Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology

Volume 18, Issue 1, January - June 2026, Pages 1 – 18 ISSN 2985-2641 (Online)



Research Article

ผลของการปรับปรุงดินด้วยวัชพืชน้ำและมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนและสมบัติดิน

Effects of Soil Improvement Using Aquatic Weeds and Animal Manures on The Growth of Chinese Water Spinach and Soil Properties

สุทธยศ ยิ้มพูลทรัพย์*

Suttayot Yimpoolsap*

หลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

Program in Environmental Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University.

**Corresponding author, e-mail: s.yimpoolsap@gmail.com*

Received: *16 September 2025;* ***Revised:*** *1 April 2026;* ***Accepted:*** *21 April 2026*

บทคัดย่อ

ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk. var. *reptans*) เป็นผักเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย แต่การผลิตยังคงพึ่งพาปุ๋ยเคมีเป็นหลัก ส่งผลให้เกิดต้นทุนสูงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากชุมชน เช่น วัชพืชน้ำ และมูลสัตว์ จึงเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนในการปรับปรุงดินและลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้แหนเป็ดและจอกร่วมกับมูลแพะและมูลม้าต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนและสมบัติดินภายหลังการปลูก ดินที่ใช้ทดลองเดิมเป็นดินกรดและไม่เค็ม เมื่อนำมาหมักร่วมกับวัสดุอินทรีย์เป็นเวลา 14 วัน ค่า EC ของดินเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 6.15 – 9.11 dS/m ซึ่งจัดอยู่ในระดับดินเค็มปานกลางถึงเค็มมาก เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีค่า EC 4.86 dS/m ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าการปรับปรุงดินด้วยมูลแพะร่วมกับแหนเป็ดให้ค่าการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนสูงที่สุด ได้แก่ ความยาวลำต้น 18.9 cm ความยาวราก 7.1 cm และน้ำหนักสด 1.17 g/ต้น ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ค่า EC ที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างชุดการทดลองอาจบดบังผลที่แท้จริงของวัสดุปรับปรุงดิน เมื่อใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) โดยกำหนดค่า EC ก่อนปลูกเป็นตัวแปรร่วม พบว่าสามารถแยกอิทธิพลของความเค็มออกจากผลของวัสดุปรับปรุงดินได้อย่างชัดเจน โดยชุดการทดลองที่ใช้มูลแพะร่วมกับแหนเป็ดยังคงให้ค่าการเจริญเติบโตและชีวมวลของผักบุ้งจีนสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าวัสดุปรับปรุงดินดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงโดยไม่ขึ้นกับระดับความเค็มของดิน การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ 73.7% และ 25.9% บนแกน

PC1 และ PC2 ตามลำดับ โดยพบว่าชุดการทดลองที่ใช้มูลแพะร่วมกับแหนเป็ดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับตัวแปรด้านการเจริญและชีวมวลของผักบุ้งจีน ขณะที่การปรับปรุงดินด้วยจอกมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนเตรท (NO_3^-) สูง แต่ให้การเจริญเติบโตต่ำที่สุด ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์จากชุมชนสามารถนำมาใช้ปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตผักบุ้งจีนได้ โดยชุดการทดลองที่ใช้แหนเป็ดร่วมกับมูลแพะมีศักยภาพสูงสุดและเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในเชิงปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการทดลองระยะสั้นเพียง 30 วัน และใช้วัสดุอินทรีย์จำกัดเพียง 2 ชนิด ผลลัพธ์อาจยังไม่สามารถอธิบายปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืชในระยะยาวได้อย่างครอบคลุม

คำสำคัญ: ผักบุ้งจีน; สมบัติดิน; วัชพืชน้ำ; มูลสัตว์

Abstract

This study evaluated the effects of soil amendments using aquatic weeds (duckweed and water lettuce) and animal manures (goat and horse dung) on the growth of Chinese water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk. var. *reptans*) and soil chemical properties. Nine treatments were applied, including single and combined applications of organic materials at rates equivalent to 3,200 kg/rai and 1,600 kg/rai. Amended soils were incubated for 14 days prior to planting, and Chinese water spinach was cultivated for 30 days. Growth parameters and post-harvest soil chemical properties were measured. One-way analysis of variance (ANOVA) revealed significant differences ($p < 0.05$) among treatments for most growth parameters. Treatments amended with aquatic weeds alone produced greater stem length, root length, and fresh weight compared with treatments amended with animal manure alone or in combination. In contrast, the combination of horse dung and water lettuce resulted in the highest pre-planting electrical conductivity (EC) (9.11 dS/m) and produced the lowest plant growth. Analysis of covariance (ANCOVA), using pre-planting EC as a covariate, confirmed that soil salinity significantly affected plant performance. Principal component analysis (PCA) explained 73.7% and 25.9% of the total variance in PC1 and PC2, respectively. PC1 was associated with soil fertility indicators (pH, OM, TKN, PO_4^{3-}, and EC), whereas PC2 was primarily related to nitrate (NO_3^-) concentration. Results indicated that the effectiveness of organic amendments depended on both nutrient availability and salinity levels. The combined application of duckweed and goat dung improved soil properties and enhanced plant growth under moderately saline conditions. Appropriate selection and management of community-derived organic materials can improve soil quality and support sustainable vegetable production.

Keywords: Chinese water spinach; soil properties; aquatic weeds; animal manures

บทนำ

ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk. var. *reptans*) อยู่ในวงศ์ Convolvulaceae พบได้ทั่วไปในเขตร้อน เป็นผักเศรษฐกิจที่ปลูกง่ายและเติบโตเร็ว เป็นที่นิยมบริโภคในประเทศไทย และส่งออกไปยังต่างประเทศ เช่น ฮ่องกง มาเลเซีย สิงคโปร์ เป็นต้น (Phodawattana and Chawapradit, 1996) [1], (Wilaiporn, 2018) [2] ผักบุ้งจีนสามารถ

เจริญเติบโตได้ดีในดินหลายประเภท โดยเฉพาะดินที่มีความชุ่มชื้น และการระบายน้ำดี (Saengngam et al., 2019) [3] มีอายุเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 18 – 25 วันหลังหว่านเมล็ด เกษตรกรผู้ปลูกผักบุ้งจีนมักใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเร่งการเจริญเติบโตให้ได้ลำต้นใหญ่ ใบเขียว และมีน้ำหนักสดสูง โดย Horticultural Research Institute (2019) [4] รายงานว่าการปลูกผักบุ้งจีนนิยมใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46 – 0 – 0 อัตรา 15 – 20 kg/ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง หลังหว่านเมล็ด 5 – 7 วัน และ 10 – 12 วัน หรือใช้ปุ๋ยละลายน้ำ (10 g/20 L) อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดต้นทุนการผลิตที่สูง การเสื่อมโทรมของดิน และความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม ขณะที่ผู้บริโภคในปัจจุบันให้ความสำคัญกับผักอินทรีย์หรือผักปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดความพยายามในการลดการใช้ปุ๋ยเคมีและหาทางเลือกที่ยั่งยืนในการผลิตผักคุณภาพ (Maikami, 2021) [5]

มีรายงานจำนวนมากที่แสดงให้เห็นถึงบทบาทของปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการเพิ่มผลผลิตผักและปรับปรุงสมบัติดิน เช่น Sibounnavong et al. (2006) [6] พบว่าการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบุ้งจีนขึ้นอยู่กับอัตราการให้ปุ๋ย ขณะที่ Pornmeeyoo et al. (2012) [7] รายงานว่าการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลวัวช่วยเพิ่มผลผลิตผักบุ้งจีนได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว Boonluea and Somnuek (2022) [8] พบว่าการใช้ปุ๋ยมูลสุกรในระบบนาอินทรีย์ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอย่างมีนัยสำคัญ ในต่างประเทศวัสดุอินทรีย์จากชีวมวลพืชและปุ๋ยคอกได้รับการยอมรับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการปรับปรุงสมบัติดินและผลผลิตพืช เช่น Rostaei et al. (2024) [9] รายงานว่าปุ๋ยอินทรีย์ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุ และกิจกรรมจุลินทรีย์ในดิน มีรายงานจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชผักใบ รวมทั้งช่วยปรับปรุงสมบัติดินและการหมุนเวียนธาตุอาหารในดินอย่างมีนัยสำคัญ (Nuallprom, 2005) [10] Wang et al. (2023) [11] รายงานว่าการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุและลดความเค็มของดินในการปลูกผักบุ้งจีน ขณะที่ Subedi et al. (2023) [12] และ Ai et al. (2023) [13] ยืนยันว่าปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มผลผลิตและช่วยปรับปรุงการหมุนเวียนธาตุอาหารในดินเค็มได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงมุ่งประเมินผลของการใส่วัสดุอินทรีย์ในระยะสั้น โดยพิจารณาสมบัติดินเพียงอย่างเดียว ขณะที่การศึกษาที่ติดตามผลต่อเนื่องโดยนำดินที่ผ่านการปรับปรุงแล้วไปปลูกพืชเพื่อประเมินทั้งการเจริญเติบโตของพืชและสมบัติดินภายหลังการปลูกยังมีอยู่อย่างจำกัด

สำหรับประเทศไทยวัชพืชน้ำ เช่น แหนเป็ด (*Lemna* spp.) และจอก (*Pistia stratiotes*) รวมถึงมูลสัตว์ เช่น มูลแพะและมูลม้า เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากชุมชนที่มีปริมาณมากและอุดมด้วยธาตุอาหารพืช แต่ยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ในระบบการผลิตพืชผักอย่างจำกัด วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งในด้านปริมาณไนโตรเจน อัตราการย่อยสลาย และศักยภาพในการเพิ่ม หรือลดความเค็มของดิน ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน งานวิจัยก่อนหน้านี้โดย Boonpun and Yimpoolsap (2022) [14] ศึกษาผลของการปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด จอก มูลแพะ และมูลม้า พบว่าดินที่เดิมเป็นดินกรดและไม่เค็ม (pH 5.14, EC 0.17 dS/m) มีค่า EC เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 6.15 – 9.11 dS/m หลังการหมักวัสดุอินทรีย์เป็นเวลา 14 วัน ซึ่งจัดอยู่ในระดับดินเค็มปานกลางถึงดินเค็มมาก สะท้อนให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์จากชุมชนสามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติดินได้อย่างมีนัยสำคัญ และอาจส่งผลต่อการปลูกพืชในระยะถัดไป อย่างไรก็ตามยังไม่มีการประเมินอย่างชัดเจนว่าดินที่ผ่านการปรับปรุงดังกล่าว จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน และสมบัติดินภายหลังการปลูกอย่างไร การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งประเมินผลต่อเนื่องของการใช้วัชพืชน้ำและมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนควบคู่กับการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน เพื่อเติมเต็มช่องว่างองค์ความรู้ดังกล่าว

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้วัชพืชน้ำ ได้แก่ แหนเป็ดและจอก ร่วมกับมูลสัตว์ ได้แก่ มูลแพะและมูลม้า ต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk. var. *reptans*) ภายใต้สภาพดินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวัสดุอินทรีย์จากชุมชน

2. เพื่อศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดิน ได้แก่ แหนเป็ด จอก มูลแพะ และมูลม้า ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินภายหลังการเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีน โดยมุ่งประเมินสมบัติทางเคมีของดินที่เกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์และความเค็ม

3. เพื่อต่อยอดงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Boonpun and Yimpoolsap, 2022) [14] ซึ่งศึกษาผลของวัชพืชน้ำและมูลสัตว์ต่อสมบัติดินหลังการหมักร่วมกับดินเป็นเวลา 14 วัน โดยนำดินที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมาใช้ปลูกผักบุ้งจีน เพื่อประเมินผลต่อเนื่องทั้งด้านการเจริญเติบโตของพืชและความสัมพันธ์กับสมบัติดินภายหลังการปลูก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ดินที่ใช้ปลูกผักบุ้งจีน

ดินที่ใช้ปลูกผักบุ้งจีนในการศึกษาครั้งนี้เป็นดินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวัสดุปรับปรุงดินที่แตกต่างกัน ได้แก่ แหนเป็ด จอก มูลแพะ และมูลม้า ซึ่งเป็นการศึกษาต่อเนื่องจากการศึกษาของ Boonpun and Yimpoolsap (2022) [14] โดยการศึกษาก่อนหน้านี้ได้ทำการหมักดินร่วมกับวัสดุอินทรีย์ในอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นเวลา 14 วัน ภายใต้สภาพควบคุมความชื้นให้ใกล้เคียงความชื้นสนาม และมีการคลุกเคล้าเป็นระยะเพื่อให้การย่อยสลายเกิดอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้สมบัติทางเคมีของดิน โดยเฉพาะค่าการนำไฟฟ้า (EC) และธาตุอาหารพืชเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากระยะหมัก 14 วัน ดินแต่ละชุดการทดลองถูกนำมาบรรจุในกระถางทดลอง และปลูกผักบุ้งจีนเป็นระยะเวลา 30 วัน ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันทุกชุดการทดลอง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตของพืชและสมบัติดินได้อย่างชัดเจน ก่อนการปลูกผักบุ้งจีนได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลอง ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า (EC) อินทรียวัตถุ (OM) ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนเตรท (NO_3^-) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) โดยใช้วิธีมาตรฐานตามแนวทางของกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อให้สามารถทำซ้ำการทดลอง (reproducibility) ได้ในงานวิจัยอื่น สมบัติทางเคมีของดินก่อนการปลูกผักบุ้งจีนแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของดินภายหลังการบ่มร่วมกับวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 14 วัน ก่อนการปลูกผักบุ้งจีน

ชุดการทดลอง	พารามิเตอร์						
	pH	EC (dS/m)	OM (%)	TKN (%)	NH_4^+ (mg/kg)	NO_3^- (mg/kg)	PO_4^{3-} (mg/kg)
1) ไม่ปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)	5.75	4.86	1.73	0.04	0.35	0.37	12.52
2) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 3,200 kg/ไร่	7.92	6.15	2.05	0.79	1.05	1.90	23.66
3) ปรับปรุงดินด้วยจอก 3,200 kg/ไร่	7.82	7.86	2.03	0.56	1.00	1.95	24.35
4) ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะ 3,200 kg/ไร่	8.12	6.96	2.15	0.60	1.43	0.73	19.51
5) ปรับปรุงดินด้วยมูลม้า 3,200 kg/ไร่	8.35	8.66	2.18	0.70	1.28	0.68	17.15
6) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่	8.27	6.85	2.05	0.56	1.29	0.93	20.69
7) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่	8.26	6.81	1.85	0.56	1.55	0.78	15.69
8) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่	8.13	9.08	2.37	0.79	1.22	0.82	20.80
9) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่	8.15	9.11	1.87	0.46	1.20	0.91	17.31

หมายเหตุ: ค่าที่รายงานแสดงในรูปค่าเฉลี่ย (n = 3) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อยู่ในช่วง 6.15 ถึง 9.11 dS/m ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินเค็มปานกลางถึงดิน

เค็มมาก ตามเกณฑ์การจำแนกของ Faculty of Soil Science Staff (2005) [15] ค่า EC ดังกล่าวถูกใช้เป็นตัวแปรร่วม (covariate) ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA)

Source: Boonpan and Yimpoolsap (2022) [14]

2. การปลูกผักบุ้งจีน

ในการเพาะปลูก เริ่มจากการแช่เมล็ดผักบุ้งจีนในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดมาหยอดลงในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 cm กระถางละ 10 ต้น การทดลองวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 9 ชุดการทดลอง รวมชุดควบคุม และทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำต่อหนึ่งชุดการทดลอง แต่ละกระถางถือเป็นหนึ่งหน่วยทดลอง (experimental unit) และจัดวางแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในพื้นที่ทดลองเพื่อป้องกันอิทธิพลของตำแหน่ง (positional effect) แต่ละกระถางบรรจุด้วยดินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวัสดุปรับปรุงดินที่แตกต่างกันตามชุดการทดลอง (ตารางที่ 1) การปลูกดำเนินการภายใต้สภาพโรงเรือนเปิด โดยควบคุมสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกันทุกชุดการทดลอง ได้แก่ ปริมาณแสงธรรมชาติ อุณหภูมิ และการระบายน้ำ เพื่อจำกัดความแปรปรวนจากปัจจัยภายนอก ทำการรดน้ำทุกวัน วันละ 100 mL เป็นระยะเวลา 30 วัน ไม่มีการให้ปุ๋ยเพิ่มเติมตลอดระยะเวลาการทดลอง เพื่อให้ผลที่เกิดขึ้นสะท้อนอิทธิพลของวัสดุปรับปรุงดินเพียงอย่างเดียว

3. การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนเมื่อมีอายุ 30 วันหลังปลูก ตามวิธีของ Pornmeeyoo et al. (2012) [7] โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 อัตราการงอก (Germination rate) (%) คำนวณจากจำนวนต้นที่งอกต่อจำนวนเมล็ดที่ปลูกในแต่ละหน่วยทดลอง

3.2 ความยาวต้น (Stem length) (cm) วัดจากผิวดินถึงปลายยอดใบ

3.3 ความยาวราก (Root length) (cm) วัดจากโคนต้นใต้ผิวดินถึงปลายรากที่ยาวที่สุด

3.4 ความยาวใบ (Leaf length) (cm) วัดจากโคนใบถึงปลายใบ

3.5 ความกว้างใบ (Leaf width) (cm) วัดบริเวณกึ่งกลางใบ

3.6 จำนวนใบ (Number of leaves) (ใบ/ต้น) นับเฉพาะใบที่สมบูรณ์ต่อหนึ่งต้น

3.7 น้ำหนักสด (Fresh weight) (g) ชั่งน้ำหนักสดรวมของต้นผักบุ้งจีนในแต่ละหน่วยทดลอง

3.8 น้ำหนักแห้ง (Dry weight) (g) นำตัวอย่างผักบุ้งจีนผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปพักใน desiccator เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักแห้ง

4. การวิเคราะห์สมบัติของดิน

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินภายหลังการปลูกผักบุ้งจีนเป็นเวลา 30 วัน โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดประกอบด้วย ความเป็นกรด–ด่าง (pH) วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัด pH (pH meter) การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity; EC) วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า (conductivity meter) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter; OM) วิเคราะห์ด้วยวิธี Walkley and Black ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl nitrogen; TKN) วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl แอมโมเนียม (NH_4^+) วิเคราะห์ด้วยวิธี salicylic hypochlorite ไนเตรท (NO_3^-) วิเคราะห์ด้วยวิธี salicylic acid และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) วิเคราะห์ด้วยวิธี Bray II

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

5.1 การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน

ข้อมูลการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน ได้แก่ อัตราการงอก ความยาวต้น ความยาวราก ความยาวใบ ความกว้างใบ จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α = 0.05) หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินหลังการหมักวัสดุอินทรีย์เป็นเวลา 14 วัน (ก่อนปลูกผักบุ้งจีน) มีความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างชุดการทดลอง (6.15–9.11 dS/m) และอยู่ในช่วงดินเค็มปานกลางถึงดินเค็มมาก ซึ่งอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงทำการตรวจสอบสมมติฐานความเป็นเชิงเส้น (linearity) และความเป็นเนื้อเดียวกันของความชัน (homogeneity of regression slopes) ก่อนดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance: ANCOVA) โดยกำหนดค่า EC ก่อนปลูกเป็นตัวแปรร่วม เพื่อแยกอิทธิพลของความเค็มออกจากผลของวัสดุปรับปรุงดิน การวิเคราะห์ ANCOVA ใช้เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่ปรับแล้ว (adjusted means) ภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมค่า EC ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน การวิเคราะห์ ANOVA, DMRT และ ANCOVA ดำเนินการด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 25 ค่าการเจริญเติบโตที่ปรับแล้วจากการวิเคราะห์ ANCOVA ถูกนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับสมบัติดินโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) โดยใช้ correlation matrix และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PAST

5.2 การวิเคราะห์สมบัติดินหลังการปลูกผักบุ้งจีน

ข้อมูลสมบัติดินหลังปลูก ได้แก่ pH, EC, OM, TKN, NH_4^+, NO_3^- และ PO_4^{3-} วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วย One-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α = 0.05) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics version 25 นอกจากนี้ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติดินหลังปลูกด้วย PCA โดยใช้ correlation matrix เพื่อแสดงรูปแบบการรวมกลุ่มของชุดการทดลองและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PAST โดยพิจารณาค่า eigenvalues และสัดส่วนความแปรปรวนสะสม (cumulative variance explained) เพื่ออธิบายองค์ประกอบหลักที่สำคัญ

ผลการวิจัย

การศึกษาการปรับปรุงดินด้วยวัชพืชน้ำและมูลสัตว์ ภายหลังจากการหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 14 วัน พบว่าทุกชุดการทดลองที่มีการปรับปรุงดิน ดินมีค่า pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.82 – 8.35 ประเมินได้ว่าดินมีสภาพด่างอ่อน – ด่างปานกลาง และมีค่า EC อยู่ในช่วง 6.15 – 9.11 dS/m ประเมินได้ว่าดินมีสภาพเค็มปานกลาง – เค็มมาก (Faculty of Soil Science Staff, 2005) [15] ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการหมักวัชพืชน้ำ และมูลสัตว์ในอัตรา 3,200 kg/ไร่ เป็นเวลา 14 วัน สามารถเพิ่มความเค็มของดินจนอยู่ในระดับที่อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ดังนั้นจึงเลือกผักบุ้งจีนเป็นพืชทดสอบ เนื่องจากเป็นพืชผักที่มีความทนทานต่อสภาพดินเค็มและสามารถเจริญได้ภายใต้ระดับความเค็มที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพืชผักใบทั่วไป (Pongvichian, 2017) [16] ผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่มีการปรับปรุงดินด้วยมูลสัตว์มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วันต่ำกว่าชุดที่ปรับปรุงด้วยวัชพืชน้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของเกลือละลายน้ำ/ค่า EC ที่สูงในวัสดุบางชนิด โดยเฉพาะมูลม้า (EC 9.27 dS/m) ส่งผลให้ชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลม้าร่วมกับจอกมีค่าการเจริญเติบโตต่ำ เช่น ความยาวต้นเฉลี่ย 12.55 cm ความยาวรากเฉลี่ย 4.45 cm และน้ำหนักสดเฉลี่ย 0.79 g เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยวัชพืชน้ำเพียงอย่างเดียว เช่น ชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยจอก ซึ่งให้ความยาวต้นเฉลี่ย 18.43 cm ความยาวรากเฉลี่ย 8.13 cm และน้ำหนักสดเฉลี่ย 1.14 g พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังพบว่า ชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดิน การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่มีอายุ 30 วัน มีแนวโน้มต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีการปรับปรุงดินด้วยวัชพืชน้ำเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าเฉลี่ย

ความยาวต้น ความยาวราก และน้ำหนักสด เท่ากับ 12.03 cm, 5.58 cm และ 0.97 g ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนอายุ 30 วันหลังปลูกในดินที่ปรับปรุงด้วยวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA)

ชุดการทดลอง	พารามิเตอร์							
	อัตราการงอก (%)	ความยาวลำต้น (cm)	ความยาวราก (cm)	จำนวนใบ (/ต้น)	ความยาวใบ (cm)	ความกว้างใบ (cm)	น้ำหนักสด (g)	น้ำหนักแห้ง (g)
1) ไม่ปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)	66.67^{b}	12.03^{d}	5.58^{bc}	3.89^{a}	4.78^{a}	1.03^{a}	0.97^{ab}	0.09^{ab}
2) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 3,200 kg/ไร่	100^{a}	17.27^{ab}	6.88^{ab}	3.53^{a}	5.10^{a}	1.18^{a}	1.14^{a}	0.09^{ab}
3) ปรับปรุงดินด้วยจอก 3,200 kg/ไร่	100^{a}	18.43^{a}	8.13^{a}	3.90^{a}	5.35^{a}	1.18^{a}	1.14^{a}	0.09^{ab}
4) ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะ 3,200 kg/ไร่	85^{ab}	16.87^{ab}	6.78^{ab}	3.75^{a}	5.03^{a}	1.15^{a}	1.17^{a}	0.10^{a}
5) ปรับปรุงดินด้วยมูลม้า 3,200 kg/ไร่	83.33^{ab}	15.57^{ab}	5.57^{bc}	3.38^{a}	4.78^{a}	1.13^{a}	0.94^{ab}	0.08^{ab}
6) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่	88.33^{a}	15.08^{bc}	6.38^{b}	3.23^{a}	4.78^{a}	1.12^{a}	0.88^{ab}	0.08^{ab}
7) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่	81.67^{ab}	15.55^{b}	6.22^{b}	3.50^{a}	4.83^{a}	1.07^{a}	0.90^{ab}	0.08^{ab}
8) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่	81.67^{ab}	15.67^{ab}	6.17^{b}	3.43^{a}	4.93^{a}	1.15^{a}	1.03^{ab}	0.09^{ab}
9) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่	91.67^{a}	12.55^{cd}	4.45^{c}	3.02^{a}	4.95^{a}	1.12^{a}	0.79^{b}	0.07^{b}
F-test	6.24	19.77	10.26	1.84	0.61	0.84	4.59	2.83
p-Value	0.001	< 0.001	< 0.001	0.140	0.657	0.506	0.004	0.037

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (n = 3) แต่ละซ้ำประกอบด้วยกระถางจำนวน 1 กระถาง ซึ่งปลูกผักบุ้งจีน 10 ต้น ค่าการเจริญเติบโตถูกคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยในระดับกระถางก่อนนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

เมื่อใช้ค่า EC ของดินก่อนปลูกผักบุ้งจีนเป็นตัวแปรร่วมแล้ววิเคราะห์ ANCOVA ผลการศึกษาพบว่าการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง โดยค่าที่ปรับแล้ว (adjusted means) แสดงในตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์พบว่า ชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะ และชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด มีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนสูงที่สุดหลังจากควบคุมอิทธิพลของความเค็มของดินแล้ว ในขณะที่ชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยจอกร่วมกับมูลม้า และชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลม้าเพียงอย่างเดียวให้

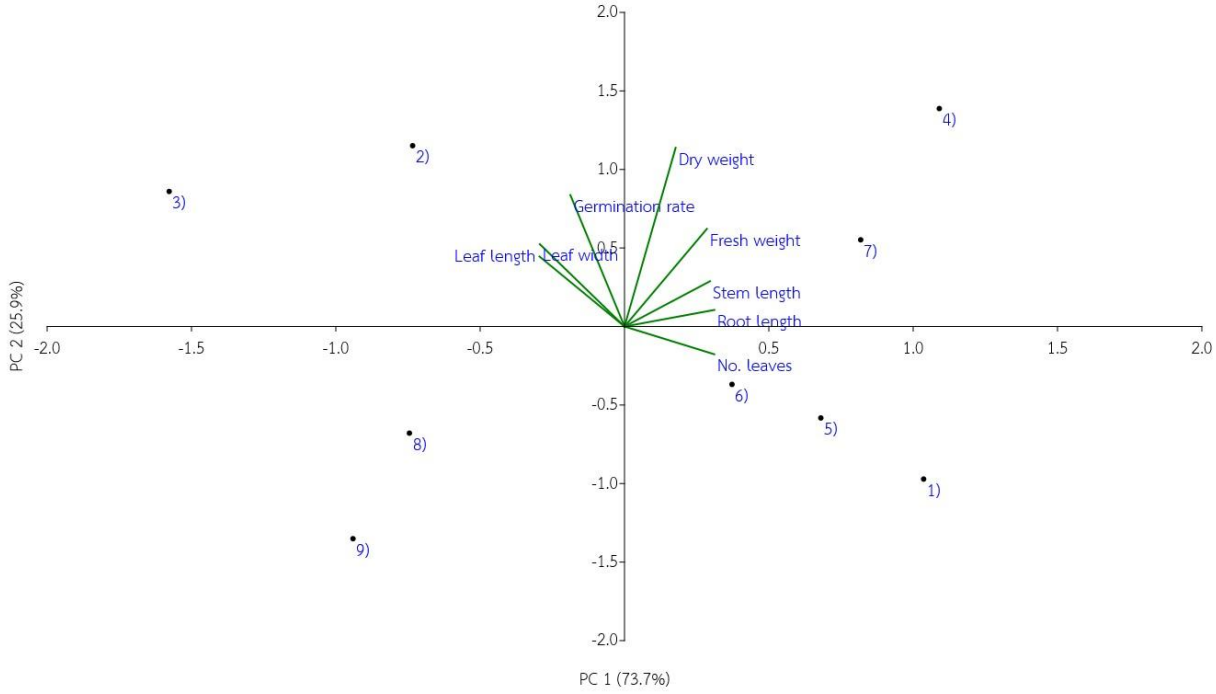
ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนต่ำที่สุด ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วย ANOVA แบบไม่ควบคุมตัวแปรร่วม ซึ่งยังสะท้อนอิทธิพลของค่า EC ที่สูงต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนมากกว่าผลของชนิดวัสดุปรับปรุงดิน แสดงให้เห็นว่าเมื่อควบคุมผลของความเค็มแล้ว วัสดุปรับปรุงดินมีบทบาทโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนอย่างชัดเจน

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้ว (Adjusted means) ของพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วันหลังปลูก ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA)

ชุดการทดลอง	พารามิเตอร์							
	อัตราการงอก (%)	ความยาวลำต้น (cm)	ความยาวราก (cm)	จำนวนใบ (/ต้น)	ความยาวใบ (cm)	ความกว้างใบ (cm)	น้ำหนักสด (g)	น้ำหนักแห้ง (g)
1) ไม่ปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)	70.681	16.324	8.268	5.407	3.843	0.856	1.146	0.090
2) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 3,200 kg/ไร่	96.232	13.239	4.363	2.111	5.983	1.350	0.980	0.087
3) ปรับปรุงดินด้วยจอก 3,200 kg/ไร่	91.268	9.101	2.293	0.604	7.396	1.569	0.757	0.086
4) ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะ 3,200 kg/ไร่	88.826	20.956	9.343	5.194	4.137	0.981	1.332	0.098
5) ปรับปรุงดินด้วยมูลม้า 3,200 kg/ไร่	85.146	19.269	8.544	4.813	4.018	0.913	1.051	0.081
6) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่	85.595	17.984	7.079	4.237	4.253	1.033	1.035	0.082
7) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่	85.117	19.354	8.474	4.736	4.125	0.998	1.179	0.093
8) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่	85.325	11.869	4.371	2.098	5.488	1.250	0.753	0.079
9) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600kg/ไร่	90.142	10.921	3.430	2.441	5.307	1.184	0.726	0.068

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้ว (Adjusted means) คำนวณภายหลังจากควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินก่อนปลูกให้เป็นตัวแปรร่วม (covariate) ค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้วดังกล่าวถูกนำไปใช้เป็นตัวแปรนำเข้าในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) ต่อไป

เมื่อใช้ค่าการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่ปรับแล้วจากการวิเคราะห์ ANCOVA มาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) พบว่าแกน PC1 (ร้อยละ 73.7) อธิบายความแปรปรวนด้านขนาดและชีวมวลของผักบุ้งจีน ได้แก่ ความยาวลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสด ในขณะที่ PC2 (ร้อยละ 25.9) อธิบายความแปรปรวนที่เกี่ยวข้องกับอัตราการงอกและน้ำหนักแห้ง ผลการวิเคราะห์ PCA แสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายของชุดการทดลองอย่างชัดเจน โดยชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะ และชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด กระจุกตัวอยู่บริเวณด้านขวาบนของกราฟ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าการเจริญเติบโต และชีวมวลของผักบุ้งจีนในระดับสูงเมื่อพิจารณาจากค่าที่ปรับแล้ว (adjusted means) ในทางตรงกันข้าม ชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยจอกร่วมกับมูลม้า และชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยจอกร่วมกับมูลแพะกระจายตัวอยู่บริเวณด้านซ้ายล่างของกราฟ ตำแหน่งดังกล่าวสะท้อนให้เห็นรูปแบบการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ และสนับสนุนผลการวิเคราะห์เชิงสถิติจาก ANCOVA (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แผนภาพ Biplot ของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) แสดงพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วันหลังปลูก โดยใช้ค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้ว (adjusted means) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) ซึ่งควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินก่อนปลูกเป็นตัวแปรร่วม องค์ประกอบหลัก PC1 และ PC2 อธิบายความแปรปรวนรวมได้ 73.7 และ 25.9 % ตามลำดับ

หมายเหตุ: 1) ไม่ปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม) 2) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 3,200 kg/ไร่
3) ปรับปรุงดินด้วยจอก 3,200 kg/ไร่ 4) ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะ 3,200 kg/ไร่
5) ปรับปรุงดินด้วยมูลม้า 3,200 kg/ไร่ 6) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่
7) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่
8) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่
9) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่

2. สมบัติดินภายหลังจากเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วัน

2.1 ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)

เมื่อพิจารณาค่า pH ของดินที่ระยะหลังปลูกผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วัน พบว่าค่า pH ในชุดการทดลองที่มีการปรับปรุงดิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.88 – 8.22 (ตารางที่ 4) ประเมินได้ว่าดินมีสภาพเป็นด่างปานกลาง ค่า pH ดังกล่าวมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้หลังการหมักวัสดุอินทรีย์เป็นเวลา 14 วัน แสดงให้เห็นว่าการปลูกผักบุ้งจีนในระยะเวลา 30 วัน ยังไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินอย่างเด่นชัด การคงอยู่ของค่า pH ในระดับด่างปานกลางอาจเกี่ยวข้องกับบทบาทของอินทรียวัตถุจากวัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งมีประจุลบและสามารถดูดซับประจุบวกได้สูง ส่งผลให้ดินมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH หรือมี buffering capacity เพิ่มขึ้น (Faculty of Soil Science Staff, 2005) [15] เนื่องจากการเติมอินทรียวัตถุลงไปในดินเป็นการเพิ่มแหล่งประจุลบ จึงช่วยให้ดินสามารถดูดซับไอออนที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น H^+, Fe^{2+}, Al^{3+} และ Mn^{2+} ได้มากขึ้น ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Yang et al. (2020) [18] ที่รายงานว่าการเติมอินทรียวัตถุสามารถเพิ่มค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และ buffering capacity ของดิน ส่งผลให้ค่า pH มีเสถียรภาพมากขึ้น แม้มีการปลูกพืชติดต่อกันหลายฤดูกาล

2.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

ภายหลังจากเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วัน ค่า EC ของดินในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินหลังหมัก 14 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.68 – 5.46 dS/m ประเมินได้ว่าดินมีสภาพเค็มเล็กน้อยถึงเค็มปานกลาง (Faculty of Soil Science Staff, 2005) [15] โดยชุดการทดลองที่มีการปรับปรุงดินด้วยมูลม้าร่วมกับจอกมีค่าเฉลี่ย EC สูงที่สุดเท่ากับ 5.46 dS/m สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลม้าร่วมกับแหนเป็ด ซึ่งมีค่าเฉลี่ย EC เท่ากับ 5.33 dS/m (ตารางที่ 4) แนวโน้มการลดลงของค่า EC ภายหลังการปลูกผักบุ้งจีนอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการชะล้างของไอออนพื้นฐาน (basic cations) เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+} และ Na^+ ออกจากผิวหน้าดิน รวมถึงการดูดใช้ไอออนดังกล่าวโดยพืชปลูกในระหว่างการเจริญเติบโต ส่งผลให้ความเข้มข้นของเกลือละลายน้ำในดินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะหลังหมักวัสดุอินทรีย์ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Wang et al. (2023) [11] ที่รายงานว่าการปรับปรุงดินด้วยวัสดุอินทรีย์ร่วมกับถ่านชีวภาพสามารถช่วยลด ค่า EC ของดินได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเกี่ยวข้องกับการตรึง Na^+ และการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการลดลงของค่า EC ที่พบในการศึกษาครั้งนี้ภายหลังการปลูกผักบุ้งจีน

2.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM)

ปริมาณ OM ของดินในทุกชุดการทดลองภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วัน มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินหลังหมัก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.24 – 1.77% ประเมินได้ว่าดินมีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (Faculty of Soil Science Staff, 2005) [15] ชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยจอกมีค่าเฉลี่ย OM เท่ากับ 1.41% ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำ เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดินที่มีค่าเฉลี่ย OM เท่ากับ 1.24% (ตารางที่ 4) แนวโน้มการลดลงของปริมาณ OM หลังการปลูกผักบุ้งจีนอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ (mineralization) โดยจุลินทรีย์ในดิน รวมถึงการใช้ธาตุอาหารจากอินทรียวัตถุโดยพืชปลูกในระหว่างการเจริญเติบโต ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Subedi et al. (2023) [12] ที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยคอกในการปรับปรุงดินสามารถเพิ่มปริมาณ OM ได้ในระยะเริ่มต้น แต่ปริมาณดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงภายหลังการปลูกพืช เนื่องจากกระบวนการ mineralization และการดูดใช้ธาตุอาหารโดยพืช

2.4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ของชุดการทดลองที่มีการปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ดภายหลังจากเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วัน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.60% ประเมินได้ว่าดินมีปริมาณ TKN สูง ซึ่งค่าเฉลี่ยดังกล่าวสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะร่วมกับแหนเป็ด มูลแพะ มูลม้า มูลม้าร่วมกับแหนเป็ด และมูลแพะร่วมกับจอก ซึ่งมีค่าเฉลี่ย TKN อยู่ในช่วง 0.44 – 0.55% (ตารางที่ 4) โดยชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด และมูลแพะร่วมกับแหนเป็ด สามารถจัดอยู่ในกลุ่มดินที่มีปริมาณ TKN สูง ในขณะที่ชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลสัตว์เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับวัชพืชน้ำบางชนิดมีปริมาณ TKN อยู่ในระดับปานกลาง ส่วนชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดินมีค่าเฉลี่ย TKN ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.03% ซึ่งต่ำกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ประเมินได้ว่าดินมีปริมาณ TKN ต่ำมาก (ตารางที่ 4) เมื่อเปรียบเทียบกับดินหลังหมัก 14 วัน พบว่าปริมาณ TKN หลังการปลูกผักบุ้งจีนครบ 30 วันมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ในดิน และการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนอนินทรีย์ในรูป NH_4^+ และ NO_3^- รวมถึงการดูดใช้โดยพืชปลูก

ปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+) ของชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะร่วมกับจอกภายหลังจากเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วัน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 3.83 mg/kg สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะเพียงอย่างเดียว มูลแพะร่วมกับแหนเป็ด มูลม้าร่วมกับแหนเป็ด และจอกเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่าเฉลี่ย NH_4^+ อยู่ในช่วง 2.68 – 3.58 mg/kg (ตารางที่ 4) ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดินมีค่าเฉลี่ย NH_4^+ ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.21 mg/kg ซึ่งสะท้อนถึงปริมาณแหล่งไนโตรเจนอินทรีย์ที่จำกัดในดินชุดควบคุมเมื่อเปรียบเทียบกับดิน หลังหมัก 14 วัน พบว่าปริมาณ NH_4^+ ภายหลังการปลูกผักบุ้งจีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการ ammonification ที่เกิดขึ้นระหว่างการปลูกพืช โดยเฉพาะในดินที่มีอัตราส่วน C/N ค่อนข้างแคบ ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วและปลดปล่อย NH_4^+ ออกมาในดินมากขึ้น

สำหรับปริมาณไนเตรท (NO_3^-) พบว่าชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยจอกเพียงอย่างเดียวภายหลังจากเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วัน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.26 mg/kg ซึ่งสูงกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดินมีค่าเฉลี่ย NO_3^- ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.22 mg/kg (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตาม ปริมาณ NO_3^- ในทุกชุดการทดลองหลังปลูกผักบุ้งจีน 30 วันมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินหลังหมัก 14 วัน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการดูดใช้โดยพืชและการชะล้าง รวมถึงการจำกัดกระบวนการ nitrification ภายใต้สภาพดินที่มีความเค็มและค่า pH อยู่ในระดับด่างปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ NO_3^- หลังการปลูกมีค่าต่ำกว่าปริมาณ NH_4^+ ในทุกชุดการทดลอง ซึ่งอาจสะท้อนถึงการเกิดสมดุล NH_4^+/NH_3 ภายใต้สภาพดินด่าง ส่งผลให้ NH_4^+ บางส่วนเปลี่ยนรูปเป็น NH_3 และระเหยออกจากดินแทนที่จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น NO_3^- ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Ai et al. (2023) [13] ที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในดินเค็มสามารถนำไปสู่การสะสม NH_4^+ มากกว่า NO_3^- เนื่องจากความเค็มและค่า pH สูงมีผลยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่ม nitrifier และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ nitrification (Gao et al., 2020) [17], (Pasmionka et al.2021) [18] ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบไนโตรเจนในการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่า ความเค็มและความเป็นด่างของดินเป็นปัจจัยร่วมที่มีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมวัฏจักรไนโตรเจน และควรพิจารณาในการจัดการดินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน

2.5 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-})

ปริมาณ PO_4^{3-} ของชุดการทดลองที่มีการปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ดภายหลังจากเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วัน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 22.29 mg/kg ประเมินได้ว่าดินมีปริมาณฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง ซึ่งสูงกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดินมีค่าเฉลี่ย PO_4^{3-} ต่ำที่สุดเท่ากับ 12.13 mg/kg ซึ่ง

ต่ำกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4) เมื่อพิจารณาร่วมกับค่า pH ของดิน พบว่าชุดการทดลองที่มีการปรับปรุงดินมีค่า pH อยู่ในช่วง 7.98 – 8.22 ซึ่งเป็นช่วงที่อาจจำกัดความสามารถในการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสโดยพืช เนื่องจากฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเกิดการตกตะกอนหรือถูกตรึงร่วมกับไอออน Ca^{2+}, Na^{+} และ Mg^{2+} ทำให้อยู่ในรูปที่พืชดูดใช้ได้ยาก ดังนั้นแม้ปริมาณ PO_4^{3-} ที่ตรวจวัดได้หลังปลูกผักบุ้งจีน 30 วันจะอยู่ในระดับค่อนข้างสูง แต่ความพร้อมใช้ของฟอสฟอรัสโดยพืชอาจลดลงภายใต้สภาพดินด่างปานกลาง ส่งผลให้ปริมาณ PO_4^{3-} หลังปลูกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับดินหลังหมัก 14 วัน ในขณะเดียวกัน ชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดินมีค่า pH หลังปลูกเท่ากับ 6.13 ซึ่งอยู่ในสภาพดินเป็นกรด ภายใต้ค่า pH ต่ำกว่า 6.50 ฟอสฟอรัสมีแนวโน้มถูกตรึงร่วมกับ Fe^{3+}, Al^{3+} และ Mn^{2+} ทำให้อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ส่งผลให้ปริมาณ PO_4^{3-} ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีจำกัด ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Saelim (2016) [19] ที่รายงานว่าการใช้วัสดุอินทรีย์ร่วมกับมูลสัตว์ช่วยเพิ่มการสะสมฟอสฟอรัสในดินภายใต้สภาพด่าง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Khan et al. (2022) [20] ที่พบว่าวัสดุอินทรีย์สามารถช่วยลดการตรึงฟอสฟอรัสในดินผ่านบทบาทของกรดอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ซึ่งสามารถจับกับ Al^{3+} และ Fe^{3+} ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น วัสดุอินทรีย์ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์กลุ่ม phosphate-solubilizing microorganisms (PSM) ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์และกรดอินทรีย์ที่ช่วยละลายฟอสฟอรัสในดินได้ (Saelim, 2016) [19]

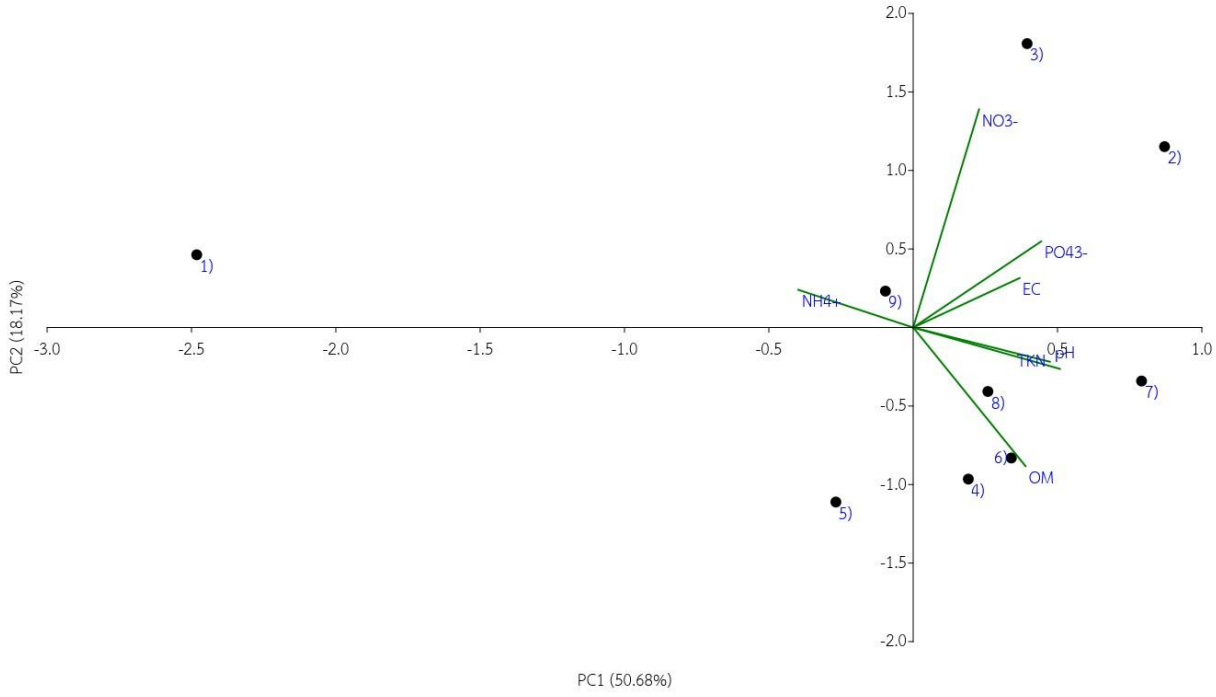
ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีของดินภายหลังการเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วันหลังปลูก

ชุดการทดลอง	พารามิเตอร์						
	pH	EC (dS/m)	OM (%)	TKN (%)	NH_4^+ (mg/kg)	NO_3^- (mg/kg)	PO_4^{3-} (mg/kg)
1) ไม่ปรับปรุงดิน(ชุดควบคุม)	6.13^{d}	2.68^{f}	1.24^{e}	0.03^{c}	0.21^{c}	0.22^{e}	12.13^{f}
2) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 3,200 kg/ไร่	7.98^{c}	4.09^{e}	1.52^{c}	0.60^{a}	2.77^{b}	1.14^{b}	22.29^{a}
3) ปรับปรุงดินด้วยจอก 3,200 kg/ไร่	8.22^{a}	4.77^{b}	1.41^{cd}	0.37^{b}	2.68^{bc}	1.26^{a}	19.15^{bc}
4) ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะ 3,200 kg/ไร่	8.15^{ab}	4.43^{c}	1.75^{a}	0.49^{ab}	3.58^{ab}	0.68^{d}	17.99^{c}
5) ปรับปรุงดินด้วยมูลม้า 3,200 kg/ไร่	8.10^{b}	4.80^{b}	1.54^{b}	0.55^{ab}	3.47^{ab}	0.58^{d}	16.24^{d}
6) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่	8.17^{ab}	4.16^{d}	1.61^{b}	0.44^{ab}	3.83^{a}	0.69^{d}	20.40^{b}
7) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่	8.14^{ab}	4.40^{c}	1.54^{b}	0.46^{ab}	3.12^{b}	0.69^{d}	14.50^{e}
8) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่	7.88^{c}	5.33^{ab}	1.77^{a}	0.46^{ab}	3.47^{ab}	0.78^{c}	19.24^{bc}
9) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่	8.11^{b}	5.46^{a}	1.37^{d}	0.37^{b}	3.11^{b}	0.73^{cd}	15.28^{de}
F-test	882.30	159.27	63.22	68.45	3.14	128.83	288.00
p-value	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.044	< 0.001	< 0.001

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (n = 3) ตัวอักษรที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ตามวิธีการทดสอบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

เมื่อนำสมบัติดินหลังการปลูกผักบุ้งจีนของแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) พบว่าแกน PC1 อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 51.26 และมีความสัมพันธ์กับค่า pH, ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM), ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN), ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และการนำไฟฟ้า (EC) แกน PC1 จึงสะท้อนถึงความอุดมสมบูรณ์และสมบัติทางเคมีของดินโดยรวมภายหลัง

การปลูกผักบุ้งจีน ในขณะที่แกน PC2 อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 19.78 และมีความสัมพันธ์เด่นกับปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ผลการกระจายตัวของชุดการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะ และชุดที่ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ดร่วมกับมูลม้า มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า OM, TKN และ PO_4^{3-} ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของมูลสัตว์ในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินภายหลังการปลูกผักบุ้งจีน ในทางตรงกันข้าม ชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วย แหนเป็ดและจอกมีความสัมพันธ์กับค่า NO_3^- ที่สูงหลังการปลูก รูปแบบดังกล่าวอาจสะท้อนถึงการสะสมไนเตรทในดินมากกว่าการถูกดูดใช้โดยพืช ส่งผลให้การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนในชุดการทดลองดังกล่าวไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แผนภาพ Biplot การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ของสมบัติทางเคมีของดินภายหลังการปลูกผักบุ้งจีนเป็นเวลา 30 วัน โดยองค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) มีความสัมพันธ์กับตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน ได้แก่ pH, ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM), ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN), ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ขณะที่องค์ประกอบหลักที่ 2 (PC2) มีความสัมพันธ์หลักกับความเข้มข้นของไนเตรท (NO_3^-)

หมายเหตุ: 1) ไม่ปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

2) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 3,200 kg/ไร่

3) ปรับปรุงดินด้วยจอก 3,200 kg/ไร่

4) ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะ 3,200 kg/ไร่

5) ปรับปรุงดินด้วยมูลม้า 3,200 kg/ไร่

6) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่

7) ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ด 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่

8) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลแพะ 1,600 kg/ไร่

9) ปรับปรุงดินด้วยจอก 1,600 kg/ไร่ ร่วมกับมูลม้า 1,600 kg/ไร่

สรุปและอภิปรายผล

การปรับปรุงดินด้วยวัชพืชน้ำเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วันมีความยาวลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลสัตว์เพียงอย่างเดียวหรือมูลสัตว์ร่วมกับวัชพืชน้ำ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินก่อนปลูกที่ต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ใช้แหนเป็ดหรือจอกเพียงอย่างเดียว เมื่อเทียบกับชุดที่ใช้มูลแพะหรือมูลม้า ในทางตรงกันข้ามชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลม้าร่วมกับจอกให้การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนต่ำที่สุด และแตกต่างจากหลายชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่า EC ก่อนปลูกเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 9.11 dS/m ซึ่งจัดอยู่ในระดับดินเค็มจัด (Faculty of Soil Science Staff, 2005) [15] ภายใต้สภาพดังกล่าวผักบุ้งจีนมีความยาวลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 12.55 cm, 4.45 cm และ 0.79 g/ต้น ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดิน แม้จะมีค่า EC เฉลี่ยต่ำที่สุด (4.86 dS/m; ดินเค็มปานกลาง) (Faculty of Soil Science Staff, 2005) [15] แต่มีค่าอินทรียวัตถุ (OM), ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ต่ำที่สุด ส่งผลให้การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ โดยมีความยาวลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 12.03 cm, 5.58 cm และ 0.97 g/ต้น ซึ่งไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลม้าร่วมกับจอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าทั้งความเค็มของดินและความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนอายุ 30 วัน จากทุกชุดการทดลองในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าที่รายงานในงานวิจัยก่อนหน้า เช่น Nuallprom (2005) [10] ซึ่งรายงานว่าการหว่านเมล็ดผักบุ้งจีนในอัตราที่แตกต่างกันทำให้ต้นมีความสูง 29.5 – 32.6 cm/ต้น จำนวนใบ 5.67 – 8.13 ใบ/ต้น และน้ำหนักสด 3.4 – 6.3 g/ต้น ที่อายุ 25 วัน อีกทั้งยังต่ำกว่างานวิจัยของ Potchiranukul (2000) [21] ที่พบว่าผักบุ้งจีนอายุ 20 วันมีความสูงเฉลี่ย 23.92 cm/ต้น จำนวนใบ 7.43 ใบ/ต้น และน้ำหนักสด 9.57 g/ต้น ซึ่งปลูกในดินที่มีค่า pH 7.39, EC 3.08 dS/m และ OM 2.05% จัดอยู่ในกลุ่มดินด่างอ่อนเค็มน้อย และมีอินทรียวัตถุปานกลาง (Faculty of Soil Science Staff, 2005) [15] เมื่อเปรียบเทียบสมบัติดินดังกล่าวกับการศึกษานี้ พบว่าสภาพดินในงานวิจัยก่อนหน้ามีระดับความเค็มและค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนมากกว่า โดยแตกต่างจากบางชุดการทดลองในงานวิจัยนี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้น ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่ต่ำกว่าการศึกษาก่อนหน้าในการทดลองนี้อาจเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินด้วยมูลแพะและมูลม้าร่วมกับวัชพืชน้ำ ซึ่งส่งผลให้ค่า EC และค่า pH ของดินอยู่ในระดับสูงกว่าช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน และมีผลต่อการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะในระยะเริ่มต้นของการปลูกที่พืชมีความไวต่อความเค็มและความเป็นด่างของดิน

ผลการวิเคราะห์ ANCOVA และ PCA สนับสนุนข้อสังเกตดังกล่าว โดยพบว่าการใช้มูลแพะร่วมกับแหนเป็ดมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและอัตราการงอกของผักบุ้งจีนในระดับสูง เมื่อพิจารณาค่าที่ปรับแล้วจากการวิเคราะห์ ANCOVA และแตกต่างจากบางชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับ Subedi et al. (2023) [12] ที่รายงานว่าการใช้มูลสัตว์สามารถเพิ่มผลผลิตของผักบุ้งจีนได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และสอดคล้องกับ Wang et al. (2023) [11] ที่ยืนยันว่าการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพ (biochar) สามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ ลดความเค็มของดิน และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Ai et al. (2023) [13] ที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินช่วยเพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดินและปรับปรุงสมบัติดิน ส่งผลให้พืชมีความสามารถในการทนต่อสภาพดินเค็มได้ดีขึ้น ในทางตรงกันข้ามการใช้จอกเพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับมูลม้ามีความสัมพันธ์กับค่า EC และปริมาณ NO_3^- ที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่น และมีแนวโน้มสัมพันธ์กับค่าการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่า

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งอาจส่งผลจำกัดต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์เชิงสถิติดังกล่าว

ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วัน แสดงให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบจากความเค็มและปรับปรุงสมบัติของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากขึ้น โดยพบว่าค่า EC มีแนวโน้มลดลง และค่า OM และ TKN ในบางชุดการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Ai et al. (2023) [13] ที่รายงานว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสามารถเพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์และการหมุนเวียนธาตุอาหารภายใต้สภาพดินเค็มได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับผลของการใช้มูลแพะในการศึกษานี้ที่ช่วยปรับปรุงสมบัติดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Wang et al. (2023) [11] ที่รายงานว่าการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุของดินได้ถึงร้อยละ 58.3 และช่วยลดผลกระทบจากความเค็มต่อการเจริญของผักบุ้งจีน ผลการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลแพะหรือมูลม้าทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังการปลูกผักบุ้งจีนสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการปลูก และแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Subedi et al. (2023) [12] ที่ยืนยันว่าการใช้มูลสัตว์ในการปรับปรุงดินสามารถเพิ่มความสูง จำนวนใบ และผลผลิตของผักบุ้งจีนได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี ผลลัพธ์ดังกล่าวสนับสนุนข้อสรุปว่าในการศึกษานี้ว่ามูลแพะมีศักยภาพสูงในการปรับปรุงสมบัติดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนภายใต้สภาพดินที่มีความเค็ม อย่างไรก็ตามการปรับปรุงดินด้วยจอกให้ผลเชิงลบต่อการเจริญของผักบุ้งจีน โดยสัมพันธ์กับค่า EC และ NO_3^- ที่สูงขึ้นหลังปลูก และมีแนวโน้มให้ค่าการเจริญเติบโตต่ำกว่าชุดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Maikami (2021) [5] ที่ระบุว่าวัสดุอินทรีย์บางชนิดจากชุมชนสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีโดยไม่กระทบต่อพืชปลูก ในการศึกษานี้ชุดการทดลองที่ใช้จอกเพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับมูลสัตว์มีค่า EC และปริมาณ NO_3^- ในดินสูงขึ้น ซึ่งอาจจำกัดการเจริญของรากและลำต้น แม้ว่าจะมีอัตราการงอกสูงและการตอบสนองด้านความยาวและความกว้างใบจากไนโตรเจน ผลที่พบสะท้อนให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงดินแตกต่างกัน และผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของดินและระดับความเค็มร่วมด้วย

สมบัติดินหลังปลูกผักบุ้งจีนที่อายุ 30 วันพบว่าพารามิเตอร์ดินส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับระยะก่อนปลูก โดยเฉพาะค่าการนำไฟฟ้า (EC) ซึ่งลดลงในทุกชุดการทดลอง และมีความแตกต่างจากค่าก่อนปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สะท้อนถึงการลดความเข้มข้นของเกลือละลายน้ำในดินภายหลังการปลูกผักบุ้งจีน ชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยแหนเป็ดมีค่า EC ต่ำที่สุดเท่ากับ 4.09 dS/m ซึ่งอยู่ในช่วงดินเค็มเล็กน้อยถึงปานกลาง (2–4 dS/m) (Faculty of Soil Science Staff, 2005) [15] ขณะเดียวกันยังมีค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) อยู่ในระดับสูง (0.60% และ 22.29 mg/kg ตามลำดับ) แม้ว่าปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) จะอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (1.52%) ในทางตรงกันข้ามชุดการทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยมูลม้าร่วมกับจอกมีค่า EC สูงที่สุดเท่ากับ 5.46 dS/m ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินเค็มปานกลาง และมีค่า OM และ TKN ต่ำที่สุด (1.37% และ 0.37% ตามลำดับ) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ให้ค่าการเจริญเติบโตสูง ($p < 0.05$) รูปแบบดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดมีอิทธิพลต่อสมบัติดินแตกต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ ANCOVA โดยใช้ค่า EC ของดินก่อนปลูกเป็นตัวแปรร่วม แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอิทธิพลของความเค็มช่วยให้สามารถแยกผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยค่าการเจริญเติบโตที่ปรับแล้วมีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการวิเคราะห์พบว่าชุดการทดลองที่ใช้แหนเป็ดร่วมกับมูลแพะให้ค่าการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่สูงและมีความสม่ำเสมอที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้ว

(adjusted means) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ซึ่งแสดงให้เห็นการจัดกลุ่มของชุดการทดลอง โดยชุดที่ใช้แหนเป็ดร่วมกับมูลแพะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับตัวแปรด้านการเจริญเติบโตและชีวมวลของผักบุ้งจีนมากที่สุด ในขณะที่ชุดการทดลองที่ใช้จอกเพียงอย่างเดียวหรือจอกร่วมกับมูลสัตว์ มีความสัมพันธ์กับค่าไนเตรท (NO_3^-) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ที่สูง แต่สัมพันธ์กับค่าการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนในระดับต่ำ และแยกออกจากกลุ่มที่ให้ผลผลิตสูงอย่างชัดเจนบนแกนองค์ประกอบหลัก ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการใช้ ANCOVA ร่วมกับ PCA เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการแยกและอธิบายบทบาทของวัสดุอินทรีย์ภายใต้สภาพดินที่มีความเค็มแตกต่างกัน

ดังนั้น ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติจากผลการศึกษาครั้งนี้ คือควรพิจารณาใช้แหนเป็ดร่วมกับมูลแพะเป็นวัสดุปรับปรุงดินสำหรับการปลูกผักบุ้งจีนภายใต้สภาพดินที่มีความเค็มปานกลาง เนื่องจากให้ค่าการเจริญเติบโตและชีวมวลสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ภายใต้เงื่อนไขของการทดลองนี้ อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงดินด้วยวัสดุอินทรีย์ที่แตกต่างกันอาจส่งผลให้สมบัติดิน เช่น ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และปริมาณธาตุอาหารพืช ที่เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนหรือพืชปลูกชนิดอื่น ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุอินทรีย์ควรอาศัยการประเมินสมบัติดินเบื้องต้น โดยเฉพาะระดับความเค็มและค่า pH ก่อนการปลูก เพื่อให้การจัดการดินมีความเหมาะสมกับชนิดดิน ระดับความเค็มเริ่มต้น และช่วงเวลาการเพาะปลูก อันจะช่วยลดความเสี่ยงต่อผลกระทบเชิงลบต่อการเจริญของพืชและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

[1] Phodawattana, C., and Chawapradit, P. (1996). *Chinese water spinach*. Horticultural Promotion Division, Department of Agricultural Extension, Bangkok, Thailand. (in Thai)

[2] Wilaiporn, S. (2018). Effect of aerobic compost and chemical fertilizers on water convolvulus yield. *Thai Agricultural Research Journal*, *37*(1), 48-57. (in Thai)

[3] Saengngam, T., Bootpetch, S., and Hengcharoen, Anut. (2019). Management of chemical fertilizers based on soil amendments to increase yield of water convolvulus (*Ipomoea aquatica* Forsskal) in Pak Chong soil series. *Agricultural Science and Management Journal*, *2(3),* 94-104. (in Thai)

[4] Horticultural Research Institute. (2019). *Chinese water spinach cultivation*. Department of Agriculture, Thailand. Retrieved from https://www.doa.go.th/hort/?attachment_id=4033 (in Thai)

[5] Maikami, M. (2021). Effect of soil containing coffee grounds on germination and growth of water convolvulus seedling. *Journal of Science and Science Education*, *4*(2), 155-163. (in Thai)

[6] Sibounnavong, P., Sysuphanthong, P., Xay, L., Phoutasay, P., Promrim, K., Pongnakand, W., and Soytong, K. (2006). Application of biological products for organic crop production of Kangkong (*Ipomoea aquatica*). *International Journal of Agricultural Technology*, 2, 177-189.

[7] Pornmeeyoo, S., Chittaladakorn, A., and Pataradelok, H. (2012). Effect of cow manure, compost and chemical fertilizers on water convolvulus (*Ipomoea aquatica*) production. In *The 2nd STOU Graduate Research Conference, Sukhothai Thammathirat Open University* (pp. 1-12). (in Thai)

[8] Boonluea, S., and Somnuek, S. (2022). *Study of suitability of pig manure application ration to sesame cultivation in organic paddy field*. Ubon Ratchathani Field Crops Research Center, Department of Agriculture, Thailand. (in Thai)

[9] Rostaei, M., Fallah, S., Carrubba, A., and Lorigooini, Z. (2024). Organic manures enhance biomass and improve content, chemical compounds of essential oil and antioxidant capacity of medicinal plants: a review. *Heliyon*, *10*(17). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36693

[10] Nuallprom, S. (2005). *Effects of seeding rate on yield and quality standards of Chinese water spinach (Ipomoea aquatica* Forsk*.)*. Undergraduate special problem, Kasetsart University, Nakhon Pathom, Thailand. (in Thai)

[11] Wang, X., Zhou, Y., Yao, G., Lin, Z., Xu, L., Jiang, Y., Jin, Z., Shan, S., and Ping, L. (2023). Responses of aquatic vegetables to biochar amended soil and water environments: a critical review. *Royal Society of Chemistry*, *13*, 4404-4421. https://doi.org/10.1039/D2RA04847G

[12] Subedi, P., Bhattarai, P., Lamichhane, B., Khanal, A., and Shrestha, J. (2023). Effect of different levels of nitrogen and charcoal on growth and yield traits of chili (*Capsicum annuum* L.). *Heliyon*, *9*(2), Article e13353. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13353

[13] Ai, F., He, L., Li, Q., Li, B., Zhang, K., Yang, H., and Zhang, C. (2023). Vermicompost combined with soil conditioner improves the ecosystem multifunctionality in saline-alkali land. *Water*, *15*(17), Article 3075. https://doi.org/10.3390/w15173075

[14] Boonpun, B., and Yimpoolsap, S. (2022). Effects of aquatic weeds and animal manure on soil properties. In *The 5th CRU-National Conference in Science and Technology*, *Chandrakasem Rajabhat University*, *Bangkok, Thailand* (pp. 184-193). (in Thai)

[15] Faculty of Soil Science Staff. (2005). *Introduction to Soil Science* (10th ed.). Bangkok, Kasetsart University. (in Thai)

[16] Pongvichian, P. (2017). *Agriculture in saline soils of Thailand to cope with food demand*. Land Management Research and Development Division, Land Development Department, Bangkok, Thailand. (in Thai)

[17] Gao, Y., Wang, X., Li, J., Lee, C. T., Ong, P. Y., Zhang, Z., and Li, C. (2020). Effect of aquaculture salinity on nitrification and microbial community in moving bed bioreactors with immobilized microbial granules. *Bioresource Technology*, *297*, Article 122427. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122427

[18] Pasmionka, I. B., Bulski, K., Herbut, P., Boliglowa, E., Vieira, F. M. C., Bonassa, G., Bortoli, M., and de Pra, M. C. (2021). Toxic effect of ammonium nitrogen on the nitrification process and acclimatization of nitrifying bacteria to high concentrations of NH_4-N in wastewater. *Energies*, *14*, Article 5329. https://doi.org/10.3390/en14175329

[19] Saelim, S. (2016). *Organic fertilizer and utilization in Thailand*. Organic Matter Management Research and Development Group, Soil Biotechnology Division, Land Development Department. (in Thai)

[20] Khan, K. S., Ali, M. M., Naveed, M., Rehmani, M. I. A., Shafique, M. W., Ali, H. M., Abdelsalam, N. R., Ghareeb, R. Y., and Feng, G. (2022). Co-application of organic amendments and inorganic P increase maize growth and soil carbon, phosphorus availability in calcareous soil. *Frontiers in Environmental Science, 10*, Article 949371. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.949371

[21] Potchiranukul, R. (2000). *Effects of organic and biofertilizers on yield production of Chinese water spinach (Ipomoea aquatica Forsk.)*. Undergraduate special problem, Department of Horticulture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)