

การใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพด^{1/}

Use of Biochar in Corn Cultivation^{1/}

ผู้ทำสัมมนา
อาจารย์ที่ปรึกษา

นายภูมิศาสตร์ บุญพงษ์^{2/}
อาจารย์ ดร. ภาวิดา พันธ์ศิริ^{3/}

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพผลิตจากการเผาชีวมวลในสภาพไร้อากาศ ทำให้มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนสูง สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้ดี จึงใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินในการปลูกข้าวโพด เนื่องจากการปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่เป็นการปลูกแบบไร่อาศัยน้ำฝน และดินมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไม่สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารในดินได้ จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพดในอัตรา 4.8 ตัน/ไร่ ให้ผลผลิตของข้าวโพดสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไม่ใช้ถ่านชีวภาพ ซึ่งจากการศึกษาต่อมา พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน แต่การใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 4.8 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุด และ พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพที่ผสมลงในดินในอัตราที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้น จึงสรุปได้ว่า การใช้ถ่านชีวภาพช่วยส่งเสริมการให้ผลผลิตของข้าวโพด ดังนั้น การใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพด จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดในการเพิ่มผลผลิต

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ; ข้าวโพด

^{1/}เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

^{2/}นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

^{3/}อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ถ่านชีวภาพ (Biochar) ผลิตจากเศษไม้หรือเศษวัสดุทางการเกษตร ผ่านกระบวนการให้ความร้อนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนน้อย (เสาวนีย์ และทวีวงศ์, 2564) ในปัจจุบันมีการนำมาใช้ในการเกษตร โดยใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีลักษณะโครงสร้าง เป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้น เป็นที่อยู่ให้กับจุลินทรีย์สำหรับทำกิจกรรมเพื่อสร้างอาหารให้ดิน และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูง (พินิจ และอนัญญา, 2560) จากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่กล่าวมา ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด

การปลูกข้าวโพดในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นข้าวโพดไร่แบบอาศัยน้ำฝน ซึ่งข้าวโพดจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพพื้นที่ตอนมีการระบายน้ำได้ดี ลักษณะดินร่วนปนทรายมีความอุดมสมบูรณ์ของดิน และปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชสูงพอสมควร ความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ในช่วง 5.5-8.0 ซึ่งค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย จะเหมาะสมที่สุด (พัชรรัตน์, 2552) อย่างไรก็ตามการปลูกข้าวโพดในสภาพดิน ที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายซึ่งไม่สามารถเก็บรักษาความชื้นในดินได้ และยังมีการสะสมของธาตุสารอาหารพืชน้อย หรือการปลูกข้าวโพดในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ย่อมมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตได้ ทำให้หากมีการจัดการกับปัญหาดังกล่าวได้ ย่อมส่งผลให้ปริมาณและคุณภาพของข้าวโพดสูงขึ้น (เยาวพล และโฉมยง, 2564) ดังนั้นสัมมนานี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่ออภิปรายเกี่ยวกับถ่านชีวภาพ ประโยชน์ของถ่านชีวภาพ สถานการณ์การปลูกข้าวโพด ปัญหาในการปลูกข้าวโพด และการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการปลูกข้าวโพดของเกษตรกร

ถ่านชีวภาพ

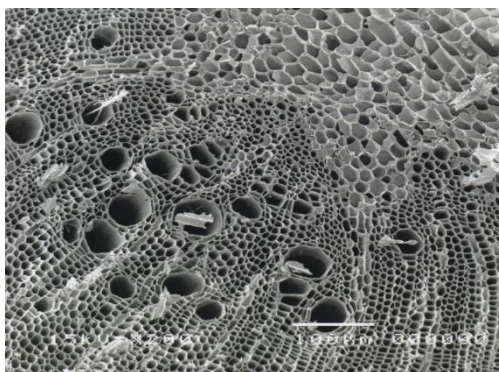
ถ่านชีวภาพ (Biochar) คือ ถ่านที่ผลิตจากการนำชีวมวล (biomass) ชนิดต่างๆ เช่น ใบไม้ กิ่งไม้ เปลือกผลไม้ มูลสัตว์ หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ ชานอ้อย ชังข้าวโพด เหน้้ามัน สำปะหลัง ที่ผ่านการเผาไหม้ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการแปลงสภาพเชิงเคมีความร้อนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (ไร้อากาศ) หรือมีออกซิเจนในระบบน้อยที่สุด ทำให้ได้ถ่านไม้ชีวภาพ ที่มีคุณสมบัติและองค์ประกอบพื้นฐาน คือ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง ลักษณะโครงสร้างที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวมาก นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นประจุลบ ที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูง ด้วยคุณสมบัติและลักษณะโครงสร้างดังกล่าว ทำให้ถ่านชีวภาพถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน และความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนและน้ำในดิน ทำให้เป็นที่อยู่ให้กับจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน (ฟินิจ และอนัญญา, 2560) นอกจากนี้การกักเก็บคาร์บอนของถ่านชีวภาพ ยังช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากพื้นที่เกษตรกรรมเข้าสู่ชั้นบรรยากาศด้วย (ประภา และคณะ, 2565)

คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพ

1) **องค์ประกอบและโครงสร้าง** ปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อองค์ประกอบของโครงสร้าง คือ วัตถุดิบ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิส ทำให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักที่มากที่สุด เป็นคาร์บอนที่มีการเรียงตัวแบบวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ทำให้คาร์บอนมีความเสถียรสูง (Downie *et al.*, 2009) จากรูปแบบของการเรียงตัวของอะตอมคาร์บอน มีผลทำให้ถ่านชีวภาพมีลักษณะรูพรุนเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น

2) **ความพรุนและพื้นที่ผิว** ในการผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ทำให้โครงสร้างของถ่านชีวภาพ มีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กๆ จำนวนมาก ดังภาพที่ 1 (Downie *et al.*, 2009) ที่มีคุณสมบัติกักเก็บน้ำ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอน และธาตุอาหารได้ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้จุลินทรีย์สามารถทำกิจกรรมได้ดีขึ้น (ฟินิจ และอนัญญา, 2560) นอกจากนี้รูพรุนยังมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิว เนื่องจาก พื้นที่ผิวมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำและธาตุอาหาร รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยาต่างๆในดิน กล่าวคือ หากถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น จะมีความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น



ที่มา: เสาวนีย์ และทวีวงศ์ (2564)

ภาพที่ 1 ภาพถ่ายพื้นผิวและรูพรุนของถ่านชีวภาพ

คุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพ

1) **ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)** ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช (ณัฐมณ และศุภธิดา, 2557) ดังนั้น ค่า pH ของดินจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทั่วไปแล้วถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ระหว่าง 4-12 ขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต โดยเมื่ออุณหภูมิในการไพโรไลซิสเพิ่มสูงขึ้น (มากกว่า 400 องศาเซลเซียส) จะทำให้ถ่านชีวภาพที่ได้มีค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้น เนื่องจาก การให้ความร้อนในกระบวนการ pyrolysis จะทำให้หมู่ฟังก์ชันที่แสดงความเป็นกรดถูกกำจัดออก เช่น หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl) ไฮดรอกซิล (hydroxyl) หรือฟอร์มิล (formyl) (Mukherjee et al., 2011; Weber and Quicker, 2018)

2) **มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ** เนื่องจากในกระบวนการไพโรไลซิสไม่ผ่านการสัมผัสกับออกซิเจน ทำให้คาร์บอนไม่เกิดการแปรสภาพเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสสูงขึ้น (วิณัฐ และคณะ, 2553) จากการศึกษาของ Sun *et al.* (2014) การผลิตถ่านชีวภาพ โดยไพโรไลซิสไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ที่มีปริมาณคาร์บอน 66.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นถึง 600 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ที่มีคาร์บอนสูงถึง 80.89 เปอร์เซ็นต์ ด้วยลักษณะดังกล่าวถ่านชีวภาพจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์อีกวัตถุประสงค์หนึ่ง คือ เป็นวัตถุดิบในการกักเก็บคาร์บอนลงสู่ดิน

3) **ปริมาณธาตุอาหาร** ปริมาณธาตุอาหารในถ่านชีวภาพประกอบด้วย ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น ซึ่งปริมาณธาตุอาหารในถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านชีวภาพ โดยที่ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากมูลสัตว์ จะมีปริมาณธาตุอาหารที่สูงกว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Huang *et al.*, 2011)

ประโยชน์ของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน

ประโยชน์ของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางกายภาพของดิน

1) **การกักเก็บน้ำในดิน** ถ่านชีวภาพมีความสามารถในการกักเก็บน้ำในดิน โดยอาศัยลักษณะที่เป็นรูพรุนในการดูดซับน้ำ ซึ่งถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษไม้สามารถดูดซับน้ำได้มากถึง 2-4 เท่าของน้ำหนักเดิม (ทวิวงศ์, 2554) ส่งผลให้ดินที่ผสมถ่านชีวภาพสามารถอุ้มน้ำได้สูงขึ้น อีกทั้งการที่ถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะรวมสูง เมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในดินทำให้ดินสามารถดูดซับน้ำ และสามารถกักเก็บน้ำในเขตรากพืชได้มากขึ้นอีกด้วย

2) **การระบายน้ำของดิน** ถ่านชีวภาพทำให้สมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลง เนื่องจากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน รูปร่าง ลักษณะ และขนาดที่แตกต่างกันของถ่านชีวภาพ ทำให้ดินมีความพรุนเพิ่มขึ้น และลดความหนาแน่นของดินลง ส่งผลให้การไหลของน้ำผ่านชั้นดินทำได้สะดวกขึ้น

3) **การลดความแน่นทึบของดิน** คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีความพรุนสูง สามารถปรับปรุงโครงสร้างดิน แก้ปัญหาการถ่ายเทอากาศของดินเนื้อละเอียด และดินที่มีการอัดแน่นสูง ลดความหนาแน่นและจับตัวเป็นก้อนของดินได้ (เสาวนีย์ และทวิวงศ์, 2564)

ประโยชน์ของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมีของดิน

1) **ปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน** ถ่านชีวภาพสามารถปรับสภาพดินให้มีความเป็นกรดลดลง หรือยังสามารถใช้แก้เนื้อที่มีสภาพความเป็นกรด เนื่องจากถ่านชีวภาพส่วนใหญ่มีค่าเป็นด่าง (บุญรักษา, 2560) โครงสร้างอะตอมของถ่านชีวภาพเป็น high aromatic จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่ทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่เป็นประจุลบเป็นจำนวนมากที่พื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพ ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนประจุบวก (H^+) ในสารละลายดินได้สูง ดังนั้น เมื่อใส่ถ่านชีวภาพในดินที่มีความเป็นกรด จึงเกิดการแลกเปลี่ยนประจุทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้น (Warnock *et al.*, 2007)

2) **การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน** การที่ถ่านชีวภาพมีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก และมีโครงสร้างทางเคมีที่เอื้อต่อการดูดซับธาตุอาหารต่างๆ อีกทั้งถ่านชีวภาพจะช่วยส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน (พินิจ และอนัญญา, 2560) ด้วยลักษณะที่เป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพ จึงเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดิน และเป็นวัสดุปลูกที่มีประสิทธิภาพ สามารถปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ แต่อย่างไรก็ตาม การใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินได้ไม่มากนัก จึงควรใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (อิสริยาภรณ์ และคณะ, 2554) นอกจากนี้ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติต่างๆที่เอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์ดิน ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินได้ รวมทั้งการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดิน เป็นผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น ดังนั้น การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินให้ได้ผลผลิตสูงสุดที่สุดจึงควร ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (วิชุดา, 2556) เพื่อช่วยเพิ่มประโยชน์ของธาตุอาหารจากปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

สถานการณ์การปลูกข้าวโพด

สถานการณ์การผลิตข้าวโพดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากราคาปุ๋ยเคมีและเมล็ดพันธุ์ที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ทำให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นทดแทนที่มีต้นทุนที่ต่ำกว่าและราคาอยู่ในเกณฑ์ดี โดยในปีเพาะปลูก 2564 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมดประมาณ 7.33 ล้านไร่ ซึ่งลดลงจากปีเพาะปลูก 2563 ที่มีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพดทั้งหมดประมาณ 7.48 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ข้าวโพดที่นิยมปลูกในประเทศไทยแบ่งเป็น

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปี 2564 ประมาณ 6.95 ล้านไร่ ลดลงจาก 7.09 ล้านไร่ ในปี 2563 เนื่องจากราคาปัจจัยการผลิต เช่น เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยเคมี สารเคมี และน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงขึ้น เกษตรกรจึงปรับเปลี่ยนพื้นที่ไปปลูกพืชอื่นที่มีต้นทุนต่ำและให้ผลตอบแทนดีกว่า อย่างไรก็ตามผลผลิตต่อไร่ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในปี 2564 มีผลผลิตเฉลี่ย 711 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มขึ้นจาก 705 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี 2563 เนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนเหมาะสม รวมทั้งมีมรสุมในปีที่ผ่านมาส่งผลให้ปริมาณน้ำในแหล่งกักเก็บมีเพียงพอต่อการเพาะปลูก และเกษตรกรมีความชำนาญในการกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชมากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) อีกทั้งราคาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มที่สูงขึ้น เนื่องจากผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ในประเทศ

ข้าวโพดหวาน

พื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานในแต่ละปีเฉลี่ยประมาณ 0.23 ล้านไร่ มีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 2,133 กิโลกรัมต่อไร่ โดยในปัจจุบันการปลูกข้าวโพดหวานลูกผสมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการพัฒนาข้าวโพดหวานสายพันธุ์ใหม่เพิ่มขึ้น เช่น พันธุ์ทับทิมสยาม ที่สามารถบริโภคสดได้โดยไม่ต้องทำให้สุกก่อน ในขณะที่ข้าวโพดพันธุ์พื้นเมือง เช่น ข้าวโพดข้าวเหนียว และข้าวโพดเทียน ยังได้รับความนิยมจากผู้บริโภค นอกจากนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวโพดหวานอันดับต้นๆ ของโลกในช่วงหลายปี และจากการที่แหล่งผลิตข้าวโพดหวานในสหภาพยุโรปและทวีปอื่นๆ เกิดความเสียหายจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (เอลนีโญ-ลานีญา) จึงส่งผลให้ข้าวโพดหวานของไทยในปี 2561 สามารถส่งออกได้มาก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562)

ข้าวโพดฝักอ่อน

ข้าวโพดฝักอ่อนเป็นพืชผักอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญทางเศรษฐกิจ ใช้ในการบริโภคสด และการแปรรูปแบบบรรจุกระป๋องเพื่อส่งออก ในปีการผลิต 2564 มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนจำนวน 151,198 ไร่ ลดลงจาก 171,577 ไร่ ในปี 2561 นอกจากนี้ผลผลิตกิโลกรัมต่อไร่ของข้าวโพดฝักอ่อนมีแนวโน้มลดลงทุกปี โดยในปี 2561 มีผลผลิตเฉลี่ย 1,435 กิโลกรัมต่อไร่ ลดลงเหลือ 1,388 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี 2564 เนื่องจากปัญหาราคาต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น เช่น ราคาเมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดโรคและแมลง เป็นต้น อีกทั้งการส่งเสริมการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนจากหน่วยงานรัฐไม่มากพอ ทำให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า และให้ผลตอบแทนที่สูงกว่า (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

ปัญหาในการปลูกข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นพืชไร่ที่ค่อนข้างทนทาน และสามารถปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้สูง สามารถปลูกได้ในหลายพื้นที่ โดยการปลูกข้าวโพดส่วนมากเป็นข้าวโพดแบบอาศัยน้ำฝน ซึ่งข้าวโพดจะเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิ 24-30 องศาเซลเซียส มีลักษณะดินที่เป็นดินร่วนปนทราย เป็นพื้นที่ดอนมีการระบายน้ำได้ดี มีความอุดมสมบูรณ์ของดินและปริมาณธาตุอาหารพืชที่สูงพอสมควร มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 5.5-8 ค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย การปลูกข้าวโพดนิยมปลูกสองฤดู คือฤดูปลูกต้นฝนและฤดูปลูกปลายฝน ทั้งนี้ในการปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่มักพบปัญหาต่าง ดังนี้

1) สภาพอากาศ ข้าวโพดเป็นพืชที่มีความสามารถปรับตัวได้ในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และทนต่ออากาศร้อนได้ดี อุณหภูมิต่ำสุดสำหรับการงอกของเมล็ดประมาณ 10 องศาเซลเซียส ขณะที่ต้นข้าวโพดยังเล็ก (ต้นสูงประมาณ 15 เซนติเมตร) ข้าวโพดสามารถทนทานต่ออากาศหนาวเย็นได้ดี แต่เมื่อต้นข้าวโพดโตขึ้นจะไม่ทนทานต่อสภาพอากาศหนาวเย็น

2) ดินร่วนปนทราย การปลูกข้าวโพดในดินที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไม่สามารถเก็บรักษาน้ำในดินได้ และมีการสะสมปริมาณธาตุอาหารพืชในดินน้อย ข้าวโพดจึงไม่สามารถดูดใช้ธาตุอาหารในดิน ไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ ทำให้ผลผลิตของข้าวโพดลดลง

3) ลักษณะการปลูก การปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่เป็นการปลูกไร่แบบอาศัยน้ำฝน ซึ่งปริมาณน้ำเป็นปัจจัยสำคัญ ที่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าวโพด เนื่องจากการขาดน้ำในช่วงระยะการเจริญทางลำต้นและใบ จะทำให้ความสูงต้นลดลง ในช่วงระยะออกดอกจะทำให้การสร้างเมล็ดลดลง และในช่วงระยะหลังการสร้างเมล็ด จะทำให้เมล็ดลีบ ดังนั้นการให้ผลผลิตของข้าวโพดจึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน และการกระจายของฝนที่ตกตลอดฤดูปลูก

4) ฤดูปลูก เกษตรกรนิยมปลูกข้าวโพดในฤดูปลูกต้นฝน (เมษายน-พฤษภาคม) เนื่องจากได้ผลผลิตสูง ไม่มีโรคราน้ำค้างระบาดทำความเสียหาย รวมทั้งมีปัญหาเกี่ยวกับวัชพืชน้อยกว่าฤดูปลูกปลายฝน (กรกฎาคม-สิงหาคม) แต่ข้าวโพดที่เก็บจากการปลูกฤดูปลูกต้นฝน มีคุณภาพของเมล็ดต่ำ กล่าวคือจะเก็บเกี่ยวเมล็ดขณะที่ความชื้นของอากาศสูง ทำให้เกิดเชื้อราซึ่งสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน ทำให้เมล็ดข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวจากฤดูปลูกต้น มีสารพิษอะฟลาทอกซินในปริมาณสูง จนก่อให้เกิดปัญหาการรับซื้อจากตลาดต่างประเทศ ส่วนเมล็ดข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวจากฤดูปลูกปลายฝนนั้นไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสารพิษดังกล่าวหรือถ้ามีก็น้อย เนื่องจากการเก็บเกี่ยวกระทำในขณะที่ความชื้นในอากาศต่ำ สามารถปล่อยให้เมล็ดแห้งเต็มที่ ในแปลงปลูกก่อนเริ่มเก็บเกี่ยว (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558)

การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพด

ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่เขตร้อนชื้น โดยส่วนมากเป็นดินร่วนปนทราย มีธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ความอุดมสมบูรณ์และอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ดินสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้ในปัจจุบันมีการนำถ่านชีวภาพ (Biochar) มาประยุกต์ใช้ในการเกษตร โดยใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินและวัสดุปลูก เนื่องจากถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารในดิน อีกทั้งเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ในดิน จากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่กล่าวมาเอื้อต่อการใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพดินเพื่อการปลูกข้าวโพด (อิสริยาภรณ์ และคณะ, 2559)

จากการศึกษาผลของถ่านไม้มะม่วงชีวภาพต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมสายพันธุ์เหนียวณีของ เยาวพล และโฉมยง (2564) ในสภาพแปลงปลูกที่มีลักษณะดินร่วนปนทราย วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ทำการเตรียมวัสดุปลูกหรือดำรับทดลอง โดยผสมถ่านชีวภาพและดินจำนวน 4 อัตรา ดังนี้ อัตรา 100:0 อัตรา 75:25 อัตรา 50:50 และอัตรา 25:75 (ถ่านชีวภาพ: ดิน) พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพด ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของต้นข้าวโพด มีผลต่อความสูงของลำต้นในทุกสัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 1) ยกเว้นสัปดาห์ที่ 2 ที่ความสูงไม่แตกต่างกัน โดยในสัปดาห์ที่ 6 การใช้ถ่านชีวภาพผสมกับดินอัตรา 50:50 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นสูงที่สุด 101 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับการใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 25:75 ที่ให้ความสูงต้นน้อยที่สุด 73.5 เซนติเมตร เนื่องจาก คุณสมบัติของถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวและรูพรุนจำนวนมาก สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารในดิน ทำให้ความชุ่มชื้นในดินเพิ่มขึ้น การดูดใช้น้ำเพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด ทำให้ความสูงของลำต้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การใช้ถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่มากกว่าดินปลูก อาจส่งผลเสียต่อความเป็นประโยชน์และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพด

ตารางที่ 1 ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงของลำต้น

อัตราถ่านชีวภาพ (%ถ่านชีวภาพ: %ดิน)	ความสูง (เซนติเมตร) สัปดาห์ที่					
	1	2	3	4	5	6
100:0	9.0 ^a	12.3	19.5 ^b	36.0 ^{ab}	49.0 ^{ab}	87.7 ^b
75:25	6.3 ^b	11.0	19.2 ^b	36.5 ^{ab}	48.2 ^{ab}	85.5 ^b
50:50	7.5 ^{ab}	14.0	26.7 ^a	43.7 ^a	62.0 ^a	101.0 ^a
25:75	8.0 ^{ab}	12.0	21.5 ^{ab}	33.7 ^b	44.0 ^b	73.5 ^c
F-test	*	ns	*	*	*	**
C.V. (%)	19.42	23.84	16.93	13.84	17.98	8.47

หมายเหตุ: *, ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ตามลำดับตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันเพียงตัวเดียว

ในคอลัมน์เดียวถือว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ที่มา: เยาวพล และโฉมยง (2564)

ทั้งนี้การใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพด ช่วยเพิ่มความกว้างของใบข้าวโพด (ตารางที่ 2) โดยการปลูกข้าวโพดที่ใช้ถ่านชีวภาพต่อดินในอัตรา 100:0 75:25 และ 50:50 ทำให้ความกว้างของใบข้าวโพดกว้าง 7.8 7.7 และ 7.3 เซนติเมตร และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนการใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 25:75 ให้ความกว้างของใบน้อยที่สุด 6.1 เซนติเมตร โดยเมื่ออัตราส่วนของถ่านชีวภาพในดินปลูกเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความกว้างของใบเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ถ่านชีวภาพมีผลทำให้ดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ช่วยรักษาความชื้นในดิน และลดความแน่นทึบของดิน ส่งผลให้การเจริญเติบโตของใบข้าวโพดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตด้านความกว้างของใบข้าวโพด

อัตราถ่านชีวภาพ (%ถ่านชีวภาพ : %ดิน)	ความกว้างใบข้าวโพด (ซม./ต้น)
100:0	7.8 ^a
75:25	7.7 ^a
50:50	7.3 ^a
25:75	6.1 ^b
F-test	**
C.V. (%)	6.6

หมายเหตุ: *, ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ตามลำดับตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันเพียงตัวเดียว

ในคอลัมน์เดียวถือว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ที่มา: เยาวพล และโฉมยง (2564)

การใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพดช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำหนักราก ความกว้างของราก และความยาวของราก ทั้งก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 3) โดยการใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพดในอัตรา 75:25 ทำให้น้ำหนัก รากก่อนปลูกและหลังปลูกสูงที่สุด 207.9 และ 173.4 กรัม/ราก ตามลำดับ และ น้ำหนักรากก่อนปลูกและหลังปลูกน้อยที่สุด 120.8 และ 102.0 กรัม/ราก ตามลำดับ ในอัตรา 25:75 อัตราของถ่านชีวภาพส่งผลต่อความกว้างของรากข้าวโพด โดยถ่านชีวภาพอัตรา 75:25 ทำให้ความกว้างรากก่อนปลูกและหลังปลูกสูงที่สุด 4.8 และ 4.4 เซนติเมตร/ ราก ตามลำดับ และความกว้างรากก่อนปลูกและหลังปลูกน้อยที่สุด 4.0 และ 3.0 เซนติเมตร/ราก ตามลำดับ ในอัตรา 25:75 และส่งผลต่อความยาวของรากข้าวโพด โดยถ่านชีวภาพ อัตรา 75:25 ทำให้ความยาวรากก่อนปลูกและหลังปลูกสูงที่สุด 29.0 และ 18.5 เซนติเมตร/ราก ตามลำดับ และความยาวรากก่อนปลูกและหลังปลูกน้อยที่สุด 24.0 และ 15.0 เซนติเมตร/ราก ตามลำดับ ในอัตรา 25:75 เนื่องจาก การใช้ถ่านชีวภาพที่มีคุณสมบัติและ โครงสร้างมีพื้นที่ผิวและรูพรุนเล็กๆจำนวนมาก ที่สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารในดิน ทำให้ความ ชุ่มชื้นในดินเพิ่มขึ้น และดินอุดมสมบูรณ์ขึ้น ลดความแน่นทึบของดิน ปรับสภาพความเป็นกรดเป็น ด่างของดินทำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและให้น้ำหนักรากของข้าวโพดได้ดี

ตารางที่ 3 ผลของถ่านชีวภาพต่อน้ำหนักฝักก่อนปอกเปลือกและหลังปอกเปลือก ความกว้างของฝักก่อนปอกเปลือก และหลังปอกเปลือก ความยาวของฝักก่อนปอกเปลือก และหลังปอกเปลือกข้าวโพด

อัตราถ่านชีวภาพ (%ถ่านชีวภาพ: %ดิน)	น้ำหนักฝัก (กรัม/ฝัก)		ความกว้างฝัก (ซม./ฝัก)		ความยาวฝัก (ซม./ฝัก)	
	ก่อนปอกเปลือก	หลังปอกเปลือก	ก่อนปอกเปลือก	หลังปอกเปลือก	ก่อนปอกเปลือก	หลังปอกเปลือก
100:0	175.2 ^{ab}	167.3 ^{ab}	4.8 ^a	4.4 ^a	29.3 ^a	18.2 ^{ab}
75:25	207.9 ^a	173.4 ^a	4.8 ^a	4.4 ^a	29.0 ^a	18.5 ^a
50:50	162.5 ^{ab}	131.1 ^{bc}	4.5 ^a	4.0 ^{bc}	25.0 ^b	16.0 ^b
25:75	120.8 ^b	102.0 ^c	4.0 ^b	3.0 ^c	24.0 ^b	15.0 ^c
F-test	*	**	**	**	**	**
C.V. (%)	26.38	16.09	5.81	6.42	4.08	6.23

หมายเหตุ: *, ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ตามลำดับตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันเพียงตัวเดียว

ในคอลัมน์เดียวถือว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ที่มา: เยาวพล และโณมยง (2564)

จากการศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการให้ผลผลิตข้าวโพดของ Feng *et al.* (2021) ในเขตชลประทาน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้ถ่านชีวภาพเป็นดาร์บทดลองจำนวน 5 อัตรา ดังนี้ 0 (control), 1.6, 3.2, 4.8 และ 8 ตัน/ไร่ พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพดช่วยเพิ่มจำนวนเมล็ดต่อแถว จำนวนแถวต่อฝัก และน้ำหนัก 100 เมล็ด ส่งผลทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) โดยจำนวนเมล็ดต่อแถวในแปลงที่ใช้ชีวภาพในอัตรา 4.8 ตัน/ไร่ ให้จำนวนเมล็ดต่อแถวสูง 48.26 และให้จำนวนเมล็ดต่อแถวน้อยที่สุด 44.00 ในถ่านชีวภาพอัตรา 1.6 ตัน/ไร่ จำนวนแถวต่อฝักในแปลงที่ใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 8 ตัน/ไร่ ให้จำนวนแถวต่อฝักสูงที่สุด 16.29 และน้อยที่สุด 15.14 แถวต่อฝักในแปลงที่ไม่ได้ใช้ถ่านชีวภาพ น้ำหนัก 100 เมล็ด ในแปลงทดสอบที่ใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 4.8 ตัน/ไร่ ให้น้ำหนัก 100 เมล็ดสูงที่สุด 41.32 กรัม และน้อยที่สุด 39.31 กรัม ในในแปลงที่ไม่ได้ใช้ถ่านชีวภาพ ในส่วนผลผลิตของข้าวโพดในแปลงทดสอบที่ใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 4.8 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวโพดสูงที่สุด 2,580.99 กก./ไร่ และผลผลิตของข้าวโพदन้อยที่สุด 2,306.02 และ 2,306.92 กก./ไร่ ในแปลงที่ใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 1.6 ตัน/ไร่ และ แปลงที่ไม่ใช้ถ่านชีวภาพ ตามลำดับ จะเห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพในอัตราที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มความชื้นในดิน สามารถดูดซับธาตุอาหารในดินได้ ช่วยทำให้ดินโปร่งการถ่ายเทอากาศได้ดี ข้าวโพดจึงสามารถดูดใช้น้ำและธาตุอาหารในดินได้ดีขึ้น ทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดโดยใช้ถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ (ตัน/ไร่)	จำนวนเมล็ด ต่อแถว	จำนวนแถว ต่อฝัก	น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กก./ไร่)
0 (control)	44.57 ± 2.57	15.14 ± 1.07	39.31 ± 0.95	2306.92 ± 530.10
1.6	44.00 ± 2.44	15.71 ± 1.38	39.73 ± 0.75	2306.02 ± 372.60
3.2	44.86 ± 1.77	16.00 ± 1.15	39.70 ± 0.41	2517.52 ± 573.30
4.8	48.29 ± 2.42	16.00 ± 1.15	41.32 ± 1.03	2580.99 ± 152.25
8	45.86 ± 2.41	16.29 ± 1.80	39.89 ± 1.68	2549.97 ± 187.20

ที่มา: Feng *et al.* (2021)

จากการศึกษาผลของถ่านชีวภาพ ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดในโรงเรือน ที่มีการให้น้ำแบบหยดและการคลุมดินของ Yang *et al.* (2020) ในเขตชลประทาน วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ได้ใช้ถ่านชีวภาพเป็นตำรับทดลองจำนวน 4 อัตรา ดังนี้ 0 (control), 2.4, 4.8 และ 7.2 ตัน/ไร่ พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวโพดปี 2558 ในอัตรา 4.8 ตัน/ไร่ ให้ผลผลิตของข้าวโพดสูงที่สุด 2,432.0 กก./ไร่ เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้ถ่านชีวภาพ (0 ตัน/ไร่) ที่ให้ผลผลิตน้อยที่สุด 2,265.6 กก./ไร่ และในปี 2559 การใช้ถ่านชีวภาพในแปลงปลูกอัตรา 4.8 ตัน/ไร่ ให้ผลผลิตของข้าวโพดสูงที่สุด 2,024.0 กก./ไร่ เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้ถ่านชีวภาพ (0 ตัน/ไร่) ที่ให้ผลผลิตน้อยที่สุด 1,881.6 กก./ไร่ (ตารางที่ 5) จะเห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 4.8 ตัน/ไร่ เหมาะสมทำให้ผลผลิตของข้าวโพดมากที่สุด เนื่องจาก คุณสมบัติของถ่านชีวภาพมี ที่สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารในดิน อีกทั้งยังมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ ทำให้ช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดได้ ทั้งนี้การใช้ถ่านชีวภาพในอัตราที่น้อยหรือมากเกินไปอาจส่งผลเสีย โดยการใช้ถ่านชีวภาพในอัตราที่น้อยเกินไปอาจไม่เพียงพอต่อการเพิ่มผลผลิต และการใช้ในอัตราที่มากเกินไปมีผลต่อความเป็นประโยชน์และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพด

ตารางที่ 5 ผลผลิตของข้าวโพดโดยใช้ถ่านชีวภาพในปี 2558 และ 2559

ปี	ถ่านชีวภาพ (ตัน/ไร่)	ผลผลิต (กก./ไร่)
2558	0 (control)	2265.6 ^b
	2.4	2408.0 ^a
	4.8	2432.0 ^a
	7.2	2305.6 ^b
2559	0 (control)	1881.6 ^c
	2.4	1908.8 ^c
	4.8	2024.0 ^a
	7.2	1940.8 ^c

หมายเหตุ: ผลผลิตของข้าวโพดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ที่มา: Yang *et al.* (2020)

สรุป

การปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่เป็นการปลูกแบบไร่ อาศัยน้ำฝน ซึ่งการให้ผลผลิตของข้าวโพดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกตลอดฤดูปลูก พื้นที่ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงมีปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำและไม่สามารถรักษาความชื้นในดินได้ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวโพด ทำให้มีการนำถ่านชีวภาพ (Biochar) มาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ที่สามารถในการดูดซับธาตุอาหารในดิน ช่วยรักษาความชื้นในดิน ทำให้จุลินทรีย์ในดินสามารถทำกิจกรรมเพื่อสร้างอาหารให้ดินได้ดี และลดความแน่นทึบของดิน ทำให้ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตด้านความสูงต้น และพื้นที่ใบ อีกทั้งการปลูกข้าวโพดที่ใช้ถ่านชีวภาพทำให้จำนวนเมล็ดต่อฝัก และขนาดฝักของข้าวโพดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นไปด้วย อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านชีวภาพในปริมาณมาก อาจทำให้ pH ของดินสูงถึงระดับเป็นด่าง ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชลดลง ซึ่งทำให้เกิดการตกตะกอนของธาตุบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัสและจุลธาตุ นอกจากนี้การปลูกข้าวโพดในแต่ละพื้นที่มีสภาพภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน และสภาพภูมิอากาศในการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ทำให้การใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน ควรคำนึงถึงปริมาณและค่าการวิเคราะห์ดิน

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐมณ กัณธิยะ และ ศุภธิดา อ้าทอง. 2557. ผลของชนิดของดินระดับความชื้นและค่า pH ของดินต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆ. วารสารแก่นเกษตร 42 (2): 314-321.
- ทวีวงศ์ ศรีบุรี. 2554. การทดสอบคุณลักษณะของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ก่อนนำไปปรับปรุงคุณภาพดิน. ในการประชุมวิชาการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและคุณภาพชีวิตของประชาชนตามแนวพระราชดำริ. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, เพชรบุรี.
- บุญรักษ กาญจนวรรณิชย์. 2560. สารความรู้เก่าแก่ของเหลือสารพัดประโยชน์. แหล่งที่มา: <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/865>. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2565.
- ประภา ธารเนตร, พันทิภา โพธิ์พันธุ์ และกชกร หล้าพรหม. 2565. บทบาทของถ่านชีวภาพต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินและการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เกษตรกรรม. วารสารแก่นเกษตร 50 (4): 1233-1253.
- พัชรรัตน์ อมรชร. 2552. การประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวโพดหวานจำแนกโดยลักษณะสัณฐานวิทยาและการตอบสนองต่อโรคราน้ำค้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- พินิจภณ ปิตุยะ และอนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์. 2560. การพัฒนาและฟื้นฟูดินทรายในเขตเงาฝนด้วยถ่านชีวภาพ. วารสารวิจัยและพัฒนาโดยกองการณในพระบรมราชูปถัมภ์ 12 (3): 27-38.
- เยาวพล ชุมพล และโฉมยง ไชยอุบล. 2564. ผลของถ่านไม้มะม่วงชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียว. วารสารมหาวิทยาลัยและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 9 (1): 113-125.
- วิชุดา กัลป์ยาศิริ. 2556. ผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพดินเหนียวปนทรายกรณีศึกษาดำบลป่าเต็ง อำเภอกงกระจัน จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วิณัฐ สุดสุข, ศิรภัสสร เกียรติพิงพร และอภิญา ดวงจันทร์. 2553. การไฟโรไลซิสของโยผลปาล์มเปลือกเมล็ดกาแฟและไม้ยูคาลิปตัส. แหล่งที่มา: <http://www.research.eng.ku.ac.th/index.php?>. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2565.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2558. การปลูกข้าวโพด. แหล่งที่มา: <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=8646>. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2565.
- เสาวนีย์ วิจิตรโกสมุ และทวีศักดิ์ ศรีบุรี. 2554. ถ่านชีวภาพและการประยุกต์ใช้เพื่อเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. แหล่งที่มา: <https://www.oae.go.th/view/1/A3/TH-TH>. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2565.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. รายละเอียดภาวะเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งที่มา: <https://www.oae.go.th/view/1/%E/TH-TH>. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2565.

- อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, พัลลภ ไชยโป, ภูมิ จันทร์อุทัย และเสน่ห์ พงศาปาน. 2554. ผลของถ่านและปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนในดินทรายจัด. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 6 (1): 36-49.
- อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, มะรุติง มูซอ และอาซุวัน เบ็นมะ. 2559. ผลของการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพและถ่านธรรมชาติต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน. ในการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 5: 24-26 เมษายน 2559. สถาบันวิจัยและพัฒนาชายแดนภาคใต้ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, ยะลา
- Downie, A., A. Crosky and P. Munroe. 2009. Physical properties of biochar. pp. 13-33. In J. Lehmann and S. Joseph, eds. Biochar for environmental management science and technology. Earthscan, London.
- Feng, W., Y. Fang, C. Rui, L. Jing, Q. Zhongyi, M. Qingfeng and C. Haiyan. 2021. Effects of straw biochar application on soil temperature available nitrogen and growth of corn. Journal of Environmental Management 277: 1-11.
- Huang, Y., Z. Wei, Z. Qiu, X. Yin and C. Wu. 2001. Study on structure pyrolysis behavior of lignin derived from corncob acid hydrolysis residue. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 93: 153-159.
- Mukherjee, A., A. R. Zimmerman and W. Harris. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. Geoderma 163: 247-255.
- Sun, Y., B. Gao, Y. Yao, J. Fang, M. Zhang, Y. Zhou, H. Chen and L. Yang. 2014. Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. Chemical Engineering Journal 240: 574-578.
- Warnock, D. D., J. Lehmann, T. W. Kuyper and M. C. Rilling. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil-conceptsand mechanisms. Plant and Soil 300: 9-20.
- Weber, K. and P. Quicker. 2018. Properties of biochar. Fuel 217: 240-261.
- Yang, W., F. Gary, M. Dana, G. Lihua, J. Yonglin, L. Changjian and Q. Zhongyi. 2020. Impact of biochar on greenhouse gas emissions and soil carbon sequestration in corn grown under drip irrigation with mulching. Science of the Total Environment 729: 1-11.