

ประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพต่อการปรับปรุงคุณสมบัติดินและการเจริญเติบโต ของต้นฟ้าทะลายโจรในพื้นที่จังหวัดนครนายก

กมลวรรณ หงษ์ทอง¹, สมมาส แก้วล้วน², และ พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ^{1*}

¹คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ประเทศไทย

*Corresponding author: phongthep@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาคุณสมบัติดินส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตและผลผลิตพืชในหลายพื้นที่ โดยพบมากในเขตเกษตรกรรมบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำซึ่งเคยมีการทับถมของตะกอนน้ำกร่อย ทำให้ดินมีข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช ขณะเดียวกัน ในช่วงการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ฟ้าทะลายโจรถูกนำมาใช้เป็นยาสมุนไพรอย่างแพร่หลายเพื่อบรรเทาอาการป่วย จึงได้มีการคาดการณ์ว่าในอนาคตอาจมีการนำมาใช้เพิ่มสูงขึ้น งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 5 ชนิด ได้แก่ ทะลายปาล์ม ลำต้นไผ่ ฟางข้าว และเหง้ามันสำปะหลังผสมกับขี้ข้าวโพด ในพื้นที่จังหวัดนครนายก เพื่อประเมินประสิทธิภาพการยกระดับคุณภาพดินควบคู่กับการผลิตพืชสมุนไพรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยศึกษาคุณสมบัติดิน ได้แก่ ค่า pH ปริมาณอินทรีย์วัตถุ คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน รวมถึงการเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้งของฟ้าทะลายโจร ผลการทดลองพบว่า ถ่านชีวภาพจากเศษซากพืชทั้ง 4 สูตร สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ประกอบด้วย ช่วยเพิ่มค่า pH ปริมาณคาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนในดิน โดยถ่านชีวภาพจากลำต้นไผ่สามารถปรับ pH ดินเพิ่มสูงสุด มีค่าเท่ากับ 7.28 เหมาะสมต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืช ขณะที่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวให้ผลดีในด้านการปรับปรุงปริมาณคาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจน ในดิน มีค่าเท่ากับ 8.20%, 14.14% และ 0.245% ตามลำดับด้านการเจริญเติบโตของฟ้าทะลายโจรพบว่ามวลชีวภาพสดสูงสุดในช่วง 30 วันแรก ก่อนลดลงในช่วง 60 วัน ขณะที่น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นต่อเนื่องตามอายุพืช และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยน้ำหนักแห้งรวมและความสูงไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าถ่านชีวภาพมีศักยภาพในการยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและการกักเก็บคาร์บอน โดยเฉพาะถ่านชีวภาพจากฟางข้าวเหมาะต่อการปรับปรุงดินอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การปรับปรุงดิน / ถ่านชีวภาพ / คุณสมบัติของดิน / สมุนไพรฟ้าทะลายโจร / ดินเสื่อมโทรม

Effectiveness of biochar application on soil properties and growth performance of *Andrographis paniculata* in Nakhon Nayok Province

Kamolwan Hongthong¹ Sommas Kaewluan² and Phongthep Hanpattanakit^{1*}

¹Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University, Thailand

²Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Thailand

*Corresponding author: phongthep@g.swu.ac.th

Abstract

Soil properties significantly affect crop growth and yield in many areas, particularly in agricultural lowlands along rivers where brackish water sediment deposition limits plant growth. During the COVID-19 pandemic, *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Wall ex Nees. was widely used as a herbal medicine to alleviate symptoms, leading to predictions of increased future demand. This study aimed to investigate the effects of soil improvement using biochar produced from 5 types of agricultural residues: palm stalks, bamboo stalks, rice straw, a mixture of cassava rhizomes and corn cobs in Nakhon Nayok Province. The effectiveness of biochar in improving soil quality while promoting environmentally friendly herbal crop production was evaluated. Soil properties, including pH, organic matter content, total carbon and nitrogen, were analyzed, along with the growth and dry weight of *Andrographis paniculata*. The results showed that biochar derived from all 4 treatments significantly improved soil quality by increasing pH, carbon, organic matter, and nitrogen contents. Bamboo biochar significantly increased soil pH to the highest value of 7.28, which is optimal for nutrient availability. Rice straw biochar showed strong performance in enhancing soil carbon, organic matter, and nitrogen contents, with values of 8.20%, 14.14%, and 0.245%, respectively. Regarding plant growth, fresh biomass of *Andrographis paniculata* peaked at 30 days and declined at 60 days, whereas dry weight increased continuously with plant age. At the end of the experiment, total dry weight and plant height did not differ significantly from the control treatment. In conclusion, biochar has strong potential to improve soil fertility and enhance carbon sequestration, with rice straw biochar being particularly suitable for sustainable soil improvement.

Keywords: Soil amendment / Biochar / Soil properties / *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Wall ex Nees / Degraded soil

1. บทนำ

ทรัพยากรดินของประเทศไทยมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรประมาณ 153 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.77 ของพื้นที่ทั้งหมด ในขณะที่เดียวกันพื้นที่เกษตรกรรมจำนวนมากยังมีคุณภาพดินต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก โดยพบว่าประมาณร้อยละ 33 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมดอยู่ในกลุ่มดินเสื่อมโทรม หรือดินที่มีข้อจำกัดต่อการทำการเกษตร เช่น ดินกรด ดินตื้น ดินเค็ม ดินเปรี้ยวจัด เป็นต้น [1] สภาพดินเสื่อมโทรมดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบต่อทำการเกษตรในหลายด้าน ตั้งแต่พื้นที่เพาะปลูกที่ลดลง การสูญเสียธาตุอาหารพืชในดิน ปริมาณผลผลิตที่ลดต่ำลง ไปจนถึงการเสื่อมสภาพของโครงสร้างดิน ทำให้ดินอุ้มน้ำได้ลดลง การแก้ปัญหาดินเสื่อมโทรมหรือคุณภาพดินต่ำ เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และช่วยเหลือเกษตรกรที่กำลังประสบปัญหาผลผลิตทางการเกษตรลดลงจากดินเสื่อมโทรมและคุณสมบัติดินไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพ (biochar) เพื่อแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรมโดยใช้ถ่านชีวภาพ ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งภาคการเกษตร เช่น ทะลายปาล์ม ลำต้นไม้ ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง และ ชังข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดให้คุณสมบัติของถ่านชีวภาพแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของชีวมวล มีผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเผา ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำและธาตุอาหาร [2] ช่วยลดความเป็นกรดของดิน ลดความเป็นพิษของเหล็กและอะลูมิเนียม และเพิ่มการเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส [3] นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน [4] และช่วยเพิ่มค่าความเป็นด่างของดิน รวมถึงธาตุอาหารหลัก เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวภายในมาก (ประมาณ 10–400 m²/g) มีความคงตัวสูง ย่อยสลายช้า และไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ จึงเหมาะสำหรับการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน การดูดซับสารปนเปื้อน และเป็นกลไกสำคัญในการกักเก็บคาร์บอนระยะยาวในดินได้ยาวนานและไม่ทำปฏิกิริยากับสารใด ๆ ยิ่งไปกว่านั้นสิ่งสำคัญที่ได้จากการใช้ถ่านชีวภาพคือการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยช่วยลดการเผาวัสดุเหลือทิ้งภาคการเกษตร ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น ปัญหาฝุ่น PM2.5 และก๊าซเรือนกระจก ด้วยสมบัติที่หลากหลายและประโยชน์เชิงสิ่งแวดล้อม ถ่านชีวภาพจึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในฐานะวัสดุเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน และเป็นแนวทางสำคัญในการฟื้นฟูดินเสื่อมโทรมอย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว

ถ่านชีวภาพ (biochar) เป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอนซึ่งผลิตจากกระบวนการแยกสลายชีวมวล (biomass) ด้วยความร้อน (pyrolysis) โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (slow pyrolysis) และ แบบเร็ว (fast pyrolysis) ซึ่งแตกต่างกันที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน [5] แบบช้าจะใช้เวลาในระดับชั่วโมง ที่อุณหภูมิระหว่าง 350-600°C ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ได้ผลผลิตเป็น น้ำมัน (bio-oil) ก๊าซ (bio-gas) และ ถ่านชีวภาพ (bio-char) ในอัตราส่วน 30 : 35 : 35 [6] ส่วนการแยกสลายแบบเร็วจะใช้เวลาในระดับวินาทีที่อุณหภูมิระหว่าง 500-1,000°C ได้ผลผลิตเป็นน้ำมัน (bio-oil) ก๊าซ (bio-gas) และ ถ่านชีวภาพ (bio-char) ในอัตราส่วน 75:13:12 และยังมีการศึกษาว่าหากใช้อุณหภูมิในการเผาไหม้เฉลี่ย 500°C จะได้ผลผลิตที่เป็นถ่านชีวภาพมากกว่า 50% [7] ดังนั้นการเลือกกระบวนการแบบช้าจึงเหมาะสมที่สุดหากต้องการปริมาณถ่านชีวภาพสูง ถ่านชีวภาพที่ได้มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่า พื้นที่ผิวมากกว่า และมีเถ้าน้อยกว่า ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งและสารปรับปรุงดิน [8] นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณคาร์บอนรวม (Total C) เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณไนโตรเจน (Total N) และฟอสฟอรัส (Total P) ลดลง ภาพจากกล้องจุลทรรศน์พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความหนาของผนังเซลล์ลดลงและความพรุนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [9]

ประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมากจากพืชเศรษฐกิจหลัก และยังมีเผชิญปัญหามลพิษทางอากาศจากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [10] จึงมีการผลักดันการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนและวัตถุดิบผลิตถ่านชีวภาพควบคู่ไปกับการจัดการเศษวัสดุ โดยช่วง ก.พ.-เม.ย. 2567 มีเศษวัสดุรวมประมาณ 48.6 ล้านตัน นำไปใช้แล้วประมาณ 29.7 ล้านตัน (61%) คิดเป็นมูลค่าเศรษฐกิจกว่า 3.3 พันล้านบาท [10] จากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีสถานะเป็นประจุลบ ทำให้สามารถช่วยปรับค่า pH ของดินและน้ำได้ นั่น ในทางการเกษตรจึงได้นำถ่านชีวภาพมาเป็นวัสดุในการปรับปรุงดินเปรี้ยว นอกจากนี้ คุณสมบัติที่เป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพสามารถดักจับธาตุอาหารไว้ไม่ให้ถูกชะล้างไปก่อนที่พืชจะดูดซึมไปใช้ได้ [11] จากการศึกษาของ กมลชนก เจริญศรี และคณะ (2560) พบว่า การเติมถ่านชีวภาพจากปาล์มน้ำมันในดินนาเปรี้ยวจัดช่วยเพิ่มค่า pH ดินจาก 3.6 เป็น 4.2 ภายใน 16 สัปดาห์ และเพิ่มธาตุอาหารสำคัญ เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิกอน โดยช่วยเปลี่ยนฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น แม้ใช้อัตราส่วนถ่านชีวภาพต่างกันแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเติมถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรลงในดินเปรี้ยวที่ใช้ปลูกหญ้าเทพท์ พบว่าเมื่อ [12] เติมถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 12 t ha⁻¹ ในดินเปรี้ยวช่วยลดความเป็นกรดแลกเปลี่ยนได้จาก 0.60 เป็น 0.39 cmol(c) kg⁻¹ เพิ่มค่า pH และ CEC ของดิน

รวมทั้งเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสและคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ส่งผลให้ผลผลิตและชีวมวลของหญ้าเทพที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลโดยตรงต่อปริมาณไนโตรเจนรวมในดิน [13]

ปัจจุบันประเทศไทย มีการปลูกพืชสมุนไพรมากถึง 89 ชนิด โดยมีการส่งออกวัตถุดิบสมุนไพรคุณภาพและผลิตภัณฑ์จากสมุนไพร เป็นอันดับ 1 ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คิดเป็นมูลค่ากว่า 12,211 ล้านบาท [14] สอดคล้องกับแผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566 - 2570 กำหนดเป้าหมายพื้นที่ปลูกพืชสมุนไพรที่ได้มาตรฐานเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 50,000 ไร่ และรัฐบาลยังได้กำหนดแนวทางส่งเสริมการพัฒนาสมุนไพรไทยโดยครอบคลุมตั้งแต่ต้นทางการผลิตไปจนถึงปลายทางการตลาด ซึ่งมีเป้าหมายหลักเพื่อยกระดับสมุนไพรไทยสู่ตลาดโลก และสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 สมุนไพรที่มีความพร้อมเพื่อการพัฒนาต่อยอด 3 รายการ ได้แก่ ขมิ้นชัน ฟ้าทะลายโจร และกระชายดำ และกลุ่มที่ 2 สมุนไพรที่มีศักยภาพและต้องการความต่อเนื่องในการพัฒนา 12 รายการ ได้แก่ บัวบก มะขามป้อม พลู ชิง กระชาย วานหางจรเข้ กวาวเครือขาว มะระขี้นก เพชรสังฆาต กระท่อม กัญชง และกัญชา [15] ทั้งนี้ จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ในช่วงที่ผ่านมา ได้นำฟ้าทะลายโจรมาใช้เป็นยารักษาอย่างแพร่หลาย เพื่อรักษาอาการของโรคโควิด 19 หรือใช้หัตถ์ใหญ่ จึงได้มีการคาดการณ์การใช้ยาฟ้าทะลายโจรในประเทศไทยว่ามีแนวโน้มการเติบโตอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม สมุนไพรไทยยังคงประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ คุณภาพวัตถุดิบไม่ผ่านมาตรฐาน และปัญหาด้านการกำหนดมาตรฐานคุณภาพวัตถุดิบ เนื่องจากมีการบริหารจัดการสมุนไพรที่ไม่เป็นระบบ พื้นที่ปลูกไม่เหมาะสม และปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้ผลผลิตน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด นอกจากนี้ ปัญหาความเสื่อมโทรมของดินนับว่าเป็นปัญหาทางกายภาพที่ล้วนส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของพืชสมุนไพร [14] จากปัญหาและแนวคิดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงนำมาสู่การศึกษาการปรับปรุงดิน โดยการเติมถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุทางการเกษตรลงในดิน เพื่อศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพดิน และการเพิ่มปริมาณของสารสำคัญทางการแพทย์ เช่น Andrographolide ในฟ้าทะลายโจรที่มีความสำคัญในการรักษาโรคชนิดหนึ่งของประเทศไทย อีกทั้งการใช้ถ่านชีวภาพสามารถเก็บกักคาร์บอนลงดินจากการตัดวงจรการกลับสู่ชั้นบรรยากาศของ CO₂ แนวทางนี้กำลังได้รับการยอมรับจากสหประชาชาติให้เป็นเครื่องมือหนึ่งในการลดและหลีกเลี่ยงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการนำมวลชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแทนการเผาทิ้ง จะสร้างผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศจากการเพิ่มสารพิษทั้งก๊าซเรือนกระจกและฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยถ่านชีวภาพจะแยกคาร์บอนให้อยู่ในรูปถ่านชีวภาพและเติมลงในดินเพื่อการกักเก็บคาร์บอนเสถียรไว้ในดิน เพื่อลดผลกระทบจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตรที่ไม่ส่งผลผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากข้อมูลการวิจัยในทุกมิติสนับสนุนว่า ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและกลไกการทำงานของพืชในภาคการเกษตรและสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในแง่ของการลดใช้ปุ๋ยเคมีและการบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ แนวความคิดต่อยอดจากงานวิจัยในการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ ผ่านทางการพัฒนาสูตรปุ๋ยที่ใช้กับดินเปรี้ยวด้วยถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุในภาคการเกษตร เพิ่มการต่อยอดทางธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินเสื่อมโทรมเมื่อปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งภาคการเกษตร 4 สูตร ได้แก่ ฟางข้าว ลำต้นไม้ ทะลายปาล์ม และซังข้าวโพดผสมกับเหง้ำมันสำปะหลัง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพ ต่อการเจริญเติบโต และชีวมวล ในต้นฟ้าทะลายโจร ภายใต้การปลูกในดินเสื่อมโทรม

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติของดินทางกายภาพ และเคมีของดินเสื่อมโทรมที่ได้รับการปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งภาคการเกษตรต่างชนิดกัน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) ปริมาณคาร์บอนในดิน (Soil Organic Carbon) และปริมาณไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen) เพื่อประเมินศักยภาพในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงการเจริญเติบโตของต้นฟ้าทะลายโจร ภายใต้การปลูกด้วยการใช้ถ่านชีวภาพ 4 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว ลำต้นไม้ ทะลายปาล์ม และซังข้าวโพดผสมเหง้ำมันสำปะหลัง เป็นสารปรับปรุงดินในจังหวัดนครนายก

4. วิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างดินเสื่อมโทรม จากโรงเรียนบ้านดงวิทยาคาร ตั้งอยู่ที่ หมู่ 1 ตำบลสาริกา อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก ตั้งอยู่ภาคตะวันออก ประเทศไทย ตำแหน่งละติจูด: 14° 18' 49.68" N, ลองจิจูด: 101° 17' 47.40" E

4.1 การเตรียมสารปรับปรุงดินและการปลูกต้นฟ้าทะลายโจร

เตรียมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ลำต้นไผ่ ทะลายปาล์ม และเหง้ามันสำปะหลังผสมกับขี้ขี้วัวโพด โดยการนำถ่านชีวภาพมาผสมกับมูลวัวและดักแด้แมลงวัน ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 5:4:1 ตามลำดับ หมักส่วนผสมเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง จากนั้น ผสมสารปรับปรุงดินในอัตราส่วน 0.6 กิโลกรัม ต่อดิน 6 กิโลกรัม แล้วนำไปปลูกต้นฟ้าทะลายโจร (*Andrographis paniculata*) ภายใต้การทดลองแบบปลูกในกระถาง ระยะเวลาการทดลอง 60 วัน เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และผลผลิตของต้นฟ้าทะลายโจร โดยมีการกำหนดชุดการทดลองจำนวน 5 ชุด ชุดละ 15 กระถาง (ตารางที่ 1) ทำการบันทึกความสูงของฟ้าทะลายโจรทุกต้นเป็นรายสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการทดลอง และเก็บตัวอย่างพืชชุดละ 5 ต้น เมื่ออายุ 30 และ 60 วัน เพื่อวิเคราะห์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น และราก พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินของแต่ละชุดการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดินต่อไป

ตารางที่ 1 ชื่อชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	อักษรย่อ
ดินปกติที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ	A1 (Control)
ดินที่เติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพฟางข้าว	A2 (Straw)
ดินที่เติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพลำต้นไผ่	A3 (Bamboo)
ดินที่เติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพทะลายปาล์ม	A4 (Palm)
ดินที่เติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพขี้ขี้วัวโพดผสมเหง้ามันสำปะหลัง	A5 (Mix)

4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0–15 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดินมาอบด้วยตู้อบลมร้อน (Universal Oven) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียด เพื่อเตรียมการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ทั้งก่อนและหลังการใส่สารปรับปรุงดิน การวิเคราะห์ดำเนินการตามแนวทางที่ระบุในคู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน กรมพัฒนาที่ดิน

4.2.1 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินวัดด้วยวิธี Electrometric หรือ Potentiometric โดยใช้เครื่อง pH meter อาศัยหลักการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง glass electrode และ reference electrode ที่จุ่มอยู่ในสารละลายดิน ศักย์ไฟฟ้าของ glass electrode เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ในสารละลาย ขณะที่ reference electrode มีศักย์ไฟฟ้าที่การวัดดำเนินการภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการ

4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN Analyzer โดยเตรียมสารมาตรฐาน EDTA น้ำหนัก 0.200 กรัม สำหรับทดสอบ blank ซ้ำด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล บรรจุใน sample cup holder และห่อด้วยทินฟอยล์ที่มีขนาดพอดีกับถาดใส่ตัวอย่าง จากนั้นนำไปวิเคราะห์เพื่อสอบเทียบเครื่องมือ โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

อินทรีย์วัตถุในดินมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก ดังนั้น จึงสามารถคำนวณได้จากปริมาณคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้คูณด้วยค่า 1.724 ก็จะได้ค่าอินทรีย์วัตถุที่ต้องการ

4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS version 24 (Statistical Package for the Social Sciences) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วย post-hoc test แบบ Tukey's HSD [16]

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 คุณสมบัติของดินเมื่อปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพ

การศึกษาค่าผลของสารปรับปรุงดิน (Soil Amendment: SOA) ที่ผลิตจากถ่านชีวภาพ 4 ชนิด ได้แก่ ทะลายปาล์ม, สูตรผสม, ลำต้นไม้ และฟางข้าว เปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ย (%) ปริมาณไนโตรเจน (%) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%OM) ในวันเริ่มต้น จนถึงวันที่ 60 ผลการศึกษามีปรากฏดังนี้ (ตารางที่ 2, 3, 4 และ 5)

ตารางที่ 2 ค่า pH ค่าเฉลี่ยร้อยละของคาร์บอน ไนโตรเจน และอินทรีย์วัตถุของดิน จำแนกตามสารปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพ

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH	คาร์บอนเฉลี่ย (%)	ไนโตรเจนเฉลี่ย (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)
	สารปรับปรุงคุณภาพดิน			
ฟางข้าว	10.55	53.04	0.87	91.45
ลำต้นไม้	9.78	67.47	0.57	116.33
ทะลายปาล์ม	10.34	64.08	1.07	110.49
สูตรผสม	8.91	54.64	1.18	94.20

ตารางที่ 3 ค่า pH และค่าเฉลี่ยร้อยละของคาร์บอน ไนโตรเจน และอินทรีย์วัตถุของดินในวันเริ่มต้นการทดลอง

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH	คาร์บอนเฉลี่ย (%)	ไนโตรเจนเฉลี่ย (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)
	วันเริ่มต้น			
ชุดควบคุม (A1)	6.67	0.93	0.09	1.60
ฟางข้าว (A2)	10.08	10.14	0.23	17.49
ลำต้นไม้ (A3)	8.35	10.62	0.18	18.32
ทะลายปาล์ม (A4)	8.35	6.07	0.19	10.47
สูตรผสม (A5)	8.77	7.53	0.20	12.99

ตารางที่ 4 ค่า pH และค่าเฉลี่ยร้อยละของคาร์บอน ไนโตรเจน และอินทรีย์วัตถุของดินในวันที่ 30 ของการทดลอง

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH	คาร์บอนเฉลี่ย (%)	ไนโตรเจนเฉลี่ย (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)
	วันที่ 30 หลังจากย้ายปลูกลงกระถาง			
ชุดควบคุม (A1)	6.71	0.78	0.09	1.35
ฟางข้าว (A2)	8.59	9.18	0.26	15.82
ลำต้นไม้ (A3)	7.80	8.14	0.19	14.04
ทะลายปาล์ม (A4)	8.33	7.76	0.23	13.38
สูตรผสม (A5)	8.09	7.35	0.24	12.67

ตารางที่ 5 ค่า pH และค่าเฉลี่ยร้อยละของคาร์บอน ไนโตรเจน และอินทรีย์วัตถุของดินในวันที่ 60 ของการทดลอง

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH	คาร์บอนเฉลี่ย (%)	ไนโตรเจนเฉลี่ย (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)
	วันที่ 60 หลังจากย้ายปลูกลงกระถาง			
ชุดควบคุม (A1)	6.53	0.70	0.07	1.21
ฟางข้าว (A2)	8.29	8.21	0.25	14.15
ลำต้นไม้ (A3)	7.28	6.80	0.15	11.71
ทะลายปาล์ม (A4)	7.96	6.94	0.21	12.00
สูตรผสม (A5)	7.91	5.60	0.19	9.65

5.1.1 ความเป็นกรด-ด่างในดิน (Soil pH)

การเติมสารปรับปรุงดินส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตลอดระยะเวลาการทดลอง 60 วัน ชุดควบคุม มีสภาพเป็นกรดอ่อนถึงกลาง [17] มีค่าอยู่ในช่วง 6.53-6.71 ในขณะที่ชุดการทดลองที่ได้รับถ่านชีวภาพมีค่า pH สูงขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นต่างของถ่านชีวภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 9.60-10.80 โดยเมื่อเริ่มต้นการปลูก ดินที่ผสมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมี pH สูงสุดที่ 10.08 เมื่อระยะเวลาผ่านไปถึง 60 วัน พบว่าค่า pH ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดินชุดที่ปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมีค่า pH เท่ากับ 8.29 ขณะที่ดินชุดที่ปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพจากต้นไผ่มีค่า pH ลดลงมาอยู่ที่ 7.28 (ตารางที่ 6) โดยค่า pH ดังกล่าวอยู่ในช่วงใกล้เป็นกลาง และจัดว่าเหมาะสมต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืชมากกว่าชุดการทดลองอื่นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม [18] ผลการทดลองสะท้อนให้เห็นว่าแม้ถ่านชีวภาพจะทำให้ดินมีความเป็นด่างสูงในระยะต้น ซึ่งเกิดจากปริมาณเถ้า (Ash content) และเกลือที่ละลายน้ำได้ง่าย เช่น K_2CO_3 และ Na_2CO_3 เมื่อมีการรดน้ำหรือมีความชื้นในดิน เกลือเหล่านี้จะละลายและอาจถูกชะล้าง (Leaching) ออกไปจากบริเวณเม็ดดิน หรือทำปฏิกิริยาสะเทินกับกรดในดิน ส่งผลให้ฤทธิ์ความเป็นด่างค่อยๆ ลดลงจนเข้าสู่จุดสมดุลใหม่ [19]

ตารางที่ 6 : ค่า pH ทุกชุดการทดลองตามระยะเวลา

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH			
	SOA	D-0	D-30	D-60
ชุดควบคุม (A1)	-	6.67	6.71	6.53
ฟางข้าว (A2)	10.55	10.08	8.59	8.29
ลำต้นไผ่ (A3)	9.78	8.35	7.8	7.28
ทะเลสาบปาล์ม (A4)	10.34	8.35	8.33	7.96
สูตรผสม (A5)	8.91	8.77	8.09	7.91

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนในดิน (Soil Organic Matter and Carbon Content)

การศึกษาคอนสเมปต์ของสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพพบว่าทุกชนิดมีปริมาณคาร์บอนและอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับสูงมาก โดยมีค่าคาร์บอนเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 53.04-67.47 (ตารางที่ 2) ซึ่งถ่านชีวภาพจากต้นไผ่มีปริมาณคาร์บอนและอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด รองลงมาคือถ่านชีวภาพจากปาล์มในขณะที่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และสูตรผสม มีปริมาณอยู่ในระดับรองลงมาตามลำดับ เมื่อนำสารปรับปรุงดินไปผสมในดินทดลอง ณ วันเริ่มต้น พบว่าดินที่ได้รับการปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงดินทุกสูตรมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดเป็น ร้อยละ 6.07-10.62 และมีอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10.47-18.32 เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีคาร์บอนเพียงร้อยละ 0.93 และอินทรีย์วัตถุร้อยละ 1.60 (ตารางที่ 3) โดยในระยะเริ่มแรกนี้ ดินในชุดการทดลองที่เติมถ่านชีวภาพจากต้นไผ่มีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนและอินทรีย์วัตถุได้สูงที่สุด

ตลอดระยะเวลาการทดลอง 60 วัน แม้ปริมาณคาร์บอนและอินทรีย์วัตถุในทุกชุดทดลองจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามธรรมชาติของการย่อยสลาย แต่ยังคงระดับที่สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าในระยะยาว ดินที่ปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าวสามารถรักษาปริมาณคาร์บอน (ร้อยละ 8.20) และอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ 14.14) ให้คงเหลืออยู่ในดินได้สูงสุด (ตารางที่ 5) สะท้อนถึงบทบาทสำคัญของถ่านชีวภาพในการเป็นกลไกปรับปรุงโครงสร้างดินและกักเก็บคาร์บอนอย่างยั่งยืน

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจน (Total Nitrogen)

การประเมินปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในดินภายใต้การปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่าการเติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพทุกสูตรช่วยเพิ่มไนโตรเจนในดินได้อย่างชัดเจนตลอดระยะเวลาการทดลอง เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนของวัสดุปรับปรุงดินเพียงอย่างเดียว พบว่าสูตรผสมมีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด รองลงมาคือทะเลสาบปาล์ม ฟางข้าว และต้นไผ่ ตามลำดับ เมื่อเติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพลงในดิน ในวันเริ่มต้นทดลอง ดินชุดควบคุมมีไนโตรเจนเพียง 0.089% ขณะที่ดินที่เติมถ่านชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น โดยดินที่เติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวให้ค่าสูงสุด รองลงมาคือสูตรผสม ทะเลสาบปาล์ม และต้นไผ่ (ตารางที่ 3) และยังคงมีแนวโน้มเดิมอย่างต่อเนื่องในระยะ 30 และ 60 วัน (ตารางที่ 4 และ 5) แต่ในชุดควบคุมมีไนโตรเจนลดลงอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ดินที่เติมถ่านชีวภาพยังคงมีค่าไนโตรเจนสูงกว่าอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะดินที่เติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวยังคงให้ค่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยสูงสุดในทุกช่วงเวลา แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพทุกชนิดช่วย

เพิ่มและคงระดับไนโตรเจนในดินได้ดีกว่าดินไม่ปรับปรุงอย่างชัดเจน โดยถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการเพิ่มและรักษาปริมาณไนโตรเจนในดิน

5.2 การเจริญเติบโตของต้นฟ้าทะลายโจร

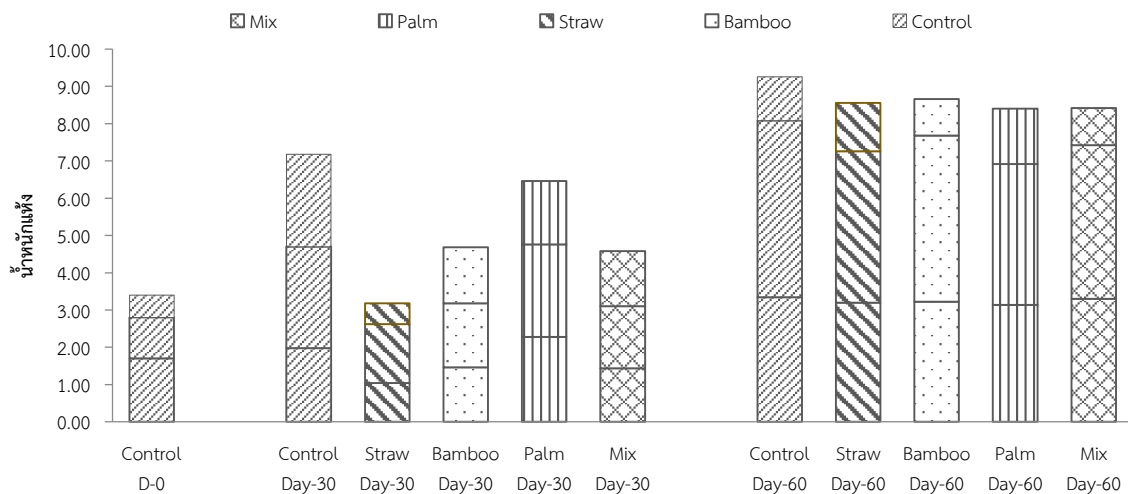
5.2.1 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้ง

การศึกษาการเจริญเติบโตของฟ้าทะลายโจรภายใต้การปรับปรุงดินด้วยสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพ 4 ชนิดเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยติดตามน้ำหนักราก และน้ำหนักแห้ง ที่ 30 วัน และ 60 วัน หลังย้ายปลูกลงในกระถาง พบว่า ที่ระยะ 30 วัน ฟ้าทะลายโจรมีการสะสมน้ำหนักรากสูงกว่าระยะ 60 วัน โดยชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากถ่านไม้ และชุดควบคุมมีน้ำหนักรากเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 40.60 ± 19.63 และ 39.00 ± 14.00 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่ชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 16.40 ± 3.65 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 7) เมื่อเข้าสู่ระยะ 60 วัน น้ำหนักรากเฉลี่ยของฟ้าทะลายโจรในเกือบทุกชุดทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับวันที่ 30 โดยชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมีน้ำหนักรากมากที่สุดอยู่ที่ 18.2 ± 3.19 กรัมต่อต้น และชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากถ่านไม้มีน้ำหนักรากน้อยที่สุดอยู่ที่ 15.4 ± 3.65 กรัมต่อต้น

ตารางที่ 7 น้ำหนักรากของต้นฟ้าทะลายโจรตามระยะเวลาการปลูก (กรัมต่อต้น)

ชนิดถ่านชีวภาพ	วันเริ่มต้น	วันที่ 30	วันที่ 60
ชุดควบคุม (A1)	14.6 ± 12.58	39.00 ± 14	13.80 ± 4.44
ฟางข้าว (A2)	-	16.40 ± 3.65	18.2 ± 3.19
ถ่านไม้ (A3)	-	40.60 ± 19.63	15.4 ± 3.65
ทะลายปาล์ม (A4)	-	27.60 ± 5.41	18 ± 5.96
สูตรผสม (A5)	-	29.00 ± 7.07	16.8 ± 2.77

ในด้านน้ำหนักแห้ง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักของต้นฟ้าทะลายโจรแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของพืชในทุกชุดทดลอง ที่ระยะ 30 วัน การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey's HSD พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ โดยชุดควบคุมมีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุด ขณะที่ชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากทะลายปาล์ม และ สูตรผสมมีน้ำหนักแห้งรวมรองลงมา ส่วนชุดถ่านชีวภาพจากถ่านไม้และฟางข้าวมีน้ำหนักแห้งรวมต่ำรองลงมาตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชนิดของถ่านชีวภาพมีผลต่อการสะสมมวลชีวภาพแห้งของฟ้าทะลายโจรในช่วงต้นของการปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ในระยะ 60 วัน น้ำหนักแห้งรวมของทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นเข้าสู่ช่วง 8.40–9.26 กรัมต่อต้น แต่ผลการวิเคราะห์ ANOVA และการทดสอบ Tukey's HSD ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 กราฟแสดงน้ำหนักรากแห้งของต้นฟ้าทะลายโจร

5.2.2 การเปลี่ยนแปลงของส่วนสูง

ผลการเจริญเติบโตของฟ้าทะลายโจรในด้านส่วนสูงภายใต้การปรับปรุงดินด้วยสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ แสดงให้เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความสูงอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงการติดตาม 8 สัปดาห์ โดยค่าเฉลี่ยความสูงในสัปดาห์ที่ 1 อยู่ที่ประมาณ 30–36 เซนติเมตร และเพิ่มขึ้นจนอยู่ในช่วงประมาณ 39–48 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 8 ทุกชุดการทดลอง มีรูปแบบการเพิ่มขึ้นของความสูงคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีการยืดตัวอย่างชัดเจนในช่วงสัปดาห์ที่ 1–5 ก่อนเข้าสู่ระยะทรงตัวหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 6–8 ทั้งนี้ชุดที่ปลูกด้วย ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าเฉลี่ยความสูงต่ำกว่าชุดอื่นเล็กน้อยในทุกสัปดาห์ ขณะที่ชุด ควบคุม ทะลายปาล์ม สูตรผสม และต้นไม้ มีค่าเฉลี่ยความสูงในสัปดาห์ที่ 8 อยู่ที่ประมาณ 42.72–47.94 เซนติเมตร

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงให้เห็นว่า ชนิดของถ่านชีวภาพไม่มีผลต่อความสูงเฉลี่ยของฟ้าทะลายโจรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนให้เห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพทั้ง 4 ชนิดให้ผลต่อความสูงของต้นในภาพรวมไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แม้ค่าเฉลี่ยของบางชุด เช่น ชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าว จะต่ำกว่าชุดอื่นในเชิงตัวเลขก็ตาม ในทางตรงกันข้าม ตัวแปรด้านเวลา มีผลต่อความสูงของฟ้าทะลายโจรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอายุพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดการยืดตัวของต้น มากกว่าชนิดของถ่านชีวภาพที่ใช้ปรับปรุงดิน

การปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพจากวัสดุทั้งสี่ชนิดไม่ทำให้ความสูงของฟ้าทะลายโจรแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พืชในทุกชุดการทดลองมีการเพิ่มความสูงตามอายุอย่างต่อเนื่องตลอดช่วง 8 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพในระดับและเงื่อนไขการทดลองนี้ไม่เป็นปัจจัยจำกัดการยืดตัวของฟ้าทะลายโจร แต่การเปลี่ยนแปลงของความสูงส่วนใหญ่เกิดจากความก้าวหน้าของระยะการเจริญเติบโตของพืชเองเป็นสำคัญ

6. สรุปผลการศึกษา

ถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สามารถปรับปรุงคุณภาพดินเสื่อมโทรมในจังหวัดนครนายกได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยช่วยเพิ่มค่า pH ของดินให้เหมาะสมต่อการดูดซึมธาตุอาหาร และยกระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุรวมถึงการกักเก็บคาร์บอนในดินอย่างชัดเจน โดยเฉพาะถ่านชีวภาพจากฟางข้าวที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการรักษาปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนได้ในระยะยาว ในด้านการเจริญเติบโตของฟ้าทะลายโจรพบว่าพืชมีการสะสมมวลชีวภาพแห้งเพิ่มขึ้นตามอายุ และมีขนาดความสูงไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญในช่วงสิ้นสุดการทดลอง สรุปได้ว่าการใช้ถ่านชีวภาพเป็นแนวทางที่ยั่งยืนในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินควบคู่ไปกับการผลิตสมุนไพรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยในอนาคตควรเพิ่มเติมการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางยาในต้นฟ้าทะลายโจรภายใต้การปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพเพิ่มเติมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรัสวดี จันทร์บุญนะ. (2568, มีนาคม). ปัญหาวิกฤตดินไทยเสื่อมโทรมและดินปนเปื้อน. รายการร้อยเรื่อง...เมืองไทย, สถาบันวิทยุกระจายเสียงรัฐสภา และสำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร.
- [2] Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(3), 219–230. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466>
- [3] Masulili, A., Utomo, W. H., & Syechfani, M. (2010). Rice husk biochar for rice-based cropping system in acid soil: The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agricultural Science*, 2(1), 39–47. <https://doi.org/10.5539/jas.v2n1p39>
- [4] Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C. and Crowley, D. (2011) Biochar Effects on Soil Biota—A Review. *Soil Biology & Biochemistry*, 43, 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- [5] Phongthep, H., Jiranut, W., Tanakit, S., Sathaporn, J., & Sukanya, T. (2017). Soil respiration in rubber tree plantation applied with biochar. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 21(10), 27–34. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85041112866&origin=resultslist>
- [6] พินิจภณ ปิตุยะ. (2557). เอกสารองค์ความรู้เรื่องถ่านชีวภาพ. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
- [7] Winsley, S. R. (2007). Pyrolysis of agricultural wastes for biochar production. *Energy for Sustainable Development*, 11(4), 79–86.
- [8] Abdullah, N., Taib, R. M., Mohamad Aziz, N. S., Omar, M. R., & Md Disa, N. (2023). Banana pseudo-stem biochar derived from slow and fast pyrolysis process. *Heliyon*, 9, e12940. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12940>

- [9] ณิชากัทร สิทธิวรรณท์. (2562). ผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน การกักเก็บน้ำในดิน และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [10] คณะกรรมการนโยบายสมุนไพรแห่งชาติ. (2566). แผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566–2570 (พิมพ์ครั้งที่ 2). กองสมุนไพรเพื่อเศรษฐกิจ กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข.
- [11] Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., & Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(4), 489–495. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00065.x>
- [12] กมลชนก เจริญศรี, วรชาติ วิศวะพิพัฒน์, ทิมทอง ดรณสนทยา, ณัฐพร ประคองเก็บ. (2560). อิทธิพลของถ่านชีวภาพจากปาล์มน้ำมันต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชและการละลายของฟอสฟอรัสในดินนาเปรี้ยวจืด. *สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน*.
- [13] Jemal, K., & Yakob, A. (2021). Role of biochar on the amelioration of soil acidity. *Agrotechnology*, 10(4), 212. <https://www.researchgate.net/publication/353406424>
- [14] กรมพัฒนาที่ดิน. (2567). ผลงานการถอดบทเรียนการจัดการดินเพื่อปลูกพืชสมุนไพร: เผยแพร่ในวันครบรอบสถาปนา 61. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [15] คณะกรรมการนโยบายสมุนไพรแห่งชาติ. (2566). แผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566–2570 (พิมพ์ครั้งที่ 2). กองสมุนไพรเพื่อเศรษฐกิจ กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข. ISBN 978-616-11-5107-2
- [16] Shetty, R., & Prakash, N. B. (2020). Effect of different biochars on acid soil and growth parameters of rice plants under aluminium toxicity. *Scientific Reports*, 10(1), 12249. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69262-x>
- [17] ปิยะ ดวงพัตรา. 2556. สารปรับปรุงดิน. *ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ*. 256 หน้า.
- [18] O' Kennedy, S. (2022). Soil pH and its impact on nutrient availability and crop growth. *International Journal of Geography, Geology and Environment*, 4(2), 236–238. <https://www.geojournal.net>
- [19] Joseph, S. D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C. H., Hook, J., van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B. P., Lehmann, J., Foidl, N., Smernik, R. J., & Amonette, J. E. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal of Soil Research*, 48, 501–515. <https://doi.org/10.1071/SR10009>