ถ่านชีวภาพ

และการนำไปใช้ในการเกษตร

เผยแพร่โดยโครงการ

“การปรับปรุงคุณภาพดินและการเพิ่มผลผลิตด้วยถ่านชีวภาพ

เพื่อความมั่นคงทางอาหารและเกษตรกรรรมอย่างยั่งยืน”

ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

กิตติกรรมประกาศ

คู่มือฉบับนี้เป็นเอกสารประกอบการเผยแพร่เทคโนโลยีในโครงการ “การปรับปรุงคุณภาพดินและการเพิ่มผลผลิตด้วยถ่านชีวภาพเพื่อความมั่นคงทางอาหารและเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน” ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยประเภทโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมายที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ภายใต้โครงการจัดการความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีจากผลงานวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2557

คำนำ

คู่มือ “ถ่านชีวภาพ และการนำไปใช้ในการเกษตร” เล่มนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการใช้ถ่านชีวภาพ ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และศูนย์เรียนรู้ วิจัย-พัฒนาป่าเด็ง ศูนย์วิจัยถ่านชีวภาพ-ป่าเด็ง ภายใต้โครงการ “การปรับปรุงคุณภาพดินและการเพิ่มผลผลิตด้วยถ่านชีวภาพเพื่อความมั่นคงทางอาหารและเกษตรกรรรมอย่างยั่งยืน” โดยเนื้อหาสาระของคู่มือเล่มนี้ประกอบด้วย ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความหมาย และคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ วิธีการผลิตถ่านชีวภาพ ตลอดจนการนำถ่านชีวภาพไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับถ่านชีวภาพ และสามารถนำถ่านชีวภาพไปประยุกต์ใช้ในการทำการเกษตรได้จริงในพื้นที่ของตนเองได้

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรและผู้ที่สนใจในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรได้ ไม่มากก็น้อย

คณะนักวิจัย

ธันวาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
คำนำ	2
สารบัญ	3
บทที่ 1 ถ่านชีวภาพ	4
1.1 ความหมายของถ่านชีวภาพ	4
1.2 กระบวนการที่ทำให้เกิดถ่านชีวภาพ	6
1.3 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ	8
บทที่ 2 การผลิตถ่านชีวภาพ	9
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	9
2.2 การสร้างเตาเผาถ่านชีวภาพ	11
2.3 ขั้นตอนการเผาถ่านชีวภาพ	13
บทที่ 3 การนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเกษตร	14
3.1 การเตรียมถ่านชีวภาพสำหรับผสมดินปลูก	14
3.2 การปลูกพืชด้วยดินผสมถ่านชีวภาพ	15
บทที่ 4 ประโยชน์ของถ่านชีวภาพ	17
4.1 ประโยชน์ด้านการเพิ่มผลผลิตพืชไร่	17
4.2 ประโยชน์ด้านการเพิ่มผลผลิตพืชผัก	18
4.3 ประโยชน์ด้านการเพิ่มผลผลิตไม้ผล	18
4.4 ประโยชน์ด้านการปรับปรุงคุณภาพดิน	19
4.5 ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม	20
บทที่ 5 ข้อเสนอแนะในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเกษตร	21
เอกสารอ้างอิง	26

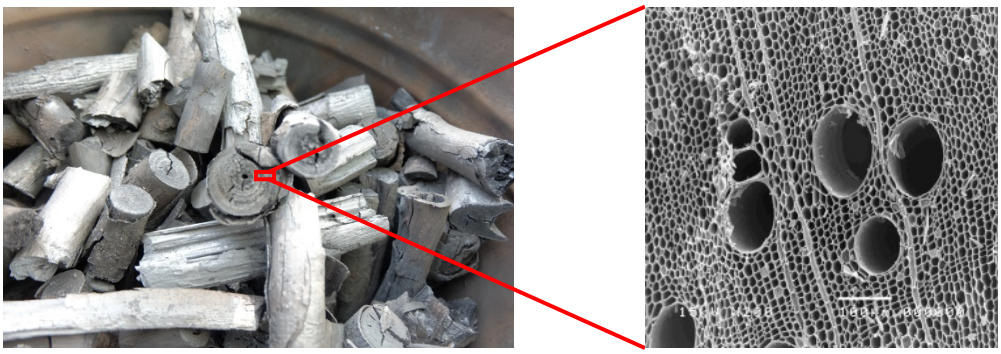
บทที่ 1

ถ่านชีวภาพ

1.1 ความหมายของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ (Biochar) คือ วัสดุแข็ง (Solid Material) ที่อุดมไปด้วยธาตุคาร์บอน (C) มีลักษณะคล้ายถ่านที่เผาไหม้ตามธรรมชาติ ถ่านชีวภาพนี้เกิดจากการให้ความร้อนกับมวลชีวภาพ (Biomass) โดยต้องควบคุมอุณหภูมิและอากาศ เรียกว่า กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน หรือ Pyrolysis (Xu และคณะ, 2011)

มวลชีวภาพ (Biomass) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพ คือ สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้จากธรรมชาติ เช่น เศษไม้ ใบไม้ หรือเศษวัสดุทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็น ตอซัง ซังข้าวโพด เปลือกถั่ว เปลือกผลไม้ แม้กระทั่งมูลสัตว์ เช่น มูลวัว มูลแพะ เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน



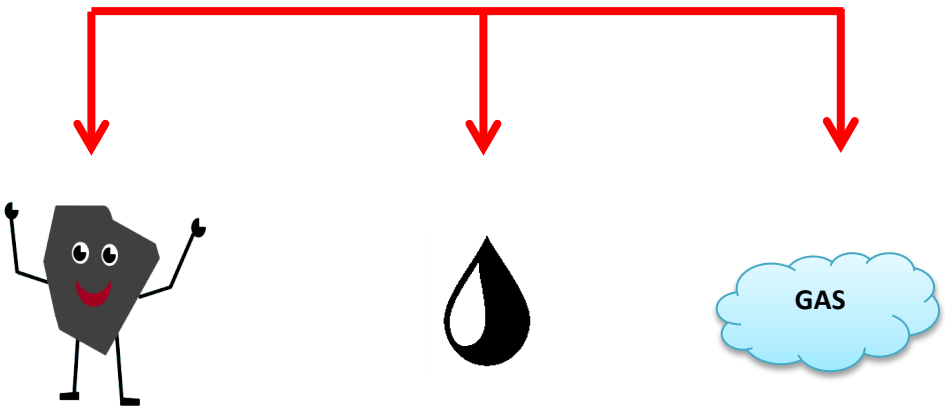
ลักษณะของถ่านชีวภาพหลังการเผา และรูพรุนของถ่านชีวภาพ

กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ต้องควบคุมอุณหภูมิและอากาศ หรือจำกัดให้มีอากาศเข้าไปในกระบวนการน้อยที่สุด ดังนี้

มวลชีวภาพ

(เช่น ไม้เนื้อแข็ง ตอซัง เปลือกผลไม้ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์แห้ง และใบไม้ เป็นต้น)

กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)



ถ่านชีวภาพ	ของเหลวสีดำข้น	ก๊าซ
(Biochar)	(Liquid/ Bio-oil)	(Gas)

1.2 กระบวนการที่ทำให้เกิดถ่านชีวภาพ

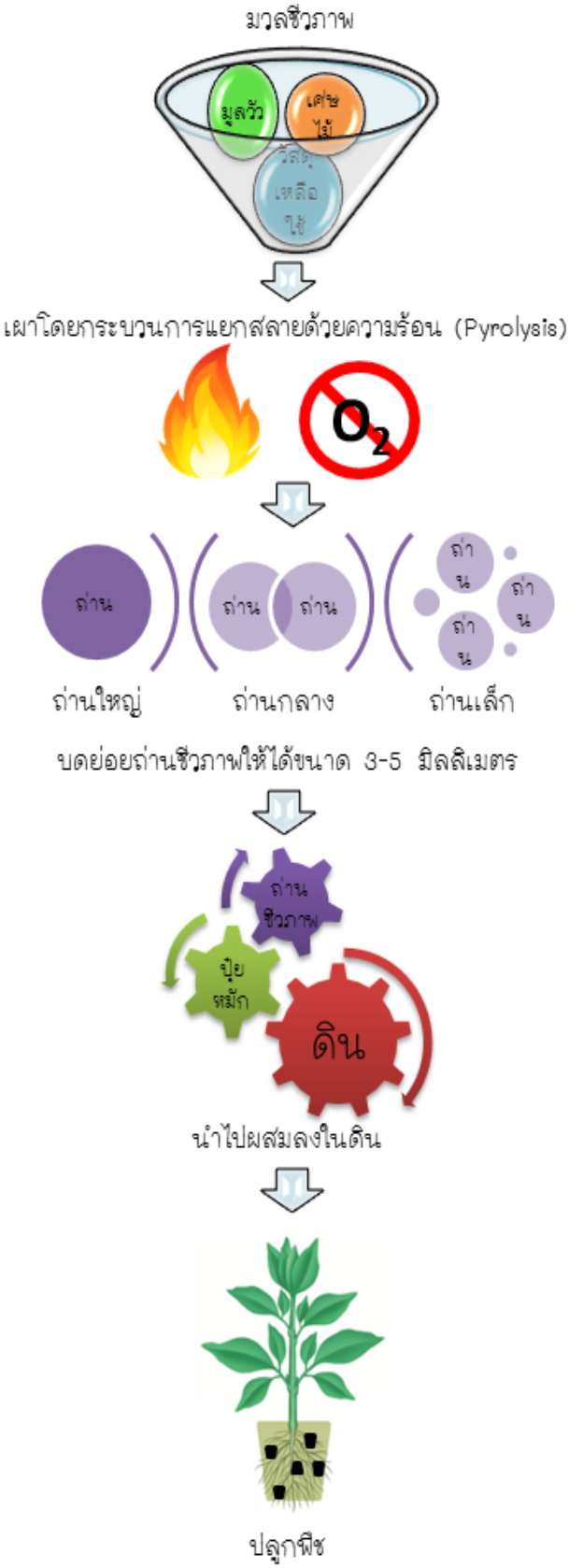
กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน มีการดำเนินการ 2 วิธี คือ (1) การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (Slow Pyrolysis) และ (2) การแยกสลายด้วยความร้อนแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) แต่กระบวนการที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ คือ การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า เพราะผลผลิตถ่านชีวภาพที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับการแยกสลายด้วยความร้อนแบบเร็วแล้ว จะให้ผลผลิตในปริมาณที่สูงกว่า (รายละเอียดดังตารางที่ 1) โดยการให้ความร้อนด้วยการแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า จะใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนานกว่าแบบเร็ว อุณหภูมิที่ใช้จะต้องควบคุมอยู่ระหว่าง 350-600 องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$) และต้องดำเนินการภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

ตารางที่ 1 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน

กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน	ผลผลิตที่ได้จากการให้ความร้อนแก่มวลชีวภาพ (%)		
	ถ่านชีวภาพ (Biochar)	ของเหลวสีดำข้น (Liquid/Bio-oil)	แก๊ส (Gas)
แบบช้า (Slow pyrolysis) - ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 500 $^{\circ}C$ - ใช้เวลานานเป็นชั่วโมง	35%	30%	35%
แบบเร็ว (Fast pyrolysis) - ใช้อุณหภูมิ 500-600 $^{\circ}C$ - ใช้เวลาน้อยหรือสั้น (เป็นวินาที)	12%	75%	13%

ที่มา: Winsley (2007)

แผนผังกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ



1.3 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพที่ได้จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน หรือผ่านกระบวนการเผาไหม้แล้ว มีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และขี้เถ้า โดยองค์ประกอบเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาทำถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติในการช่วยปรับสภาพดินให้สามารถดูดซับหรือจับธาตุอาหารได้ดีขึ้น ทำให้ดินมีธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์ขึ้น ช่วยทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี (ดังตารางที่ 2) คุณสมบัติที่สำคัญของถ่านชีวภาพ คือ การมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยมีค่าประมาณ 10-400 ตารางเมตรต่อกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการเผาถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

คุณสมบัติ	ประโยชน์
1. มีความเป็นกรด-ด่าง	ช่วยปรับค่า pH ของดินและน้ำ
2. มีความคงตัวสูง	● สลายตัวช้าคงอยู่ในดินได้ยาวนาน ● ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO_2) ลดปัญหาโลกร้อน
3. มีความพรุนสูง	ทำให้ดินมีความพรุนเพิ่มขึ้น ไม่จับตัวแน่น ช่วยกักเก็บน้ำ และเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์ จึงทำให้จุลินทรีย์ดินมีกิจกรรมได้ดีขึ้น
4. มีประจุลบ	● ช่วยดูดซับธาตุอาหารในดินซึ่งมีประจุบวกได้ ช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ลดการสูญเสียธาตุอาหารในดิน ● พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารที่ถ่านชีวภาพเก็บไว้ได้
5. มีพื้นที่ผิวจำนวนมาก	ช่วยให้มีพื้นที่ในการดูดซับธาตุอาหารในดินได้มากขึ้น โดยสามารถดูดซับไว้บนพื้นที่ผิวทั้งภายนอกและภายในรูพรุนของถ่านได้

ที่มา: Sohi (2010); Taylor (2010) and Shafie (2012)

บทที่ 2

การผลิตถ่านชีวภาพ

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) วัสดุและเชื้อเพลิง

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพสามารถหาได้ง่ายในแต่ละท้องถิ่น โดยเฉพาะต้นไม้ที่นิยมปลูกในครัวเรือนเพื่อไว้ใช้ประโยชน์ เช่น ใช้เป็นอาหาร ใช้ซ่อมเครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น โดยพืชเหล่านี้หลังเก็บผลผลิต หรือหลังการตัดแต่งกิ่งเพื่อให้เกิดความสวยงามของพื้นที่ จะเกิดเศษวัสดุเหลือทิ้งซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถนำมาผลิตถ่านชีวภาพได้

ตารางที่ 3 ประเภทของวัตถุดิบ และคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพ

ประเภทของวัตถุดิบ	คุณสมบัติเมื่อเผาเป็นถ่านชีวภาพ
ไม้เนื้ออ่อน (เช่น ไม้กระถิน จามจุรี หางนกยูงฝรั่ง ขี้เหล็ก สะเดา สน ไม้ไผ่ ยูคาลิปตัส)	- มีความพรุนของเนื้อถ่านสูง - มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี - ย่อยสลายช้าสามารถคงรูปอยู่ได้นาน
เปลือกผลไม้ (เช่น มังคุด ทุเรียน เงาะ กระท้อน)	- เนื้อถ่านค่อนข้างแข็งบดย่อยยาก - มีความพรุนสูง ขึ้นกับชนิดพืช
วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (เช่น ซังข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง เปลือกถั่วลิสง)	- สามารถอุ้มน้ำได้ดี แต่น้อยกว่าไม้เนื้ออ่อน - ถ่านมีน้ำหนักเบา บดละเอียดง่าย
มูลสัตว์กินพืช (เช่น มูลวัว มูลแพะ)	- มีธาตุอาหารอยู่แล้วในตัววัสดุ - มีความพรุนที่ไม่เสถียร

ที่มา: ทวีวงศ์ ศรีบุรี (2554)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพจะต้องมีความชื้นไม่เกิน 10% ดังนั้นควรตากแดดให้แห้งก่อนนะครับ

2) อุปกรณ์ผลิตเตาเผาถ่านชีวภาพ

ศูนย์เรียนรู้ วิจัย-พัฒนาป่าเด็ง ศูนย์วิจัยถ่านชีวภาพ-ป่าเด็ง ได้พัฒนาออกแบบเตาเผาถ่านชีวภาพที่ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น มีราคาต้นทุนการผลิตที่ไม่แพง กรรมวิธีการทำไม่ยุ่งยากซับซ้อนสามารถทำใช้ได้ในระดับครัวเรือน โดยมีวัสดุอุปกรณ์ และราคาโดยประมาณ ดังแสดงในตารางที่ 4

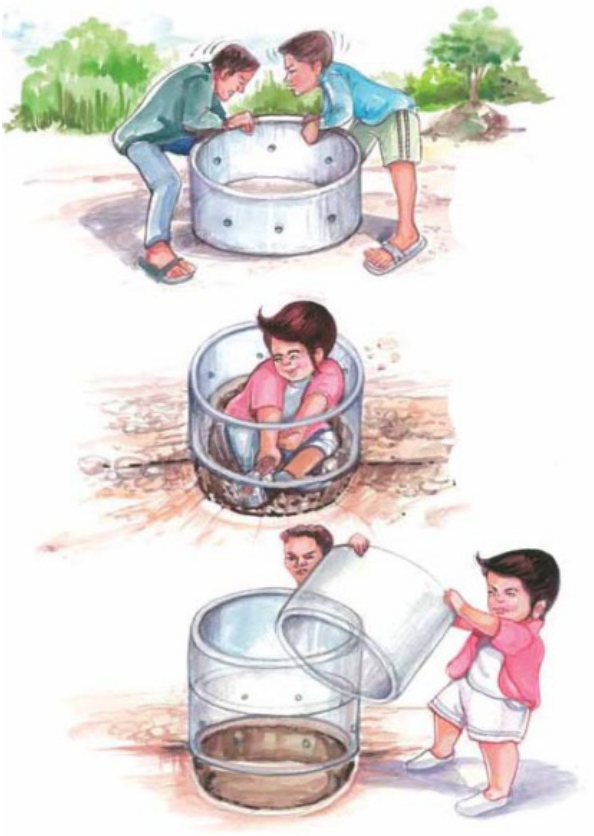
ตารางที่ 4 อุปกรณ์ในการทำเตาเผาถ่านชีวภาพ และราคาโดยประมาณ

รายการอุปกรณ์	จำนวน	จำนวนเงิน (บาท)
ท่อวงซีเมนต์ สูง 40 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรวม 100 เซนติเมตร	2 อัน	600
ฝาปิดท่อซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร	1 อัน	200
ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร สูง 85 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 58 เซนติเมตร	1 ถัง	500
ท่อใยหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรวม 17 เซนติเมตร	1 อัน	200
รวมทั้งสิ้น		**1,500**

หมายเหตุ: ราคา ณ ธันวาคม 2557

อุปกรณ์ผลิตเตาเผาถ่านชีวภาพ

2.2 การสร้างเตาเผาถ่านชีวภาพ



1) เจาะรูที่ท่อวงซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู 1 เซนติเมตร (3 หุน) จำนวน 8 รู

2) ยกท่อซีเมนต์ที่เจาะแล้ววางไว้ที่พื้นดินที่เตรียมไว้ และขุดหลุมในท่อวงซีเมนต์เพื่อปรับพื้นดิน ให้มีความลึก 20 เซนติเมตร

3) นำท่อวงซีเมนต์อีกอันไปวางซ้อนไว้ด้านบน

4) ตัดท่อใยหินให้เหลือยาว 1 เมตร

5) ยกฝาปิดปากท่อวงซีเมนต์ให้สนิท และนำท่อใยหินวางไว้บนฝาท่อซีเมนต์ เพื่อตรวจความเรียบร้อย

6) ใช้ถังเหล็ก 200 ลิตร เป็นเตาผลิตถ่านชีวภาพ วัดระยะความสูง ประมาณ 40 เซนติเมตร เจาะรูที่ถัง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู 1 เซนติเมตร (3 หุน) จำนวน 4 รู

นำฝามาปิดถังเหล็ก

ดูความเรียบร้อยว่าฝาปิดสนิทไหม

ใส่เข็มขัดให้เรียบร้อย

ลักษณะของถังเหล็กที่เจาะเรียบร้อยแล้ว

7) วางถังเหล็ก 200 ลิตร ใส่ลงไปในท่อวงซีเมนต์ แล้วตรวจดูความเรียบร้อย

ลักษณะของถังเหล็กที่ใส่ในท่อวงซีเมนต์เรียบร้อยแล้ว

2.3 ขั้นตอนการเผาถ่านชีวภาพ

1) ใส่วัสดุที่จะทำเป็นถ่านชีวภาพในถังเหล็ก 200 ลิตร โดยเรียงเป็นแนวตั้ง โดยเรียงวัสดุชิ้นเล็กอยู่ด้านล่าง และชิ้นใหญ่อยู่ด้านบน

2) ใส่เศษไม้ที่จะใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงลงในระหว่างท่อวงซีเมนต์และถังเหล็ก 200 ลิตร โดยใส่เรียงฟืนชิ้นใหญ่ไว้ด้านล่าง แล้วเรียงฟืนชิ้นเล็กอยู่ด้านบน โดยใส่ฟืนหนัก 60% ของน้ำหนักวัสดุที่ใช้ทำถ่านชีวภาพ

3) ปิดฝาถังเหล็ก 200 ลิตร พร้อมรัดสายรัดฝาให้เรียบร้อย แล้วจุดไฟที่ไม้เชื้อเพลิง เมื่อไฟติดดีแล้ว จึงปิดฝาท่อวงซีเมนต์ และวางท่อใยหินขนาดยาว 1 เมตร ไว้ด้านบน

4) ปิดรอยรั่ว โดยการยาแนวด้วยดินเหนียวที่แนวฝารอยต่อท่อวงซีเมนต์และด้านบนฝาระหว่างท่อใยหิน เพื่อจำกัดอากาศที่จะไหลเข้าในเตา และเพื่อให้ควันและความร้อนออกจากท่อเพียงอย่างเดียว

5) เผาทิ้งไว้ 1 วัน เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ และไฟดับสนิทจนเตาเย็นแล้ว จึงเปิดเตาและนำถ่านชีวภาพออกมาใช้งานได้

ที่มา: ทวีวงศ์ ศรีบุรี (2555)

บทที่ 3

การนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเกษตร

3.1 การเตรียมถ่านชีวภาพสำหรับผสมดินปลูก

การใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่การเกษตรให้ได้ประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทำให้ถ่านมีขนาดเล็กลง เพื่อให้เนื้อของถ่านชีวภาพสามารถผสมคลุกเคล้ากับดินได้ดี และทำหน้าที่กักเก็บน้ำและธาตุอาหารได้เร็วขึ้น โดยขนาดของถ่านชีวภาพที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อผลผลิตทางเกษตร มีขนาดประมาณ 3-5 มิลลิเมตร เพราะหากมีขนาดใหญ่มากเกินไป เมื่อเราให้น้ำพืชหรือมีฝนตกหนัก จะส่งผลทำให้ก้อนของถ่านชีวภาพลอยขึ้นมาอยู่หน้าดินและถูกน้ำพัดพาไปได้ง่าย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำถ่านชีวภาพให้มีขนาดเล็กก่อนนำไปใช้ โดย (1) การใส่ภาชนะตำ และ (2) การใช้เครื่องย่อย/เครื่องบด

เนื่องจากถ่านชีวภาพเมื่อทำการบดหรือย่อยให้มีขนาดเล็กลง จะมีฝุ่นละอองฟุ้งกระจายได้ง่าย วิธีแก้ไขปัญหานี้ คือ

1) ควรให้ความชื้นแก่ถ่านชีวภาพเล็กน้อยก่อนทำการบด/ย่อย

2) ในกรณีที่ใช้เครื่องย่อยกิ่งไม้ที่ใช้น้ำมันหรือมอเตอร์ไฟฟ้า ควรเดินเครื่องรอบต่ำ

3.2 การปลูกพืชด้วยดินผสมถ่านชีวภาพ

การศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพในการเพาะปลูกในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่า จากการใช้ถ่านชีวภาพสามารถปรับปรุงคุณภาพดินทราย และเพิ่มผลผลิตพืชได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และผลการใช้ถ่านชีวภาพในการเพาะปลูกพืชในดินเหนียวในพื้นที่ศูนย์เรียนรู้ วิจัย-พัฒนาป่าเด็ง ศูนย์วิจัยถ่านชีวภาพ-ป่าเด็ง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพช่วยทำให้ดินเหนียวมีการระบายน้ำที่ดีขึ้น น้ำไม่ท่วมขัง และพืชเจริญเติบโตได้ดีเมื่อใช้ถ่านชีวภาพผสมร่วมกับปุ๋ยหมัก

อัตราส่วนถ่านชีวภาพที่แนะนำ:

พืชผัก พืชไร่

พืชไร่ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าว ควรปลูกโดยผสมถ่านชีวภาพในดินปลูกในอัตราส่วนประมาณ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และควรปลูกพืชตระกูลถั่วแทรกระหว่างแถวปลูกพืชไร่ หรือปลูกพืชตระกูลถั่วก่อนปลูกพืชไร่ และไถกลบต้นถั่วลงในดินปลูก จะช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชไร่ในรอบการปลูกถัดไป

ผักกินใบ เช่น ผักคะน้า ผักกาดเขียวปลี เป็นต้น ควรปลูกโดยผสมถ่านชีวภาพในดินปลูกในอัตราส่วนประมาณ 1.5-2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ผักกินหัวใต้ดิน เช่น หอมแดง หัวไชเท้า เป็นต้น ควรปลูกโดยผสมถ่านชีวภาพในดินปลูกในอัตราส่วนประมาณ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ไม้ผล

ไม้ผล เช่น ฝรั่งกิมจู หมากเม่า หม่อนรับประทานผล มะรุมอินเดีย น้อยหน่าน้อยโหน่ง มะละกอพันธุ์ปักไม้ลาย(ฮอลแลนด์) เป็นต้น ควรปลูกโดยผสมถ่านชีวภาพ ปุ๋ยหมัก และสารสกัดชีวภาพ ผสมให้เข้ากันแล้วใส่รองก้นหลุม หลุมละ 500 กรัม และควรมีการเติมถ่านชีวภาพในฤดูกาลถัดไป (ปีละครั้ง)

ขั้นตอนการเตรียมแปลงปลูกพืชด้วยดินผสมถ่านชีวภาพ

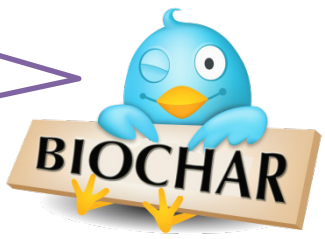
1. ไถดะหรือขุดพลิกดินเพื่อปรับระดับพื้นที่ กำจัดรากไม้ ตอไม้ หลังจากขุดพลิกแล้ว ต้องตากดินให้แห้งประมาณ 7-10 วัน เพื่อฆ่าเชื้อโรคในดินและแมลงศัตรูที่อยู่ในดิน แล้วจึงไถคราดเพื่อกำจัดวัชพืชออกให้หมดจึงทำการยกแปลงปลูกพืช

2. โรยถ่านชีวภาพให้ทั่วแปลงปลูก รวมทั้งใส่ปุ๋ยหมักผสมลงไปให้ทั่วแปลง (อัตราถ่านชีวภาพขึ้นกับชนิดของพืชที่ปลูก)

3. พรวนดินเพื่อคลุกเคล้าถ่านชีวภาพ และปุ๋ยหมักให้เข้ากับดิน รดน้ำให้ชุ่มและเตรียมหว่านเมล็ดหรือปลูกกล้าต่อไป

4. วัดระยะหลุมปลูก และปลูกพืชตามปกติ

ถ่านชีวภาพเป็นเพียงวัสดุปลูกที่มีความพรุนสูง แต่มีธาตุอาหารในตัวเองต่ำ จึง “ไม่ใช่ปุ๋ยนะครับ” ดังนั้นควรใช้ผสมร่วมกับปุ๋ยหมักจึงจะมีประสิทธิภาพที่ดีนะครับ



บทที่ 4

ประโยชน์ของถ่านชีวภาพ

จากผลการทดลองนำถ่านชีวภาพมาใช้ในการปรับปรุงดิน และปลูกพืชไร่ พืชผัก รวมถึงไม้ผล ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และพื้นที่ศูนย์เรียนรู้ วิจัย-พัฒนาป่าเด็ง ศูนย์วิจัยถ่านชีวภาพ-ป่าเด็ง พบว่า ถ่านชีวภาพสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชได้ดังนี้

4.1 ประโยชน์ด้านการเพิ่มผลผลิตพืชไร่

พืชไร่ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าว และพืชตระกูลถั่ว เมื่อปลูกโดยผสมถ่านชีวภาพในดินปลูก ร่วมกับการใช้ปุ๋ยหมักและสารสกัดชีวภาพ จะทำให้พืชไร่ มีอัตราการเจริญเติบโตและมีน้ำหนักผลผลิตต่อฝักมากขึ้น มีขนาดความยาวและความกว้างของฝักเพิ่มขึ้น มีน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น เป็นต้น

ตารางที่ 5 แสดงร้อยละของผลผลิตพืชไร่ที่เพิ่มขึ้น

ชนิดของพืช	จำนวนเมล็ดต่อรวง (%)	น้ำหนักเมล็ดต่อไร่ (%)	จำนวนฝักต่อต้น (%)
ข้าวไร่[1]	31.70	12	-
ถั่วเหลือง[2]	-	28	19.52

ที่มา: [1]วิชุตา กัลป์ยาศิริ (2556) และ [2]จามร อยู่เย็น (2556)

4.2 ประโยชน์ด้านการเพิ่มผลผลิตพืชผัก

ผักกินใบ เช่น ผักคะน้า ผักกาดเขียวปลี เป็นต้น เมื่อปลูกโดยผสมถ่านชีวภาพในดินปลูกร่วมกับการใช้ปุ๋ยหมัก จะช่วยให้พืชมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีน้ำหนักผลผลิตเพิ่มขึ้น มีการเจริญเติบโตเร็วขึ้น ทำให้สามารถเก็บผลผลิตได้เร็วขึ้น

ผักกินหัวใต้ดิน เช่น หอมแดง หัวไชเท้า เป็นต้น เมื่อปลูกโดยผสมถ่านชีวภาพในดินปลูกร่วมกับการใช้ปุ๋ยหมัก จะช่วยให้พืชมีความยาวของหัวเพิ่มขึ้น ขนาดของหัวใหญ่ขึ้น และมีน้ำหนักหัวเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6 แสดงร้อยละของผลผลิตพืชผักที่เพิ่มขึ้น

ชนิดของพืช	ความสูงของต้น หรือ ความยาวของหัว (%)	ความกว้างของลำต้น หรือ ความกว้างของหัว (%)	น้ำหนักผลผลิต (%)
ผักคะน้า[1]	7.13	37.84	91.46
ผักกาดเขียวปลี[1]	-	-	25.88
หัวไชเท้า[1]	13.57	3.69	30.31
หอมแดง[2]	-	15.27	38.53

ที่มา: [1]ทวีวงศ์ ศรีบุรี (2556) และ [2]รายงานผลการศึกษาโครงการ “การปรับปรุงคุณภาพดินและการเพิ่มผลผลิตด้วยถ่านชีวภาพเพื่อความมั่นคงทางอาหารและเกษตรกรรรมอย่างยั่งยืน”

4.3 ประโยชน์ด้านการเพิ่มผลผลิตไม้ผล

ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้ทำการทดลองปลูกฝรั่งกิมจู หมากเม่า หม่อนรับประทานผล มะรุมอินเดีย น้อยหน่า น้อยโหน่ง มะละกอพันธุ์ปักไม้ลาย(ฮอลแลนด์) โดยรองก้นหลุมด้วยถ่านชีวภาพผสมปุ๋ยหมัก และรดด้วยสารสกัดชีวภาพ พบว่า ไม้ผลมีการเจริญเติบโตได้ดี ปริมาณผลผลิตที่ได้มีความสมบูรณ์ มีน้ำหนักผลผลิตเพิ่มขึ้น

4.4 ประโยชน์ด้านการปรับปรุงคุณภาพดิน

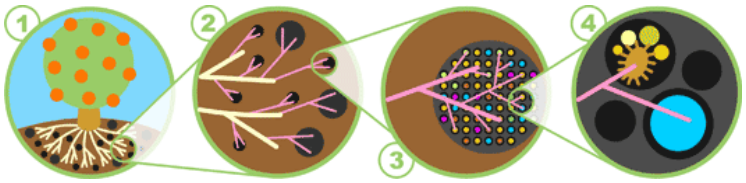
การปรับปรุงคุณภาพดินทราย เนื่องจากดินทรายเป็นดินที่มีธาตุอาหารต่ำ การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินควรใส่ในปริมาณมากพอ และหลากหลายขนาด (ต่ำกว่า 5 มิลลิเมตร) เนื่องจากขนาดของถ่านที่ต่างกันจะทำให้ถ่านชีวภาพมีการกระจายลงไปอยู่ในชั้นดินได้หลายระดับ เป็นการเพิ่มเนื้อดินทำให้ดินแน่นขึ้น และพื้นผิวของถ่านชีวภาพสามารถดูดซับหรือจับธาตุอาหาร ซึ่งมีอยู่ในดินไม่ทำให้ไหลไปกับการชะล้างโดยน้ำ ทำให้ดินมีธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์ขึ้น นอกจากนั้นรูพรุนที่มีในถ่านจะช่วยในการอุ้มน้ำและรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ดินได้ด้วยเช่นกัน

การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียว เนื่องจากดินเหนียวเป็นดินที่มีโครงสร้างของเนื้อดินแน่นทึบ มีการระบายน้ำและอากาศไม่ดี การใส่ถ่านชีวภาพจึงช่วยให้โครงสร้างของดินมีความร่วนซุยมากขึ้น โดยการช่วยเพิ่มช่องว่างในดิน ทำให้ดินมีการระบายน้ำที่ดีทำให้น้ำไม่ท่วมขัง

ตารางที่ 7 แสดงคุณภาพของดินเหนียวปนทรายที่เปลี่ยนแปลงหลังการใส่ถ่านชีวภาพ

พารามิเตอร์	ก่อนใส่ถ่านชีวภาพ	หลังใส่ถ่านชีวภาพ
pH	6.77	7.51
OM%	1.07	1.74
Total N	0.17	0.26
Available P (mg/kg)	14.73	21.08
Exchangeable K (mg/kg)	101.14	110.44
CEC (cmol/kg)	13.63	17.75

ที่มา: วิชุตา กัลป์ยาศิริ (2556)

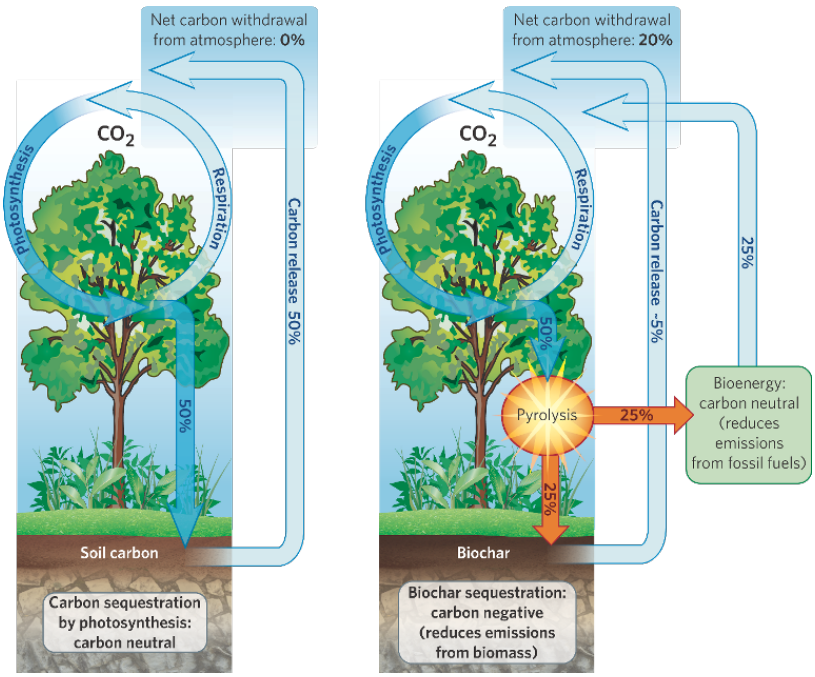


ประโยชน์ของรูพรุนของถ่านชีวภาพในการเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ดิน เก็บกักธาตุอาหาร และน้ำ

ที่มา: http://doctor-biochar.blogspot.com/2013/11/characteristics-of-biochar-biological.html

4.5 ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่ถูกใช้เป็นทางเลือกในการกักเก็บคาร์บอนเพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากถ่านชีวภาพเป็นอินทรียวัตถุที่มีสมบัติความคงตัวสูง คงทนต่อการถูกย่อยสลายตามธรรมชาติ ซึ่งจะเปลี่ยนอินทรียวัตถุให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ การเปลี่ยนอินทรียวัตถุให้กลายเป็นถ่านชีวภาพผ่านกระบวนการไพโรไลซีส แล้วนำไปกักเก็บลงในพื้นที่เกษตรกรรม จึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ทั้งทางตรงจากคาร์บอนของถ่านที่ใส่ลงในดิน และเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนทางอ้อมจากการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ที่ส่งผลให้เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในพืชเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหมายถึงการเพิ่มผลผลิตพืชให้สูงขึ้น อันนำไปสู่การเพิ่มความมั่นคงทางอาหารให้แก่มนุษย์ จึงกล่าวได้ว่าการใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เกษตรกรรมจึงเป็นการกักเก็บคาร์บอนอย่างถาวร (เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม และจามร อยู่เย็น, 2557)



กระบวนการกักเก็บคาร์บอนลงในดินด้วยถ่านชีวภาพ

ที่มา: http://biochar-international.org/biochar/carbon

บทที่ 5

ข้อเสนอแนะในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเกษตร

การนำถ่านชีวภาพไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร สามารถปรับปรุงคุณภาพดินให้มีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังเป็นตัวดูดซับธาตุอาหารไว้ในดินที่มีประสิทธิภาพ จึงสามารถลดการสูญเสียธาตุอาหารออกจากดิน ทำให้เกษตรกรสามารถลดค่าใช้จ่ายเพื่อซื้อปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยเคมีในการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งในท้ายที่สุดจะทำให้เกษตรกรมีกำไรเพิ่มขึ้น นอกจากต้นทุนการเพาะปลูกจะลดลงเพราะลดการใส่สารเคมีในพื้นที่เกษตรแล้ว การใส่ถ่านชีวภาพยังส่งผลดีต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของเกษตรกรในระยะยาวอีกด้วย เพราะการใช้ถ่านชีวภาพเป็นวิธีการอย่างหนึ่งของการทำเกษตรแบบอินทรีย์ที่ ลดหรือหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ถ่านชีวภาพในการทำการเกษตรในครั้งแรก เกษตรกรหรือผู้ใช้จำเป็นต้องมีการลงทุนในเรื่องของการผลิตเตาเผาถ่านชีวภาพและค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าแรง ค่าวัสดุอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งเตาเผาถ่านชีวภาพที่ผลิตขึ้นมีอายุการใช้งานประมาณ 50 ครั้ง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุและอุปกรณ์ในการทำเตา

ในคู่มือฉบับนี้ได้แสดงตัวอย่างการประเมินต้นทุน ผลผลิต รายได้ และระยะเวลาคืนทุนของพืชที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพ โดยเปรียบเทียบระหว่างการคิดค่าแรงการเตรียมถ่านชีวภาพ (สำหรับการนำไปใช้ในการทำเกษตรกรรมขนาดใหญ่) และไม่คิดค่าแรงเตรียมถ่านชีวภาพ (สำหรับการนำไปใช้ในครัวเรือนขนาดเล็ก) ดังแสดงในตารางที่ 8-10 เพื่อเป็นแนวทางให้แก่เกษตรกร และผู้ที่สนใจในการผลิตถ่านชีวภาพเพื่อใช้ในการทำเกษตรกรรม

ตัวอย่างการประเมินต้นทุน ผลผลิต รายได้ และระยะเวลาคืนทุนของพืชที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพ เปรียบเทียบระหว่างการคิดค่าแรงการเตรียมถ่านชีวภาพ และไม่คิดค่าแรงเตรียมถ่านชีวภาพ

การปลูกหัวไชเท้า (พันธุ์ไนติงเกล)

การประเมินต้นทุน

กำหนดให้

1. ใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 3,200 กิโลกรัม/ไร่ และใช้ปุ๋ยหมัก 6,400 กิโลกรัม/ไร่
2. รวมเศษไม้ทั้งหมดทั้งเพื่อทำถ่านชีวภาพประมาณ 17,000 กิโลกรัม/ไร่
   (คำนวณจาก เศษไม้วัตถุดิบทำถ่านชีวภาพ 9,200 กิโลกรัม+ไม้เชื้อเพลิง 7,800 กิโลกรัม)
3. ใช้ถ่านชีวภาพขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 8 แสดงต้นทุนการปลูกหัวไชเท้าในแต่ละตำรับการทดลอง

รายการ	ราคา	ดิน	ดิน+ปุ๋ยหมัก	ดิน+ปุ๋ยหมัก +ถ่านชีวภาพ
1. ต้นทุนที่ไม่เกี่ยวกับถ่านชีวภาพ				
1.1 ค่าเตรียมดินแบบเหมาจ่าย (บาท/ไร่)	1,000	1,000	1,000	1,000
1.2 ค่าปลูกแบบเหมาจ่าย (บาท/ไร่)	1,200	1,200	1,200	1,200
1.3 ค่าดูแลรักษาแบบเหมาจ่าย (บาท/รอบปลูก)	1,500	1,500	1,500	1,500
1.4 ค่าเก็บเกี่ยวแบบเหมาจ่าย (บาท/ไร่)	1,500	1,500	1,500	1,500
1.5 ค่าเช่าที่ดิน (บาท/ไร่)	1,000	1,000	1,000	1,000
1.6 ค่าเมล็ดพันธุ์ (บาท/ไร่)	200	200	200	200
1.7 ค่าปุ๋ยหมัก (บาท/ไร่)	12,800	-	12,800	12,800
1.8 ค่าวัสดุป้องกันศัตรูพืชและวัชพืช (บาท/ไร่)	200	200	200	200
รวมต้นทุน 1		6,600	19,400	19,400
2. ต้นทุนที่เกี่ยวกับถ่านชีวภาพ				
2.1 ค่าผลิตถ่านชีวภาพ (บาท/ไร่) (รวบรวมเศษไม้ ผ่า เผา และบดร่อน แบบเหมาจ่าย)	12,000	-	-	12,000
2.2 ค่าผลิตเตาเผาถ่านชีวภาพ (บาท) (จำนวน 2 เตา)	3,000	-	-	3,000
รวมต้นทุน 2		-	-	15,000
ต้นทุนรวมทั้งหมด		6,600	19,400	34,400

การประเมินผลผลิต รายได้และกำไร

กำหนดให้

ราคาขายเท่ากับ 10 บาท/กิโลกรัม (ราคา ณ เดือนธันวาคม 2557)

ตารางที่ 9 แสดงผลผลิต รายได้และกำไร จากการปลูกหัวไชเท้าในแต่ละตำรับการทดลอง

รายการ	ดิน	ดิน+ปุ๋ยหมัก	ดิน+ปุ๋ยหมัก+ถ่านชีวภาพ	
			คิดค่าแรง	ไม่คิดค่าแรง
ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	2,960	4,737	6,016	
ผลผลิตเพิ่มขึ้น (กิโลกรัม/ไร่)	-	1,777	3,056	
ร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้น (%)	-	60	103	
ต้นทุนการผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	6,600	19,400	22,400	20,000
รายได้ (บาท/ไร่)	29,600	47,370	60,160	
รายได้เพิ่มขึ้น (บาท/ไร่)	-	17,770	30,560	
กำไร (บาท/ไร่)	23,000	27,970	37,760	40,160

หมายเหตุ

1. ผลผลิตและรายได้ที่เพิ่มขึ้นเป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ผลของดินเป็นฐานในการคำนวณ
2. ในการวิจัยครั้งนี้คาดการณ์ว่า การใส่ถ่านชีวภาพ 1 ครั้ง จะสามารถปลูกพืชได้ 5 รอบการปลูก
3. ต้นทุนเกี่ยวกับถ่านชีวภาพเฉลี่ยต่อรอบการปลูก = $\frac{\text{ค่าผลิตถ่านชีวภาพ (บาท) +ค่าผลิตเตา (บาท)}}{\text{จำนวนรอบการปลูก (ครั้ง)}}$

ดังนั้น กรณีคิดค่าแรงเตรียมถ่านชีวภาพ ต้นทุนเกี่ยวกับถ่านชีวภาพเฉลี่ยต่อรอบการปลูกคือ 3,000 บาท

กรณีไม่คิดค่าแรงเตรียมถ่านชีวภาพ ต้นทุนเกี่ยวกับถ่านชีวภาพเฉลี่ยต่อรอบการปลูกคือ 600 บาท

การประเมินระยะเวลาคืนทุน

กำหนดให้

1. ใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกเพียงครั้งแรกเท่านั้น การปลูกครั้งต่อไปจะไม่ใส่ถ่านชีวภาพอีก
2. ถ้าการปลูกครั้งต่อไปมีกำไรไม่น้อยกว่าการปลูกครั้งที่ 1
3. พื้นที่ปลูกดิน+ปุ๋ยหมัก ในรอบการปลูกครั้งที่ 2-5 จะใส่ปุ๋ยหมักรอบละ 1,600 กิโลกรัม/ไร่
4. พื้นที่ปลูกดิน+ปุ๋ยหมัก+ถ่านชีวภาพ ในรอบการปลูกครั้งที่ 3 และ 5 ใส่ปุ๋ยหมักรอบละ 1,600 กิโลกรัม/ไร่ แต่รอบการปลูกครั้งที่ 2 และ 4 ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 10 แสดงกำไรสะสมและระยะเวลาคืนทุน จากการปลูกหัวไชเท้าในแต่ละตำรับการทดลอง

กำไรสะสม (บาท/ไร่)	ดิน	ดิน+ปุ๋ยหมัก	ดิน+ปุ๋ยหมัก+ถ่านชีวภาพ	
			คิดค่าแรง	ไม่คิดค่าแรง
ครั้งที่ 1 (3 เดือน)	23,000	27,970	37,760	40,160
ครั้งที่ 2 (6 เดือน)	46,000	65,540	88,320	93,120
ครั้งที่ 3 (9 เดือน)	69,000	103,110	135,680	143,480
ครั้งที่ 4 (12 เดือน)	92,000	140,680	186,240	196,440
ครั้งที่ 5 (16 เดือน)	115,000	178,250	233,600	246,800

หมายเหตุ

1. ต้นทุนรวมของพื้นที่ปลูก ดิน+ปุ๋ยหมัก ในรอบการปลูกครั้งที่ 2-5 ครั้งละ 9,800 บาท
2. ต้นทุนรวมของพื้นที่ปลูก ดิน+ปุ๋ยหมัก+ถ่านชีวภาพ ในรอบการปลูกครั้งที่ 2-5 คำนวณแตกต่างกัน ดังนี้

กรณีคิดค่าแรงเตรียมถ่านชีวภาพ

ต้นทุนรวมในรอบการปลูกครั้งที่ 2 และ 4 ครั้งละ 9,600 บาท

ต้นทุนรวมในรอบการปลูกครั้งที่ 3 และ 5 ครั้งละ 12,800 บาท

กรณีไม่คิดค่าแรงเตรียมถ่านชีวภาพ

ต้นทุนรวมในรอบการปลูกครั้งที่ 2 และ 4 ครั้งละ 7,200 บาท

ต้นทุนรวมในรอบการปลูกครั้งที่ 3 และ 5 ครั้งละ 9,800 บาท

นอกจากนั้น การใช้ถ่านชีวภาพในการทำการเกษตร ยังมีสิ่งที่เกษตรกร และผู้ที่สนใจต้องพิจารณา ดังนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ ควรพิจารณาจากสิ่งที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น เศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เป็นต้น เพื่อลดรายจ่ายในการผลิตถ่านชีวภาพ

2. อัตราส่วนของถ่านชีวภาพที่ใช้ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูก และลักษณะของเนื้อดินในแปลงเพาะปลูก

3. การเลือกประเภทของถ่านชีวภาพ ควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะและคุณภาพของดิน เช่น ดินที่มีความเป็นกรด ควรเลือกใช้ถ่านชีวภาพที่มีคุณสมบัติเป็นด่างเพื่อปรับสภาพกรด-ด่างของดินให้เหมาะสมในการปลูกพืช เนื้อดินที่เป็นทราย ควรใช้ถ่านชีวภาพที่มีการคละขนาดเพื่อให้ถ่านชีวภาพแทรกซึมลงไปในชั้นของเนื้อดิน เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้เนื้อดิน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

จามร อยู่เย็น. 2556. **การใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองเพื่อการเพิ่มผลผลิตและกักเก็บคาร์บอน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 94 หน้า

ทวีวงศ์ ศรีบุรี. 2554. **การทดสอบคุณลักษณะของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ก่อนนำไปปรับปรุงคุณภาพดิน**. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนตามแนวพระราชดาริ.หน้า 1-19. วันที่ 26 สิงหาคม 2554 ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

ทวีวงศ์ ศรีบุรี. 2555. **ถ่านชีวภาพไบโอชาร์**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.pdbrc.com/

ทวีวงศ์ ศรีบุรี. 2556. **รายงานฉบับสมบูรณ์ ของโครงการวิจัยต่อเนื่อง 3 ปี โครงการนำร่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของการปล่อยและกักเก็บก๊าซเรือนกระจกของโครงการพัฒนาอย่างยั่งยืนในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี (CC294I)**. 200 หน้า

วิชุตา กัลยาศิริ. 2556. **ผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพดินเหนียวปนทราย กรณีศึกษาตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาตร์สิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 138 หน้า

พินิจภณ ปิตุยะ. 2554. **การใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงดินทรายจัดในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ**. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนตามแนวพระราชดาริ.หน้า 1-14. วันที่ 26 สิงหาคม 2554 ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม และจามร อยู่เย็น. 2557. **การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรมด้วยถ่านชีวภาพ**. วารสารสิ่งแวดล้อม. 18(3): 26-31

International Biochar Initiative. 2014. **CLIMATE CHANGE AND CARBON SEQUESTRATION.** [Online] Available from: http://www.biochar-international.org/biochar/carbon

Shafie S.T., Salleh M.A.M., Hang L.L., Rahman Md.M., and Ghani W.A.W.A.K. 2012. **Effect of pyrolysis temperature on the biochar nutrient and water retention capacity**. Journal of Purity, Utility Reaction and Environment. 6: 323-337

Sohi S., Krull E., Lopez-Capel, E. and Bol R. 2010. **A review of biochar and its use and function in soil**. Advances in Agronomy. 105: 47–82.

Taylor P. 2010. **The Biochar Revolution Transfroming Agriculture and Environment**. Global Publishing Group: Australia.

Uzoma K.C. Inoue M., Andry H., Zahoor A., and Nishihar E. 2011. **Influence of Bio-char application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention.** Journal of Food, Agriculture & Environment 9: 1137-1143.

Winsley P. 2007. **Biochar and Bioenergy production for climate change mitigation New Zealand**. Science Review 64 (1) : 2007

Xu R., Hall K., Ferrante L., Briens C. and Berruti F. 2011. **Thermal Self-Sustainability of Biochar Production by Pyrolysis**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 95(1): 55-66

บันทึก

คณะผู้จัดทำ

นักวิจัย

1) รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี
2) อาจารย์ ดร. เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม

นักวิจัยผู้ช่วย

1) ด.ต. พินิจภณ ปิตุยะ
2) นางสาวบุปผชาติ มัธยม
3) นางสาวเปรมสุดา จิ๋วนอก
4) นายพิศักดิ์ บุญช่วย
5) นายธนากร ศิริชู
6) นายจามร อยู่เย็น

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่

sthavivo@chula.ac.th หรือ

w.m.saowanee@gmail.com