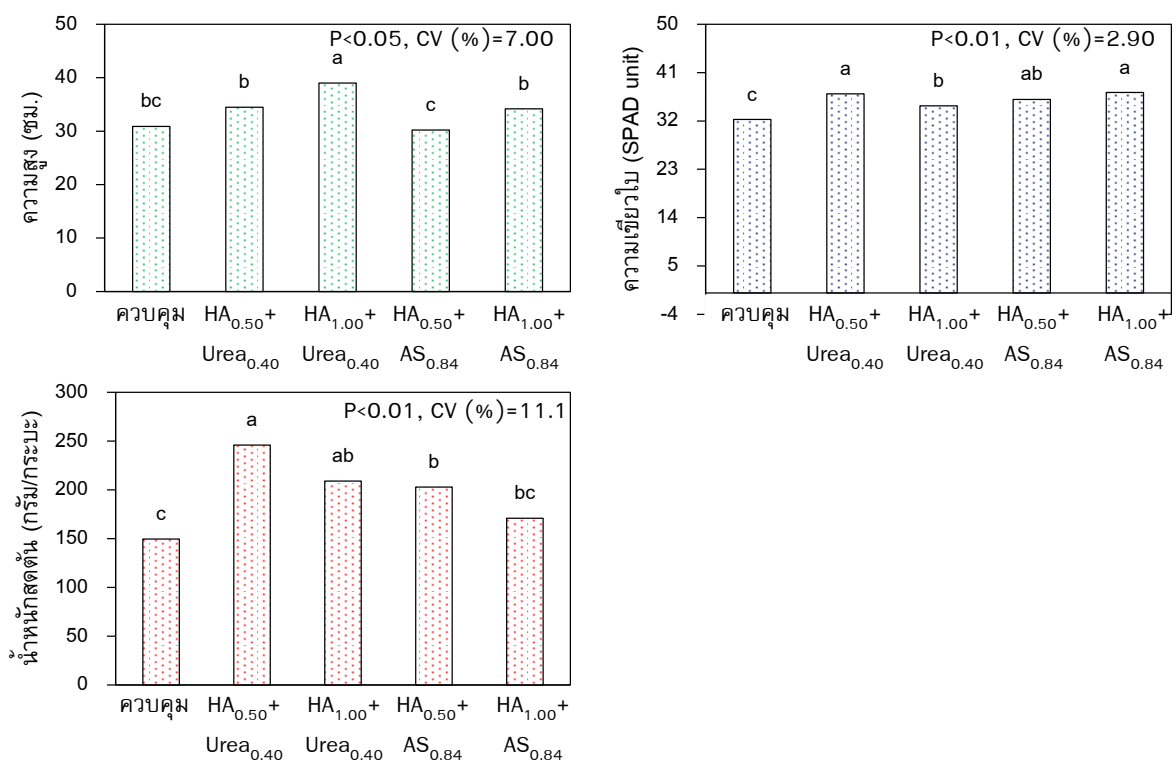
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS (version 22) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละคำรับทดลองโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 การเจริญเติบโตและผลผลิต

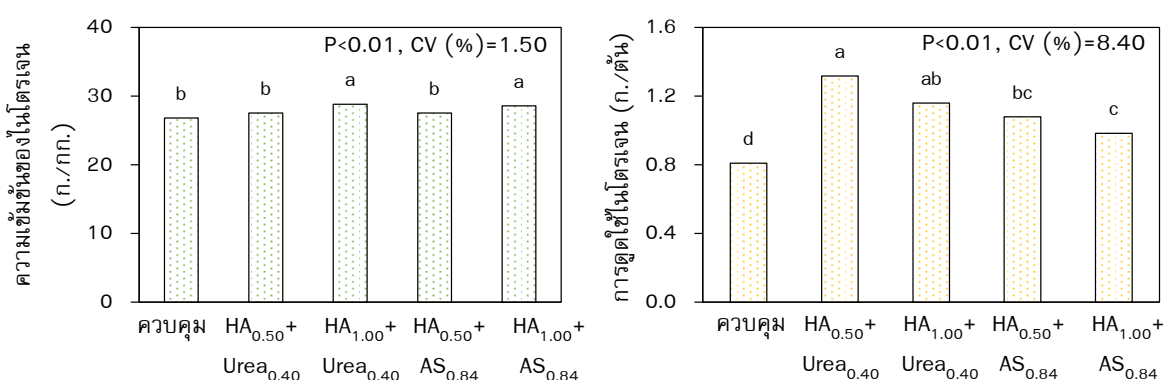
ภาพที่ 1 แสดงผลของการใช้สารชีวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตผักบุ้งจีน จากผลการทดลองพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในส่วนของค่าความสูงผักบุ้งจีน ขณะที่ค่าความเขียวใบและน้ำหนักสดต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ทั้งนี้การใช้สารชีวมิกรัตรา 0.5 กรัม ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.4 กรัมต่อกระบะทดลอง (T2) ส่งผลให้ผักบุ้งจีนมีค่าความเขียวใบและน้ำหนักสดต้นต่อกระบะสูงที่สุด (37.3 SPAD unit และ 245 กรัมต่อกระบะทดลอง ตามลำดับ) ทั้งนี้ในส่วนของการน้ำหนักสดต่อกระบะพบว่า การใช้สารชีวมิกรัตรา 1.0 กรัม ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.4 กรัมต่อกระบะทดลอง (T3) ให้ผลการทดลองไม่แตกต่างทางสถิติจากตำรับที่ให้ค่าสูงสุด (209 กรัมต่อกระบะทดลอง) ขณะที่ตำรับควบคุมให้ค่าน้ำหนักสดผักบุ้งจีนต่ำที่สุด (149 กรัมต่อกระบะทดลอง) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้สารชีวมิกรัตราที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลผลิตผักบุ้งจีนมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารชีวมิกรีดน้ำออกจากดินของจุลินทรีย์จำนวนมาก ซึ่งทำให้สารดังกล่าวมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้สูง (Ma et al., 2024) ด้วยคุณสมบัตินี้เองสารชีวมิกรที่ใส่ไปจะเข้าไปจับกับธาตุอาหารที่ละลายออกจากปุ๋ย ส่งผลให้รากพืชดูดธาตุอาหารได้ลดลง นอกจากนี้จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียส่งผลให้ผักบุ้งจีนมีผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของปุ๋ยแต่ละชนิด ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตนั้นมีสภาพกรดสมมูลสูงถึง 110 ขณะที่ปุ๋ยยูเรียมีสภาพกรดสมมูลเพียง 80 (ยงยุทธ และคณะ 2556) ซึ่งค่าดังกล่าวบ่งบอกถึงศักยภาพในการก่อกรด ทั้งนี้กรดที่เกิดขึ้นจากตัวปุ๋ยนั้นอาจมีผลถึงการเจริญเติบโตรวมถึงการให้ผลผลิตของพืชได้ อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากรายงานของ Amin (2011) และ da Silva Rangel et al. (2026) โดยพบว่าการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรีย



ภาพที่ 1 ผลของสารชีวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตผักบุ้งจีน

3.2 ความเข้มข้นและการดูดใช้ในโตรเจนในผักบุงจีน

ในส่วนของความเข้มข้นและการดูดใช้ในโตรเจนในผักบุงจีนแสดงในภาพที่ 2 จากผลการทดลองพบว่า การใช้สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลให้ความเข้มข้นและการดูดใช้ในโตรเจนในผักบุงจีนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) การใช้สารฮิวมิกอัตราร 1.0 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.4 กรัมต่อกระบะทดลอง (T3) ให้ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในผักบุงจีนสูงที่สุด (28.8 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใช้สารฮิวมิกอัตราร 1.0 กรัมร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 0.84 กรัมต่อกระบะทดลอง (T5) (28.6 กรัมต่อกิโลกรัม) สอดคล้องกับรายงานของ Jin et al. (2024) ซึ่งรายงานว่า การใส่สารฮิวมิกร่วมมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมและการใช้ในโตรเจนโดยเฉพาะในรูปไนเตรทในพืช โดยช่วยเพิ่มความสามารถของยีนที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมไนโตรเจนในพืช ขณะที่ค่าการดูดใช้ในโตรเจนนั้น การใช้สารฮิวมิกอัตราร 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.4 กรัมต่อกระบะทดลอง (T2) ให้ค่าการดูดใช้ในโตรเจนสูงที่สุด (1.32 กรัมต่อกระบะทดลอง) ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากตำรับที่มีการใส่สารฮิวมิกอัตราร 1.0 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.4 กรัมต่อกระบะทดลอง (T3) (1.16 กรัมต่อกระบะทดลอง) ในส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนนั้นการเพิ่มอัตราการใช้สารฮิวมิกร่วมส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในผักบุงจีนเพิ่มขึ้น การดูดใช้ธาตุอาหารของพืชนั้นเป็นผลคุณระหว่างน้ำหนักรากพืชและความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช (Sukyankij et al., 2023) ในการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่าน้ำหนักรากของผักบุงจีนในแต่ละตำรับทดลองมีความแตกต่างกันมาก ขณะที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อพืชกลับมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก (26.8-28.8 กรัมต่อกิโลกรัม) ดังนั้นน้ำหนักรากของพืชจึงมีอิทธิพลอย่างมากในการกำหนดค่าการดูดใช้ในโตรเจนในพืช ซึ่งพบว่า T2 ให้ค่าการดูดใช้ในโตรเจนสูงที่สุด สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตที่พบว่า T2 ให้ค่าผลผลิตสูงที่สุดเช่นกัน ทั้งนี้มีรายงานของ Khaled and Fawy (2011) ศึกษาการใช้กรดฮิวมิกอัตราร ที่ต่างกันต่อปริมาณธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และสมบัติดินที่ปลูกข้าวโพดพบว่า การใช้กรดฮิวมิกร่วมมีส่วนช่วยให้พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้เพิ่มขึ้น โดยการใช้ในรูปแบบของการให้ทางดินช่วยส่งเสริมการดูดใช้ในโตรเจน ขณะที่การใช้โดยการฉีดพ่นทางใบจะช่วยให้พืชดูดใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้มากกว่า



ภาพที่ 2 ผลของสารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนในผักบุงจีน

3.3 สมบัติดินหลังปลูก

สมบัติดินหลังปลูกพิจารณาจากค่าปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณไนโตรเจนในดิน (ตารางที่ 2 และ 3) ผลการทดลองพบว่า การใช้สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลให้ค่าปฏิกิริยาดินและค่าการนำไฟฟ้าของดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ทางสถิติ ตามลำดับ ตำรับทดลองซึ่งไม่มีการใส่สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน (T1) ให้ค่าปฏิกิริยาดินสูงที่สุด (6.43) ส่วนค่าการนำไฟฟ้านั้นพบว่า ตำรับที่ใส่สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน (T3) ให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด (6.43) ส่วนค่าการนำไฟฟ้านั้นพบว่า ตำรับที่ใส่สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน (T3) ให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด (6.43)

ร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 0.84 กรัมต่อกระบะทดลอง (T5) ให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด (4.50 dS/m) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการใส่สารฮิวมิก 1.0 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.40 กรัมต่อกระบะทดลอง (T3) (4.27 dS/m) ขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าต่ำที่สุด (3.65 dS/m) สอดคล้องกับรายงานของ Xu et al. (2025) ซึ่งศึกษาการใช้สารฮิวมิกต่อสมบัติดิน การเจริญเติบโต และความหอมในกุหลาบ พบว่า การใช้สารฮิวมิกในอัตราสูงส่งผลให้ค่าปฏิกิริยาดินและค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเช่นกัน ในส่วนของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน การใส่สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีผลต่ออินทรีย์วัตถุในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าพิสัยของอินทรีย์วัตถุระหว่างร้อยละ 2.80-3.20 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของสารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อค่าปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินหลังปลูกผักบุ้งจีน

ตำรับทดลอง	Soil pH (1:1)	EC _e (dS/m)	Organic matter (%)
T1 (ควบคุม)	6.43 ^a	3.65 ^c	2.80
T2 (HA _{0.50} +Urea _{0.40})	6.34 ^b	4.07 ^b	2.93
T3 (HA _{1.00} +Urea _{0.40})	6.34 ^b	4.27 ^{ab}	3.20
T4 (HA _{0.50} +AS _{0.84})	6.32 ^b	4.15 ^b	2.98
T5 (HA _{1.00} +AS _{0.84})	6.30 ^b	4.50 ^a	3.06
F-test	*	**	ns
CV (ร้อยละ)	0.50	3.98	5.07

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT; **, * ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และร้อยละ 95 ตามลำดับ; ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; Soil pH-ค่าปฏิกิริยาดิน, EC_e- ค่าการนำไฟฟ้าของดิน, Organic matter-อินทรีย์วัตถุในดิน

การใส่สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนในดินอย่างชัดเจน (ตารางที่ 3) โดยพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในส่วนของปริมาณไนโตรเจนและไนโตรเจนทั้งหมด ขณะที่ปริมาณแอมโมเนียมและไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) การใส่สารฮิวมิก 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.40 กรัมต่อกระบะทดลองให้ค่าปริมาณแอมโมเนียม ไนโตรเจน และไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด (50.2, 11.67 และ 61.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบว่า การใส่สารฮิวมิก 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 0.84 กรัมต่อกระบะทดลองให้ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงที่สุด (1.96 กรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งนี้ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างจากตำรับทดลองอื่น ๆ ยกเว้นตำรับควบคุม (T1) ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Xu et al. (2025) ซึ่งกล่าวว่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของธาตุอาหารในดินทั่วไปมักมีค่าน้อย เนื่องจากถูกจำกัดด้วยความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินหรือการถูกดูดซับโดยอนุภาคดิน นอกจากนี้ การใส่สารฮิวมิกในดินจะส่งผลให้ไนโตรเจนอยู่ในรูปที่เสถียรขึ้น ซึ่งหมายความว่าไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไอออน (NH_4^+ หรือ NO_3^-) จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบซึ่งทำให้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ (Avail. N) จะมีค่าลดลงแต่ไนโตรเจนในรูปของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในดินจะมีค่าเพิ่มขึ้น (Zhang et al., 2019; Yang et al., 2021)

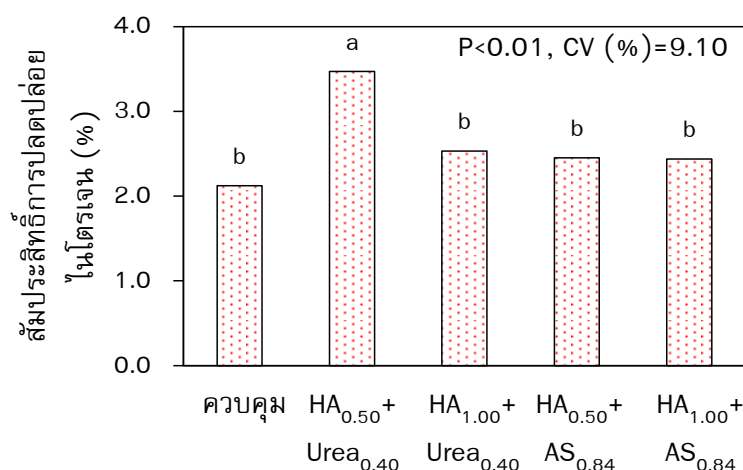
ตารางที่ 3 ผลของสารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณแอมโมเนียม ไนเตรท ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ และไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังปลูกผักบุ้งจีน

ตำรับทดลอง	NH ₄ ⁺ (mg/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	Avail. N (mg/kg)	Total N (g/kg)
T1 (ควบคุม)	33.3 ^c	0.97 ^c	34.2 ^c	1.61 ^b
T2 (HA _{0.50} +Urea _{0.40})	50.2 ^a	11.67 ^a	61.8 ^a	1.77 ^{ab}
T3 (HA _{1.00} +Urea _{0.40})	38.5 ^{bc}	8.17 ^{ab}	46.7 ^b	1.84 ^{ab}
T4 (HA _{0.50} +AS _{0.84})	39.7 ^{bc}	8.17 ^{ab}	47.8 ^b	1.96 ^a
T5 (HA _{1.00} +AS _{0.84})	40.8 ^b	5.83 ^{bc}	46.7 ^b	1.91 ^a
F-test	**	*	**	*
CV (ร้อยละ)	8.35	39.70	12.81	6.50

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT; **, * ค่าเฉลี่ยมีแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และร้อยละ 95 ตามลำดับ; NH₄⁺-แอมโมเนียมในดิน, NO₃⁻-ไนเตรทในดิน, Avail. N-ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน, Total N-ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

3.4 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจนในดิน

ภาพที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจน (Nitrogen Activation Coefficient, NAC) ในดินหลังปลูกที่ได้รับอิทธิพลจากการใส่สารฮิวมิกและปุ๋ยไนโตรเจน จากผลการทดลองพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใส่สารฮิวมิก 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.40 กรัมต่อกระบะทดลอง (T2) ให้ค่า NAC สูงที่สุด (ร้อยละ 3.47) ขณะที่ตำรับควบคุม (T1) ให้ค่า NAC ต่ำที่สุด (ร้อยละ 2.12) ทั้งนี้จะสังเกตได้ว่าการใช้สารฮิวมิกอัตราต่ำ (0.5 กรัมต่อกระบะทดลอง) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจนสูงกว่าการใช้ในอัตราสูง (1.0 กรัมต่อกระบะทดลอง) ซึ่งอาจมีเหตุผลมาจากสารฮิวมิกนั้นมีศักยภาพในการดูดซับธาตุอาหารพืชได้ดี ซึ่งทำให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ที่ละลายออกมาจากการใส่ปุ๋ยถูกดูดซับและไม่ถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของไอออน เช่น ไนโตรเจนไม่ถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของ NH₄⁺ หรือ NO₃⁻ ลักษณะเช่นนี้ทำให้ปริมาณธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์มีค่าลดลง (Xu et al., 2025) ซึ่งส่งผลให้ค่าค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงด้วย ค่า NAC นี้เป็นดัชนีสำคัญที่บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ดิน (Wu et al., 2017; Yang et al., 2019; Sukyankij et al., 2025) ซึ่งในที่นี้เป็นการบ่งบอกว่าดินในตำรับทดลองที่ใส่สารฮิวมิก 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.4 กรัมต่อกระบะทดลองมีศักยภาพในการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ



ภาพที่ 3 ผลของสารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจนในดินหลังปลูกผักบุ้งจีน

4. สรุปผลการวิจัย

การใช้สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลอย่างชัดเจนต่อผลผลิตผักบั้งจีน โดยการใส่สารฮิวมิกอัตรา 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.4 กรัมต่อกระบะส่งผลให้ผักบั้งจีนมีผลผลิตสูงสุด รองลงมาคือการใช้สารฮิวมิกอัตรา 1.0 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.4 กรัมต่อกระบะ ขณะที่การใช้สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตให้ผลผลิตน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรีย การใช้สารฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยยูเรียในอัตราที่ให้ผลผลิตสูงสุดยังส่งผลให้ดินหลังปลูกมีค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยไนโตรเจนสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างชัดเจนเช่นกัน ดังนั้นจากผลการทดลองจึงกล่าวได้ว่าการใส่สารฮิวมิกอัตรา 0.5 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 0.4 กรัมต่อกระบะเป็นอัตราที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกผักบั้งจีน และยังส่งผลให้ดินหลังปลูกมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในปริมาณสูงอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยาที่สนับสนุนวัสดุและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ ฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธรรมวัช แสงงาม, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา และกนกกร สินมา. (2558). ผลของสารฮิวมิค และแคลเซียมซิลิเกต ที่มีต่อการเจริญเติบโตของแตงเทศพันธุ์แอคชั่น 434 และสมบัติบางประการของดินชุดดินกำแพงแสน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 4(1), 12-22.
- ยงยุทธ โอสภสกา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ขวลิท ฮงประยูร. (2556). *ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน*. กรุงเทพฯ ฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาบันวิจัยพืชสวน. (2568). *การปลูกผักบั้งจีน*. เข้าถึงได้จาก: <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2021/10/การปลูกผักบั้งจีน.pdf> (สืบค้นเมื่อ: 12 มีนาคม 2568).
- Amin, M.E.M.H. (2011). Effect of different nitrogen sources on growth, yield and quality of fodder maize (*Zea mays* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10, 17–23.
- da Silva Rangel, G., de Souza Pastor, T., Ferreira, V.R., de Oliveira Costa, T., Carvalho, R.C.B., de Oliveira Souza, M., Berilli, A.P.C.G. & da Silva Berilli, S. (2026). Influence of nitrogen sources on physiological processes and morphological development of yellow passion fruit seedlings. *Nitrogen*, 7, Article 8.
- FAO Project Staff and Land Classification Division. (1973). *Soil Interpretation Handbook for Thailand*. Land Classification Division, Department of Land Development, Bangkok.
- Jackson, M. L. (1965). *Soil chemical analysis*. Prentice Hall, Inc.
- Jin, Y., Yuan, Y., Liu, Z., Gai, S., Cheng, K. & Yang, F. (2024). Effect of humic substances on nitrogen cycling in soil-plant ecosystems: Advances, issues, and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, 351, Article 119738.

- Khaled, H. & Fawy, H.A. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research*, 6(1), 21–29.
- Ma, Y., Cheng, X. & Zhang, Y. (2024). The impact of humic acid fertilizers on crop yield and nitrogen use efficiency: A meta-analysis. *Agronomy*, 14, Article 2763.
- Mulvaney, R.L. (1996). Nitrogen-inorganic forms. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston & M.E. Sumner (Eds). *Methods of soil analysis part 3: Chemical methods* (pp. 1123-1184). Soil Science Society of America, Inc.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.). *Methods of soil analysis part 3: Chemical methods* (pp. 961-1010). Soil Science Society of America, Inc.
- Rhoades, J.D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston & M.E. Sumner (Eds). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods* (pp. 417-435). Soil Science Society of America, Inc.
- Sukyankij, S., Sukyankij, S., & 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 Journal of Agricultural Science*, 45(2), 311-321.
- Sukyankij, S., Khongsud, C., Phun-lam, M., & Panich-Pat, T. (2025). Influence of silicon application on phosphorus uptake in rice and phosphorus availability in acid and neutral soils, Central Thailand. *International Journal of Agriculture and Biology*, 33, 330415.
- Thomas, G.W. (1996): Soil pH and soil acidity. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston & M.E. Sumner (Eds). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods* (pp. 475-490). Soil Science Society of America, Inc.
- Wang, Q., Li, S., Li, J. & Huang, D. (2024). The utilization and roles of nitrogen in plants. *Forests*, 15, Article 1191.
- Wu, Q., Zhang, S., Zhu, P., Huang, S., Wang, B., Zhao, L., & Xu, M. (2017). Characterizing differences in the phosphorus activation coefficient of three typical cropland soils and the influencing factors under long-term fertilization. *PLoS One*, 12, Article e0176437.
- Xu, Y., Li, M., Ding, H., Ma, Y., Yang, Y. & Feng, L. (2025). Comparative effects of humic acid biostimulation on soil properties, growth, and fragrance of *Rosa rugosa*. *Industrial Crops and Products*, 225, 120444.
- Yang, F., Tang, C. & Antonietti, M., (2021). Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews*, 50, 6221-6239.

- Yang, X., Chen, X., & Yang, X. (2019). Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 187, 85-91.
- Zhang, S., Yuan, L., Li, W., Lin, Z., Li, Y., Hu, S. & Zhao, B. (2019). Effects of urea enhanced with different weathered coal-derived humic acid components on maize yield and fate of fertilizer nitrogen. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(3), 656–666.
- Zhong, N., Cai, Q. & Huang, J. (2025). Synergistic regulation mechanism of nitrogen and potassium coupling on sugarcane yield and soil quality in karst areas. *Frontiers in Plant Science*, 16, Article 1614682.