

การใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตข้าวโพดสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน<sup>1/</sup>  
The combination of biochar and chemical fertilizer application on maize  
yield, and soil physical chemical properties<sup>1/</sup>

ผู้ทำสัมมนา

นายศพนธ์ อรบุตร<sup>2/</sup>

อาจารย์ที่ปรึกษา

<sup>3/</sup>

บทคัดย่อ

การผลิตข้าวโพดในปัจจุบันประสบปัญหาความเสื่อมโทรมของดินจากการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้โครงสร้างดินแน่นทึบ ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง และประสิทธิภาพการกักเก็บธาตุอาหารต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงต่อการเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด อย่างไรก็ตาม การใช้ถ่านชีวภาพ หรือ Biochar เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาดังกล่าว เนื่องจากมีสมบัติเด่นคือมีรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 103.14 ตารางเมตร/กรัม มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.6 ถึง 10.3 และมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงถึง 56.14 เซ็นติโมล/กิโลกรัม จากการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีที่ส่งผลต่อผลผลิตข้าวโพดสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน โดยลดความหนาแน่นรวมและเพิ่มความพรุนของดินได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการใช้ถ่านชีวภาพชนิด Pflanzenkohle ในด้านสมบัติทางเคมี พบว่ากรรมวิธี BC<sub>2</sub> คือการใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 31.50 ตันต่อเฮกตาร์ร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินได้สูงที่สุดถึง 36.1% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม การปรับปรุงสมบัติดินเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวโพด โดยกรรมวิธีที่ใช้ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดร่วมกับปุ๋ยเคมี (CWBC + IF) ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดถึง 12.18 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีเป็นวิธีการจัดการที่ช่วยแก้ปัญหาดินเสื่อมโทรมและยกระดับประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดได้อย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** ถ่านชีวภาพ, ข้าวโพด, สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน, ผลผลิต, ปุ๋ยเคมี

<sup>1/</sup>เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

<sup>2/</sup>นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<sup>3/</sup>อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

## 1. บทนำ

ข้าวโพด (*Zea mays* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญระดับโลกและของประเทศไทย โดยมีความต้องการผลผลิตสูงเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ วัตถุประสงค์ในอุตสาหกรรม และอาหารมนุษย์ (วรรณิ, 2566) เพื่อให้ได้ผลผลิตสูง เกษตรกรจึงมีการพึ่งพปุ๋ยเคมีในปริมาณมาก ซึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องและขาดการจัดการที่เหมาะสม ได้นำไปสู่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การชะล้างปุ๋ยสู่แหล่งน้ำ และที่สำคัญคือการทำให้นดินเสื่อมโทรม (สุภาพร และคณะ, 2565) โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแน่นทึบของดิน และสมบัติทางเคมี เช่น การลดลงของอินทรีย์วัตถุและความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดในระยะยาว (วิษณุ และคณะ, 2564)

เพื่อให้เกิดการผลิตข้าวโพดที่ยั่งยืน การหาแนวทางปรับปรุงบำรุงดินจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ถ่านชีวภาพ (Biochar) คือวัสดุที่มีรูพรุนสูง ผลิตจากการนำชีวมวลมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิสูงในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจำกัด (กัญญารัตน์, 2563) เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างและพื้นผิวจำเพาะ ถ่านชีวภาพจึงมีศักยภาพในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วยลดความหนาแน่นรวมของดิน และเพิ่มความพรุน เพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) และปริมาณ คาร์บอนอินทรีย์รวม (SOC) ในดิน การปรับปรุงคุณสมบัติของดินด้วยถ่านชีวภาพยังรวมถึงการช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (รัตถชล, 2567) นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังช่วยให้จำนวนแบคทีเรียในดินเพิ่มขึ้นในช่วงปีที่เกิดภัยแล้งและมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอน ในระยะยาว (Park et al., 2023; Wu et al., 2023)

ถ่านชีวภาพมีธาตุอาหารหลักและรอง เช่น ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), กำมะถัน (S) และธาตุรองอื่นๆ ซึ่งปริมาณจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ วัตถุประสงค์ตั้งต้น เช่น แกลบ, ชานอ้อย, มูลสัตว์ และอุณหภูมิในการผลิต นอกจากนี้ถ่านชีวภาพสามารถช่วยลดการปล่อยไนโตรเจนและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ เช่น สามารถลดการปล่อย  $N_2O$  และลดการระเหยของ  $NH_3$  ในดิน เพิ่มการกักเก็บ N ในดิน โดยลดความจำเป็นในการใช้ปุ๋ยและเพิ่มการใช้ N, P และ K ของพืชได้ (Bekchanova et al., 2024) ซึ่งการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพดได้อย่างมีนัยสำคัญ (Wu et al., 2023) ดังนั้น การศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตข้าวโพด สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินจึงเป็นแนวทางในการปรับปรุงสมบัติทางเคมีกายภาพของดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดอย่างยั่งยืน

## 2. ชนิดของถ่านชีวภาพ

### 2.1 การจำแนกตามวัตถุดิบ

ถ่านชีวภาพ หรือไบโอชาร์ (Biochar) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการปรับปรุงดินที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายเชิงความร้อนของชีวมวลหรือสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสารประกอบของสิ่งมีชีวิตที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เช่น ต้นไม้เศษใบไม้กิ่งไม้เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ฟางข้าว ตอซัง ซังข้าวโพด เปลือกถั่ว เปลือกผลไม้แห้งมันสำปะหลัง เศษอาหารในครัวเรือน หรือมูลสัตว์ เป็นต้น ผ่านกระบวนการย่อยสลายเชิงความร้อนนี้เรียกว่า “ไพโรไลซิส (pyrolysis)” (พินิจฉณ, 2557., ศิริลักษณ์และอรสา, 2556., อรสา, 2561)

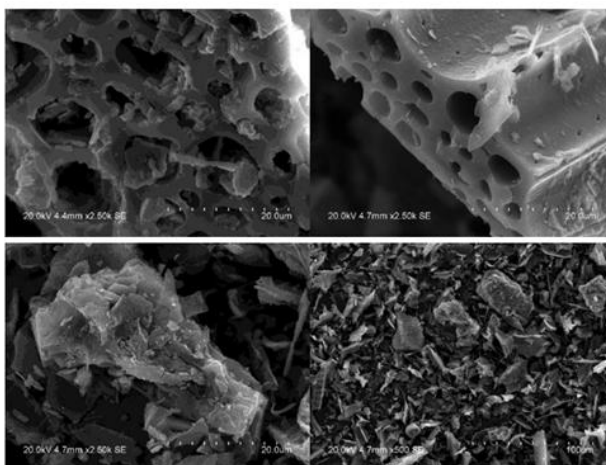
### 2.2 การจำแนกตามกระบวนการผลิต

ถ่านชีวภาพ เป็นกระบวนการให้ความร้อนโดยจำกัดอากาศหรือปราศจากอากาศ ที่มีการดำเนินการอยู่ 2 วิธีคือ การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (slow pyrolysis) คือ การเผาไหม้ด้วยการแยกสลายสารอินทรีย์แบบช้า ๆ ใช้ระยะเวลาเป็นชั่วโมงและใช้อุณหภูมิระหว่าง 350-600 องศาเซลเซียส (°C) ในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน และการแยกสลายด้วยความร้อนแบบเร็ว (fast pyrolysis) ที่ใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้เป็นวินาทีใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 500-1,000 °C ซึ่งทั้ง 2 วิธีการนี้จะได้ผลผลิตที่แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ น้ำมัน (bio-oil) ก๊าซ (bio-gas) และ ถ่านชีวภาพ (bio-char) ตามวัตถุประสงค์ของการผลิต (พินิจฉณ, 2557)

## 3. สมบัติของถ่านชีวภาพ

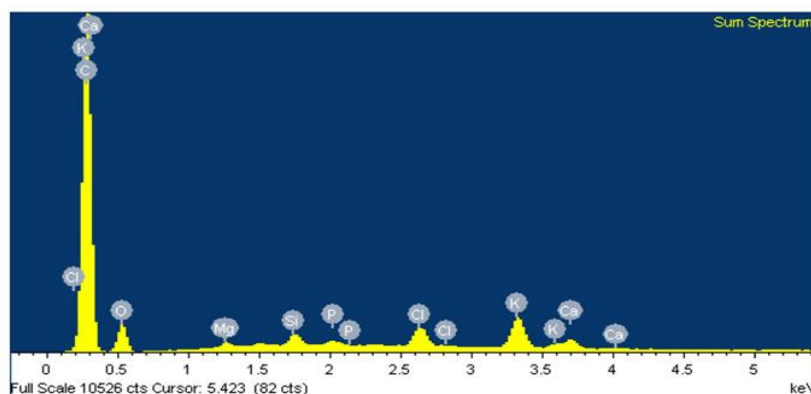
### 3.1 สมบัติทางกายภาพ

ผลวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษข้าวโพด พบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะ 103.14 ตารางเมตร/กรัม ซึ่งถือว่าสูงมาก และมีขนาดช่องว่างเฉลี่ย (Average pore size) 28.31 Å และมีผลรวมทั้งหมดของช่องว่าง (Total pore volume)  $8.05 \times 10^{-2}$  มิลลิลิตร/กรัม ผลการศึกษาสอดคล้องกับการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ สแกนนิ่ง (SEM) ดังภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพจากเศษข้าวโพดเต็มไปด้วยรูพรุนสูงมาก โดยมีขนาดรูพรุน ตั้งแต่ 30 ถึง 100 ไมโครเมตร ซึ่งขนาดของรูพรุนนี้จัดเป็นช่องว่างขนาดเล็ก โดยมีขนาดช่องว่างอยู่ระหว่าง 0.02 นาโนเมตร - 0.11 นาโนเมตร ผลการศึกษาระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะ และโครงสร้างของถ่านชีวภาพจากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนนี้จึงมีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกันแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติเด่นของถ่านชีวภาพ ในการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเนื่องจากช่องว่างเหล่านี้จะเป็นตัวยึดเหนี่ยวธาตุอาหารและน้ำในดินส่งผลต่อสมบัติของดินทางเกษตรกรรม (รัตถชล, 2567)



ที่มา: รัตถชล (2567)

ภาพที่ 1 ภาพถ่ายพื้นผิวของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ที่มา: รัตถชล (2567)

ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุหลักของถ่านชีวภาพด้วยเทคนิค Energy-dispersive X-ray

### 3.2 สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของถ่านชีวภาพด้วยการวิเคราะห์เชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer) พบว่าธาตุที่มีปริมาณมากที่สุด คือ ธาตุคาร์บอนปริมาณ 78.89 % และมีธาตุออกซิเจนปริมาณรองลงมาโดยมีสัดส่วน 15.51% โปแทสเซียม 2.1 % คลอรีน 1.24 % ซัลเฟอร์ 1.09 % และธาตุอื่นๆ ได้แก่ แคลเซียม, อะลูมิเนียม, ซิลิกอน และฟอสฟอรัส รวม 1.17 % ดังภาพที่ 2 นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังมีค่าความเป็นกรดต่าง 7.6 ซึ่งถือว่ามีความเป็นด่างเล็กน้อย

7.6 ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่มีความเป็นกรดเล็กน้อยได้ มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง 56.14 เซ็นติโมล/กิโลกรัม ซึ่งถือว่าสูงมาก และสามารถใช้อุณหภูมิในการปรับปรุงความสามารถในการเก็บรักษาและแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกกับดิน เพื่อช่วยเพิ่มการเก็บรักษาธาตุอาหารของดิน ผลการวิเคราะห์ยังพบว่า ถ่านชีวภาพที่มีปริมาณธาตุอาหารเช่นปริมาณโพแทสเซียม 21,146 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคลเซียม 820 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแมกนีเซียม 1,120 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัส 440 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นอกจากนี้ไปโอซาร์ยังมีปริมาณคาร์บอนสูง 55.11% และปริมาณไนโตรเจนต่ำ 1.17% มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 47.1 เมื่อพิจารณาจากภาพรวมของคุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพสรุปได้ว่า มีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นการปรับปรุงคุณภาพดิน และเพิ่มผลผลิตของพืชได้ (ตารางที่ 1) (รัตถล, 2567)

นอกจากนี้ยังพบว่าสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพมีความแตกต่างกันตามแหล่งที่มาที่แตกต่างกันสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพ จากซังบาร์เลย์มีปริมาณ ฟอสฟอรัส (P) 0.089 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม (K) 0.33 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) 0.31 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) 0.08 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม (Ca) 0.33 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียม (Mg) 0.12 เปอร์เซ็นต์ ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดมีปริมาณ pH 10.3 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน (N) 0.27 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส (P) 1.84 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม (K) 4.71 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) 0.27 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) 1.84 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียม (Mg) 0.12 เปอร์เซ็นต์ ต่อซังข้าวโพด pH 8.69 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน (N) 7.85 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส (P) 1.33 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม (K) 1.33 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน (O) 168 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนอินทรีย์ (OC) 598 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม (Ca) 3 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียม (Mg) 2 เปอร์เซ็นต์ จากถ่านชีวภาพPflanzenkohle มีปริมาณ ไนโตรเจน (N) 2.92เปอร์เซ็นต์ คาร์บอน (C) 65.22เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน (H) 3.71 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน (O) 0.97เปอร์เซ็นต์ ถ่านชีวภาพจากNovoTerra มีปริมาณ ไนโตรเจน (N) 2.89เปอร์เซ็นต์ คาร์บอน (C) 70.48เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน (H) 4.31เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน (O) 0.85เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2 (Park et al., 2023; Wu et al., 2023, Enev et al., 2023)

### ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

สมบัติทางเคมี	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (1/5) (น้ำหนักดิน/น้ำหนักน้ำกลั่น)	7.69
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (เซ็นติโมล/กิโลกรัม)	56.14
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	21,146
ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	820
ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1,120
ปริมาณโซเดียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	310
ปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	440
ปริมาณคาร์บอน (%)	55.11
ปริมาณไนโตรเจน (%)	1.17
ปริมาณซัลเฟอร์ (%)	0.029
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)	47.1

ที่มา: รัตถชล (2567)

#### 4. ข้อดีและข้อจำกัด

ถ่านชีวภาพมีข้อดีที่สำคัญในด้านการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน โดยเฉพาะดินทรายในพื้นที่แห้งแล้ง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและมีโครงสร้างรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งทำหน้าที่เป็นประจุลบช่วยในการกักเก็บธาตุอาหารและความชื้นได้ดี (พินิจภณ และอนัญญา, 2560) จากการศึกษาพบว่า ถ่านชีวภาพจากตอซังและฟางข้าวเพียงร้อยละ 10 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอุ้มน้ำในดินทรายได้สูงถึงร้อยละ 80 และรักษาความชื้นได้นานกว่า 104 ชั่วโมง (ทิวา และคณะ, 2559) นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพ ยังมีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และมีซิลิกาในปริมาณสูง ซึ่งช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับพืชและเพิ่มค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินได้โดยตรง (รัตถชล และคณะ, 2560) อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านชีวภาพยังมีข้อจำกัดและข้อควรระวังในการปฏิบัติเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยผู้ใช้งานจำเป็นต้องลดขนาดเม็ดถ่านให้มีขนาดเฉลี่ยไม่เกิน 1 เซนติเมตร เพื่อไม่ให้ขัดขวางการเจริญเติบโตของรากพืช (ศิริลักษณ์, 2556) นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังมีข้อจำกัดด้านธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้น จึงควรนำไปผสมกับปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกในอัตราส่วน 50% หรือรดด้วยน้ำหมักชีวภาพเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้สะสมในรูพรุนก่อนนำไปใช้งาน รวมถึงต้องมีการเตรียมดินที่เหมาะสมด้วยการพรวนลึก 10-20 เซนติเมตร เพื่อให้ถ่านชีวภาพทำงานได้เต็มประสิทธิภาพในระดับเขตรากพืช (ศิริลักษณ์, 2556)

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพในวัสดุชนิดต่างๆ

ชนิด ของถ่าน ชีวภาพ	ซังบาร์เลย์	ซังข้าวโพด	ต่อซัง ข้าวโพด	Bio Pflanzenkohle	NovoTerra
pH	-	10.3	8.69	-	-
N (%)	-	0.27	7.85	2.92±0.16	2.89±0.18
P (%)	0.09	1.84	1.33	-	-
K (%)	0.33	4.71	1.33	-	-
C	-	-	-	65.22±2.68	70.48±0.64
H	-	-	-	3.71±0.22	4.31±0.14
O (%)	-	-	168	0.97±0.16	0.85±0.42
OC (%)	-	-	598	-	-
TN (%)	0.31	0.27	-	-	-
TP (%)	0.08	1.84	-	-	-
Ca (%)	0.33	-	3	-	-
Mg (%)	0.12	0.12	2	-	-
อ้างอิง	Park et al., (2023)	Park et al., (2023)	Wu et al., (2023)	Enev et al., (2023)	Enev et al., (2023)

หมายเหตุ ± หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

## 5. ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

### 5.1 ธาตุอาหารหลัก

การเจริญเติบโต การพัฒนาและการสร้างผลผลิตของข้าวโพด จะมีความต้องการธาตุอาหารเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการทางสรีรวิทยาและสะสมสารสังเคราะห์ในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับข้าวโพด จะเป็นกลุ่มของธาตุอาหารที่พืชทุกๆไปต้องการประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ความต้องการธาตุในปริมาณที่มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินและความอุดมสมบูรณ์พื้นฐานของดิน ลักษณะฝนฟ้าอากาศและอายุของข้าวโพดรวมทั้งประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยของพันธุ์ข้าวโพด ข้าวโพดจะเริ่มมีความต้องการและหยุดความต้องการและหยุดความต้องการธาตุอาหารละชนิด ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปข้าวโพดจะมีความต้องการธาตุหลัก (N P และ K) เริ่มตั้งแต่ระยะเริ่มงอกและมีความต้องการสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 ข้าวโพดจะหยุดต้องการธาตุโพแทสเซียมเมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 70-75 วัน ในขณะที่ความต้องการ N และ P ยังคง

สูงขึ้นจนถึงระยะข้าวโพดแก่ ลักษณะอาการขาดธาตุ N ได้แก่ ใบของข้าวโพดจะเป็นสีเหลืองจากใบล่างลามขึ้นถึงในบนโดยจะแสดงอาการเป็นรูปตัว v จากปลายใบเข้าสู่ส่วนโคนใบส่วนริมใบยังคงมีสีเขียว สาเหตุ การสูญเสียไนโตรเจนจากดินและการถูกชะล้างหรือโดยกระบวนการ denitrification ลักษณะอาการขาดธาตุ P ได้แก่ เมื่อข้าวโพดมีความสูงถึง 60 ซม. ใบจะไม่อาการสีม่วง ส่วนต้นจะพอมและโค้งงอ บิด สาเหตุ ดินที่มี pH ต่ำและสูงมาก ลักษณะอาการขาดธาตุ K ได้แก่ ใบจะยาวผิดปกติ ริมใบของใบแก่มีสีเหลืองแล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและในที่สุด สาเหตุ ดินขาดธาตุ K โดยเฉพาะดินทรายและดินลูกรัง (ราเชนทร์, 2539)

## 5.2 ธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่สำคัญ

การเจริญเติบโตการพัฒนาและการสร้างผลผลิตของข้าวโพด จะมีความต้องการธาตุอาหารเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการทางสรีรวิทยาและสะสมสารสังเคราะห์ในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับข้าวโพด จะเป็นกลุ่มของธาตุอาหารที่พืชทั่วไปต้องการประกอบด้วยธาตุอาหารรอง (Ca, Mg, S) และจุลธาตุ (Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, B, Cl) ความต้องการธาตุในปริมาณที่มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินและความอุดมสมบูรณ์พื้นฐานของดิน ลักษณะฝนฟ้าอากาศและอายุของข้าวโพดรวมทั้งประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยของพันธุ์ข้าวโพด ลักษณะอาการขาดธาตุ Ca ได้แก่ มีทางอ้อมจากดินเป็นกรดทำให้มีอาการขาดธาตุแมงกานีส เหล็ก และอะลูมิเนียม สาเหตุ ดินมี pH ต่ำมาก ลักษณะอาการขาดธาตุ Mg ได้แก่ ใบของต้นแก่จะมีสีเขียวสลับเหลือง หรือบางครั้งแดงในกรณีเกิดการขาดรุนแรงขอบใบจะตาย สาเหตุ ความไม่สมดุลระหว่างปริมาณ K กับ Mg หรือ Ca กับ Mg (ดินที่มีปริมาณ K และ Ca สูง) ลักษณะอาการขาดธาตุ S ได้แก่ คล้ายอาการขาดธาตุไนโตรเจนแต่เกิดกับใบอ่อน สาเหตุ ดินทรายที่มีการชะล้างพังละลายสูง ลักษณะอาการขาดจุลธาตุ Fe ได้แก่ ระหว่างเส้นใบของใบบนๆ มีสีจางถึงสีขาว สาเหตุ ดินมี pH สูงมาก ลักษณะอาการขาดจุลธาตุ Cu ได้แก่ ใบเกิดใหม่สีเหลืองและขาว หรือเกิดสีขาวเช่นเดียวกับการขาดธาตุเหล็ก สาเหตุ ดินที่ได้รับการใส่ปุ๋ยในปริมาณสูง ลักษณะอาการขาดจุลธาตุ Mn ได้แก่ ใบเกิดใหม่ลายเขียวสลับเหลืองหรือขาว ปลายใบเขียวถ้าขาดรุนแรงใบจะแห้งตาย สาเหตุ ดินที่มีอินทรียสารสูงหรือดินที่เป็นดินต่างโดยเฉพาะดินทราย ลักษณะอาการขาดจุลธาตุ Mo ได้แก่ ต้นอ่อนสั้นเตี้ย ปลายใบล่างเป็นสีเหลืองและเปลี่ยนเป็นน้ำตาลแห้งตาย สาเหตุ ดินมี pH ต่ำ ลักษณะอาการขาดจุลธาตุ Zn ได้แก่ ในต้นอ่อน ใบจะมีสีขาวที่ปลายยอดใบใหม่จะขาวอาจทำให้ข้าวโพดตายได้ สาเหตุ ดินมี pH สูงโดยเฉพาะดินทรายที่ถูกชะล้างและมีปริมาณ P สูงโดยเฉพาะการใส่ปุ๋ย P แบบโรยผิวหน้าดิน ลักษณะอาการขาดจุลธาตุ B ได้แก่ ต้นเตี้ย ข้อหนา แผ่นใบหนาและโค้งงอ เส้นกลางใบเปราะหักง่าย สาเหตุ ดินมีปริมาณโบรอนต่ำกว่า 0.5 ppm หรือส่วนใบมีค่าโบรอนต่ำกว่า 15 ppm ลักษณะอาการขาดจุลธาตุ Cl ได้แก่ ใบเหี่ยวง่ายเหลืองต่างพืชทั่วไปมีคลอรีนพอเพียงจึงไม่พบปัญหาของการขาดคลอรีน สาเหตุ ค่า pH ที่สูงเกินไป (เป็นต่างมาก) ทำให้คลอรีนทำงานได้ลดลง (ราเชนทร์, 2539)

ตารางที่ 3 กรรมวิธีในการทดลองและวิธีการจัดการการทดลอง

กรรมวิธี	การจัดการ
CK (ควบคุม)	ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี
NPK (ปุ๋ย)	NPK - N: Carbamide, 358.7 ตันต่อเฮกตาร์ - P: Calcium triple superphosphate, 130.4 ตันต่อเฮกตาร์ - K: Potassium sulfate, 125 ตันต่อเฮกตาร์
BC <sub>1</sub> (ปุ๋ย + ถ่านชีวภาพ1)	NPK - N: Carbamide, 358.7 ตันต่อเฮกตาร์ - P: Calcium triple superphosphate, 130.4 ตันต่อเฮกตาร์ - K: Potassium sulfate, 125 ตันต่อเฮกตาร์ Biochar1 - 15.75 ตันต่อเฮกตาร์
BC <sub>2</sub> (ปุ๋ย + ถ่านชีวภาพ2)	NPK - N: Carbamide, 358.7 ตันต่อเฮกตาร์ - P: Calcium triple superphosphate, 130.4 ตันต่อเฮกตาร์ - K: Potassium sulfate, 125 ตันต่อเฮกตาร์ Biochar2 - 31.50 ตันต่อเฮกตาร์
BC <sub>3</sub> (ปุ๋ย + ถ่านชีวภาพ3)	NPK - N: Carbamide, 358.7 ตันต่อเฮกตาร์ - P: Calcium triple superphosphate, 130.4 ตันต่อเฮกตาร์ - K: Potassium sulfate, 125 ตันต่อเฮกตาร์ Biochar3 - 47.25 ตันต่อเฮกตาร์

ที่มา: Wu et al. (2023)

#### 6. อิทธิพลของถ่านชีวภาพและปุ๋ยเคมีต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

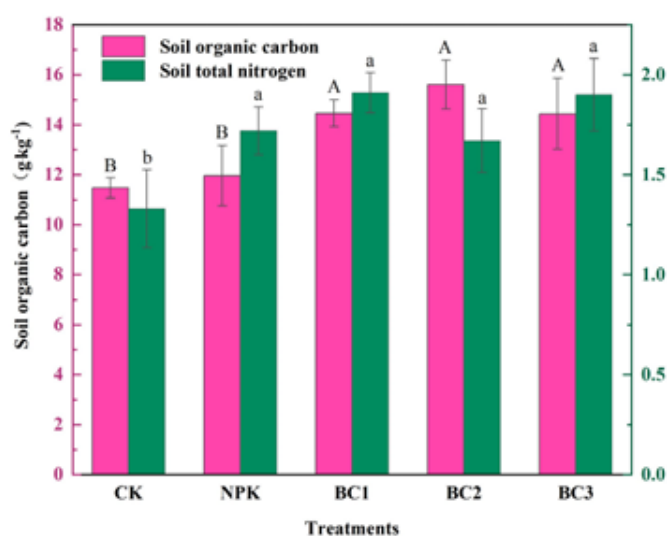
Wu et al. (2023) ได้ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพทั้ง 3 ระดับ 5 กรรมวิธี ดังตารางที่ 3 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพส่งผลทำให้องค์ประกอบทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (CK) โดยทุกกรรมวิธีการทดลองมีปริมาณอนุภาคทรายลดลงคือ NPK, BC<sub>1</sub>, BC<sub>3</sub> และ BC<sub>2</sub> ตามลำดับ ขณะที่ทุกกรรมวิธีมีปริมาณอนุภาคทรายแบ่งเพิ่มขึ้นคือ BC<sub>2</sub>, BC<sub>3</sub>, BC<sub>1</sub> และ NPK ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณอนุภาคดินเหนียวนั้นไม่พบความเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกรรมวิธีต่างๆ โดยกลุ่ม NPK และ BC<sub>1</sub> มีดินเหนียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่กลุ่ม BC<sub>2</sub> และ BC<sub>3</sub> มีดินเหนียวลดลง ซึ่งทั้งการเพิ่มขึ้นและลดลงดังกล่าวมีอัตราส่วนเพียงแค่ 1% เท่านั้น (ภาพที่ 5) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Enev et al. (2023) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของดิน ได้แก่ ความพรุนของดินหลังจากปรับปรุงดินด้วย

ถ่านชีวภาพ 3 กรรมวิธี ได้แก่ไม่มีการใส่ถ่านชีวภาพ (original sample) ใส่ถ่านชีวภาพชนิด Novoterra และใส่ถ่านชีวภาพชนิด Pflanzenkohle พบว่า ความพรุนของดินทั้ง 4 กลุ่มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมโดยเฉพาะการใส่ถ่านชีวภาพชนิด Pflanzenkohle ส่งผลทำให้ความพรุนของดินสูงที่สุด ซึ่งหากมีการใส่ถ่านชีวภาพอย่างต่อเนื่องหรือมีการทิ้งระยะเวลาให้ยาวนานขึ้น คาดว่าดินจะมีความพรุนเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4)

การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $BC_2$ ,  $BC_1$ , และ  $BC_3$ ) แต่อัตราของถ่านชีวภาพที่ต่างกันไม่ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินแตกต่างกัน ขณะที่กรรมวิธี  $BC_2$  มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 36.1% เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (CK) และยังพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมแต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 25.6% ถึง 43.6% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 3) การปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพยังส่งผลต่อความเป็นกรดต่างในดิน การใส่ปุ๋ยเคมี (NPK) และกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพ 2 ( $BC_2$ ) และถ่านชีวภาพ 3 ( $BC_3$ ) ส่งผลทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (CK) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพ 1 ( $BC_1$ ) ทำให้ค่า pH ของดินลดลง (ภาพที่ 4) (Wu et al., 2023) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Enev et al. (2023) กลับพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบมีค่าระหว่างร้อยละ 1.9 ถึง 6.8 โดยดินประเภท Cambisol และ Fluvisol (ตัวอย่าง A และ B) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดที่ 6.7 และ 5.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ดินกลุ่ม Regosol และ Chernozem (ตัวอย่าง C และ D) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุด ทั้งนี้องค์ประกอบของธาตุในดินแต่ละประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีสัดส่วนคาร์บอน 0.6–2.6 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 0.1–1.5 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 0.2–2.7 เปอร์เซ็นต์และไนโตรเจน 0.1–0.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าคุณสมบัติของดินทั้งก่อนและหลังการเพาะปลูกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 5)

Park et al., (2023) ได้ศึกษาลักษณะทางกายและเคมีของดินภายใต้การบำบัดที่แตกต่างกัน หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด ทำการทดลอง 2 ปี โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มีจำนวน 3 ซ้ำ ประกอบไปด้วย 6 กรรมวิธี ได้แก่ ควบคุม (Control) ปุ๋ยเคมี (IF) ถ่านชีวภาพจากซังบาร์เลย์ (BS) ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด (CWBC) ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด+ปุ๋ยเคมี (CWBC + IF) ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด+ถ่านชีวภาพจากซังบาร์เลย์ (CWBC + BS) พบว่า การจัดการถ่านชีวภาพที่ต่างกันส่งผลให้ pH ค่านำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีความแตกต่างกันใน 2 ปีการทดลอง และยังพบว่า การจัดการถ่านชีวภาพที่ต่างกันส่งผลให้ ความหนาแน่น ความพรุน pH ค่านำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและ ความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวก มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปีและกรรมวิธีต่อความหนาแน่น ความพรุน ซึ่งจากการทดลองในปี 2017 พบว่าการให้ปุ๋ยถ่านชีวภาพทุกกรรมวิธี ทั้งจากการใช้ถ่านชีวภาพจากซังบาร์เลย์ (BS) ถ่านชีวภาพจากข้าวโพด (CWBC) ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดร่วมกับปุ๋ยเคมี (CWBC + IF) และถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดร่วมกับถ่านชีวภาพจากซังบาร์เลย์ (CWBC + BS) ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของดินโดยสามารถลดความหนาแน่นรวมและเพิ่มความพรุนของดินได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางเคมี การใช้ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด (CWBC) เพียงอย่างเดียว ส่งผลทำให้ค่า pH และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าสูงที่สุด ขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดร่วมกับปุ๋ยเคมี (CWBC + IF) ส่งผลทำให้ความพรุน ค่าการนำไฟฟ้า และความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีค่าสูงที่สุด และในปี 2018 พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดร่วมกับถ่านชีวภาพจากซังบาร์เลย์ (CWBC + BS) ส่งผลให้ความพรุน ค่า pH ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด และความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน มีค่าสูงที่สุด ขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด (CWBC) ยังส่งผลให้ความพรุน ค่า pH และความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินมีค่าสูงที่สุดได้อย่างต่อเนื่อง และการใช้ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดร่วมกับปุ๋ยเคมี (CWBC + IF) ส่งผลให้ความพรุน ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า และความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวก มีค่าสูงที่สุด (ตารางที่ 6)



ที่มา: Wu et al. (2023)

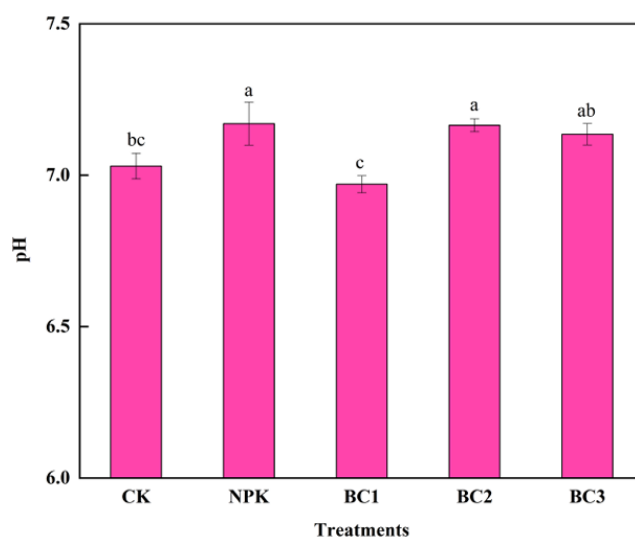
**ภาพที่ 3** ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen) ภายใต้สภาพการจัดการดินที่แตกต่างกัน โดยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ); ซึ่งตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน และตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ระหว่างกรรมวิธีต่างๆ

ตารางที่ 4 อิทธิพลของการใส่ถ่านชีวภาพที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของดิน

sample	Sample description	ความพรุน (%)
Soil A	ตัวอย่างดินก่อนใส่ถ่านชีวภาพ	53.7±1.1
	+ Novoterra	52.1±2.0
	+ Pflanzkohle	55.2±1.9
Soil B	original sample	58.2±1.9
	+ Novoterra	60.1±1.7
	+ Pflanzkohle	64.8±0.5
Soil C	original sample	40.0±2.0
	+ Novoterra	41.1±0.8
	+ Pflanzkohle	41.2±0.9
Soil D	original sample	52.2±1.3
	+ Novoterra	48.8±1.0
	+ Pflanzkohle	51.0±2.5

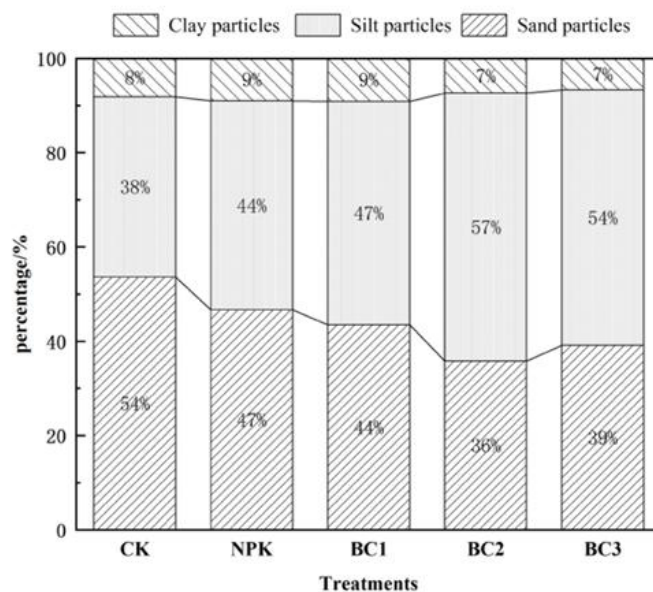
หมายเหตุ ± หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ที่มา: Enev et al. (2023)



ที่มา: Wu et al. (2023)

ภาพที่ 4 pH ของดินภายใต้สภาพการจัดการดินที่แตกต่างกัน โดยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ที่มา: Wu et al. (2023)

ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของอนุภาคขนาดดินเหนียว อนุภาคขนาดทราย และอนุภาคขนาดทรายแป้ง ภายใต้สภาพการจัดการที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารต่างๆในดินภายหลังการเพาะปลูกที่มีปรับปรุงดินด้วย ถ่านชีวภาพ

ชนิดดิน	การจัดการ	$w_{org}$ (wt.%)	เปอร์เซ็นต์ธาตุอาหาร (wt.%)			
			C	H	O	N
Soil A (fluvisol)	ดินก่อนการทดลอง	5.493	2.616±0.243	1.024±0.089	1.547±0.039	0.305±0.020
	ดินหลังใส่ Novoterra	4.535	2.461±0.104	1.147±0.142	0.997±0.078	0.231±0.014
	ดินหลังใส่ Pflanzkohle	5.040	2.328±0.101	1.245±0.053	1.233±0.030	0.234±0.008
Soil B (cambisol)	original sample	6.751	2.605±0.180	1.151±0.080	2.689±0.031	0.306±0.020
	+ Novoterra	6.764	2.607±0.011	1.450±0.099	2.455±0.050	0.251±0.002
	+ Pflanzkohle	6.329	2.360±0.062	1.380±0.017	2.355±0.009	0.234±0.001
Soil C (regosol)	original sample	1.935	1.088±0.017	0.206±0.009	0.195±0.004	0.193±0.009
	+ Novoterra	2.857	0.903±0.038	0.141±0.029	1.705±0.019	0.108±0.010
	+ Pflanzkohle	3.233	1.053±0.078	0.241±0.020	1.867±0.017	0.072±0.015
Soil D (chernozem)	original sample	2.460	0.644±0.023	0.264±0.005	1.424±0.003	0.127±0.003
	+ Novoterra	2.290	0.746±0.114	0.315±0.014	1.143±0.011	0.086±0.008
	+ Pflanzkohle	2.654	0.639±0.016	0.237±0.027	1.641±0.015	0.136±0.002

± หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ที่มา: Enev et al. (2023)

ตารางที่ 6 ลักษณะทางกายและเคมีของดินใต้การจัดการที่แตกต่างกันหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

ปี	กรรมวิธี	ความหนาแน่น (มก./ลบ.ม.)	ความพรุน (%)	pH (1:5H <sub>2</sub> O)	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต่อเมตร)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (กรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (กรัมต่อกิโลกรัม)	ความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวก (เซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัม)
2017	Control	1.26a <sup>1</sup>	52.1b	5.76c	0.30e	11.4d	1.06b	9.84c
	IF	1.28a	51.9b	5.63b	0.63cd	11.9cd	1.07b	10.0c
	BS	1.19b	53.4ab	5.81bc	0.32de	12.7c	0.92c	10.9b
	CWBC	1.13b	55.2a	6.04a	0.38bc	15.2b	1.17a	11.3b
	CWBC + IF	1.14b	54.8a	5.89b	0.52a	15.2b	1.05b	12.3a
	CWBC + BS	1.13b	55.5a	6.03a	0.41b	16.4a	1.09b	12.4ab
2018	Control	1.29a	52.0bc	5.55b	0.44c	15.2e	1.23c	9.78b
	IF	1.29a	51.8c	5.40b	0.60a	15.4de	1.67a	9.91b
	BS	1.22b	54.0b	5.52b	0.41c	16.2cd	1.45b	10.4b
	CWBC	1.16c	57.0a	5.89a	0.49b	17.0b	1.09d	12.1a
	CWBC + IF	1.17bc	56.7a	5.79a	0.58a	16.9bc	1.50b	12.8a
	CWBC + BS	1.15c	57.1a	5.90a	0.48b	18.8a	1.46b	12.3a
Statistical analysis2								
Year (A)		ns	ns	***	***	***	***	ns
Treatment (B)		***	***	***	***	***	ns	***
A × B		*	***	ns	ns	ns	ns	ns

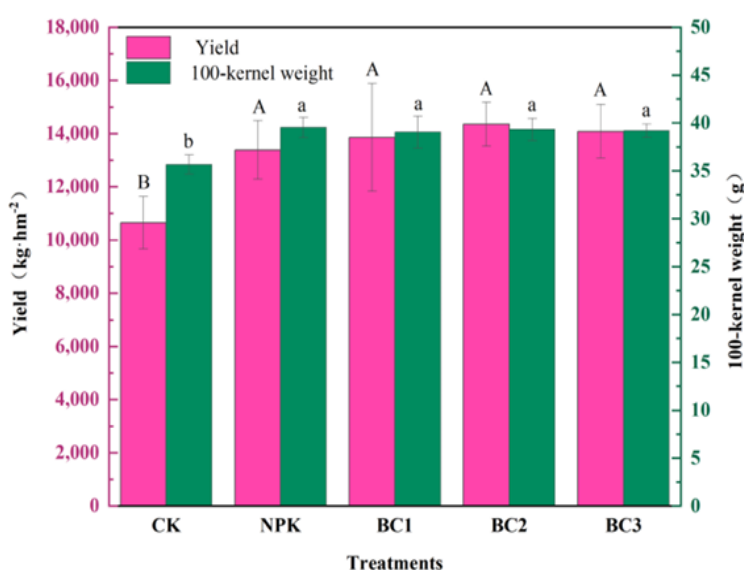
หมายเหตุ \*, \*\* และ \*\*\* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 5%, 1% และ 0.1% ตามลำดับ ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างทางสถิติ

ที่มา: Park et al. (2023)

## 7. อิทธิพลของถ่านชีวภาพกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตข้าวโพด

Wu et al., (2023) ได้ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวโพดพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมี และใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพในอัตราที่ต่างกัน ส่งผลในการเพิ่มน้ำหนัก 100 เมล็ดและยังส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวโพด โดยเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่างร้อยละ 9.5 ถึง 10.9 เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพในอัตราที่ต่างกันไม่ได้ส่งผลให้น้ำหนัก 100 เมล็ด และผลผลิตแตกต่างกัน

(ภาพที่ 6) สอดคล้องกับการศึกษาของ Park et al. (2023) พบว่าการให้ถ่านชีวภาพส่งผลต่อมวลชีวภาพและผลผลิตของข้าวโพด โดยได้ทำการศึกษาค่าผลผลิตของข้าวโพดภายใต้การทดลองที่แตกต่างกันในปี 2560 และ 2561 โดยพบว่าทั้งปีการทดลอง และกรรมวิธี ส่งผลต่อมวลชีวภาพและผลผลิตของข้าวโพดและยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปีที่ทดลองและกรรมวิธีที่ทำการทดลองโดยในปี 2017 พบว่าการให้ปุ๋ยเคมีส่งผลให้ข้าวโพดมีมวลชีวภาพไม่แตกต่างกับการให้ปุ๋ยถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพด (CWBC) การให้ปุ๋ยถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพดร่วมกับปุ๋ยเคมี (CWBC + IF) และการให้ถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพดร่วมกับถ่านชีวภาพจากขี้บาร์เลย์ (CWBC + BS) และยังพบว่าการให้ปุ๋ยถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพดร่วมกับปุ๋ยเคมี (CWBC + IF) ส่งผลให้มวลชีวภาพและผลผลิตข้าวโพดสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับการใช้ถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพดร่วมกับถ่านชีวภาพจากขี้บาร์เลย์ (CWBC + BS) ในขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพดร่วมกับปุ๋ยเคมี (CWBC + IF) ส่งผลให้มวลชีวภาพและของข้าวโพดสูงที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันกับการให้ถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพดร่วมกับถ่านชีวภาพจากขี้บาร์เลย์ (CWBC + BS) แต่การใช้ถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพดร่วมกับถ่านชีวภาพจากขี้บาร์เลย์ (CWBC + BS) ส่งผลให้ข้าวโพดมีผลผลิตสูงที่สุดในปี 2018 (ตารางที่ 7)



ที่มา: Wu et al. (2023)

ภาพที่ 6 ผลผลิตข้าวโพดและน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดภายใต้กรรมวิธีต่างๆ โดยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ และพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ); ซึ่งตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติของผลผลิตข้าวโพด และตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดระหว่างกรรมวิธีต่างๆ

ตารางที่ 7 ผลผลิตของข้าวโพดภายใต้การทดลองที่แตกต่างกันในปี 2560 และ 2561

ปี	กรรมวิธี	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	
		มวลชีวภาพ	ผลผลิต
2017	Control	2.21c	2.48d
	IF	3.21a	3.05bc
	BS	2.68b	2.71cd
	CWBC	3.47a	2.94bc
	CWBC+IF	3.49a	3.40a
	CWBC+BS	3.39a	3.20ab
2018	Control	3.13e	3.98d
	IF	3.88c	4.88bc
	BS	3.63d	4.45cd
	CWBC	3.94bc	5.11b
	CWBC+IF	4.37a	5.76a
	CWBC+BS	4.14ab	5.27b
การวิเคราะห์ทางสถิติ			
ปี (A)			
กรรมวิธี (B)		***	**
AxB		*	*

หมายเหตุ \*, \*\* และ \*\*\* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 5%, 1% และ 0.1% ตามลำดับ ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างทางสถิติ

ที่มา: Park et al. (2023)

## สรุป

สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยเฉพาะจากเศษชากข้าวโพด มีลักษณะเด่นคือเป็นวัสดุที่มีรูพรุนสูงมากและมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 103.14 ตารางเมตร/กรัม ในด้านสมบัติทางเคมี ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.6 – 10.3 มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) สูงถึง 56.14 เซ็นติโมล/กิโลกรัม และมีความคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 55 - 78% ซึ่งผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพสามารถปรับปรุงโครงสร้างดินให้ดีขึ้นโดยช่วยลดความหนาแน่นรวมและเพิ่มความพรุนของดินได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการใส่ถ่านชีวภาพชนิด Pflanzenkohle ที่ส่งผลให้ดินมีความพรุนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมี

สามารถช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC) และไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen) ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพ 31.50 ตันต่อเฮกตาร์ ( $BC_2$ ) มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงสุดถึง 36.1% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตข้าวโพด พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารและส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพดสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย (CK) หรือการใช้ปุ๋ยเคมี (NPK) เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะกรรมวิธีที่ใช้ถ่านชีวภาพจากขี้ข้าวโพดร่วมกับปุ๋ยเคมี (CWBC + IF) ที่ส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพดเฉลี่ยสูงสุดถึง 12.18 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าวโพด

### อ้างอิง

- กัญญารัตน์. 2563. ศักยภาพของถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 10(1):45-55.
- ทิวา ต้นสถิต, สุธรรม โรจนเมฆา และธรรณ เทพวงษ์. 2560. การผลิตไบโอชาร์จากตอซังและฟางข้าวเพื่อการอุ้มน้ำในดิน. หน้า 401-410. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, นครปฐม.
- พินิจภณ ปิตุยะ และอนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์. 2560. การพัฒนาและฟื้นฟูดินทรายในเขตเงาฝนด้วยถ่านชีวภาพ. วารสารวิจัยและพัฒนา วิทยาลัยเกษตรกรรม ในพระบรมราชูปถัมภ์ 2(3):27-38.
- พินิจภณ ปิตุยะ. 2557. เอกสารองค์ความรู้เรื่อง ถ่านชีวภาพ. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. นราธิวาส.
- รัตถชล อ่างมณี, กัญจนันรี ช่วงฉ่ำ และอรธณพ หอมจันทร์. 2560. สมบัติของไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษข้าวโพดและศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน.
- รัตถชล อ่างมณี. 2567. การใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงดินทรายจัดเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในตำบลทับพริก อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว. วารสารวิจัยและพัฒนา วิทยาลัยเกษตรกรรม ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 19(1):109-119.
- ราเชนทร์ ธีรพร. 2566. ข้าวโพด (MAIZE): การผลิต การใช้ประโยชน์ การวิเคราะห์ปัญหา และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วรรณณี. 2566. ความสำคัญทางเศรษฐกิจของข้าวโพดในประเทศไทย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันวิจัยพืชเศรษฐกิจ.

- วิษณุ, นารี, และสุรชัย. 2564. ผลกระทบของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อความแน่นทึบของดิน. วารสารสิ่งแวดล้อมเกษตร 8(3):200–210.
- ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์, และอรสา สุกสว่าง. 2556. การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร. ว. สังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ 39(2):212-225.
- ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์. 2556. การพัฒนาการเรียนรู้ การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุภาพร, มนต์รี, และปรีชา. 2565. ปัญหาความเสื่อมโทรมของดินจากการทำเกษตรเชิงเดี่ยว. รายงานการประชุมวิชาการด้านการเกษตรแห่งชาติครั้งที่ 20.
- อรสา สุกสว่าง. 2561. เทคโนโลยีเกษตรอินทรีย์ที่น่าสนใจในประเทศไทย: ประโยชน์และแนวทางการใช้ไบโอชาร์ (ถ่านชีวภาพ) สำหรับเกษตรอินทรีย์ไทย. ในเอกสารประกอบการประชุม BioFach South East Asia, วันที่ 12-14 กรกฎาคม 2561 กรุงเทพฯ.
- Bekchanova, M., T. Kuppens, A. Cuypers, M. Jozefczak, and R. Malina. 2024. Biochar's effect on the soil carbon cycle: a rapid review and meta-analysis. *Biochar* 6:88.
- Park, J. H., J. J. Yun, S. H. Kim, J. H. Park, B. S. Acharya, J. S. Cho, and S. W. Kang. 2023. Biochar improves soil properties and maize yield under drought conditions in South Korea. *Biochar Journal* 5(66):1–13.
- Sovova, S., V. Enev, J. Smilek, L. Kubikova, M. Trudikova, J. Hajzler, and M. Kalina. 2021. Effects of biochar application on soil properties and growth of model plant *Zea mays*. *Ecocycles* 7(2):46–54.
- Wu, J., L. Jin, N. Wang, D. Wei, M. Pang, D. Li, J. Wang, Y. Li, X. Sun, W. Wang, and L. Wang. 2023. Effects of co-application of chemical fertilizer and biochar on soil physic-biochemical properties and maize yield. *Agriculture* 13(6):1200.