การใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองเพื่อการเพิ่มผลผลิตและกักเก็บคาร์บอน

นายจามร อยู่เย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

USE OF BIOCHAR IN SOYBEAN FIELDS FOR INCREASING YIELD AND CARBON SEQUESTRATION

Mr. Jamorn Yooyen

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองเพื่อการเพิ่มผลผลิตและกักเก็บคาร์บอน
โดย	นายจามร อยู่เย็น
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จามร อยู่เย็น : การใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองเพื่อการเพิ่มผลผลิตและกักเก็บคาร์บอน. (USE OF BIOCHAR IN SOYBEAN FIELDS FOR INCREASING YIELD AND CARBON SEQUESTRATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 94 หน้า.

การศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองเพื่อการเพิ่มผลผลิตและกักเก็บคาร์บอน ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาถ่านชีวภาพป่าเด็ง ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี การศึกษาวิจัยนี้กำหนดให้มี 4 ตำรับทดลอง (Treatment) แต่ละตำรับการทดลองทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แปลงทดลองขนาด 2×5 เมตร ได้แก่ ตำรับการทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (BC 0) ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ผลการศึกษาพบว่าตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ การใส่ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตเมล็ดถั่วเหลือง กล่าวคือ ความสูงลำต้น จำนวนข้อ น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักแห้งใบ และความยาวรากของถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม ขณะที่จำนวนฝักรวมและผลผลิตเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร มีน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นร้อยละ 28.0 และ 36.8 ตามลำดับ การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองส่งผลให้การสะสมคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ปริมาณการสะสมคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง ไม่ว่าจะเป็นในลำต้น ใบ ฝัก และเมล็ดของตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแต่ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณการใส่ถ่านชีวภาพลงในดินในทุกระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง การประเมินการกักเก็บคาร์บอนสุทธิจากการศึกษานี้พบว่า พื้นที่ควบคุมซึ่งไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพสูญเสียคาร์บอนออกจากพื้นที่ ขณะที่พื้นที่ที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง BC 0 สูญเสียคาร์บอนสุทธิออกจากพื้นที่ -467.8 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ BC 1 BC 2 และ BC 3 กักเก็บคาร์บอนสุทธิลงในพื้นที่ 786.8 2,032.3 และ 3,282.8 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5487253620 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS: BIOCHAR / CARBON SEQUESTRATION / INCREASING SOIL ORGANIC CARBON CONTENT / GREENHOUSE GAS MITIGATION

JAMORN YOOYEN: USE OF BIOCHAR IN SOYBEAN FIELDS FOR INCREASING YIELD AND CARBON SEQUESTRATION. ADVISOR: SAOWANEE WIJITKOSUM, Ph.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. THAVIVONGSE SRIBURI, Ph.D., 94 pp.

The study of the use of biochar in soybean fields for increasing yield and carbon sequestration was conducted in the Pa-Deng Biochar Research Center (PdBRC), Pa-Deng Sub-district, Kaeng Krachan, Petchaburi. The experiment used four plots of soybean with three replicates. Each experimental plot was 2 x 5 meter in size. The field experiment was conducted with biochar amendment at rates of 0, 1, 2 and 3 kilogram per square meter (BC 0, BC 1, BC 2 and BC 3). The results showed that the biochar treated soil had elevated levels of total nitrogen (TKN) and exchangeable potassium; the differences were statistically significant at $p<0.05$. The biochar treated soil increased the growth and yield including stem height, number of nodes, dry weight of stem, dry weight of leaf and root length of soybean significantly ($p<0.05$) in comparison to the untreated control group. The weight of soybean seeds taken from the BC 2 and BC 3 treatments increased by 28.0% and 36.8%, in comparison to the control group. Adding biochar in the soybean fields could increase carbon content in many parts of soybean. Carbon content of stem, leaf, pod and seed in treated biochar fields increased significantly ($y<0.05$) in comparison to the control group. The biochar treated soil had elevated levels of CO_2 emission; the difference was statistically significant at $p<0.05$ but it was not consistent in all growth stages. Results from the assessment of carbon sequestration showed that the soil in the control group lost carbon but the soil with biochar retained carbon. The carbon sequestration level increased significantly. In BC 0, the net loss of carbon from soil was -467.8 kilograms per rai, while in BC 1, BC 2 and BC 3 the net level of carbon sequestered into soil was 786.8, 2,032.3 and 3,282.8 kilograms per rai, respectively.

Field of Study: Environmental Science Student's Signature .....

Academic Year: 2013 Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาในเรื่องการคิดหัวข้อการวิจัย การวางแผนการวิจัย การดำเนินการวิจัย และการวิเคราะห์ผล อีกทั้งยังกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ขอขอบกราบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประทัตสุนทร ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีระธิติวรกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำในเรื่องการวางแผนการวิจัย และการดำเนินการวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้ ทุนสนับสนุนจากโครงการทุนวิจัยต่อเนื่อง 7 คลัสเตอร์ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : คลัสเตอร์กลุ่มวิจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โครงการ “การประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลดปล่อยและเก็บกักก๊าซเรือนกระจกของโครงการพัฒนาอย่างยั่งยืนในพื้นที่ศูนย์การพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี และพื้นที่ต่อเนื่อง ปีที่ 1 (RES560530149-CC)” และ "ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย" กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช (THE 90th ANNIVERSARY OF CHULALONGKORN UNIVERSITY FUND (Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund) ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาถ่านชีวภาพป่าเด็ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้พื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ของขอบพระคุณคุณธนากร ศิริชู และคุณบุปผชาติ มัธยม นักวิจัยของศูนย์วิจัยและพัฒนาถ่านชีวภาพป่าเด็งที่ให้คำแนะนำในการดำเนินการวิจัยและการงานทำงานร่วมกับผู้อื่น คุณพิศักดิ์ บุญช่วย ผู้จัดการศูนย์วิจัยและพัฒนาถ่านชีวภาพป่าเด็ง ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อสุนทร อยู่เย็น คุณแม่โกสิน อยู่เย็น ที่ได้เลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ปลูกฝังให้ตั้งมั่นในความขยันหมั่นเพียรและตั้งใจศึกษาจนถึงระดับสูงที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ รวมทั้งสนับสนุนทุนการศึกษาด้วยดีตลอดมา ขอขอบพระคุณคุณอาพีรียา อยู่เย็น ที่อนุเคราะห์ที่พักอาศัยและสนับสนุนด้วยดีตลอดมาจนการวิจัยสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง 1

สารบัญรูป ..... ข

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 สมมติฐานการวิจัย 3

1.4 กรอบแนวความคิด 4

1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7

2.1.1 วัฏจักรคาร์บอน 7

2.1.2 แหล่งกักเก็บคาร์บอน 8

2.1.3 การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 9

2.1.4 การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรม 11

2.1.5 ถ่านชีวภาพ (biochar) 13

2.1.6 ผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน 20

2.1.7 ถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill) 23

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

2.2.1 การใช้ถ่านชีวภาพเพื่อกักเก็บคาร์บอนในดิน 28

2.2.2 การใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน 30

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 32

3.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.1.1 ภาคสนาม 32
3.1.2 ห้องปฏิบัติการ 32
3.2 การดำเนินการวิจัย 32
3.2.1 การเตรียมถ่านชีวภาพ 32
3.2.2 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ดิน 33
3.2.3 การเตรียมแปลงทดลอง 34
3.2.4 การปลูกและการดูแลรักษาถั่วเหลือง 35
3.2.5 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล 35
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 40
4.1 สมบัติและองค์ประกอบของดินก่อนการเพาะปลูก 40
4.1.1 สมบัติและองค์ประกอบของดินก่อนการเพาะปลูก 40
4.1.2 สมบัติและองค์ประกอบทางของดินภายหลังการเพาะปลูก 42
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติและองค์ประกอบของดินก่อนและหลังการเพาะปลูก 48
4.2 การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง 50
4.2.1 ความสูงลำต้น 50
4.2.3 จำนวนข้อ 56
4.3 มวลชีวภาพและผลผลิตของถั่วเหลือง 60
4.3.1 มวลชีวภาพลำต้นของถั่วเหลือง 60
4.3.2 มวลชีวภาพใบของถั่วเหลือง 61
4.3.3 มวลชีวภาพรากของถั่วเหลือง 62
4.3.4 มวลชีวภาพฝักของถั่วเหลือง 62
4.3.5 มวลชีวภาพเมล็ดของถั่วเหลือง 63
4.3.6 จำนวนฝักรวมต่อต้น 63
4.3.7 จำนวนเมล็ดต่อฝัก 64
4.3.8 ขนาดเมล็ด (กรัมต่อ 100 เมล็ด) 65
4.3.9 น้ำหนักเมล็ดต่อต้น (กรัมต่อต้น) 65
4.3.10น้ำหนักเมล็ดต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่) 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.4 ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง 70
4.4.1 ปริมาณคาร์บอนในลำต้น 70
4.4.2 ปริมาณคาร์บอนในใบ 70
4.4.3 ปริมาณคาร์บอนในราก 72
4.4.5 ปริมาณคาร์บอนในเมล็ด 72
4.5 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน 73
4.5.1 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในแต่ละการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง 73
4.5.2 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสม 76
4.6 การประเมินปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลือง 78
4.6.1 การประเมินคาร์บอนสุทธิระหว่างคาร์บอนสะสมในถั่วเหลืองกับคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกจากดิน 78
4.6.2 การประเมินคาร์บอนสุทธิระหว่างปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่และคาร์บอนที่ออกจากพื้นที่ 79
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 84
5.1 สรุปผลการทดลอง 84
5.2 ข้อเสนอแนะ 85
รายการอ้างอิง 86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2. 1 อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสและปริมาณผลิตภัณฑ์ 16
ตารางที่ 2. 2 องค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ 17
ตารางที่ 2. 3 ธาตุองค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ 17
ตารางที่ 3. 1 สมบัติของดินที่วิเคราะห์ 34
ตารางที่ 4. 1 สมบัติของดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูก 41
ตารางที่ 4. 2 สมบัติของดินหลังการใส่ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูก 43
ตารางที่ 4. 3 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนและหลังการใช้ถ่านชีวภาพ 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2. 1 วัฏจักคาร์บอน 8
รูปที่ 2. 2 การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10
รูปที่ 2. 3 การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อการกักเก็บคาร์บอน 13
รูปที่ 2. 4 เปรียบเทียบลักษณะดินที่มีธาตุอาหารต่ำ และดินที่มีถ่านชีวภาพ 14
รูปที่ 2. 5 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชในแปลงเพาะปลูกที่ใส่ถ่านชีวภาพและไม่ใส่ถ่านชีวภาพ 15
รูปที่ 2. 6 องค์ประกอบและโครงสร้างของถ่านชีวภาพ 16
รูปที่ 2. 7 แสดงส่วนต่าง ๆ ของลำต้นถั่วเหลือง 23
รูปที่ 2. 8 แสดงลักษณะของดอกถั่วเหลือง 24
รูปที่ 3. 1 การติดตั้งท่อเก็บตัวอย่างและการวางถ้วยบรรจุสารละลาย NaOH 37
รูปที่ 3. 2 การติดตั้งกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในดินโดยวิธี Alkali absorption ในพื้นที่ทดลอง 38
รูปที่ 4. 1 ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโต 52
รูปที่ 4. 2 ความยาวรากของถั่วเหลืองจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกันในแต่ระยะการเจริญเติบโต 56
รูปที่ 4. 3 จำนวนข้อของถั่วเหลืองจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโต 58
รูปที่ 4. 4 มวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง 62
รูปที่ 4. 5 จำนวนฝักรวมต่อต้นเฉลี่ยในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน 65
รูปที่ 4. 6 น้ำหนักเมล็ดต่อต้นเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) และขนาดเมล็ดเฉลี่ย (กรัมต่อ 100 เมล็ด) ในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน 67
รูปที่ 4. 7 น้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัมต่อไร่) ในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน 68
รูปที่ 4. 8 ปริมาณคาร์บอนที่สะสมเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่) ในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง ในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน 73
รูปที่ 4. 9 การปลดปล่อย CO2 เฉลี่ย (mg CO_2-C m^{-2} day^{-1}) ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของถั่งเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน 77
รูปที่ 4. 10 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสมเฉลี่ย (kg CO_2-C/rai/97day) 79

รูปที่ 4. 11 ปริมาณคาร์บอนที่สะสมรวมในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง ปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกพื้นที่ และปริมาณคาร์บอนสุทธิ 81
รูปที่ 4. 12 ปริมาณคาร์บอนรวมจากการสะสมคาร์บอนของลำต้น ใบ ราก และฝักของถั่วเหลือง ปริมาณคาร์บอนจากถ่านชีวภาพที่เข้าสู่พื้นที่ทดลอง 82
รูปที่ 4. 13 ปริมาณคาร์บอนรวมของเมล็ดถั่วเหลือง คาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกจากพื้นที่ทดลอง 83
รูปที่ 4. 14 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิ (กิโลกรัมต่อไร่) ในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก (global climate change) อันเป็นผลเนื่องมาจากระดับความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) และอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดวิกฤตของภัยทางธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำจืด ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ความเสี่ยงจากพายุ น้ำท่วมฉับพลัน และความมั่นคงทางอาหารของมนุษย์ ซึ่งเป็นที่ทราบกันอย่างกว้างขวางในประชาคมโลกว่า สาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว คือ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ นับตั้งแต่ยุคเริ่มการปฏิวัติอุตสาหกรรมที่สนับสนุนให้ใช้พลังงานจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล ส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกสำคัญที่ถูกปลดปล่อยมากที่สุด

ในปี ค.ศ. 2008 บรรยากาศมีคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้น 385 ppm ซึ่งสูงขึ้นร้อยละ 37.5 เมื่อเทียบกับยุคก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรมที่มีระดับความเข้มข้นเพียง 280 ppm (Lal, 2008) ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศกลุ่มกำลังพัฒนา (Non-Anex I) ไม่ต้องมีภาระเพื่อรับผิดชอบกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่จากการที่เป็นภาคีสมาชิกของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ก็จำเป็นที่ต้องให้ความร่วมมือเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขณะเดียวกันการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมภายในประเทศมีแนวสูงขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2543 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 229.08 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยเป็นการปล่อยจากภาคพลังงานมากที่สุด (ร้อยละ 69.6) รองลงมาคือ ภาคเกษตรกรรม (ร้อยละ 22.6) ภาคอุตสาหกรรม (ร้อยละ 7.2) และภาคของเสีย (ร้อยละ 4.2) ในอนาคตมีการคาดการณ์ว่า หากไม่มีมาตรการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจัง ในอีก 20 ปีข้างหน้า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยจะเพิ่มเป็นสองเท่าของปริมาณการปล่อยในปี พ.ศ. 2553 ที่มีค่าประมาณ 715 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 3.9 ต่อปี (สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, 2553) ซึ่งแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยเสมือนเป็นกระจกสะท้อนให้รู้ว่าประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกก็ได้ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศในลักษณะที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน หากทั่วโลกไม่มีมาตรการในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพแล้ว อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกก็คงจะสูงขึ้นอย่างเนื่อง วิกฤตภัยธรรมชาติก็คงจะรุนแรงและมีความถี่มากขึ้น สิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตก็จะได้รับความเสียหาย ดังนั้น มนุษย์ซึ่งเป็นต้นเหตุของปัญหาจึงต้องเร่งหาแนวทางหรือวิธีการเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพื่อลดปัญหา การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต

การกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) ในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นแนวทางหนึ่งที่คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ได้แนะนำให้ปฏิบัติเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แม้ว่าภาคเกษตรกรรมซึ่งเป็นแหล่งผลิตอาหารไม่ควรถูกบังคับให้มีการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกก็ตาม แต่หากภาคเกษตรกรรมร่วมมือกับภาคส่วนอื่น จะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ เช่น การลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์และมีเทนโดยตรง และการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรมในลักษณะที่คล้ายกับการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้ โดยการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรม สามารถดำเนินการผ่านการจัดการพื้นที่เกษตรกรรมอย่างเหมาะสม เช่น การปลูกพืชคลุมดิน การลดการเผาไหม้เศษซากพืชหรือวัสดุอินทรีย์ ปรับปรุงการจัดการพื้นที่เลี้ยงสัตว์ การปลูกพืชหมุนเวียน การลดการไถพรวน การใส่วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดิน การฟื้นสภาพดินเสื่อมโทรม และการจัดการปุ๋ยเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ, 2552)

ถ่านชีวภาพ (biochar) เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการประยุกต์ใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม เพื่อการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและการกักเก็บคาร์บอน ถ่านชีวภาพผลิตได้จากวัตถุดิบที่หาได้ง่าย เช่น เศษพืชจากภาคการเกษตร ของเสียจากครัวเรือน โดยผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในสภาวะไร้ก๊าซออกซิเจน (Pyrolysis) ซึ่งจะลดการสูญเสียคาร์บอนในสถานะก๊าซ ทำให้ถ่านชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงถึงร้อยละ 50 ของวัตถุดิบในการผลิต จากสมบัติที่มีความคงตัวสูง ถ่านชีวภาพจึงสามารถกักเก็บไว้ในดินเป็นระยะเวลายาวนาน นอกจากนั้นความพรุนและพื้นที่ผิวภายในสูง ยังเป็นสมบัติที่สำคัญของถ่านชีวภาพ ทำให้การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินจึงสามารถปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดี (Lehmann et al., 2006) ดังนั้นการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกพืชจึงมีประโยชน์ทั้งเป็นการกักเก็บคาร์บอนโดยตรงจากถ่านชีวภาพที่เติมลงในดิน และเป็นวัสดุปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสงของพืช (Bell and Worrall, 2011) ซึ่งเป็นการกำจัดก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ หากทั่วโลกใช้วิธีการกักเก็บคาร์บอนด้วยถ่านชีวภาพจะสามารถกักเก็บคาร์บอนเพื่อชดเชยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าได้ประมาณร้อยละ 12 ของการปลดปล่อยที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Woolf, 2008)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศไทยยังมีข้อมูลค่อนข้างจำกัด ทั้งเรื่องปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยตรงจากถ่านชีวภาพ การสนับสนุนให้พืชกักเก็บคาร์บอนได้เพิ่มขึ้น สัดส่วนของการใช้ถ่านชีวภาพที่เหมาะสมต่อพื้นที่ และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินของพื้นที่เพาะปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญแต่มีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศไทย จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นมูลค่าหลายหมื่นล้านบาทต่อปี ขณะเดียวกันถั่วเหลืองเป็นพืชบำรุงดินที่สำคัญ การปลูกถั่วเหลืองจึงเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ได้อีกวิธีหนึ่งด้วย (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546) งานวิจัยนี้จะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลือง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ

2) เพื่อประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินของพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองถั่วเหลืองที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ

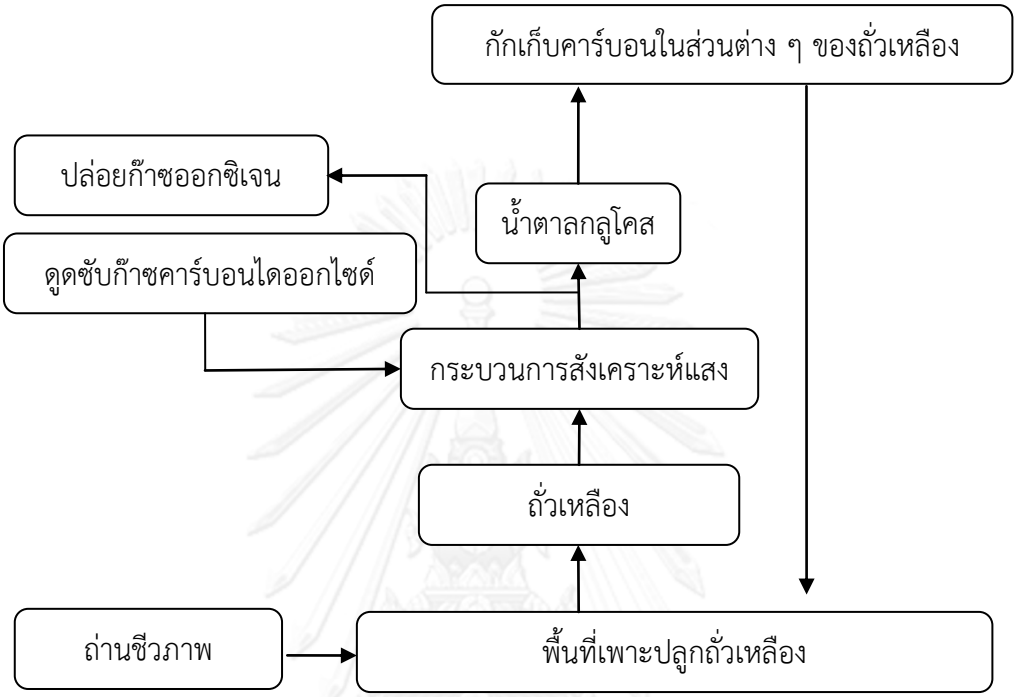
3) เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ

1.3 สมมติฐานการวิจัย

การใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองสามารถกักเก็บคาร์บอนได้เพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 กรอบแนวความคิด



การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองเป็นการกักเก็บคาร์บอนอย่างถาวรจากคาร์บอนคงตัวสูงภายในถ่านชีวภาพ และเป็นวัสดุปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินที่มีประสิทธิภาพ การปลูกถั่วเหลืองตามหลักเขตกรรมของถั่วเหลืองร่วมกับการใช้ถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ถั่วเหลืองเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงการที่ถั่วเหลืองสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เพิ่มขึ้น คาร์บอนจะถูกกักเก็บในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองได้มากขึ้น เมื่อฝังกลบส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง (ยกเว้นเมล็ด) หลังการเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองแล้วลงในพื้นที่เพาะปลูก จึงเป็นการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นการใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองจะเป็นการกักเก็บคาร์บอนได้จากคาร์บอนภายในถ่านชีวภาพ และคาร์บอนจากมวลชีวภาพของถั่วเหลือง

1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

การศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองเพื่อการกักเก็บคาร์บอน ครอบคลุมขอบเขตและประเด็นในการศึกษา ดังนี้

1) ถ่านชีวภาพที่ใช้ในการศึกษา คือ ถ่านชีวภาพจากไม้กระชิดที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 500-600 องศาเซลเซียส โดยบดให้มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร ก่อนใส่ลงในแปลงเพาะปลูก

2) พันธุ์ถั่วเหลืองที่ศึกษา คือ พันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งเป็นพันธุ์อายุปานกลาง (อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 90-100 วัน) เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ทนทานต่อโรคของถั่วเหลือง สามารถเพาะปลูกได้ตลอดปี สามารถปลูกได้ทุกภูมิภาคของประเทศไทย

3) การใส่ปุ๋ยมูลวัวลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นธาตุอาหารกับถั่วเหลือง จึงได้ใส่ปุ๋ยมูลวัวที่ผ่านการหมักให้มีสภาพพร้อมถูกจุลินทรีย์ในดินย่อยสลาย ซึ่งจะทำให้คาร์บอนในปุ๋ยมูลวัวถูกปลดปล่อยจากดิน ส่งผลให้คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์เหลือน้อย นอกจากนี้การศึกษาวิจัยที่ผ่านมายังพบว่า การสะสมของคาร์บอนในดินที่เกิดจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการฝังกลบเศษซากพืชนั้น คาร์บอนที่เพิ่มขึ้นในดินส่วนใหญ่ได้มาจากคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในพืชจากการที่พืชดูดใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมาใช้ในการเจริญเติบโต (Rasmussen and Parton, 1994) ดังนั้นการคำนวณปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่ของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ซึ่งดำเนินการศึกษาวิจัยระยะสั้น เพียง 1 ฤดูกาลเพาะปลูก จึงไม่ได้รวมปริมาณคาร์บอนจากปุ๋ยมูลวัวให้เป็นส่วนหนึ่งของปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลือง

4) การศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำการศึกษาใน 1 ฤดูกาลเพาะปลูกของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

5) การเก็บและวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกจากแปลงทดลองโดยวิธี Alkali absorption ด้วยระบบ closed chamber ซึ่งเป็นวิธีการเก็บและวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถดำเนินการได้โดยตรงในพื้นที่ศึกษา และได้รับการพิสูจน์แล้วว่าให้ผลการทดสอบเป็นที่น่าเชื่อถือได้สูง ขณะเดียวกันก็มีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่ำ และเหมาะสมกับการปฏิบัติการในพื้นที่ห่างไกลที่มีอุปสรรคในการขนส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง (Keith and Wong, 2006)

6) การคำนวณปริมาณคาร์บอนสุทธิ คำนวณได้จากผลต่างของปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในพื้นที่กับปริมาณคาร์บอนที่ออกจากพื้นที่ ในการศึกษานี้กำหนดให้คาร์บอนที่กักเก็บในพื้นที่ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในดินและปริมาณคาร์บอนจากมวลชีวภาพของถั่วเหลือง ส่วนปริมาณคาร์บอนที่ออกจากพื้นที่ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนของเมล็ดถั่วเหลืองที่มีการเก็บเกี่ยวออกจากพื้นที่และปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียออกจากดินในรูปการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ทั้งนี้ไม่ได้รวมการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของพืช เนื่องจากพืชดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศได้มากกว่าปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกกไซด์จากการหายใจ (Bonan, 2002)

7) พื้นที่ในการทดลอง ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาถ่านชีวภาพป่าเด็ง ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี การทดลองมี 4 ตำรับการทดลอง (Treatment) แต่ละตำรับการทดลองทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง กำหนดให้แต่ละแปลงทดลอง (Plot) มีขนาด 2×5 เมตร โดยตำรับการทดลองที่ 1 เป็นตำรับการทดลองควบคุมซึ่งไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ตำรับการทดลองที่ 2 ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตำรับการทดลองที่ 3 ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และตำรับการทดลองที่ 4 ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบผลของการใช้ถ่านชีวภาพในการเพิ่มผลผลิตถั่วเหลือง

2) ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตถั่วเหลือง

3) ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อการกักเก็บคาร์บอนทั้งจากถ่านชีวภาพและมวลชีวภาพของถั่วเหลือง

4) ทราบผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลือง

5) สามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินและส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

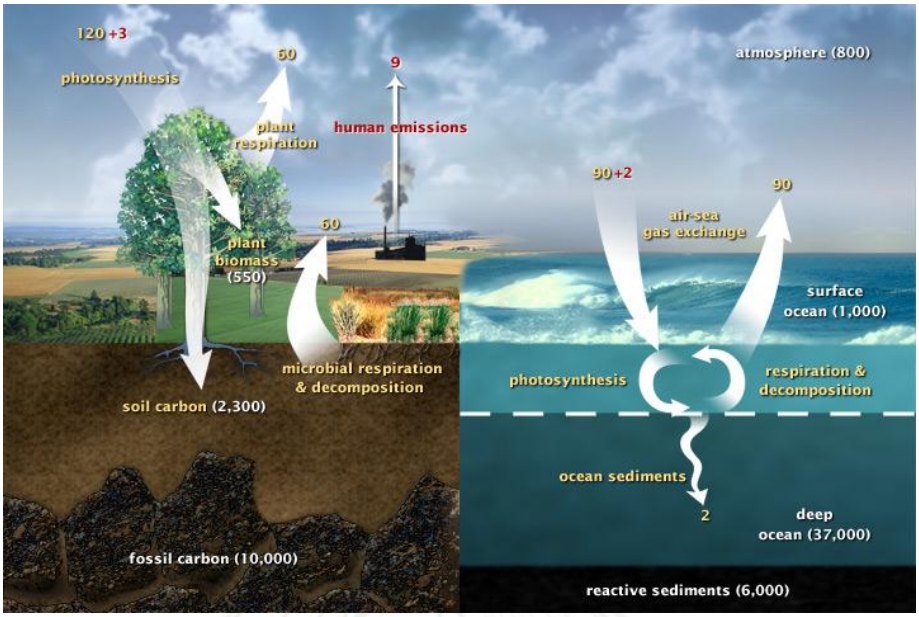
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 วัฏจักรคาร์บอน

คาร์บอนเป็นธาตุที่สำคัญเนื่องจากเป็นองค์ประกอบทางเคมีของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ แหล่งที่มาของคาร์บอนจึงมีอยู่ทั้งในพื้นดิน ชั้นหิน แหล่งน้ำ และชั้นบรรยากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายลักษณะเช่น ภูเขาไฟระเบิด การหายใจของสิ่งมีชีวิต หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบสำคัญในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งพืชจะปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาสู่บรรยากาศทำให้สัตว์ได้ใช้ออกซิเจนนี้ในการหายใจ การนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชจึงเป็นการลดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศลงได้ (Lal, 2008)

การหมุนเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศของโลก เริ่มจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศละลายในน้ำฝนแล้วเปลี่ยนสภาพเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อน ๆ ไหลผ่านซากอินทรีย์ ดิน ตลอดจนชั้นหินต่าง ๆ ทำให้เกิดการผุพังของหินและเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ พืชน้ำสามารถนำไปใช้ได้ทันที ส่วนพืชบกจะได้รับคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหายใจของพืช สัตว์จุลินทรีย์ และจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ ดังนั้นคาร์บอนจึงหมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศอย่างสมดุล คาร์บอนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศหมุนเวียนเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยการสังเคราะห์แสงของพืช (รูปที่ 2.1) อัตราการจับคาร์บอนจากชั้นบรรยากาศของพืชในระบบนิเวศแต่ละแห่งมีค่าไม่เท่ากัน กล่าวคือ ป่าเขตร้อนมีอัตราการจับคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราปีละ 1-2 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตร ในขณะที่เขตทุนดราหรือทะเลทรายที่ว่างเปล่าสามารถจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เพียง 10-20 กรัมต่อตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 1-2 ของป่าเขตร้อนเท่านั้น) ส่วนในเขตอบอุ่นบริเวณที่เป็นป่าหรือบริเวณที่ทำการเพาะปลูกพืชมีอัตราการจับคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2-0.4 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตร อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาทั้งระบบนิเวศของโลกนั้นจะพบว่า อัตราการสังเคราะห์สารอินทรีย์จากคาร์บอนทั้งหมดคิดเป็นน้ำหนักของสารอินทรีย์ได้ประมาณ 20,000-30,000 ล้านตันต่อปี ส่วนในมหาสมุทรนั้นมีแพลงตอนพืชทำหน้าที่จับคาร์บอน ประมาณ 4 หมื่นล้านตันต่อปี (ปานทิพย์ อัฒนวานิช, 2554)



รูปที่ 2. 1 วัฏจักคาร์บอน

ที่มา: Biological and Environmental Research Information System, 2012

2.1.2 แหล่งกักเก็บคาร์บอน

คาร์บอนบนโลกอยู่ในแหล่งกักเก็บหลายแห่ง พบมากที่สุดในชั้นหินต่าง ๆรองลงมา คือ ตะกอนที่อยู่ในรูปของฟอสซิล มหาสมุทรลึก ดิน บรรยากาศ พื้นผิวของมหาสมุทร และพืชพรรณ ตามลำดับ เช่น บรรยากาศจะกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่า 720 พันล้านตัน ขณะที่พื้นดินกักเก็บไว้ได้ 2,000 พันล้านตัน ส่วนมหาสมุทรกักเก็บคาร์บอนได้ 38,400 พันล้านตัน และแหล่งน้ำมันจากฟอสซิล ก็เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญเช่นกัน โดยกักเก็บคาร์บอนไว้ประมาณ 4,1000 พันล้านตัน (Biological and Environmental Research nformation System, 2012; Falkowski et al., 2000) อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนระหว่างแหล่งกักเก็บนั้นมีความผันแปรเป็นอย่างมาก โดยทั่วไป แล้วความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแหล่งกักเก็บและอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนจะแปรผกผันกัน กล่าวคือ แหล่งกักเก็บขนาดเล็ก สามารถแลกเปลี่ยนคาร์บอนได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่แหล่งกักเก็บ ขนาดใหญ่ อย่างเช่นในชั้นหิน จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนได้ช้ากว่า และเมื่อพิจารณาจาก อัตราการแลกเปลี่ยนกับขนาดและความตื้นลึกของแหล่งกักเก็บ พบว่า วัฏจักรของคาร์บอนจะ แลกเปลี่ยนได้รวดเร็วในแหล่งเก็บกัก ขนาดเล็กที่บริเวณพื้นผิว และจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนที่ช้าลง ในแหล่งเก็บกักขนาดใหญ่ที่อยู่ลึกลงไป คาร์บอนในระบบนิเวศจะเคลื่อนย้ายระหว่างแหล่งกักเก็บ หลัก ๆ หลายแหล่ง

ปัจจุบันคาร์บอนได้ถูกนำมาใช้ปริมาณมหาศาลเนื่องมาจากความต้องการพลังงานของมนุษย์ โดยการนำเอาฟอสซิลมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิง ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศในปริมาณที่มากพอจะทำให้เกิดการหมุนเวียนของคาร์บอนตามธรรมชาติ ซึ่งการหมุนเวียนของคาร์บอนที่พบมากที่สุด คือ การหมุนเวียนระหว่างชั้นบรรยากาศและสิ่งมีชีวิตที่อยู่บนพื้นผิวดินกับการหมุนเวียนระหว่างชั้นบรรยากาศและมหาสมุทร ถึงแม้ว่าการหมุนเวียนนี้จะแตกต่างกันไปตามเวลา แต่การหมุนเวียนของคาร์บอนในธรรมชาติในระยะยาวนั้นจะไม่ส่งผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ เพราะเป็นองค์ประกอบหนึ่งของโลกและบรรยากาศ ในทางกลับกันการที่ปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศเพิ่มขึ้นโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากกิจกรรมของมนุษย์ แม้จะมีปริมาณที่น้อยกว่าคาร์บอนที่เกิดโดยธรรมชาติ แต่กลับส่งผลให้ระบบทางธรรมชาติไม่สามารถรองรับได้ทัน จนเกิดความไม่สมดุลระหว่างแหล่งดูดซับคาร์บอนตามธรรมชาติกับปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ระบบไม่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วได้ ส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนที่เหลือจะยังคงอยู่ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นให้กับภาวะเรือนกระจกมากขึ้น จนเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น

2.1.3 การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

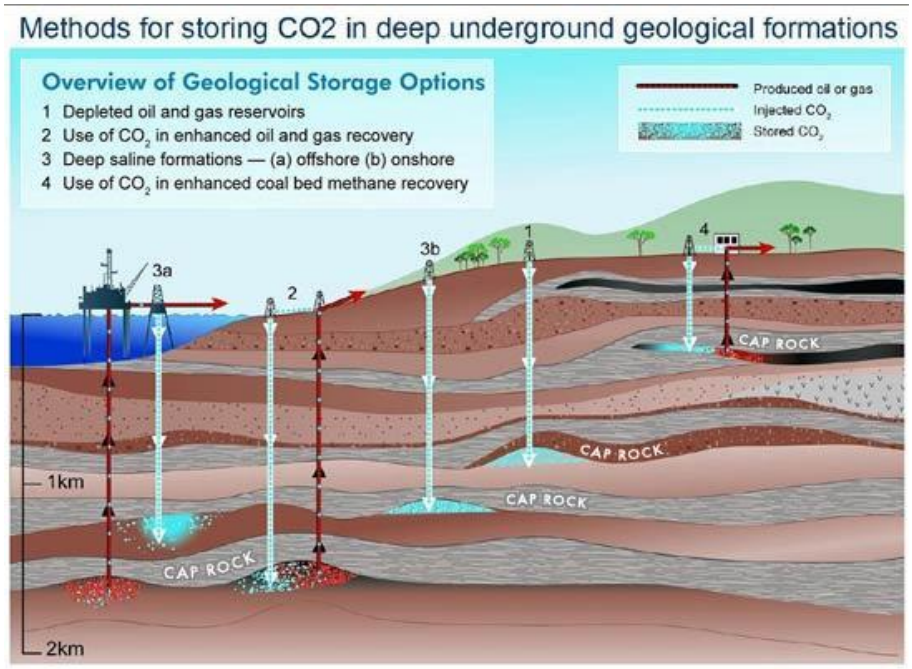
การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการเผาไหม้ออกมากักเก็บไว้ เพื่อไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ เป็นหนึ่งในแนวทางที่จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีแนวโน้มมากขึ้นทุกวัน และลดปริมาณระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ การกักเก็บกาซคาร์บอนไดออกไซด์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ (Energy and Environmental Research Center (EERC), 2008) คือ

2.1.3.1 การกักเก็บทางตรง (Direct sequestration)

การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบทางตรงจะประกอบด้วย 2ขั้นตอนหลัก ๆ คือ ขั้นตอนแรก เป็นขั้นตอนการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้จากท่อระบายโดยใช้วิธีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แหล่งปลดปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยกระบวนการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งต้องใช้สารดูดซับที่มีสถานะเป็นของแข็งหรือของเหลว หลังการเผาไหม้ไอเสียจะถูกส่งไปทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ทำหน้าที่ดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องดักจับ จากนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารเคมีจะถูกแยกออกจากกันที่ห้องแยกก๊าซ เพื่อนำสารเคมีกลับไปใช้ในการดักจับใหม่อีกครั้ง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกแยกไปเก็บในที่จัดเตรียมไว้

ขั้นตอนที่สอง เป็นการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในสถานที่ปลอดภัย โดยหลังจากได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากขั้นตอนแรกแล้ว จะต้องนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเก็บไว้ในที่จัดเตรียมไว้ โดยการอัดภายใต้ความดันและสูบอัดลงสู่ชั้นหินที่อยู่ลึก

ลงไปจากพื้นดินหรือนำไปปล่อยที่พื้นทะเลลึก โดยสถานที่ดังกล่าวจะต้องผ่านการพิจารณาว่าสามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นระยะเวลานานและปราศจากปัญหาที่จะเกิดขึ้นจากการรั่วไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2. 2 การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ที่มา: สำนักงานที่ปรึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำกรุงวอชิงตัน ดี. ซี., 2555

ชั้นหินของโลกสามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 9.5 ล้านล้านตัน ซึ่งมากกว่าการปลดปล่อยจากทั้งโลก (26 พันล้านตันในแต่ละปี) ถึง 300 เท่า (สำนักงานที่ปรึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำกรุงวอชิงตัน ดี. ซี., 2555) ที่ผ่านมามีการใช้วิธีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัดเก็บใต้ดิน (Carbon Capture and Sequestration - CCS) ในอุตสาหกรรมน้ำมันเป็นเวลาหลายปี โดยมีต้นแบบมาจากโครงการผลิตก๊าซธรรมชาติแหล่ง Sleipner ในทะเลเหนือของประเทศนอร์เวย์ ซึ่งแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินออกจากก๊าซธรรมชาติโดยใช้กรรมวิธีทางเคมีแล้วอัดลงหลุมเจาะไปเก็บไว้ในชั้นหินอุ้มน้ำเค็มปีละ 1 ล้านตัน มีผลการศึกษาวิจัยที่ระบุว่า ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชั้นหินและไม่มีการรั่วไหลของคาร์บอนไดออกไซด์สู่ผิวดิน

2.1.3.2 การกักเก็บทางอ้อม (Indirect sequestration)

การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อม (Indirect sequestration) เป็นการกักเก็บไว้ในต้นไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ที่มีอายุการใช้งานยาวนาน เช่น บ้านเรือนและเฟอร์นิเจอร์ ดังนั้น ต้นไม้และป่าไม้ จึงเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญซึ่งประมาณครึ่งหนึ่งของมวลชีวภาพของต้นไม้จะอยู่ในรูปคาร์บอน (สำนักนวัตกรรมไม้เศรษฐกิจ, 2555)

ป่าไม้มีบทบาททั้งในด้านการกักเก็บหรือดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis reaction) ที่จะเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ พร้อมกับน้ำที่กักเก็บอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชให้เป็นน้ำตาลกลูโคสแล้วสะสมในเนื้อเยื่อเพื่อเพิ่มผลผลิตมวลชีวภาพ โดยสมการเคมีในการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นดังนี้

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่ชั้นบรรยากาศของต้นไม้จะผ่านกระบวนการหายใจ และการถูกย่อยสลายของเศษซากที่ตายแล้ว ขณะเดียวกัน ต้นไม้จะกักเก็บคาร์บอนไว้ในส่วนของลำต้น ราก กิ่ง และใบในรูปของมวลชีวภาพ (สำนักนวัตกรรมไม้เศรษฐกิจ, 2555) ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งหากมีผลผลิตมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น พื้นที่นั้นก็จะมีการกักเก็บคาร์บอนตามผลผลิตมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากพื้นที่นั้นมีผลผลิตมวลชีวภาพลดลงเนื่องจากมีการตัดไม้นำออกมาใช้ประโยชน์ พื้นที่นั้นก็จะมีการกักเก็บคาร์บอนตามผลผลิตมวลชีวภาพลดลง

ปัจจัยหลักของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ ใบของพืช โดยที่ใบของพืชดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่วนอีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ ปริมาณน้ำที่พืชดูดขึ้นมา นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ป่าไม้ขึ้นอยู่กับชนิดของต้นไม้ การเจริญเติบโตของต้นไม้จะแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอน ตั้งแต่ต้นไม้เริ่มการเจริญเติบโตจนถึงต้นไม้อายุ 30 ปี อย่างไรก็ตามรายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณคาร์บอน (Carbon Content) กับศักยภาพในการดูดซับของต้นไม้ (Sequestration Potential of Trees) นั้นจะแสดงถึงนัยสำคัญของป่าไม้ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยการกักเก็บคาร์บอน (ในเนื้อไม้) จากการปลูกต้นไม้ สามารถประเมินได้ดังนี้ การสร้างเนื้อไม้ (ปลูกต้นไม้) 1 ตัน จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.81 ตัน และยังปล่อยก๊าซออกซิเจน 1.32 ตัน นักวิทยาศาสตร์ได้คำนวณว่าหากปลูกต้นไม้ใหม่เฉพาะในป่าเขตร้อนรอบ ๆ เส้นศูนย์สูตรพื้นที่ 2.6 ล้านตารางกิโลเมตร จะช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 2.5 ล้านล้านตัน หรืออาจคำนวณปริมาณคาร์บอนโดยนำน้ำหนักแห้งคูณด้วยค่าคงที่ 0.5 จะได้น้ำหนักคาร์บอน เช่น ไม้ตะบูนอายุ 15 ปี มีน้ำหนักแห้ง 20 ตัน ซึ่งจะคำนวณปริมาณคาร์บอนโดยนำน้ำหนักแห้งคูณด้วยค่าคงที่ 0.5 จะได้น้ำหนักคาร์บอน 10 ตันต่อไร่ (องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2555)

2.1.4 การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรม

การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรม เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการคาร์บอนเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ คาร์บอนจะถูกสะสมในพืชและดิน ที่มีลักษณะคล้ายกับการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้ แต่ระยะเวลาในการกักเก็บและการรบกวนระบบ

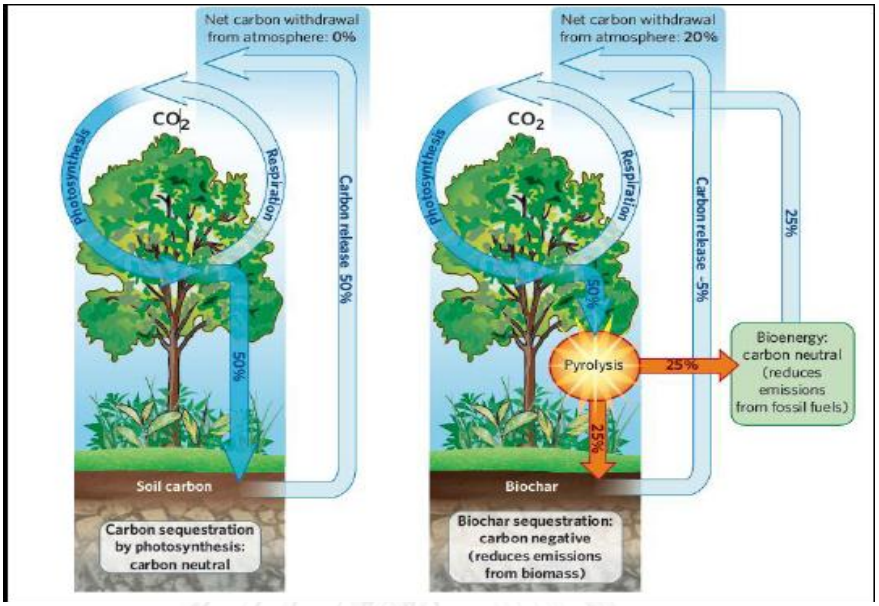
นิเวศแตกต่างกัน โดยการใช้พื้นที่เกษตรกรรมเพื่อเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนเป็นวิธีการหนึ่งที่องค์กรอาหารและยาแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization: FAO) ได้ให้ความสนใจอย่างมากในการใช้ลดก๊าซเรือนกระจก (Food and agiculture organization of united nation (FAO), 2009a) ซึ่งการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรมเกิดขึ้นผ่านกระบวนการสังเคราะห์ของพืช โดยพืชดูดดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บรรยากาศแล้วเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบคาร์บอนเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของพืช ทั้งในส่วนที่อยู่เหนือดิน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ ผล และเมล็ด ขณะที่อยู่ใต้ดิน คือ ราก เมื่อส่วนต่าง ๆ ของพืชตาย เศษซากพืชจะหล่นลงสู่ดินหรือเมื่อสัตว์กินพืชแล้วขับถ่ายลงสู่ดินก็จะเป็นการกลับคืนของคาร์บอนอีกทางหนึ่ง ทำให้เกิดการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินเป็นรูปของอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter: SOM) (Lal, 2004) ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอนที่มีโครงสร้างซับซ้อนและยากต่อการย่อยสลาย คาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในดินสามารถเก็บไว้ได้นานและคงทนกว่าการกักเก็บไว้ในมวลชีวภาพของพืช เนื่องจากคาร์บอนในดินสลายตัวได้ช้ากว่า จากการประเมินโดยใช้ ^{14}C ชี้ให้เห็นว่า คาร์บอนสามารถอยู่ในดินได้นานกว่า 6,000 ปี (พจนีย์ มอญเจริญ และทวีศักดิ์ เวียรศิลป์, 2541) นอกจากนั้นคาร์บอนในดินก็ถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างรวดเร็วกลับเข้าสู่บรรยากาศจากการหายใจของจุลินทรีย์ในดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ สภาพภูมิอากาศ พืชพรรณธรรมชาติ เนื้อดิน การระบายน้ำ และการใช้ที่ดินของมนุษย์ ซึ่งมีผลอย่างมากต่อปริมาณและการคงตัวของคาร์บอนที่ถูกเก็บอยู่ในดิน

การจัดการพื้นที่เกษตรกรรมเป็นวิธีการปฏิบัติที่สำคัญเพื่อเพิ่มปริมาณและเวลาของการกักเก็บคาร์บอนในดิน การใช้วิธีการปฏิบัติที่หลากหลายในการทำการเกษตรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนได้ แนวทางจัดการพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อการกักเก็บคาร์บอนในดินอย่างยั่งยืนสามารถทำได้หลายแนวทาง (United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), 2008) เช่น การอนุรักษ์ดิน การไถพรวน หรือลดการไถพรวนดิน ซึ่งจะไม่มีการไถพรวนดิน ไม่มีการฝังกลบหญ้าคลุมดิน ทำให้ลดการพังทลายของดิน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนในดิน ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน นอกจากนี้การลดการไถพรวน หรือไม่มีการไถพรวนยังสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่จะก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ

การปลูกพืชคลุมดิน เช่น พืชตระกูลถั่ว และธัญพืชขนาดเล็กร่วมกับการปลูกพืชตามปกติ สามารถป้องกันและปรับปรุงดิน การปลูกพืชพืชคลุมดินจะเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยการเสริมสร้างโครงสร้างของดินและเพิ่มอินทรียวัตถุลงในดิน นอกจากนี้ การปลูกพืชหมุนเวียนอย่างต่อเนื่องในพื้นที่เดียวกัน โดยปลูกพืชต่างชนิดกันให้เหมาะสมกับฤดูการเพาะปลูกของพืชแต่ละชนิด จะสามารถเพิ่มระดับของอินทรียวัตถุในดินด้วย

การใส่วัสดุปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ดิน เช่น การใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน เป็นแนวทางที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งการนำเศษซากพืชจากพื้นที่เกษตรกรรมปริมาณมหาศาลมาเปลี่ยนให้เป็นถ่านชีวภาพแล้วนำไปกักเก็บในพื้นที่เกษตรกรรมสามารถเพิ่มการกักเก็บอินทรียวัตถุดินในรูปคาร์บอนได้ปีละ 1×10^9 ตัน (Sohi et al., 2009) และยังเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินซึ่งจะเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชและ

จุลินทรีย์ดิน นอกจากนี้แล้วถ่านชีวภาพยังมีสมบัติที่มีความคงตัวสูง ดังนั้นการใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เกษตรกรรมจึงเป็นการกักเก็บคาร์บอนอย่างถาวรลงในดิน (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2. 3 การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อการกักเก็บคาร์บอน

ที่มา: Lehmann, 2007

2.1.5 ถ่านชีวภาพ (biochar)

ถ่านชีวภาพ คือ วัสดุที่มีเนื้อละเอียดและมีรูพรุนซึ่งมีสัณฐานคล้ายกับถ่านที่เกิดจากการเผาไหม้ตามธรรมชาติ ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน มีความเสถียรสูง ผลิตได้จากการนำมวลชีวภาพ (biomass) ผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในสภาวะไร้ก๊าซออกซิเจนหรือใช้ก๊าซออกซิเจนน้อยที่สุด (Pyrolysis) ในระหว่างการเผา (Food and agiculture organization of united nation (FAO), 2009b; R. Xu et al., 2011) ได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ ถ่านชีวภาพ (biochar) ของเหลวสีดำข้น (tar) และก๊าซสังเคราะห์ (syngas) การผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสทำให้คาร์บอนภายในมวลชีวภาพถูกเก็บไว้ในรูปถ่านชีวภาพซึ่งเป็นของแข็งคงตัว แทนที่จะถูกเผาให้เปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการเผาไหม้ (Lehmann and Joseph, 2009)

มนุษย์ได้ใช้ประโยชน์จากถ่านชีวภาพ เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร มาเป็นเวลาหลายพันปีมาแล้ว เช่น ชาวพื้นเมืองแถบลุ่มน้ำอะเมซอน (Lehmann and Joseph, 2009) พื้นที่เกษตรกรรม ในเอกวาดอร์และเปรู ในทวีปอเมริกาใต้ เบนินและไลบีเรียในทวีปแอฟริกาตะวันตก และทุ่งหญ้าสะวันนาในแอฟริกาใต้ (Lehmann et al., 2003)

ถ่านชีวภาพสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายวัตถุประสงค์ แต่ที่สำคัญ คือ การใช้เพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและการกักเก็บคาร์บอนซึ่งจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพาะปลูกพืชจะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งหมายถึงพืชดูดดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศได้มากขึ้นด้วย สิ่งที่น่าสนใจคือ อินทรียวัตถุส่วนใหญ่ที่ใช้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของดิน เช่น ปุ๋ยหมักจะเปลี่ยนแปลงรูปจากอินทรียวัตถุ เป็นอนินทรียวัตถุในรูปเกลือแร่และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศอีกครั้งในระยะเวลาไม่นาน ซึ่งหมายความว่า คาร์บอนจะไม่ถูกเก็บไว้ในดิน แต่ในทางตรงกันข้ามถ่านชีวภาพที่มีความเสถียรสูงมากจะถูกเก็บไว้ในดินเป็นเวลาหลายร้อยหรือหลายพันปี (Lehmann, 2007; Lehmann et al., 2006; Peng et al., 2011) ด้วยสมบัติดังกล่าวถ่านชีวภาพจึงมีความเหมาะสมเพื่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังมีสมบัติที่สำคัญคือมีพื้นที่ผิวภายในสูงอีกด้วย โดยมีค่าประมาณน้อยกว่า 10-400 ตารางเมตรต่อกรัม ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการเผา ถ่านชีวภาพสามารถอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารได้ดี และเป็นที่อยู่ที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในดิน จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดิน (Kookana et al., 2011; Sohi et al., 2010; ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2554)

ปัจจุบันจุดประสงค์ของการใช้ถ่านชีวภาพ นอกจากเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินซึ่งจะทำให้เพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและเพิ่มความมั่นคงทางอาหารแล้ว การกักเก็บคาร์บอนเพื่อลดสภาวะโลกร้อนยังเป็นอีกจุดประสงค์หนึ่งของใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เกษตรกรรมงานวิจัยจำนวนมากจากนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ได้แสดงให้เห็นความสำคัญและประโยชน์ของการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อการกักเก็บคาร์บอนและเพิ่มผลผลิตในพื้นที่เกษตรกรรม

รูปที่ 2. 4 เปรียบเทียบลักษณะดินที่มีธาตุอาหารต่ำ และดินที่มีถ่านชีวภาพ

ที่มา: East of England Development Agency (EEDA), 2009

รูปที่ 2. 5 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชในแปลงเพาะปลูกที่ใส่ถ่านชีวภาพและไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

ที่มา: EEDA, 2009

2.1.5.1 กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิดที่เหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เศษกิ่งไม้ เศษหญ้า ฟาง ข้าว แกลบ เป็นต้น โดยนำไปผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนที่เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งมวลชีวภาพจะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็ง คือ ถ่านชีวภาพ (biochar) ของเหลวคือ น้ำมันชีวภาพ (bio oil) และก๊าซคือ ก๊าซสังเคราะห์ (syngas) ในสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุและอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต กระบวนการไพโรไลซีสแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่

1) กระบวนการไพโรไลซีสแบบช้า (slow pyrolysis)

กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า เป็นกระบวนการสลายตัวของมวลชีวภาพที่ใช้เวลานาน โดยให้ความร้อนในอัตรา 20-100 องศาเซลเซียสต่อนาที และอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 600 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน (East of England Development Agency (EEDA), 2009) ใช้เวลาทั้งหมดในการผลิตเป็นเวลาหลายชั่วโมง

2) กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (fast pyrolysis)

กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว เป็นการผลิตถ่านชีวภาพที่ใช้เวลาน้อย เนื่องจากการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว อัตราการให้ความร้อนประมาณ 100 องศาเซลเซียสต่อวินาที ถึง 1,000 องศาเซลเซียสต่อวินาที ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 650 องศาเซลเซียสในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน (East of England Development Agency (EEDA), 2009)

ปัจจุบันกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพเนื่องจากได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ ถ่านชีวภาพ ส่วนกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ได้ผลิตภัณฑ์หลักคือ น้ำมันชีวภาพ โดยทั่วไปแล้วการผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าและเร็วจะใช้อุณหภูมิในการเผาและได้ผลิตภัณฑ์ดังแสดง (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2. 1 อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสและปริมาณผลิตภัณฑ์

Process	Temperture °C	Liquid (bio-oil)	Solid (biochar)	Gas (syngas)
Slow pyrolysis	500-600	30%	30%	40%
Fast pyrolysis	650-900	20%	10%	70%

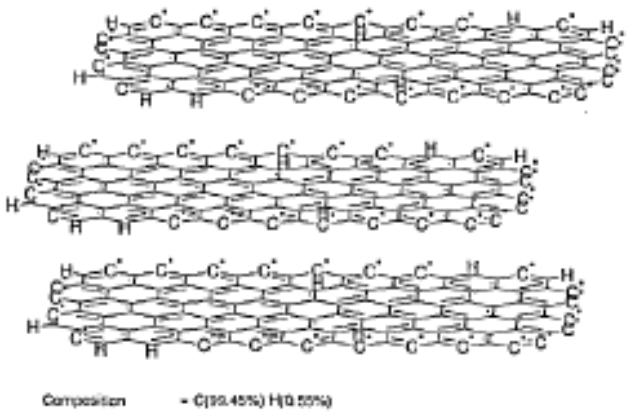
ที่มา: FAO, 2009b

2.1.5.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพ (Physicochemical properties of biochar)

สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการผลิตถ่านชีวภาพ (Joint Research Centre-Institute for Environment and Sustainability, 2010) ดังนี้

1) องค์ประกอบโครงสร้าง (Structural composition)

การสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 250-350 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้สูญเสียมวลในรูปของน้ำและสารอินทรีย์ระเหย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารกลุ่มอะโรมาติกอินทรีย์จะหลุดออกมา จนถึงอุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส องค์ประกอบภายในส่วนใหญ่จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก ในรูปของอะมอร์ฟัสคาร์บอนและมีธาตุอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เป็นต้น (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2. 6 องค์ประกอบและโครงสร้างของถ่านชีวภาพ

ที่มา: JRC-IES, 2010

2) องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition)

ปริมาณขององค์ประกอบของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบของถ่านชีวภาพและอุณหภูมิในการเผา อย่างไรก็ตามองค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ ประกอบด้วย คาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือ สารระเหย ความชื้น และเถ้าตามลำดับ (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2. 2 องค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ

Component	Proportion (ww^{-1})
Fixed carbon	50-90
Volatile matter (e.g. tars)	0-40
Moisture	1-15
Ash (mineral matter)	0.5-5

ที่มา: JRC-IES, 2010

ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบแตกต่างกันจะมีธาตุองค์ประกอบทางเคมีและค่าพีเอชแตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้ว ธาตุองค์ประกอบหลัก ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2. 3 ธาตุองค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ

	pH	C ($g\ kg^{-1}$)	N ($g\ kg^{-1}$)	N ($NO_3^-NH_4^+$) ($mg\ kg^{-1}$)	C:N	P ($g\ kg^{-1}$)	*P*a ($g\ kg^{-1}$)	K ($g\ kg^{-1}$)
Range	6.2-9.6	172-905	1.7-78.2	0.0-2.0	7-500	0.2-73.0	0.015-11.6	1.0-58
Mean	8.1	543	22.3	-	61	23.7	-	24.3

ที่มา: JRC-IES, 2010

ค่าปริมาณคาร์บอนรวมในถ่านชีวภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 172-905 กรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณไนโตรเจนรวมระหว่าง 1.8-56.4 กรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีค่าระหว่าง 2.7-480 และ 1.0-58.0 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) การกระจายขนาดของอนุภาค (Particle size distribution)

การกระจายขนาดของอนุภาคของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส ขนาดอนุภาคของถ่านชีวภาพมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการเผา ถ้าอุณหภูมิในการเผาต่ำเกินไป (ต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส) อนุภาคภายในถ่านชีวภาพจะมีขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวต่ำแต่มีปริมาณคาร์บอนสูง แต่ถ้าอุณหภูมิในการเผาสูงเกินไป (มากกว่า 800 องศาเซลเซียส) อนุภาคภายในถ่านชีวภาพจะมีขนาดเล็กมีความพรุนสูงแต่มีพื้นที่ผิวต่ำและมีปริมาณคาร์บอนต่ำ

4) การกระจายขนาดของช่อง (Pore size distribution)

ขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพ จำแนกตามเส้นผ่านศูนย์กลางภายในได้เป็น รูพรุนขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร รูพรุนขนาดกลาง มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-50 นาโนเมตร และรูพรุนขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร โดยขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะทำให้ถ่านชีวภาพมีรูพรุนที่เหมาะสมและมีพื้นที่ผิวภายในมาก อยู่ในช่วงระหว่าง 200-500 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 800 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านชีวภาพที่มีรูพรุนขนาดใหญ่แต่มีพื้นที่ผิวภายในน้อย

5) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพมีความสัมพันธ์กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพเนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีปริมาณธาตุองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้ว ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพ อยู่ในช่วงระหว่าง 0-40 เซนติโมลต่อกรัม และเนื่องจากขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพจะมีเถ้าเกิดร่วมด้วย ทำให้ถ่านชีวภาพที่ได้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วงระหว่าง 6.2–9.6 หรือมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 8.1

กล่าวโดยสรุปแล้ว สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการคือ ชนิดของวัตถุดิบ และอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส กล่าวคือ วัตถุดิบต่างชนิดกัน จะมีองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีแตกต่างกันทำให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีสมบัติแตกต่างกัน เช่นเดียวกับอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่ต่างกันก็มีประสิทธิภาพในการสลายตัวขององค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของวัตถุดิบได้แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามทางเลือกที่เหมาะสมของชนิดวัตถุดิบและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ ควรจะคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ได้ถ่านชีวภาพที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง มีราคาต่ำ และหาได้ง่าย

2.1.5.3 ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่ถูกใช้เป็นทางเลือกในการกักเก็บคาร์บอนเพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากถ่านชีวภาพเป็นอินทรียวัตถุที่มีสมบัติคงทนต่อการถูกย่อยสลายตามธรรมชาติซึ่งจะเปลี่ยนอินทรียวัตถุให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ การเปลี่ยนอินทรียวัตถุให้กลายเป็นถ่านชีวภาพผ่านกระบวนการไพโรไลซิส แล้วนำไปกัก

เก็บลงในพื้นที่เกษตรกรรม จึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ทั้งทางตรงจากคาร์บอนของถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในดินและเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนทางอ้อมจากการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ที่ส่งผลให้เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในพืชเพิ่มมากขึ้น

พื้นที่เกษตรกรรมทั่วโลกเป็นแหล่งสำคัญที่สุดในการกักเก็บคาร์บอนด้วยถ่านชีวภาพ โดยการใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวทุกสิบปีในพื้นที่เกษตรกรรม จะส่งผลให้ในแต่ละปีเกิดการกักเก็บคาร์บอนได้ 0.65 x 10^9 ตัน คิดเป็นปริมาณร้อยละ 10 ของการปลดปล่อยคาร์บอนจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากพื้นที่เกษตรกรรมหากมีการกักเก็บถ่านชีวภาพอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานในทุ่งหญ้าเขตร้อนทั่วโลกด้วยแล้ว จะสามารถกักเก็บคาร์บอนได้สูงถึง 400 x 10^9 ตัน ซึ่งเทียบเท่ากับการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนในดินทั่วโลกประมาณร้อยละ 25 (Lehmann et al., 2006) มีการคาดการณ์ว่า ถ้าถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในดินไม่เกิดการณ์ย่อยสลายภายใน 100 ปี จะสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 10 ppm (Lenton and Vaughan, 2009) การใช้กลยุทธ์การกักเก็บคาร์บอนด้วยถ่านชีวภาพของโลกจึงเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีนัยสำคัญอย่างมาก

2.1.5.4 ความคงทนและเสถียรภาพของถ่านชีวภาพ

โดยทั่วไปแล้วการใส่มวลชีวภาพและมูลสัตว์ลงในดิน จะมีปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นร้อยละ 100 หลังจากนั้นภายใน 5-10 ปี ปริมาณคาร์บอนจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดินเหลือเพียงร้อยละ 10 ขณะที่การเผาไหม้มวลชีวภาพจะเหลือคาร์บอนร้อยละ 3 (Lehmann et al., 2006) การเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัวในดิน โดยเพิ่มความต้านทานการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินและลดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาการย่อยสลายเป็นธาตุอาหาร ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบหนึ่งด้วย ถ่านชีวภาพซึ่งผลิตโดยการสลายตัวด้วยความร้อนของมวลชีวภาพ มีปริมาณคาร์บอนถึงร้อยละ 50 หรือมากกว่านั้นขึ้นกับโครงสร้างภายในของคาร์บอน และด้วยสมบัติทางเคมีและกายภาพของถ่านชีวภาพจึงคงตัวต่อการย่อยสลายได้หลายร้อยหรือหลายพันปี (Lehmann et al., 2003) การเปลี่ยนจากระบบการเผามวลชีวภาพแบบเก่ามาเป็นระบบการผลิตแบบถ่านชีวภาพ จะสามารถหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยคาร์บอนได้ประมาณ 420-450 กิโลกรัม จากน้ำหนักทุกตันของมวลชีวภาพ องค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพเป็นข้อมูลที่สามารถให้คำอธิบายถึงความคงทนสูงของถ่านชีวภาพ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง (Sohi et al., 2009) โดยทั่วไปไม้มีปริมาณคาร์บอน ร้อยละ 50 แต่หลังจากนำไปผลิตเป็นถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจะมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 80 (Winsley, 2007) ทำให้ถ่านชีวภาพมีความคงตัวยาวนาน อย่างไรก็ตามความคงตัวของถ่านชีวภาพที่ถูกกักเก็บอยู่ในดิน ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศ เช่น Terra preta ซึ่งเป็นถ่านชีวภาพที่ถูกกักเก็บในลุ่มน้ำอะเมซอนสามารถคงตัวอยู่ในดินได้ระหว่าง 500-7,000 ปี (Lehmann, 2007) พื้นที่แห้งในออสเตรเลียเหนือ ถ่านชีวภาพสามารถคงตัวอยู่ได้เฉลี่ย ระหว่าง 1,000-2,000 ปี และถ่านชีวภาพในพื้นที่ป่าของแวนคูเวอร์ตันตก มีครึ่งชีวิต 6,623 ปี (Lehmann and Joseph, 2009) นอกจากสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศแล้วความคงตัวของถ่านชีวภาพยังขึ้นอยู่กับการะบวนการผลิตและชนิดของวัตถุดิบในการผลิตอีกด้วย

2.1.6 ผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน

2.1.6.1 สมบัติทางกายภาพของดิน

การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของดินหลายประการ ได้แก่ เนื้อดิน โครงสร้างดิน ความพรุนของดิน และความร่วนเหนียวของดิน โดยดินที่ผสมกับถ่านชีวภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวรวม การกระจายขนาดของช่องว่าง การกระจายขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นและความแน่นทึบของดิน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากความลึกของการซึมผ่านของน้ำ และอากาศที่พืชใช้ประโยชน์ได้ถูกกำหนดโดยสมบัติทางกายภาพของชั้นดิน ถ่านชีวภาพส่งผลต่อการตอบสนองต่อน้ำของดิน เนื่องจากการใส่ถ่านชีวภาพลงในดินมีผลต่อการเกิดเม็ดดิน ความสามารถพองตัวเมื่อดินได้รับน้ำและหดตัวเมื่อดินสูญเสียน้ำ และสภาพให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน โดยทั่วไปแล้วถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะรวมสูงกว่าทรายและดินเหนียว ดังนั้น เมื่อเติมถ่านชีวภาพลงในดินจึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะรวมของดินให้สูงขึ้น (Kookana et al., 2011) ถ่านชีวภาพสามารถปรับปรุงโครงสร้างดินหรือการถ่ายเทอากาศของดินเนื้อละเอียด ความพรุนปริมาณมากตามธรรมชาติของถ่านชีวภาพเป็นสมบัติอีกอย่างที่สำคัญ ถ่านชีวภาพจึงถูกประยุกต์ใช้กับดินเพื่อปรับปรุงการถ่ายเทอากาศของดิน ปรับปรุงความสามารถอุ้มน้ำและลดความแข็งของดิน ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษไม้ สามารถดูดซับน้ำได้ 2–4 เท่าของน้ำหนักเดิม (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2554)

การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินจึงส่งผลให้ดินสามารถอุ้มน้ำได้สูงขึ้น นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังมีผลต่อการปรับปรุงการถ่ายเทอากาศในดินโดยเป็นส่วนที่เพิ่มช่องขนาดใหญ่ของดิน ทำให้ความพรุนช่องบรรจุอากาศสูงขึ้น และปรับปรุงการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนลงในดิน ในสภาวะมีน้ำในดินปริมาณมาก อย่างไรก็ตามขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของความพรุนของถ่านชีวภาพแต่ละชนิดที่แตกต่างกันและอัตราการใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน การกระจายขนาดของช่องของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัตถุดิบและสภาวะของกระบวนการผลิต (Chan et al., 2007)

2.1.6.2 สมบัติทางเคมีของดิน

1) พลวัตรของธาตุอาหารในดิน

ถ่านชีวภาพเป็นอินทรียวัตถุที่สามารถดูดซับแคตไอออนได้ดีกว่าอินทรียวัตถุอย่างอื่น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวและความหนาแน่นของประจุมากกว่า จึงทำให้ถ่านชีวภาพสามารถกักเก็บธาตุอาหารได้มาก ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช การที่ถ่านชีวภาพมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง (CEC) จึงสามารถกักเก็บแคตไอออนได้ดี ทำให้สามารถดูดซับฟอสเฟตซึ่งเป็นแอนไอออนได้อย่างแข็งแรง แม้ว่าถ่านชีวภาพเป็นแอนไอออน (anion) อย่างหนึ่งก็ตาม (Liang et al., 2006)

ความสามารถดูดซับไอออนได้ดีของถ่านชีวภาพ ทำให้ถ่านชีวภาพเป็นอินทรียวัตถุพิเศษอย่างหนึ่งที่สามารถกักเก็บธาตุอาหารในดินได้ดี การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินจึงให้ประโยชน์ต่อการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Lehmann et al., 2003) การใส่ถ่านชีวภาพลง

ในดินอาจจะลดมลพิษได้ เนื่องจากเหตุผลหลายอย่าง ประการแรก การกักเก็บธาตุอาหารในดิน เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งถูกชะละลายลงในน้ำใต้ดินและถูกกัดเซาะลงบนน้ำผิวดิน ประการที่สอง ถ่านชีวภาพสามารถลดมลพิษได้จากการเพิ่มการกักเก็บธาตุอาหารในดินชั้นบน ทำให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช กลไกของการชะละลายธาตุอาหารที่เกิดจากการใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน อาจจะเกิดจากกลไกหลายอย่าง เช่น การเพิ่มการกักเก็บน้ำในเขตรากพืช การยึดเกาะกับธาตุอาหารโดยตรง การเกิดปฏิกิริยาภายในกับองค์ประกอบอย่างอื่นของดิน หรือการช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารบางอย่างที่ติดแน่นในดิน ถ่านชีวภาพดูดซับโมเลกุลอินทรีย์และโมเลกุลอนินทรีย์ได้ ในกรณีของธาตุอาหารอนินทรีย์จะถูกกักเก็บไม่ให้สูญเสียจากการชะละลาย (Kookana et al., 2011) การใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยลงในพื้นที่เพาะปลูกจะช่วยเพิ่มประโยชน์ของธาตุอาหารจากปุ๋ยต่อพืชให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินให้สูงขึ้น จึงมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของพืช การเติมถ่านชีวภาพทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงขึ้น โดยค่ากรด-ด่างของดิน อินทรีย์คาร์บอนในดิน และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Chan et al., 2007) นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังลดการชะละลายของไนเตรต โดยลดการชะละลายไนเตรตได้ปริมาณมาก (Knowles et al., 2011) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยเคมีจะให้ประโยชน์ 2 ประการ คือ ประการแรก ช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยมากขึ้น ประการที่สอง ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยจากผลของการลดการชะละลายของถ่านชีวภาพ (Chan et al., 2007; Knowles et al., 2011)

2) การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซเรือนกระจกอื่น

ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ โดยมีค่าความสามารถในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global warming potential: GWP) เป็น 24 และ 310 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Intergovernmental panel on climate change (IPCC), 2007) แหล่งกำเนิดใหญ่ของก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ คือ การปลดปล่อยจากพื้นที่เกษตรกรรม โดยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ถูกผลิตและปลดปล่อยจากแหล่งที่อยู่ในสภาวะไร้ก๊าซออกซิเจน (anaerobic) เช่น พื้นที่ปลูกข้าวที่มีน้ำท่วมขัง ส่วนก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินผ่าน 2 กระบวนการ คือ ไนตริฟิเคชัน (nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยมีปัจจัยในการควบคุมการผลิตก๊าซไนตรัสออกไซด์ คือ แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนเตรต (NO_3^-) น้ำ อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) อุณหภูมิ และเนื้อดิน การะบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เกิดจากแบคทีเรียบางชนิดใช้แอมโมเนียมในดินเป็นแหล่งพลังงานและทำให้เกิดไนไตรต์ (NO_2^-) ซึ่งเปลี่ยนเป็นไนเตรตในที่สุด กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) เกิดขึ้นในสภาพไร้ออกซิเจน โดยที่แบคทีเรียบางชนิดสามารถสร้างออกซิเจนได้เองจากไนเตรตและได้ผลผลิตเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนกลับคืนสู่บรรยากาศการใส่ถ่านชีวภาพลงในดินส่งผลให้ลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ จากการวิจัยของ Yanai et al. (2007) ได้ใช้ถ่านชีวภาพใส่ลงในดินในห้องทดลองพบว่า สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลของถ่านชีวภาพต่อการลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์อาจจะเกิดจาก ถ่านชีวภาพมีความพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง เมื่อใส่ลงในดินทำให้ดินมีความพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น การระบายอากาศเกิดได้ดีขึ้น ทำให้ลดสภาวะที่

ไม่มีก๊าซออกเจนในดิน ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะกับกิจกรรมการย่อยสลายของแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์ ดังนั้น การเติมถ่านชีวภาพในดินจึงสามารถลดการปลดปล่อยและก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Cavigelli and Robertson, 2001) นอกจากนี้ ค่ากรด-ด่างของดินที่เพิ่มสูงขึ้นหลังจากการใส่ถ่านชีวภาพแล้ว อาจจะกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่ลดก๊าซไนตรัสออกไซด์ การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินเขตร้อนที่ความอุดสมสมบูรณ์ของดินต่ำ ได้ลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากต้นมะม่วง สามารถการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะเดียวกันก็ส่งผลให้ ความอุดมสมบูรณ์ของดินสูงขึ้น โดยพารามิเตอร์ที่มีค่าสูงขึ้นได้แก่ กรด-ด่าง (pH) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) โพแทสเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (K availability) ความสามารถอุ้มน้ำ (water retention) (Rondon et al., 2006)

2.1.6.3 สมบัติทางชีวภาพของดิน

การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินส่งผลให้ ปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ในการเติบโตและเพิ่มจำนวนประชากร กล่าวคือ ถ่านชีวภาพมีรูพรุนและพื้นที่ผิวภายในสูง จึงเป็นที่อยู่ที่เหมาะกับการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เนื่องจากป้องกันภัยจากผู้ล่า กักเก็บความชื้น ดูดซับอินทรียวัตถุที่ละลายได้ (soluble organic matter) และธาตุอาหารอนินทรีย์ (inorganic nutrients) ที่จุลินทรีย์ในดินต้องการ (Warnock et al., 2007) นอกจากนี้ถ่านชีวภาพช่วยปรับกรด-ด่างของดินให้สูงขึ้น จึงเหมาะต่อแบคทีเรียและเห็ดราที่ชอบสภาวะเป็นกลางในพื้นที่ที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้กิจกรรมของสังคมจุลินทรีย์ มวลชีวภาพของจุลินทรีย์ และองค์ประกอบของจุลินทรีย์แตกต่างอย่างมากกับพื้นที่ใกล้เคียงที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน

จุลินทรีย์ในดินที่พบมากในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพ คือ mycorrhiza ที่อาศัยอยู่บริเวณรอบ ๆ รากของพืช จากการตรวจสอบปริมาณของ arbuscular mycorrhiza ซึ่งเป็น mycorrhiza ชนิดหนึ่ง ในแปลงปลูกข้าวสาลี พบว่า arbuscular mycorrhiza มีปริมาณเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 20-40 เนื่องจากถ่านชีวภาพดูดซับธาตุอาหารและความชื้นที่จำเป็นไว้ทำให้จุลินทรีย์เติบโตได้ดี (Lehmann et al., 2011) ความสัมพันธ์ระหว่างถ่านชีวภาพกับ mycorrhiza เป็นประเด็นหนึ่งที่มีการศึกษากันอย่างมาก โดยที่ mycorrhiza เป็นเชื้อราที่อยู่อาศัยบริเวณรากพืช ซึ่งเป็นการอยู่อาศัยแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน อาจจะเป็นไปได้ว่า ถ่านชีวภาพจะมีอิทธิพลต่อความอุดมสมบูรณ์ของ mycorrhiza ด้วยกัน 4 ประการ คือ 1) การปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน 2) ส่งผลทางอ้อมต่อ mycorrhiza และจุลินทรีย์ดินชนิดอื่น 3) ถ่านชีวภาพดูดซับสารพิษที่เป็นอันตรายต่อ mycorrhiza และ 4) เป็นที่หลบภัยจากผู้ล่า (Warnock et al., 2007)

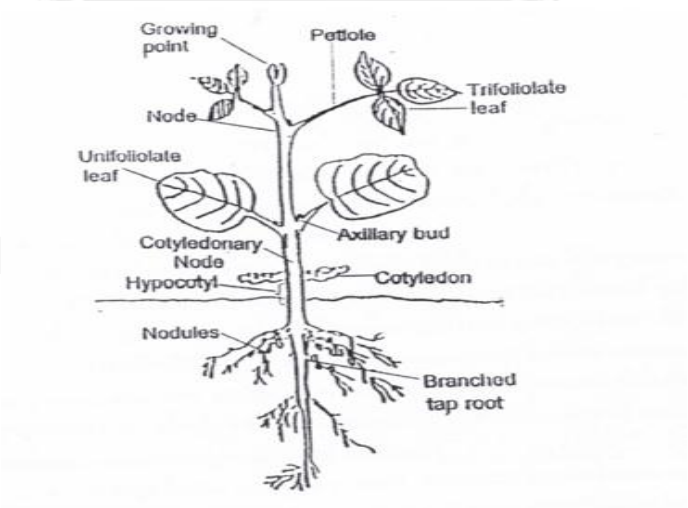
2.1.7 ถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill)

2.1.7.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองอยู่ใน family Leguminosae, sub-family Papalionoideae และ tribe phaseoleae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L.) Merrill (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

ถั่วเหลืองเป็นพืชมีระบบรากแก้ว (tap root system) ที่สามารถหยั่งลึกลงไปในดินได้ถึง 150 เซนติเมตร ขณะที่รากแขนงที่แตกออกจากรากแก้วสามารถเจริญเติบโตตามแนวนอนขนานไปกับผิวดินได้ยาวถึง 50 เซนติเมตร (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546) บริเวณรากของถั่วเหลืองจะพบปม (nodule) ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียพวก *Rhizobium japonicum* เข้าไปอาศัยอยู่ แบคทีเรียจะได้รับคาร์โบไฮเดรตจากต้นถั่วเหลือง และถั่วเหลืองก็จะได้ไนโตรเจนในรูปไนเตรตที่แบคทีเรียตรึงได้จากอากาศไปใช้ประโยชน์ต่อไป การอยู่อาศัยของแบคทีเรียที่รากเรียกว่าเป็นแบบชีวสัมพันธ์ (symbiosis) หรือพึ่งพาอาศัยกัน (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

ถั่วเหลืองมีลำต้นตรงเป็นพุ่มตรง มีการแตกแขนงค่อนข้างมาก สูงประมาณ 30-150 เซนติเมตร ความสูงขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความชื้นและฤดูการปลูก ระหว่างมุมของใบเลี้ยงหรือใบจริงจะพบตา (bud) ซึ่งจะเจริญเป็นกิ่ง ดอก ถ้าถั่วเหลืองกำลังเจริญเติบโต ตานี้มักจะเกิดเป็นกิ่ง แต่ถ้าใช้ระยะปลูกแคบ ตาจะพักตัว ถ้าใช้ระยะปลูกกว้างก็อาจมีกิ่ง 5-6 กิ่งต่อต้น ส่วนใหญ่ตาที่มุมใบเลี้ยงไม่เจริญ นอกจากลำต้นที่อยู่เหนือใบเลี้ยงได้รับอันตราย เช่น ถูกแมลงกัด ตาที่มุมใบเลี้ยงจึงจะแตกออกเป็นลำต้นใหม่

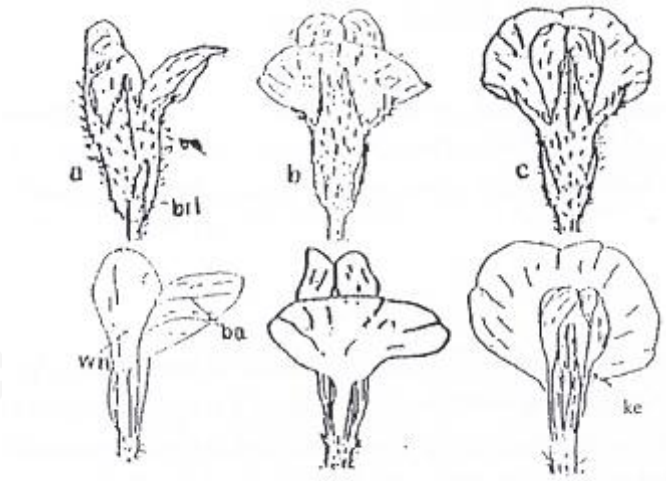


รูปที่ 2. 7 แสดงส่วนต่าง ๆ ของลำต้นถั่วเหลือง

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2548

ถั่วเหลืองเกิดใบแบบสลับ (alternate) บนลำต้น ยกเว้นใบเลี้ยง (cotyledon) และใบจริงคู่แรก (primary leaf) ของต้นอ่อนเท่านั้นที่เกิดตรงข้ามกัน ใบจริงคู่แรกเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) แต่ใบที่เกิดต่อ ๆ มาเป็นใบรวม (compound leaves) ใบมีขนาดรูปร่างต่าง ๆ กัน มักเป็นแบบ pinnately trifoliate คือ มีใบย่อย 3 ใบ มีก้านใบรวม (petiole ยาว 5-10 ซม.) ก้านของใบย่อย (petiolule) ของใบกลางยาวกว่าก้านของใบย่อยอีก 2 ใบ ตรงโคนก้านใบทุกชนิดมีข้ออ่อนเรียก pulvinus ใบมีรูปร่างหลายแบบเช่นรูปไข่ (ovate) จนถึงเรียวยาว (lanceolate) ใบมีขนสีเทาหรือสีน้ำตาลปกคลุมอยู่ทั่วไป ที่โคนของใบย่อยมีหูใบย่อย (stipel) และที่โคนก้านใบจะมีหูใบ (stipule) พันธุ์ส่วนมากใบจะร่วงเมื่อผลเริ่มแก่ เมื่อผลแก่เต็มที่ใบจะร่วงหมด มีบางพันธุ์เท่านั้นที่ไม่สลัดใบเมื่อผลแก่เต็มที่ (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

ถั่วเหลืองมีดอกที่พัฒนาจากตาข้าง ซึ่งแต่ละข้างจะสร้างกลุ่มของดอกซึ่งมีดอกประมาณ 2-35 ดอกต่อกลุ่ม ส่วนประกอบของดอกถั่วเหลืองประกอบด้วย กลีบรอง (calyx) มีแฉกทั้งหมด 4 แฉก กลีบดอก (corolla) มีอยู่ 5 กลีบ เกสรตัวผู้ (stamen) ประกอบด้วยอับละอองเกสรและอับเกสรตัวผู้ และอวัยวะตัวเมีย (pistil) มีลักษณะเป็นกระเปาะ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ เกสรตัวเมีย (stigma) ก้านเกสรตัวเมีย (style) และรังไข่ (ovary) ภายในรังไข่จะมีไข่ (ovule) อยู่ไม่เกิน 4 เมล็ด จำนวนของไข่จะเป็นตัวควบคุมจำนวนเมล็ดต่อฝักในถั่วเหลือง (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)



รูปที่ 2. 8 แสดงลักษณะของดอกถั่วเหลือง

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2548

ถั่วเหลืองสร้างฝักและเมล็ดจะเจริญเติบโตแบบสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ฝัก (pod) จะเจริญเติบโตพร้อม ๆ กับที่เมล็ดภายในฝักได้รับการผสม ซึ่งจะสะสมน้ำหนักแห้งขึ้นเรื่อย ๆ

โดนที่อัตราการเจริญเติบโตของฝักและเมล็ดนั้น จะช้ามากในช่วงแรก ๆ แต่ต่อไปก็จะเร็วขึ้น และปริมาณน้ำหนักแห้งที่สะสมในเมล็ดก็จะมากขึ้นต่อวัน ระยะเวลาที่เมล็ดสะสมน้ำหนักแห้ง เป็นระยะเวลาที่มีความสำคัญยิ่ง อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ดจะสูงสุดและคงที่ระยะหนึ่ง ในขณะที่แร่ธาตุต่าง ๆ ในดินถูกดูดซึมขึ้นมา โดยพืชจะเคลื่อนย้ายมาเก็บกักที่เมล็ด (สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2548)

2.1.7.2 พันธุ์ถั่วเหลืองที่นิยมปลูกในประเทศไทย

พันธุ์ถั่วเหลืองที่เพาะปลูกในประเทศไทยมีมากมายหลายพันธุ์ จากรายงานของนักวิชาการ (เอนก โชติญาณวงษ์, 2546) ที่ศึกษาเกี่ยวกับพันธุ์ถั่วเหลืองสรุปได้ดังนี้

1) พันธุ์ สจ. 1

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.1 มีใบจริงลักษระบาง โคนต้นอ่อนสีม่วง ลำต้นมีลักษณะทอดยอดจึงล้มได้ง่าย ขนที่ต้นและฝักสีน้ำตาล ดอกมีสีม่วง ความสูงของต้นประมาณ 80 เซนติเมตร ต้นหนึ่งติฝักโดยเฉลี่ย 60 ฝัก ถ้าปลูกให้มีระยะห่างระหว่างแถว 50 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร โดยมีหลุมละ 2-3 ต้น จะให้ผลผลิตประมาณ 250-300 กิโลกรัมต่อไร่ ถั่วเหลืองพันธุ์นี้มีฝักแตกง่าย ไม่ทานต่อดรคราสนิม ทำให้ได้ผลผลิตต่ำหรือเมล็ดไม่สมบูรณ์ เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2) พันธุ์ สจ. 2

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 2 มีใบสีเขียวเข้มและหนา ลำต้นสูงประมาณ 75 เซนติเมตร ลำต้นไม่ทอดยอด ไม่ล้มง่าย ดอกมีสีม่วงกระจุกตามข้อของลำต้นและกิ่ง ต้นหนึ่งติฝักโดยเฉลี่ย 60 ฝัก ถ้าปลูกให้มีระยะห่างระหว่างแถว 50 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร โดยมีหลุมละ 2-3 ต้น จะให้ผลผลิตประมาณ 200-300 กิโลกรัมต่อไร่ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 2 มีลักษณะดีเด่นหลายอย่าง เช่น ฝักเหนียวแตกยาก ต้นไม่ล้ม การติดฝักดี แต่ไม่ทานต่อดรคราสนิม ถ้าปลูกในฤดูฝนอาจทำให้ได้ผลผลิตต่ำหรือเมล็ดไม่สมบูรณ์ เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

3) พันธุ์ สจ. 4

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 มีความต้านทานต่อโรคราสนิม ในฤดูที่โรคราสนิมระบาดมาก ขณะที่พันธุ์ สจ. 1 และ สจ. 2 จะมีเมล็ดลีบลงและผลิตลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็น แต่ผลผลิตของพันธุ์ สจ. 4 จะลดลงประมาณ 15 เปอร์เซ็นเท่านั้น เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

4) พันธุ์ สจ. 5

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 เป็นสายพันธุ์ที่มีความสม่ำเสมอ มีลักษณะต่าง ๆ ดี ผลผลิตดี มีความต้านทานต่อโรคราสนิม โรคใบโกร่น และใบด่างดีพอสมควร เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับปลูกในฤดูฝน ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ สจ. 4 เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5) พันธุ์สุโขทัย 1

ถั่วเหลืองพันธุ์สุโขทัย 1 มีใบยาวและแคบคล้ายผักบุ้ง ลำต้นกิ่งทอดยอด โคนต้นอ่อนมีสีม่วง ดอกสีม่วง ลักษณะเด่นของพันธุ์สุโขทัย 1 คือเป็นที่เหมาะสำหรับการปลูกในเขตเกษตรน้ำฝน ทางภาคกลางตอนบน ต้านทานต่อโรคใบจุดนูน และวิสาใบด่าง ข้อควรระวังสำหรับถั่วเหลืองพันธุ์นี้เป็นโรคเมล็ดสีม่วง ประมาณ 15 เปอร์เซ็น และเป็นโรคนี้มากกว่าพันธุ์อื่น ๆ

6) พันธุ์นครสวรรค์ 1

ถั่วเหลืองพันธุ์นครสรรค์ 1 มีโคนต้นอ่อนสีม่วง ดอกสีม่วง เมื่อแก่ฝักมีสีน้ำตาล ฝักใหญ่เมล็ดโตกว่าพันธุ์มาตรฐานอื่น ๆ ช่วงอายุสั้นจึงลดความเสียหายอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศและการกระจายของน้ำฝน และสามารถนำไปใช้ในระบบปลูกพืชได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ปลูกก่อนพืชไร่อื่นหรือตามพืชไร่อื่น ๆ ในเขตเกษตรน้ำฝนภาคกลาง เช่น ฝ้าย ข้าวโพด ให้ผลผลิตสูงในต้นฤดูฝน และกลางฤดูฝน คุณภาพเมล็ดเป็นที่ต้องการของตลาด ผลผลิตต่อไร่สูงกว่า พันธุ์ สจ. 5 ประมาณ 11 เปอร์เซ็น อย่างไรก็ตามถั่วเหลืองพันธุ์นครสรรค์ 1 มีข้อจำกัดอยู่ที่เรื่องระยะปลูก ระยะ 50 x 20 เซนติเมตร ไม่ควรปลูกเกิน 4 ต้นต่อหลุม ดินที่ปลูกต้องระบายน้ำได้ดี และควรหลีกเลี่ยงในแหล่งที่มีโรคราสนิม โรคราน้ำค้างและโรคแอนแทรกโนสระบาด

7) พันธุ์เชียงใหม่ 60

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีโคนต้นอ่อนสีเขียว ลักษณะทรงต้นไม่ทอดยอด ลำต้นแข็งแรงเมื่อฝักแก่มีสีน้ำตาลเข้ม เมล็ดสีเหมลืองกลม ลักษณะใบกว้างและหนา ให้ผลผลิตสูง ทนทานต่อโรคราสนิม โรคราน้ำค้าง และโรคแอนแทรกโนสดีกว่าพันธุ์ สจ. 4 และสจ. 5 สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน เหมาะสำหรับปลูกหลายภูมิภาค เช่น ภาคเหนือตอนบน ภาคเหนือตอนล่าง ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางตอนล่าง

8) พันธุ์เชียงใหม่ 1

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 1 เป็นถั่วเหลืองฝักสด มีลักษณะเมล็ดโต มีเนื้อมาก ฝักสดมีเขียวสด เป็นพันธุ์ไม่ต้านทานโรคราน้ำค้าง ผลผลิตต้นรวมฝักประมาณ 1,653 กิโลกรัมต่อไร่

9) พันธุ์ มข. 35

ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีลักษณะโคนต้นสีเขียว ดอกสีขาว ลักษณะทรงต้นกิ่งทอดยอดลำต้นแข็งแรงต้านทานต่อการหักล้ม ฝักแก่มีสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะใบกว้างและหนา เมล็ดมีขนาดใหญ่ เปลือกหุ้มเมล็ดหนา ทนแล้งและเจริญได้ดีในดินกรดและด่าง ตรึงไนโตรเจนได้ดีกว่าพันธุ์ สจ. 4 สามารถปลูกได้ทั้งฤดูฝนและแล้ง ผลผลิตเฉลี่ย 306 กิโลกรัมต่อไร่

10) พันธุ์สุโขทัย 2

ถั่วเหลืองพันธุ์สุโขทัย 2 เป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคใบจุดนูน โรคราน้ำค้างและโรควิสาใบด่าง ลักษณะโคนต้นอ่อนสีม่วง ทรงต้นกึ่งทอดยอด ลักษณะใบแคบและเล็ก ผลผลิตเฉลี่ย 328 กิโลกรัมต่อไร่

Chulalongkorn University

11) พันธุ์จักรพันธุ์ 1

ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธุ์ 1 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง โดยเฉพาะต้นฤดูฝนและแล้งมีอายุค่อนค้างยาว ปลูกได้ดีในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ต้านทานโรคราน้ำค้าง และโรคแอนแทรคโนส มีลักษณะโคนต้นอ่อนสีม่วง ดอกสีม่วง ใบกว้างขนาดกลาง ผลผลิตเฉลี่ย 288 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.7.3 การเขตกรรมถั่วเหลือง

การเขตกรรมถั่วเหลืองที่นักวิชาการด้านถั่วเหลือง (เธียรชัย อารยางกูร, 2546) เสนอแนะและส่งเสริม เพื่อให้สามารถเพิ่มผลผลิต และลดต้นทุนการผลิต สรุปได้ดังนี้

1) ช่วงเวลาที่ปลูก

การปลูกถั่วเหลืองในฤดูแล้งในระบบชลประทานหลังการเก็บเกี่ยวข้าว ควรปลูกช่วงระหว่างกลางเดือนธันวาคมถึงกลางเดือนมกราคม ในขณะที่การปลูกถั่วเหลืองในฤดูฝนในเขตเกษตรน้ำฝนสามารถปลูกได้ 2 ครั้ง คือ ช่วงต้นฤดูฝน ในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนมิถุนายน กับช่วงปลายฤดูฝน คือ ช่วงตั้งแต่ปลายเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม

2) การเตรียมดิน

การปลูกถั่วเหลืองในฤดูแล้งหลังการเก็บเกี่ยวข้าว สามารถปลูกได้โดยไม่ต้องมีการไถพรวนดินแต่จะต้องขุดร่องน้ำ ซึ่งเป็นร่องให้น้ำและระบายในร่องเดียวกัน ส่วนการเตรียมดินในฤดูฝน ให้ไถดะ 1 ครั้ง เพื่อตากหน้าดินในช่วงปลายเดือนเมษายน หลังเริ่มฝนตกให้ไถพรวน 2 ครั้ง แล้วจึงปลูก

3) อัตราการปลูก

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เกษตรกรควรปลูก โดยให้มีระยะระหว่างแถวและหลุมห่างกัน 35-30 เซนติเมตร ควรหยอดหลุม ๆ ละ 3-5 เมล็ด ส่วนถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 สจ. 5 และสุโขทัย 2 ควรหยอดหลุม ๆ ละ 3-4 เมล็ด

4) วิธีการปลูก

การปลูกถั่วเหลืองหลังการทำนาไม่ควรเผาฟางเพื่อเตรียมการปลูกถั่วเหลือง เนื่องจากมีผลให้อินทรียวัตถุในดินลดต่ำลง แต่ควรปลูกถั่วเหลืองให้แล้วเสร็จแล้วจึงนำฟางเข้ามาเกลี่ยภายหลัง กระจายคลุมผิวดินตลอดฤดูปลูกถั่วเหลือง จะช่วยรักษาความชื้นในดิน และช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในดินเนื่องจากการเน่าเปื่อยของฟางข้าวที่ใช้คลุมผิวดิน

5) การใส่ปุ๋ย

การใส่ไรโซเบียมและปุ๋ยไนโตรเจน สามารถเพิ่มไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองต้องการได้อย่างเพียงพอ ก่อนหยอดหรือว่านเมล็ดถั่วเหลืองควรคลุกเมล็ดด้วยเชื้อไรโซเบียมก่อนปลูก เนื่องจากไรโซเบียมสามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศลงสู่ดินได้ สำหรับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพชลประทาน อาจจะไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจน เพียงแต่คลุกเมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้ปลูกกับไรโซเบียมเท่านั้นก็พอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธาตุฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อการเจรยเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพียงพอ จะส่งผลให้ถั่วเหลืองให้ผลผลิตสูง ในดินที่มีฟอสฟอรัสต่ำกว่า 5 ppm การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราไม่เกิน 9 กิโลกรัม P2O5 ต่อไร่ หรือเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 0-40-0 ไร่ละไม่เกิน 20 กิโลกรัม เป็นอัตราที่เพียงพิต่อการเพิ่มผลผลิตได้อย่างเหมาะสม หรืออาจจะใส่ ปุ๋ยเคมี สูตร 0-40-0 ไร่ละไม่เกิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 350 กิโลกรัมต่อไร่ และไรโซเบียมผสมกันกลบหลุมปลูกถั่วเหลืองหลุมละ 1 กำมือ จะช่วยเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองได้มาก

6) การให้น้ำ

การให้น้ำถั่วเหลืองในดินร่วนเหนียวปนทราย ควรให้น้ำชลประทาน 10 วันต่อครั้ง จำนวน 9 ครั้งตลอดฤดูปลูกจะให้ผลผลิตสูง แต่ถ้าใช้ฟางคลุมดินด้วยจะให้น้ำ 15-20 วันต่อครั้ง เพียง 4-6 ครั้งเท่านั้น ก็ให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกโดยเผาฟาง

7) การดูแลรักษา

หลังการปลูกควรฉีดสารเคมีป้องกันวัชพืช เช่น ฉีดอะลาคลอร์ การดูแลรักษาหลังปลูกนับเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ถั่วเหลืองให้ผลผลิตดี ในกรณีที่ต้องปลูกซ่อมก็ให้รีบดำเนินการโดยเร็ว เพราะการปลูกซ่อมช้าทำให้ต้นที่ปลูกซ่อมให้ผลเก็บเกี่ยวช้าไปด้วย การปราบวัชพืชนับว่าจำเป็นมาก ถ้ากระทำได้ในวันปลูกควรจะฉีดอะลาคลอร์ (alachlor) เพื่อป้องกันการงอกของวัชพืช ทำให้แปลงปลูกปลอดวัชพืชได้ราว 20-30 วัน ก่อนถั่วเหลืองออกดอกก็อาจปราบวัชพืชอีก 1 ครั้งก็อาจเพียงพอ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การใช้ถ่านชีวภาพเพื่อกักเก็บคาร์บอนในดิน

การกักเก็บคาร์บอนในดินโดยใช้ถ่านชีวภาพเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง ถ่านชีวภาพสามารถผลิตได้จากเศษอินทรียวัตถุทุกชนิดจึงสามารถผลิตได้ปริมาณมาก ขณะเดียวกันถ่านชีวภาพก็มีความคงตัวสูงสามารถกักเก็บในดินได้เป็นเวลาหลายร้อยหรือหลายพันปีจึงเสมือนเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนถาวร และถ่านชีวภาพยังสนับสนุนให้พืชมีผลผลิตเพิ่มขึ้นอีกด้วย จึงเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนจากส่วนต่าง ๆ ของมวลชีวภาพของพืชในพื้นที่เพาะปลูก นอกจากนี้เมื่อรวมพื้นที่เพาะปลูกพืชในส่วนของโลกแล้วมีขนาดใหญ่มาก จึงเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนขนาดใหญ่ทั้งนี้พื้นที่ปลูกพืชหลายชนิด จึงถูกทดลองใส่ถ่านชีวภาพเพื่อตรวจสอบกักเก็บคาร์บอนทั้งการกัก เก็บโดยตรงจากถ่านชีวภาพ และการส่งส่งเสริมของถ่านชีวภาพเพื่อเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนจากมวลชีวภาพของพืช งานวิจัยต่อไปนี้ได้ให้ข้อมูลที่น่าสนในอย่างยิ่ง

Karhu et al. (2011) ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพในดินเพื่อการเพาะปลูกเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของสภาพดินอันเนื่องจากความผันผวนของสภาวะอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณการดูดซับธาตุอาหารในดิน และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก บริเวณตอนใต้ของประเทศฟินแลนด์ โดยใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 9 ตันต่อเฮกแตร์ ในพื้นที่เพาะปลูก ทำการตรวจวัดปริมาณของ N_2O CO_2 และ CH_4

ภายหลังจากการเติมถ่านชีวภาพลงในดินในเดือนพฤษภาคมปี 2009 มีการเก็บข้อมูล 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 45 วัน การทดลองได้ใช้พื้นที่กลางแจ้ง และพื้นที่ในที่ร่ม เพื่อให้ได้ช่วงระยะเวลาที่มีการคายของก๊าซ N_2O สูงสุด ซึ่งเป็นเวลาที่มีศักยภาพในการปรับสภาพดินได้ดีที่สุดด้วย ผลการศึกษาพบว่า ถ่านชีวภาพที่ถูกเติมลงในดินจะมีส่วนช่วยในการลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

Zhang et al. (2012) ศึกษาผลการเติมถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน เพิ่มผลผลิตและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวหว่าน : ศึกษาในพื้นที่ที่ข้าวเติบโตสองรอบการผลิต ที่ประเทศจีน โดยก่อนทำการเพาะปลูกจะใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่นาในอัตรา 0 ตันต่อเฮคแตร์ 10 ตันต่อเฮคแตร์ 20 ตันต่อเฮคแตร์ และ 40 ตันต่อเฮคแตร์ เก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อติดตามการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ด้วยกล่องแบบปิด หลังจากที่ต้นข้าวงอกแล้ว 7 วัน ผลการศึกษาพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในนาข้าวเพิ่มผลผลิตข้าว ค่ากรด-ด่างของดิน คาร์บอนอินทรีย์ดิน และไนโตรเจนทั้งหมด แต่ค่าความหนาแน่นของดินลดลง ค่าการหายใจของดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ที่เติมถ่านชีวภาพและไม่เติมถ่านชีวภาพในทั้งสองปีที่ศึกษา อย่างไรก็ตามพื้นที่ใส่ถ่านชีวภาพมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ลดลงทั้งสองปี แต่การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นในปีแรกแล้วลดลงในปีที่ 2 ซึ่งโดยสรุปแล้วการใส่ถ่านชีวภาพลงในนาข้าวหว่านมีผลให้การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ลดลง ค่าคาร์บอนอินทรีย์ดินเพิ่มขึ้นซึ่งส่งเสริมให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (เพิ่มขึ้นร้อยละ 20-30) ค่ากรด-ด่างเพิ่มขึ้น (ประมาณร้อยละ 10)

Vaccari et al. (2011) ทำการวิจัยเกี่ยวกับ การใช้ถ่านชีวภาพเป็นกลยุทธ์กักเก็บคาร์บอนและเพิ่มผลผลิตข้าวสาลีดูรัม ที่ประเทศอิตาลี โดยทำการทดลองปลูกข้าวสาลีดูรัม 2 ฤดูกาลเพาะปลูกติดต่อกัน ในพื้นที่เพาะปลูกเดียวกัน โดยที่ดินในแปลงทดลองมีค่าความเป็นกรดด่าง 5.2 ผู้วิจัยออกแบบตำรับการทดลองไว้เป็น 3 ตำรับการทดลอง แต่ละตำรับการทดลองทำการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง (4 แปลงทดลอง) แต่ละแปลงทดลองมีขนาด 25 ตารางเมตร โดยกำหนดให้ตำรับการทดลองที่ 1 ไม่เติมถ่านชีวภาพเป็นตำรับควบคุม ตำรับการทดลองที่ 2 ใช้ถ่านชีวภาพ 30 ตันต่อเฮคแตร์ ตำรับการทดลองที่ 3 ใช้อัตราส่วนของถ่านชีวภาพ 60 ตันต่อเฮคแตร์ ผลการศึกษา พบว่าการเติมถ่านชีวภาพมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตทั้ง 2 ปีและค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลงร้อยละ 4 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 30 ตันต่อเฮคแตร์ และลดลงร้อยละ 2 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 60 ตันต่อเฮคแตร์ ปริมาตรของดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.5 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 30 ตันต่อเฮคแตร์ และเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 60 ตันต่อเฮคแตร์ ผลผลิตข้าวสาลีดูรัมที่ได้ในปีที่ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 28.5 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 30 ตันต่อเฮคแตร์ และผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 38.5 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 60 ตันต่อเฮคแตร์ ในปีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.0 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 30 ตันต่อเฮคแตร์ และผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 33.6 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 60 ตันต่อเฮคแตร์ และในปีที่ 2 ยังได้ทดลองใช้ตำรับทดลองจากปีที่ 1 ปลูกข้าวสาลีดูรัมโดยไม่ได้เติมถ่านชีวภาพเพิ่ม พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.6 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 30 ตันต่อเฮคแตร์ และผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.0 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 60 ตันต่อเฮคแตร์นอกจากนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.1 เป็น 5.51 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 30 ตันต่อเฮคแตร์ และมีค่า

เพิ่มขึ้น 5.1 เป็น 6.39 เมื่อเติมถ่านชีวภาพ 60 ตันต่อเฮคแตร์ นั่นแสดงว่าการใส่ถ่านชีวภาพเพียงครั้งเดียวให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นถึงสองฤดูการเพาะปลูก การใส่ถ่านชีวภาพปริมาณ 30-60 ตันต่อเฮคแตร์ ลงในพื้นที่เพาะปลูกเทียบเท่าได้กับการกักเก็บคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บรรยากาศ 92-184 ตัน

Bell and Worrall (2011) ศึกษาการใช้การถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกเพื่อเป็นอ่างคาร์บอนและให้ผลประโยชน์ร่วมกับสิ่งแวดล้อม ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศอังกฤษโดยใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่ปลูกหญ้าโดยพื้นที่ควบคุมไม่ใช้ถ่านชีวภาพ ส่วนพื้นที่ทดลองได้ใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 6,250 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี 62,500 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี และ 87,500กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี ตามลำดับ ผลการศึกษา พบว่า สามารถกักเก็บคาร์บอนจากถ่านชีวภาพโดยตรงได้ 5,000.5 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี 50,005 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี และ 70,080 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี ตามลำดับ สามารถกักเก็บคาร์บอนในรูปชีวมวลได้ 1,376.1 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี 2,036.7 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี และ 1,346.9 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี สามารถหลีกเลี่ยงการสูญเสียคาร์บอนได้ 2,639 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี ในพื้นที่ทดลองทั้งสามเมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ของแปลงทดลองที่เติมถ่านชีวภาพและแปลงควบคุมที่ไม่เติมถ่านชีวภาพ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ สรุปแล้วพื้นที่ควบคุมปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิ 2,638 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี ส่วนพื้นที่ทดลองกักเก็บคาร์บอนสุทธิ 4,084 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี 48,957 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี 69,317กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปีตามลำดับ

2.2.2 การใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน

Asai et al. (2009) ศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินและเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวไร่ ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศลาว ในระหว่างช่วงฤดูฝนของ ปี ค.ศ. 2007 โดยใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 0-16 ตันต่อเฮกแตร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ผลการวิจัยพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพเพิ่มการอุ้มน้ำของดินชั้นบนและถ่านชีวภาพทำให้ได้ผลผลิตข้าวสูงขึ้นในพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสที่พืชใช้ประโยชน์ได้ต่ำ และช่วยให้ข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยไนโตรเจน-ฟอสฟอรัส ได้ดีขึ้น

ชัยนาม ดิสถาพร และคณะ (2554) ศึกษาชนิดและอัตราที่เหมาะสมของถ่านชีวภาพร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตของข้าวปทุมธานี 1 ในสภาพดินทรายที่เป็นกรด ในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม บ้านโนนดู่ ตำบลบ้านฝาง อำเภอสระใคร จังหวัดหนองคาย โดยใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล แกลบจากเตาเผาคุนตัง และถ่านชีวภาพที่ได้จากกากน้ำหมักชีวภาพ ในอัตรา 200 และ 400 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการศึกษาพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินทราย ไม่ทำให้สมบัติทางเคมีของดิน (pH, %OM, Available P, Exchangeable K, Ca และ Mg) แตกต่างกับแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ ความสูง จำนวนแขนงต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักฟาง และผลผลิตของข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม การใช้ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มแสดงให้เห็นว่า สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงกว่าแปลงควบคุม

Yamato et al. (2006) ศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกไม้ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด ถั่วฝักยาว และถั่วลิสง ที่สุมาตราใต้ ประเทศอินโดนีเซีย โดยใส่ถ่านชีวภาพลงในแปลงปลูกในอัตรา 10 ลิตรต่อตารางเมตร ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 50 กรัมต่อตารางเมตร แล้วเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบผลผลิตและสมบัติทางเคมีของดินหลังจากใส่ถ่านชีวภาพ พบว่าผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 และถั่วลิสงมีผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และดินหลังจากใส่ถ่านชีวภาพมีคุณภาพดีขึ้น โดยค่ากรด-ด่าง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และค่าความสามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มสูงขึ้น ขณะเดียวกันความชื้นของดินก็สูงขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณรากของข้าวโพดเพิ่มขึ้นและในแปลงปลูกข้าวโพด arbuscular mycorrhiza มีปริมาณเพิ่มขึ้น

Steiner et al (2007) ศึกษาผลระยะยาวของการใส่ปุ๋ยคอก ถ่านชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและเพิ่มผลผลิตพืช ที่พื้นที่เพาะปลูกแถบลุ่มน้ำอะเมซอนตอนกลาง ในประเทศบราซิล การทดลองทำการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลไก่ ปุ๋ยหมัก ถ่านชีวภาพ และเศษซากพืชจากพื้นที่ป่า ในพื้นที่ซึ่งมีความชื้นสูงและสภาพดินเป็นกรด ทำการปลูกข้าว (OryzasativaL.) และข้าวฟ่าง (Sorghum bicolor L.) เป็นระยะเวลา 4 รอบการเพาะปลูก ผลการวิจัยพบว่า การใส่มูลไก่ให้ผลผลิตเมล็ดสะสมรวมสูงที่สุดตลอด 4 รอบการเพาะปลูก คือ 12.4×10^6 กรัมต่อเฮคแตร์ และการใส่มูลไก่ยังส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มขึ้น จากการตรวจสอบพบว่า ค่า กรด-ด่าง ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และแคลเซียมของดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญการใส่ปุ๋ยหมักอย่างเดียว ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบแปลงทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 11 ตันต่อเฮคแตร์ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปุ๋ย NPK) และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี (ปุ๋ย NPK) พบว่า แปลงที่ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปุ๋ย NPK) ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญและให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าสองเท่า เหตุผลที่ได้ผลผลิตสูงกว่าเกิดจากถ่านชีวภาพดูดซับธาตุอาหารไว้ได้ดีกว่า จึงไม่สูญเสียธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และถ่านชีวภาพสามารถลดการสูญเสียคาร์บอนในดินได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองบ่งชี้ว่า แปลงที่ใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวสูญเสียคาร์บอนในดินเพียงร้อยละ 4 ขณะที่แปลงที่ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปุ๋ย NPK) สูญเสียคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8 ส่วนแปลงที่ใส่มูลไก่และปุ๋ยหมักสูญเสียคาร์บอนในดินเท่ากันร้อยละ 27 และแปลงควบคุมสูญเสียคาร์บอนในดินร้อยละ 25

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรับความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชและการกักเก็บคาร์บอนที่ผ่านมา ได้ดำเนินการในหลายพื้นที่ทั่วโลก รวมทั้งมีการดำเนินการในประเทศไทยด้วย โดยทั่วไปแล้วงานวิจัยในต่างประเทศที่ให้ผลเชิงบวกนั้น จะเป็นงานวิจัยผลของการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดินแล้วได้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้นหรือการกักเก็บคาร์บอนโดยตรงจากปริมาณคาร์บอนในถ่านชีวภาพ ยังไม่มีงานวิจัยที่พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เกษตรกรรมให้ผลเชิงบวกสุทธิทั้งในด้านการเพิ่มผลผลิตพืชซึ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนโดยพืชและการกักเก็บคาร์บอนโดยตรงจากถ่านชีวภาพ ส่วนงานวิจัยในประเทศไทยซึ่งเน้นผลของถ่านชีวภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นถึง ประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพทั้งในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชซึ่งเป็นเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนจากพืชและการกักเก็บคาร์บอนโดยตรงจากถ่านชีวภาพ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย

3.1.1 ภาคสนาม

พื้นที่ศึกษาวิจัยภาคสนามใช้พื้นที่แปลงเพาะปลูก ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาถ่านชีวภาพป่าเด็ง ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี โดยลักษณะของพื้นที่เป็นที่ราบเชิงเขา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 140 เมตร ลักษณะของดินนั้น ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน การซึมผ่านได้ของน้ำปานกลางถึงเร็ว ดินมีอินทรียวัตถุปานกลาง-ต่ำมาก ดินมีสภาพเป็นกลางถึงกรดรุนแรงมาก (เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม และลือชัย ครุฑน้อย, 2555)

3.1.2 ห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกจากแปลงทดลองโดยวิธี Alkali absorption ด้วยระบบ closed chamber ได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการของ ศูนย์วิจัยและพัฒนาถ่านชีวภาพป่าเด็ง ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

การวิเคราะห์ตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลอง ได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการของ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขากรุงเทพฯ และสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองได้ดำเนินการที่ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์หมาวิทยาลัย

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพที่ใช้ในการศึกษา คือ ถ่านชีวภาพจากไม้กระชิดที่ผลิตได้จากเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า (slow pyrolysis) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานที่องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้เสนอแนะไว้ (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2554) โดยเตาผลิตถ่านชีวภาพแบบที่ใช้ในครั้งนี้ สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเตาผลิตถ่านชีวภาพให้อยู่ระหว่าง 500-600 องศาเซลเซียส ได้ถ่านชีวภาพประมาณ ร้อยละ 30 ของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเป็นถ่านชีวภาพ ซึ่งถ่านชีวภาพที่ได้มีสมบัติทางกายภาพและเคมีดังนี้ ปริมาณคาร์บอนร้อยละ 78.88 ปริมาณไฮโดรเจนร้อยละ 1.38 ปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.78 พื้นที่ผิวภายใน 137.91 ตารางเมตรต่อกรัม เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 28.34 อังสตรอม และความสามารถในการดูดซับน้ำ 2.51 เท่าของน้ำหนักเดิม (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2554) เมื่อผลิตถ่านชีวภาพ

ได้แล้ว จึงบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อให้ถ่านชีวภาพประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารได้ดีที่สุด (Kookana et al., 2011)

3.2.2 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ดิน

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติของดิน โดยที่ตัวอย่างดินก่อนการทดลองถูกเก็บจากพื้นที่ทดลองขนาด 120 ตารางเมตร (พื้นที่ทดลองขนาด 120 ตารางเมตร แบ่งออกเป็น 4 ตำรับการทดลอง โดยที่แต่ละตำรับการทดลองมี 3 แปลงทดลอง และแต่ละแปลงทดลองมีขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 5 เมตร (2×5 เมตร)) กำหนดให้ระยะระหว่างจุดเก็บตัวอย่างเท่า ๆ กัน จำนวน 24 จุด ขณะที่ตัวอย่างดินหลังการทดลองถูกเก็บจากทุกแปลงทดลองของแต่ละตำรับการทดลอง โดยที่แต่ละแปลงทดลองกำหนดให้ระยะระหว่างจุดเก็บตัวอย่างเท่า ๆ กัน จำนวน 6 จุด

การเก็บตัวอย่างดินทำได้โดยใช้จอบขุดดินเป็นรูปลิ่มลึกประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นเก็บดินโดยใช้พลั่วแซะดินข้างหลุมให้ได้ดินเป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตรจนถึงก้นหลุมดินตัวอย่างที่ได้จากทั้ง 24 จุด เก็บรวบรวมลงในถังพลาสติกคลุกเคล้าดินที่เก็บมาให้เข้ากันแล้วเทลงบนผ้าพลาสติกเลือกวัสดุที่ไม่ใช่ดินออกจากนั้นผึ่งตัวอย่างดินในที่ร่ม เมื่อดินแห้งแล้วบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำดินไปคลุกเคล้าบนผ้าพลาสติกทำการคลุกเคล้าอีกครั้งโดยยกมุมผ้าพลาสติกทีละ 2 มุม ที่อยู่ตรงข้ามกันทำสลับมุมกัน 3-4 ครั้ง หลังจากนั้นกองดินให้เป็นรูปฝาชีแล้วใช้มือตบยอดกองให้แบนราบ หลังจากนั้นใช้นิ้วมือขีดเป็นกากบาดบนยอดกองซึ่งจะทำให้ดินถูกแบ่งแยกเป็น 4 ส่วน เก็บตัวอย่างจากกองดินนี้เพียง 1 ส่วนให้ได้ดินหนักประมาณครึ่งกิโลกรัม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) เป็นตัวแทนของดินก่อนการทดลองใส่ดินลงในถุงพลาสติกที่เตรียมไว้เพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการโดยวิเคราะห์สมบัติของดิน (ตารางที่ 3.1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3. 1 สมบัติของดินที่วิเคราะห์

สมบัติ	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์
เนื้อดิน (soil texture)	เปอร์เซ็นต์	Hydrometer
กรด-ด่าง (pH)	-	pH meter
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	cmol/kg	Ammonium acetate method
สารอินทรีย์ในดิน (Organic Matter; OM)	เปอร์เซ็นต์	Walkley and Black method
ไนโตรเจนทั้งหมด (total N)	เปอร์เซ็นต์	Kjeldahl Method
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	Bray II extraction
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	Amonia Acetate 1N pH 7.0 extraction

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2553

3.2.3 การเตรียมแปลงทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้มี 4 ตำรับการทดลอง แต่ละตำรับการทดลองทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (3 แปลงทดลอง) แปลงทดลองมีขนาด 2×5 เมตร รวมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 120 ตารางเมตร ในแต่ละแปลงทดลองไถพรวนดินที่ระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร ทุบดินให้แตกละเอียดแล้วใช้คราดปรับให้ดินกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและมีระดับเท่ากันตลอดทั้งแปลง พร้อมทำคันดินกั้นเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำและปุ๋ยไหลถึงกันในแต่ละแปลง กำหนดให้

- ตำรับการทดลองที่ 1 เป็นตำรับการทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ
- ตำรับการทดลองที่ 2 ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือ 10 กิโลกรัมต่อแปลง
- ตำรับการทดลองที่ 3 ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือ 20 กิโลกรัมต่อแปลง
- ตำรับการทดลองที่ 4 ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือ 30 กิโลกรัมต่อแปลง

รวมทั้งหมดใช้ถ่านชีวภาพ 180 กิโลกรัมต่อพื้นที่ศึกษา การใส่ถ่านชีวภาพลงในแปลงเพาะปลูกใช้วิธีการหว่านให้กระจายอย่างทั่วถึงแล้วใช้คราดผสมให้เข้ากับดิน ทุกแปลงใส่ปุ๋ยมูลวัวโดยวิธีการหว่านปริมาณเท่ากัน ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือ 10 กิโลกรัมต่อแปลง แล้วใช้คราดปรับให้ผสมกับดินและถ่านชีวภาพ โดยปุ๋ยมูลวัวที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีสมบัติ ดังนี้ ปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.55 ปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.4 และปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.35

3.2.4 การปลูกและการดูแลรักษาถั่วเหลือง

การเพาะปลูกถั่วเหลืองในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เริ่มปลูกถั่วเหลือง เมื่อวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2556 และเก็บผลผลิตในวันที่ 24 เมษายน พ.ศ. 2556 รวมเวลาทั้งสิ้น 97 วัน โดยก่อนทำการปลูกถั่วเหลืองจะคลุกเคล้าเมล็ดถั่วเหลืองด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม (จากกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ซึ่งเป็นปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมชนิดที่เฉพาะสำหรับการปลูกถั่วเหลือง) โดยใช้เมล็ดถั่วเหลือง 60 กรัม ต่อปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม 1 กรัม วิธีการคลุกเคล้าทำได้โดย ใส่เมล็ดถั่วเหลืองลงในถังพลาสติก แล้วค่อยๆ ใส่น้ำมันพืชลงไปบนเมล็ดถั่วเหลือง คนเบาๆ จนกระทั่งเมล็ดเปียกทั่วกันหมดโดยไม่มีน้ำมันพืชเหลืออยู่ที่ก้นถังพลาสติก ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมลงไปแล้วคลุกเคล้าเบาๆ จนกระทั่งเมล็ดถั่วเหลืองทุกเมล็ดมีปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมติดอย่างสม่ำเสมอ (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546) เมล็ดที่คลุกเชื้อแล้วจะนำไปปลูกในทันที

การปลูกถั่วเหลือง โดยการหยอดหลุมๆ ละ 6 เมล็ด เมื่อเมล็ดงอกจะถอนต้นถั่วเหลืองออกให้เหลือหลุมละ 3 ต้น โดยใช้ระยะปลูกซึ่งมีระยะห่างระหว่างแถวและหลุม คือ ระยะห่างระหว่างแถว 30 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างหลุม 30 เซนติเมตร การให้น้ำถั่วเหลืองนั้นครั้งแรกให้ก่อนปลูกและต่อไปให้ประมาณ 10 วันต่อครั้ง โดยการให้น้ำกับถั่วเหลืองใช้ระบบสปริงเกอร์ (springer) ที่มีระยะห่างของหัวฉีดเท่า ๆ กัน จึงทำให้ถั่วเหลืองในทุกแปลงทดลองได้รับน้ำในปริมาณเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ขณะที่ถั่วเหลืองกำลังเจริญเติบโต กำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอ ในระหว่าง 14-45 วันหลังปลูก การป้องกันโรคและแมลงโดยการฉีดพ่นน้ำหมักสมุนไพรสะเดา และหางไหล เพื่อขับไล่แมลงศัตรูพืชอย่างสม่ำเสมอและจะฉีดพ่นทันทีเมื่อพบแมลงศัตรูพืช

3.2.5 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

3.2.5.1 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

1) การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในแต่ละแปลงทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างถั่วเหลืองโดยเก็บตัวอย่าง 5 ช่วงระยะเวลา คือ ระยะเริ่มติดฝัก (ถั่วเหลืองอายุ 62 วัน) ระยะฝักเริ่มมีเมล็ด (ถั่วเหลืองอายุ 70 วัน) ระยะเมล็ดเต็ม (ถั่วเหลืองอายุ 80 วัน) ระยะฝักเริ่มเหลือง (ถั่วเหลืองอายุ 89 วัน) และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (ถั่วเหลืองอายุ 97 วัน) โดยการวัดความสูงลำต้น ความยาวราก นับจำนวนข้อ ชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้น ใบ ราก ฝักและเมล็ด

2) การเก็บข้อมูลผลผลิต

การเก็บข้อมูลผลผลิตของถั่วเหลืองในแต่ละแปลงทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างถั่วเหลืองในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (ถั่วเหลืองอายุ 97 วัน) โดยวัดจำนวนฝักสดรวมต่อต้น น้ำหนักฝักรวมต่อต้น น้ำหนักฝักแห้งต่อต้น น้ำหนักเมล็ดแห้งต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และขนาดเมล็ด (กรัมต่อ 100 เมล็ด)

3.2.5.2 การประเมินปริมาณคาร์บอนในพืช

เมื่อถึงระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตของถั่วเหลืองทำการเก็บข้อมูลปริมาณคาร์บอน โดยในแต่ละแปลงทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง โดยถอนต้นถั่วเหลืองทั้งต้น แล้วล้างน้ำให้สะอาดจากนั้นผึ่งให้แห้งในที่ร่มแล้วชั่งน้ำหนักสดทั้งต้นจากนั้นแยกส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ลำต้น ใบ ราก ฝัก และเมล็ดออกจากกัน และชั่งน้ำหนักสดของแต่ละส่วนของพืช จากนั้นตัดและสับย่อยแต่ละส่วนของพืชให้มีขนาดเล็กลง นำตัวอย่างเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้งและคำนวณหาเปอร์เซ็นความชื้น ตามสมการ (สิริกานดา วัชราไทย, 2551) ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นความชื้น} = \frac{[\text{น้ำหนักสด (กรัม)} - \text{น้ำหนักแห้ง (กรัม)}] \times 100}{\text{น้ำหนักสด (กรัม)}}$$

จากนั้นนำเปอร์เซ็นความชื้นไปคำนวณหามวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของพืชและมวลชีวภาพในแต่ละแปลง ตามสมการ (สิริกานดา วัชราไทย, 2551) ดังนี้

$$\text{มวลชีวภาพ} = \frac{\text{น้ำหนักแห้ง (กรัม)} \times 100}{\text{เปอร์เซ็นความชื้น} + 100}$$

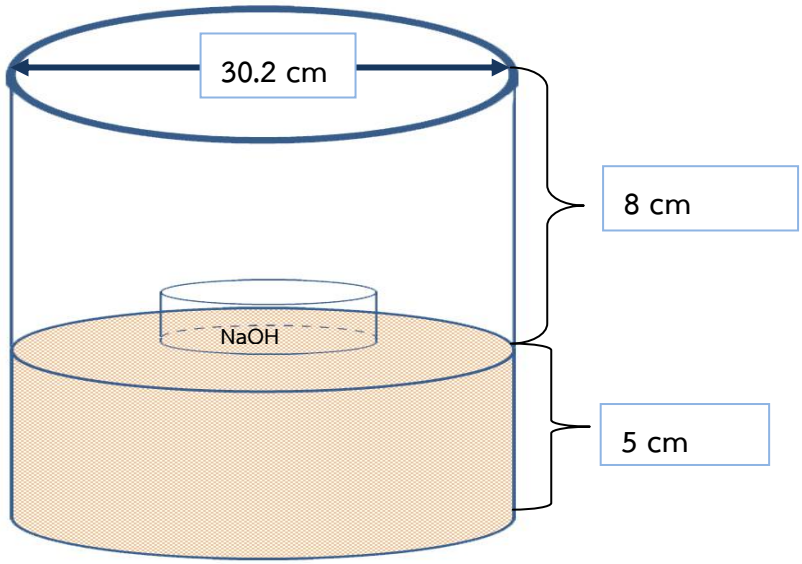
ส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ลำต้น ใบ ราก ฝัก และเมล็ด ถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนเพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของพืชและคำนวณหาปริมาณคาร์บอนที่กลับลงสู่ดินและออกไปจากดินจากมวลชีวภาพ ตามสมการ (ลิขิต พลยศ, 2555) ดังนี้

$$\text{ปริมาณคาร์บอน} = \frac{\text{เปอร์เซ็นความเข้มข้นคาร์บอน} \times \text{มวลชีวภาพ (กรัม)}}{100}$$

3.2.5.3 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การเก็บตัวอย่างก๊าซและวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากผิวดิน (soil CO_2 efflux) ของทุกแปลงทดลอง ดำเนินการเก็บ 5 ช่วงระยะเวลาตามการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง คือ ระยะเริ่มติดฝัก (ถั่วเหลืองอายุ 62 วัน) ระยะฝักเริ่มมีเมล็ด (ถั่วเหลืองอายุ 70 วัน) ระยะเมล็ดเต็ม (ถั่วเหลืองอายุ 80 วัน) ระยะฝักเริ่มเหลือง (ถั่วเหลืองอายุ 89 วัน) และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (ถั่วเหลืองอายุ 97) โดยการเก็บและวิเคราะห์ปริมาณก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกจากแปลงทดลองใช้วิธี Alkali absorption ด้วยระบบ closed chamber (Kirita, 1971) โดยที่ท่อเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30.2 เซนติเมตร สูง 13 เซนติเมตร (ความสูงใช้งานจริง 8 เซนติเมตร) มีพื้นที่ผิวประมาณ 0.0825 ตารางเมตร มีฝาปิดสนิท ทำการวางท่อเก็บตัวอย่างในแปลงทดลอง แต่ละแปลงทดลองมี 3 ท่อ วางท่อเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนการปลูกถั่วเหลืองเพื่อป้องกันการรบกวนดิน โดยท่อเก็บตัวอย่างก๊าซอยู่ในดินลึก 5 เซนติเมตร (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3. 1 การติดตั้งท่อเก็บตัวอย่างและการวางถ้วยบรรจุสารละลาย NaOH

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการดำเนินการทำได้โดยวางถ้วยบรรจุสารละลาย NaOH เข้มข้น 2 โมลาร์ จำนวน 40 มิลลิลิตร ในท่อเก็บตัวอย่าง ปิดท่อด้านบนด้วยถุงพลาสติกเพื่อกั้นอากาศจากภายนอก ตั้งทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นเทตัวอย่างที่เก็บได้ลงในขวดทดลองรูปชมพู่ แล้วเติมสารละลาย $BaCl_2$ เข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 40 แล้วไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ คำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากผิวดิน นอกจากนี้ในแต่ละแปลงทดลองได้ติดตั้งท่อเก็บตัวอย่างที่เป็นท่อควบคุม (blank) และดำเนินการทุกอย่างเหมือนท่อเก็บตัวอย่างแต่ก้นท่อควบคุมปิดสนิท (รูปที่ 3.2)

รูปที่ 3. 2 การติดตั้งกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในดินโดยวิธี Alkali absorption ในพื้นที่ทดลอง

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้สมการของ Zibilske (Zibilske, 1994) ดังนี้

$$mg\ CO_2 = (B\text{-}V)\ (N E)$$

เมื่อ B คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรด HCl ที่ใช้ในการไทเทรตของ blank

V คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรด HCl ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายตัวอย่าง

N คือ จำนวนนอมอลิตีของกรด HC lหน่วยเป็น ml^{-1}

E คือ ค่า equivalent weight ของคาร์บอนในรูป CO_2-C ซึ่ง E มีค่าเท่ากับ 6 หรือในรูปของก๊าซ CO_2 ค่า E มีค่าเท่ากับ 22 หน่วย ปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกจากผิวดินมักใช้เป็นค่าปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนต่อพื้นที่ต่อเวลา

3.2.5.4 การคำนวณปริมาณคาร์บอนสุทธิ

การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง คำนวณได้จากผลต่างของปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในพื้นที่ (กำหนดให้คาร์บอนที่กักเก็บในพื้นที่ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในดินและปริมาณคาร์บอนจากมวลชีวภาพของถั่วเหลือง) กับปริมาณคาร์บอนที่ออกจากพื้นที่ (กำหนดให้คาร์บอนที่ออกจากพื้นที่ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียออกจากดินในรูปการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินและปริมาณคาร์บอนของเมล็ดถั่วเหลืองที่มีการเก็บเกี่ยวออกจากพื้นที่) ดังสมการต่อไปนี้

ปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ = ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในพื้นที่ – ปริมาณคาร์บอนที่ออกจากพื้นที่

3.2.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาหาค่าเฉลี่ยและประเมินผลเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละตำรับการทดลองด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธีการของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังกล่าวได้ปฏิบัติการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติคือ Statistical Package for the Social Science (SPSS)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติและองค์ประกอบของดินก่อนการเพาะปลูก

4.1.1 สมบัติและองค์ประกอบของดินก่อนการเพาะปลูก

พารามิเตอร์ที่ศึกษาวิจัยได้แก่ เนื้อดิน ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน ความเป็นกรด-ด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยมีผลการศึกษาวิจัยดังนี้ (ตารางที่ 4.1)

1) เนื้อดิน

การวิเคราะห์เนื้อดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพ พบว่า มีสัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และ ดินเหนียว (clay) เท่ากับ 33.5 29.9 และ 36.6 ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบกับไดอะแกรมสามเหลี่ยมแจงประเภทเนื้อดิน (soil texture triangle) พบว่า มีประเภทเนื้อดินเป็น ดินร่วนเหนียว (clay loam)ซึ่งดินประเภทนี้เป็นดินเนื้อละเอียดมีลักษณะที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก และมีปริมาตรรวมของช่องมาก การแทรกซึมน้ำมีค่าต่ำ และการกระจายน้ำในหน้าตัดดินได้ช้า (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2548)

2) ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน

การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพ พบว่า มีปริมาณสารอินทรีย์ในดินเฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็น เท่ากับ 1.14 ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับต่ำปานกลาง แสดงว่า ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลืองไม่ควรต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547; สมศักดิ์ อิทธิพงษ์ และ รัชนี โสภา, 2547)

3) ความเป็นกรด-ด่าง

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ของดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพ พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย เท่ากับ 7.4 ซึ่งจัดว่าเป็นดินด่างเล็กน้อย (slightly alkaline) แสดงว่า ดินมีความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่าความกรด-ด่าง ที่เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลืองซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-7.0 (สมศักดิ์ อิทธิพงษ์ และ รัชนี โสภา, 2547)

4) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

การวิเคราะห์ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพ พบว่า ดินมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ย เท่ากับ 20.12 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งตามเกณฑ์การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน จัดอยู่ในระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (บรรเจิด พลางกูร, 2523)

ตารางที่ 4. 1 สมบัติของดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูก

พารามิเตอร์	ดินก่อนการทดลองใส่ถ่านชีวภาพ
pH	7.4±0.10
Total N (mg/kg)	500±0.0
Texture	clay loam
OM (%)	1.14±0.12
Avaiable P (mg/kg)	27.0±8.19
Exchangeable K (mg/kg)	167.0±17.60
CEC (cmol/kg)	20.12±1.10

5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพพบว่า ดินมีค่าปริมาณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ ร้อยละ 0.05 ซึ่งตามเกณฑ์การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของไนโตรเจนในดิน จัดอยู่ในระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

6) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพ พบว่า ดินมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ย 27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (27 ส่วนในล้านส่วน) ซึ่งตามเกณฑ์การประเมินระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน จัดอยู่ในระดับความอุดมสมบูรณ์สูง (บรรเจิด พลางกูร, 2523) และจัดว่าเป็นดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลือง โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งเหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลืองต้องมากกว่า 12 ส่วนในล้านส่วน (สมศักดิ์ อิทธิพงษ์ และ รัชนี โสภา, 2547)

7) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพ พบว่า ดินมีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย 167 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (167 ส่วนในล้านส่วน) ซึ่งตามเกณฑ์การประเมินระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน จัดอยู่ในระดับความอุดมสมบูรณ์สูงมาก (บรรเจิด พลางกูร, 2523) และจัดว่าเป็นดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลือง โดยปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินซึ่งเหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลืองต้องมากกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน (สมศักดิ์ อิทธิพงษ์ และ รัชนี โสภา, 2547)

จากการวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินก่อนการใส่ถ่านชีวภาพในพื้นที่ศึกษาวิจัย สรุปได้ว่า สมบัติทางเคมีหลายประการของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย ได้แก่ ความเป็น

กรด-ด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีความเหมาะสมและเพียงพอกับการเพาะปลูกถั่วเหลือง แต่สมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ไม่มีความเหมาะสมและเพียงพอกับการเพาะปลูกถั่วเหลือง เช่นเดียวกันกับสมบัติทางกายภาพของดิน คือ เนื้อดิน ไม่เหมาะสมกับการเพาะปลูกถั่วเหลือง อย่างไรก็ตามการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองอาจจะสามารถปรับปรุงสมบัติของดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกถั่วเหลือง ให้กลายเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้นและเอื้อต่อการปลูกถั่วเหลืองให้ได้ผลผลิตที่ดีได้

4.1.2 สมบัติและองค์ประกอบทางของดินภายหลังการเพาะปลูก

การวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินที่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองเป็นข้อมูลสำคัญ เพื่อบ่งชี้ถึง สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินที่เป็นผลมาจากการใส่ถ่านชีวภาพ โดยมีผลการศึกษาวิจัยเป็นดังนี้ (ตารางที่ 4.2)

1) เนื้อดิน

การวิเคราะห์เนื้อดินที่ได้ใส่ถ่านชีวภาพหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลือง พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กล่าวคือ เนื้อดินเป็นดินประเภทดินร่วนเหนียว (clay loam) ซึ่งเนื้อดินประเภทนี้จะมีเนื้อละเอียดช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก ดินจับกันเป็นก้อนทึบ การแทรกซึมน้ำมีค่าต่ำ และการกระจายน้ำในหน้าตัดดินได้ช้า (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2548) อย่างไรก็ตามจากการสังเกตของผู้ศึกษาวิจัยที่แปลงทดลอง พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพจะทำให้การระบายและกักเก็บน้ำของดินมีประสิทธิภาพสูงกว่าตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ซึ่งข้อบ่งชี้ที่สำคัญคือ ในวันที่อากาศแห้งและร้อนมาก ดินในตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) จะมีลักษณะแห้งและจับยึดกันแน่นจนมีรอยแตกอย่างชัดเจน แต่ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) นั้นดินยังคงมีความชื้นอยู่ เหตุที่เป็นเช่นนั้นน่าจะเป็นผลมาจาก สมบัติของถ่านชีวภาพซึ่งเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและรูพรุนสูงจึงสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ดี จากการศึกษาของ ทวีวงศ์ ศรีบุรี(2554) รายงานว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษไม้ สามารถดูดซับน้ำได้ 2–4 เท่าของน้ำหนักเดิมนอกจากนี้แล้วถ่านชีวภาพยังสามารถลดความหนาแน่นของดินลงได้ (Zhang et al., 2012) ทำให้ดินไม่จับตัวกันแน่นทึบและมีความพรุนมากขึ้น ส่งผลให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ดีขึ้น

อาจกล่าวได้ว่า ถึงแม้ว่าการเติมถ่านชีวภาพจะไม่สามารถส่งผลให้เนื้อดินจากทุกตำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่จะส่งผลให้ดินมีความพรุนมากขึ้น ส่งผลให้น้ำสามารถแทรกซึมในดินได้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4. 2 สมบัติของดินหลังการใส่ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูก

พารามิเตอร์	ตำรับทดลอง			
	BC 0	BC 1	BC 2	BC 3
pH	7.8±0.06[a]	7.8±0.06[a]	7.8±0.06[a]	7.8±0.06[a]
Total N (mg/kg)	1026.07±58.65[a]	1196.20±73.47[ab]	1190.87±94.53[ab]	1386.80±167.28[b]
Texture	clay loam	clay loam	clay loam	clay loam
OM (%)	1.16±0.06[a]	1.24±0.10[a]	1.19±0.09[a]	1.18±0.12[a]
Avaiable P (mg/kg)	30.67±9.02[a]	34.00±6.80[a]	47.00±9.54[a]	43.33±10.07[a]
Exchangeable K (mg/kg)	145.00±20.00[a]	190.00±18.03[b]	171.67±15.28[ab]	180.00±10.00[b]
CEC (cmol/kg)	18.19±1.01[a]	17.90±0.93[a]	19.84±0.52[ab]	19.44±0.64[ab]

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

BC 0 คือ ตำรับการทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน

การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลือง พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีปริมาณสารอินทรีย์ในดินมากที่สุด (1.24 เปอร์เซ็น) รองลงมาคือ ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) (1.19 เปอร์เซ็น) และดินจากตำรับการทดลองควบคุมซึ่งไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (BC 0) (1.16 เปอร์เซ็น) โดยดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีปริมาณสารอินทรีย์ในดินน้อยที่สุด (1.14 เปอร์เซ็น) ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ในดินที่อยู่ในช่วง

1.14-1.24 เปอร์เซ็น จัดว่ามีปริมาณสารอินทรีย์อยู่ในระดับต่ำปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ที่อาจจะไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

อย่างไรก็ตามการใส่ถ่านชีวภาพลงในดินในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีแนวโน้มที่จะส่งผลให้ปริมาณสารอินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินจากตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ถึงแม้ว่าถ่านชีวภาพจะเป็นอินทรียวัตถุที่มีปริมาณคาร์บอนสูง ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วจะมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 80 (Winsley, 2007) แต่กลับมีความเสถียรสูงทำให้ถ่านชีวภาพสามารถคงตัวอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลานานถึง 500-7,000 ปี (Lehmann, 2007) ดังนั้นการใส่ถ่านชีวภาพลงในแปลงเพาะปลูกจึงไม่ได้เป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรง แต่จะเป็นอินทรียวัตถุที่ช่วยกักเก็บคาร์บอนในดินจากการเติมอินทรียวัตถุชนิดอื่น เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และเศษซากพืชหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น ดังนั้นหลังการเก็บเกี่ยวหากทำการฝังกลบองค์ประกอบของถั่วเหลือง ไม่ว่าจะเป็น ลำต้น ใบ ราก และฝัก ลงในพื้นที่ปลูกก็จะเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุได้อีกทางหนึ่ง

3) ความเป็นกรด-ด่าง

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างในดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลือง พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และทุกตำรับการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากันที่ 7.8 ซึ่งจัดว่ามีค่าสูงกว่าค่า ความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลืองซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-7.0 (สมศักดิ์ อิทธิพงษ์ และ รัชนี โสภา, 2547) เหตุที่เป็นเช่นนั้นเป็นผลมาจาก ค่าความเป็นกรดด่างของดินก่อนการทดลองมีค่า 7.4 ขณะที่ถ่านชีวภาพที่ใช้ในการศึกษาวิจัยมีค่าความเป็นกรดกรด-ด่าง ประมาณ 8 ทำให้เมื่อผสมรวมกันแล้ว ส่งผลให้ดินหลังการศึกษาวิจัยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ 7.8 ทั้งนี้ถ่านชีวภาพสามารถปรับปรุงความเป็นกรด-ด่างของดินได้ และการใช้ถ่านชีวภาพในที่พื้นที่เพาะปลูกจะมีประโยชน์อย่างมาก ถ้าใช้ในพื้นที่ซึ่งดินมีความเป็นกรดปานกลาง ถึงกรดเล็กน้อย เพราะจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดินสูงขึ้นทำให้พืชสามารถดูดดึงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ไปใช้ได้มากขึ้น (Jeffery et al., 2011)

4) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

การวิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลือง พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยที่ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากที่สุด (19.84 cmol/kg) รองลงมาคือ ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) (19.44 cmol/kg) และดินจากตำรับการทดลองควบคุมซึ่งไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (BC 0) (18.19 cmol/kg) โดยดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกน้อยที่สุด (17.90 cmol/kg) ซึ่งตามเกณฑ์การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน จัดอยู่ในระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (บรรเจิด พลางกูร, 2523)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพกับตำรับการทดลองควบคุม พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ดังนี้ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกคิดเป็น 10 เปอร์เซ็น และ 5 เปอร์เซ็น ตามลำดับ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองไม่สามารถเพิ่มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัยมีเนื้อดินเป็นประเภทดินร่วนเหนียวซึ่งมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกใกล้เคียงกันกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพ จึงไม่ส่งผลให้ดินหลังจากใส่ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงขึ้นได้ การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาบ่งชี้ว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินจะสามารถเพิ่มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในดินทรายหรือดินที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ (Shenbagavalli and Mahimairaja, 2012; Suppadit et al., 2012) ที่รายงานว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในดินร่วนเหนียวปนทราย ส่งผลให้ดินมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (18.81 cmol/kg) เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ (17.93 cmol/kg)

5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลือง พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ไม่สามารถเพิ่มค่าไนโตรเจนทั้งหมดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพกับตำรับการทดลองควบคุมพบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ดังนี้ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีค่าไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นคิดเป็น 35 เปอร์เซ็น 17 เปอร์เซ็น และ 16 เปอร์เซ็น ตามลำดับ โดยที่ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีค่าไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด (1,386.80 mg/kg) รองลงมาคือ ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) (1,196.20 mg/kg) และดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) (1,190.87 mg/kg) ขณะที่ดินจากตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด (1,026.07 mg/kg)

ผลการศึกษาวิจัย แสดงให้เห็นว่า การใส่ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดให้กับดินได้ เนื่องจากผลที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก ถ่านชีวภาพมีสมบัติ

เป็นวัสดุดูดซับประจุจึงสามารถดูดซับไนเตรต (NO_3^-) และแอมโมเนียม ($NH_4^{+)}$ ไม่ให้สูญเสียไปกับการชะละลายของน้ำได้ จึงส่งผลให้ไนเตรตและแอมโมเนียมยังคงถูกกักเก็บไว้ได้ในดิน ซึ่งผลการศึกษาวิจัยของ Dempster et al. (2012) รายงานว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัสเมื่อทดลองใส่ลงในดินทรายที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) สามารถลดการสูญเสียไนเตรตได้ถึง 25 เปอร์เซ็น และลดการสูญเสียแอมโมเนียมได้ โดยตำรับทดลองควบคุมมีปริมาณแอมโมเนียมถูกชะละลายออกมารวมกับน้ำ 15.0 mg/pot แต่ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณแอมโมเนียมถูกชะละลายออกมารวมกับเหลือเพียง 12.9 mg/pot สอดคล้องกันกับผลการศึกษาวิจัยของ Knowles et al. (2011) ที่รายงานว่า ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนลงในดิน สามารถลดการสูญเสียไนโตรเจนได้ถึง 51 เปอร์เซ็น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุมที่ใส่กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนลงในดินเพียงอย่างเดียว ประการที่สองคือ ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและรูพรุนสูง จึงสามารถเพิ่มการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนในดินได้ดี ส่งผลให้ลดการสูญเสียไนโตรเจนที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ออกจากดิน ผ่านการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น (denitrification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อดินขาดก๊าซออกซิเจนหรือมีน้ำท่วมขัง สอดคล้องกันกับผลการศึกษาวิจัยของ Yanai et al. (2007) ซึ่งพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากของเสียชีวภาพของชุมชนลงในดิน สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ถึง 615 เปอร์เซ็น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ จึงสรุปได้ว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินร่วนเหนียวในการเพาะปลูกถั่วเหลือง ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มธาตุอาหารหลักในดินที่จะส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตจากการปลูกถั่วเหลืองหรือการปลูกพืชหมุนเวียนอย่างอื่นในรอบการเพาะปลูกต่อไปได้

6) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลือง พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มที่จะส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินควบคุม โดยตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น 11 เปอร์เซ็น 53 เปอร์เซ็น และ 41 เปอร์เซ็น ตามลำดับ โดยที่ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุด (47.00 mg/kg) รองลงมาคือ ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) (43.33 mg/kg) และดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) (34.00 mg/kg) ขณะที่ดินจากตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยที่สุด (30.67 mg/kg) ซึ่งตามเกณฑ์การประเมินระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนั้นหากพบว่าดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่ระดับ 26-50 mg/kg จัดให้อยู่ในระดับความอุดมสมบูรณ์สูง (บรรเจิด พลางกูร, 2523) และเป็นดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลือง โดยปริมาณ

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งเหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลืองต้องมากกว่า 12 mg/kg (สมศักดิ์ อิทธิพงษ์ และ รัชนี โสภา, 2547)

จากผลการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกสามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพ น่าจะเป็นผลมาจากถ่านชีวภาพเนื่องจากว่า ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มการกักเก็บฟอสฟอรัสในดินและลดการชะละลายฟอสฟอรัสในสภาพสารละลายได้การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินส่งผลให้ดินสามารถดูดซับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากสามารถเพิ่มพันธะระหว่างแคลเซียมกับฟอสฟอรัส จึงเหนี่ยวนำให้เกิดการดูดซับฟอสฟอรัสมากขึ้น จึงส่งผลดินมีความจุในการดูดซับฟอสฟอรัสมากขึ้น ทั้งนี้ถ่านชีวภาพจะเพิ่มการดูดซับฟอสฟอรัสได้เพิ่มขึ้นในดินที่มีสภาพเป็นกรด (Novak et al., 2009; G. Xu et al., 2014) จึงสรุปได้ว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน ส่งผลให้พื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการเพาะปลูกพืชในรอบการเพาะปลูกต่อไป

7) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลือง พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ไม่ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) กับ ตำรับการทดลองควบคุมพบว่า มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น 31 เปอร์เซ็น 18 เปอร์เซ็น และ 24 เปอร์เซ็น ตามลำดับ โดยที่ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากที่สุด (190.00 mg/kg) รองลงมาคือ ดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) (180.00 mg/kg) และดินจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) (171.67 mg/kg) ขณะที่ดินจากตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยที่สุด (145.00 mg/kg) ซึ่งตามเกณฑ์การประเมินระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน จัดอยู่ในระดับความอุดมสมบูรณ์สูงมาก (บรรเจิด พลางกูร, 2523) และเป็นดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลือง โดยปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินซึ่งเหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลืองต้องมากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สมศักดิ์ อิทธิพงษ์ และ รัชนี โสภา, 2547) เหตุที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพส่งผลให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นอาจจะเป็นผลมาจาก เถ้าที่มากับถ่านชีวภาพปลดปล่อยโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ออกมาอย่างรวดเร็ว (Major et al., 2010) จากนั้นถูกดินเหนียวดูดยึดไว้จึงทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สะสมเพิ่มขึ้นในดิน ทำให้สรุปได้ว่า การ

ใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน ส่งผลพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองเพิ่มมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการเพาะปลูกพืชในรอบการเพาะปลูกต่อไปได้

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติและองค์ประกอบของดินก่อนและหลังการเพาะปลูก

การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองส่งผลให้ มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติและองค์ประกอบของดินหลายประการ (ตารางที่ 4.3) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบสมบัติและองค์ประกอบของดินก่อนและหลังการทดลองดังนี้

ค่ากรด-ด่าง (pH) ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่ากรด-ด่าง ก่อนและหลังการเพาะปลูกมีค่าประมาณ 7.8

เนื้อดิน (Texture) ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเนื้อดิน ก่อนและหลังการเพาะ เป็นดินประเภทดินร่วนเหนียว (clay loam)

ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (OM (%)) ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า ดินหลังการเพาะปลูกมีปริมาณสารอินทรีย์ในดินสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบดินหลังการเพาะปลูก พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์ในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพทุกตำรับสูงกว่าตำรับการทดลองควบคุม

ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า ดินหลังการเพาะปลูกมีปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำกว่าดินก่อนการเพาะปลูก

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า ดินหลังการเพาะปลูกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบดินหลังการเพาะปลูก พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพทุกตำรับ มีแนวโน้มสูงกว่าตำรับการทดลองที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า ดินหลังการเพาะปลูกมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบดินหลังการเพาะปลูก พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพทุกตำรับ มีแนวโน้มว่าของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าตำรับการทดลองควบคุม

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในทุกตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการเพาะปลูก ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบดินหลังการเพาะปลูก พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (BC 0)

ส่วนตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีแนวโน้มว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม

ตารางที่ 4. 3 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนและหลังการใช้ถ่านชีวภาพ

Parameter	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง			
		BC 0	BC 1	BC 2	BC 3
pH	7.4±0.10	7.8±0.06[a]	7.8±0.06[a]	7.8±0.06[a]	7.8±0.06[a]
Total N (mg/kg)	500±0.00	1026.07±58.65[a]	1196.20±73.47[ab]	1190.87±94.53[ab]	1386.80±167.28[b]
Texture	clay loam	clay loam	clay loam	clay loam	clay loam
OM (%)	1.14±0.12	1.16±0.06[a]	1.24±0.10[a]	1.19±0.09[a]	1.18±0.12[a]
Avaiable P (mg/kg)	27±8.19	30.67±9.02[a]	34.00±6.8[a]	47.00±9.54[a]	43.33±10.07[a]
Exchangeable K (mg/kg)	167±17.60	145.00±20.00[a]	190.00±18.03[b]	171.67±15.28[ab]	180.00±10.00[b]
CEC (cmol/kg)	20.12±1.10	18.19±1.01[a]	17.90±0.93[a]	19.84±0.52[ab]	19.44±0.64[ab]

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

4.2 การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

4.2.1 ความสูงลำต้น

1) ระยะเริ่มติดฝัก

การวิเคราะห์ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองระยะที่เริ่มติดฝัก (รูปที่ 4.1) พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีความสูงของลำต้นถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) โดยที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น 44.96 เปอร์เซ็น 46.00 เปอร์เซ็น และ 11.07 เปอร์เซ็น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

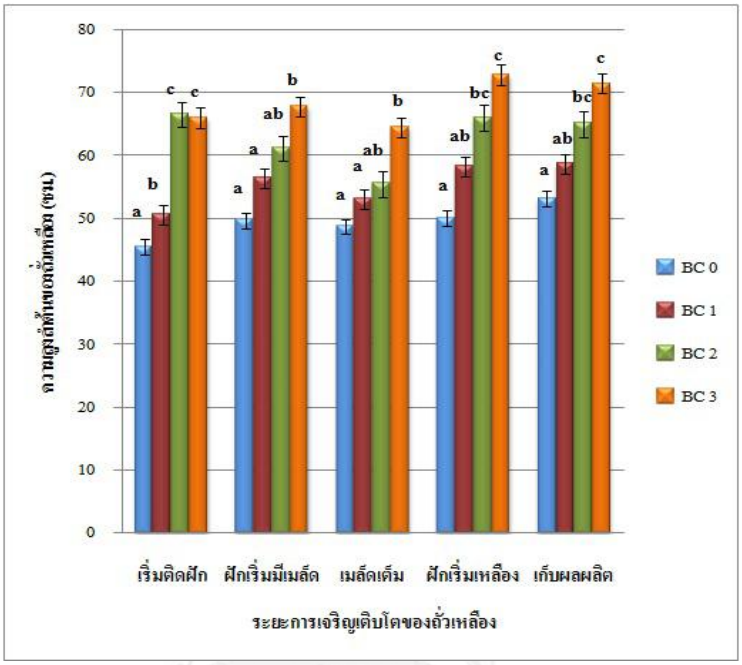
ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองสูงสุด (66.53 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) (66.00 เซนติเมตร) และตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) (50.57 เซนติเมตร) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีความสูงลำต้นถั่วเหลืองน้อยที่สุด (45.53 เซนติเมตร)

2) ระยะฝักเริ่มมีเมล็ด

การวิเคราะห์ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองระยะฝักเริ่มมีเมล็ด (รูปที่ 4.1) พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) และ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม (BC 0) แต่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่ส่งผลให้ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ส่งผลให้ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น 36.40 เปอร์เซ็น 22.80 เปอร์เซ็น และ 13.41 เปอร์เซ็น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) โดยตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองสูงสุด (67.83 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ตำรับการทดลอง

ที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) (61.07 เซนติเมตร) และตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) (56.40 เซนติเมตร) ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองน้อยที่สุด (49.73 เซนติเมตร)



รูปที่ 4. 1 ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับการทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

3) ระยะเมล็ดเต็ม

การวิเคราะห์ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองระยะเมล็ดเต็ม (รูปที่ 4.1) พบว่าตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

(BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น 32.52 เปอร์เซ็น 13.97 เปอร์เซ็น และ 9.10 เปอร์เซ็น ตามลำดับ

ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองสูงสุด (64.53 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) (55.47 เซนติเมตร) และตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) (53.10 เซนติเมตร) ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองน้อยที่สุด (48.67 เซนติเมตร)

4) ระยะฝักเริ่มเหลือง

การวิเคราะห์ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองระยะฝักเริ่มเหลือง (รูปที่ 4.1) พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) และ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยที่ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น 45.57 เปอร์เซ็น 31.78 เปอร์เซ็น และ 16.39 เปอร์เซ็น ตามลำดับ

ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองสูงสุด (64.53 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) (55.47 เซนติเมตร) และตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) (53.10 เซนติเมตร) ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองน้อยที่สุด (48.67 เซนติเมตร)

5) ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต

การวิเคราะห์ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (รูปที่ 4.1) พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) และ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ความสูงลำต้นของถั่วเหลืองไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) โดยที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น 34.46 เปอร์เซ็น 22.47 เปอร์เซ็น และ 10.30 เปอร์เซ็น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม

ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความสูงลำต้นของถั่วเหลืองสูงสุด (71.40 เซนติเมตร) รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) (65.03 เซนติเมตร) และตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ

ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) (58.57 เซนติเมตร) ขณะที่ความสูงของต้นถั่วเหลืองน้อยที่สุดในตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) (53.10 เซนติเมตร)

4.2.2 ความยาวราก

1) ระยะเริ่มติดฝัก

ความยาวรากของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพปริมาณมากขึ้นลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองโดยความยาวรากของถั่วเหลือง จากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.2) ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ขณะที่ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) เช่นเดียวกันกับตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) นอกจากนี้แล้วตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีความยาวรากสูงสุด (24.1 เซนติเมตร) และต่ำสุด (17.6 เซนติเมตร) ตามลำดับ

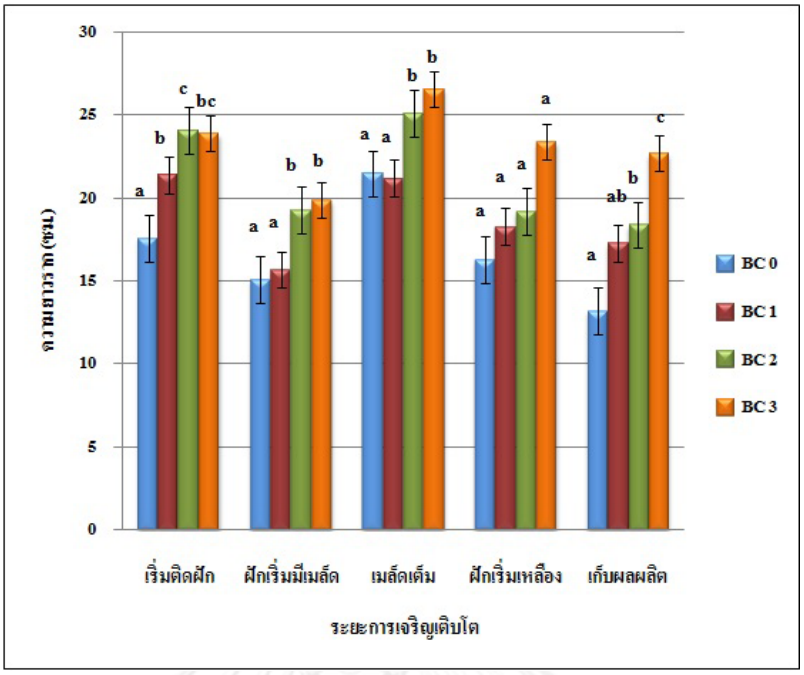
2) ระยะฝักเริ่มมีเมล็ด

ความยาวรากของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพปริมาณมากขึ้นลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองโดยความยาวรากของถั่วเหลือง จากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.2) ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) กับตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ตำรับการทดลองทั้งสองข้างต้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) นอกจากนี้แล้วตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีความยาวรากสูงสุด (19.9 เซนติเมตร) และต่ำสุด (15.7 เซนติเมตร) ตามลำดับ

3) ระยะเมล็ดเต็ม

ความยาวรากของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพปริมาณมากขึ้นลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองโดยความยาวรากของถั่วเหลือง จากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.2) ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ตำรับการทดลองทั้งสองข้างต้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) นอกจากนี้แล้ว ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีความยาวรากสูงสุด (26.6 เซนติเมตร) และต่ำสุด (21.2 เซนติเมตร) ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 2 ความยาวรากของถั่วเหลืองจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกันในแต่ระยะการเจริญเติบโต

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

4) ระยะฝักเริ่มเหลือง

ความยาวรากของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพปริมาณมากขึ้นลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยความยาวรากของถั่วเหลือง จากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.2) ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่การเปรียบเทียบตำรับการทดลองคู่อื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้แล้ว ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีความยาวรากสูงสุด (23.4 เซนติเมตร) และต่ำสุด (16.3 เซนติเมตร) ตามลำดับ

ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต

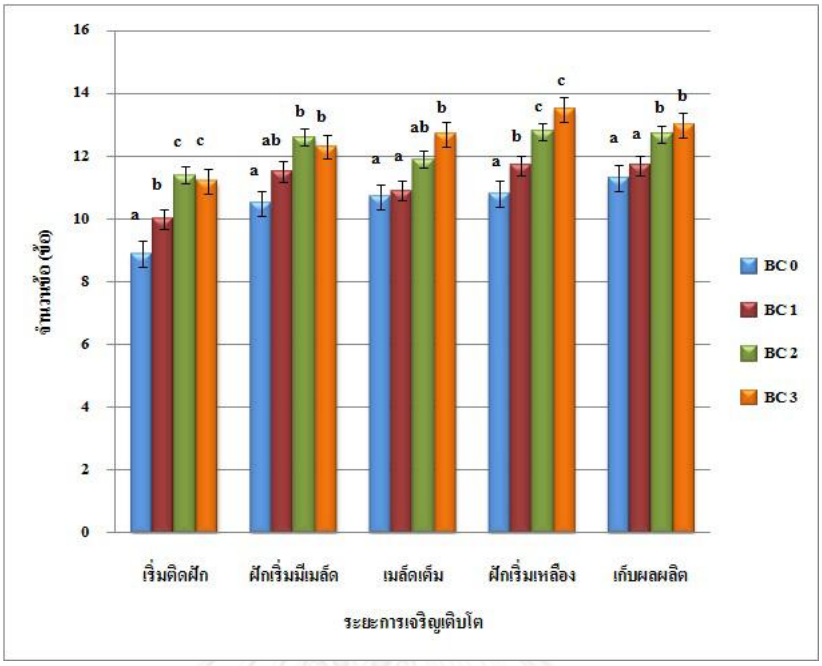
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความยาวรากของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพปริมาณมากขึ้นลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยความยาวรากของถั่วเหลือง จากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.2) ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) นอกจากนี้แล้ว ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) และตำรับทดลองควบคุม (BC 0) มีความยาวรากสูงสุด (22.7 เซนติเมตร) และต่ำสุด (13.2 เซนติเมตร) ตามลำดับ

4.2.3 จำนวนข้อ

1) ระยะเริ่มติดฝัก

จำนวนข้อของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองโดยจำนวนข้อของถั่วเหลือง จากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.3) ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ตำรับการทดลองทั้งสองข้างต้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ขณะเดียวกันตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) เมื่อพิจารณาจำนวนข้อของถั่วเหลืองพบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีจำนวนข้อสูงสุด (11.4 ข้อ) ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีจำนวนข้อต่ำสุด (8.9 ข้อ)



รูปที่ 4. 3 จำนวนข้อของถั่วเหลืองจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

2) ระยะฝักเริ่มมีเมล็ด

ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันของจำนวนข้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.3) โดยที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) และตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ขณะที่ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) เมื่อพิจารณาจำนวนข้อของถั่วเหลืองพบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีจำนวนข้อสูงสุด (12.6 ข้อ) ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีจำนวนข้อต่ำสุด (10.5 ข้อ)

3) ระยะเมล็ดเต็ม

ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันของจำนวนข้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.3) ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกตำรับการทดลอง ยกเว้นตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาจำนวนข้อของถั่วเหลืองพบว่าตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ส่งผลให้จำนวนข้อของถั่วเหลืองมีค่าสูงสุด (12.7 ข้อ) ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีจำนวนข้อต่ำสุด (10.7 ข้อ)

4) ระยะฝักเริ่มเหลือง

จำนวนข้อของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยจำนวนข้อของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.3) ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ตำรับการทดลองทั้งสองข้างต้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) เมื่อพิจารณาจำนวนข้อของถั่วเหลืองพบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีจำนวนข้อของถั่วเหลืองสูงที่สุดคือ 13.5 ข้อ ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุมมีจำนวนข้อของถั่วเหลืองต่ำที่สุดคือ 10.8 ข้อ

5) ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต

จำนวนข้อของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพปริมาณลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยจำนวนข้อของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.3) ซึ่งตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ตำรับการทดลองทั้งสองข้างต้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) โดยตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) เมื่อพิจารณาจำนวนข้อของถั่วเหลืองพบว่า ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีจำนวนข้อของถั่วเหลืองสูงที่สุดคือ 13.1 ข้อ ขณะที่ตำรับทดลองควบคุม (BC 0) มีจำนวนข้อของถั่วเหลืองต่ำที่สุดคือ 11.3 ข้อ)

ทั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในแปลงเพาะปลูกถั่วเหลืองส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งในด้านความสูงลำต้น ความยาวราก และจำนวนข้อ ในทุกระยะการเจริญเติบโต ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่มากเพียงพอ ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ การใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ส่งผลให้สามารถเพิ่มความสูงลำต้น ความยาวราก และจำนวนข้อ ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกันกับ ผลการศึกษาวิจัยของผู้ศึกษาวิจัยอื่นๆ ที่ได้ทำการทดลองใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกพืช ซึ่งพบว่าการใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกพืชสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างมีนัยสำคัญหรือมีแนวโน้มที่ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าพื้นที่เพาะปลูกที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (Carter et al., 2013; Suppadit et al., 2012) อิทธิพลของถ่านชีวภาพที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความสูงลำต้น ความยาวราก และจำนวนข้อ อาจจะเกิดจากถ่านชีวภาพมีสมบัติที่สำคัญหลายประการต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง กล่าวคือ ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดให้กับดินได้ เนื่องจากมันมีสมบัติเป็นวัสดุดูดซับประจุจึงสามารถดูดซับ ไนเตรต (NO_3^-) และ แอมโมเนียม (NH_4^+) ไม่ให้สูญเสียไปกับการชะละลายของน้ำได้ จึงส่งผลให้ไนเตรตและแอมโมเนียมยังคงถูกกักเก็บไว้ได้ในดิน (Dempster et al., 2010; Knowles et al., 2011) การมีพื้นที่ผิวภายในและรูพรุนสูงของถ่านชีวภาพ ยังสามารถเพิ่มการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนในดินได้ดี ส่งผลให้ลดการสูญเสียไนโตรเจนที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ออกจากดิน ผ่านการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น (denitrification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อดินขาดก๊าซออกซิเจนหรือมีน้ำท่วมขัง (Yanai et al., 2007) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในดินมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโตและมีความแข็งแรง ส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบและลำต้น (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2548) ดังนั้นถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) จึงมีพัฒนาการด้านความสูงของเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีจำนวนข้อเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้น ถ่านชีวภาพมีความสามารถลดความหนาแน่นของดินหรือเพิ่มความพรุนของดินให้สูงขึ้นได้ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะรวมสูงกว่าทรายและดินเหนียว ดังนั้น จึงสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะรวมของดินให้สูงขึ้นเมื่อเติมถ่านชีวภาพลงในดิน (Kookana et al., 2011) ถึงแม้ว่าการวิจัยศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้วิเคราะห์ผลของการใส่ถ่านชีวภาพต่อการลดความหนาแน่นของดิน แต่มีผลงานวิจัยที่บ่งชี้ว่าการใส่ถ่านชีวภาพสามารถลดความหนาแน่นของดินได้ (Vaccari et al., 2011; Zhang et al., 2012)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยในพื้นที่ซึ่งดินมีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) ซึ่งช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก และดินจับกันเป็นก้อนทึบ โดยดินประเภทนี้ จะมีปัญหาน้ำท่วมขังและการระบายอากาศเลว รากพืชทั่วไปอาจประสบปัญหาขาดอากาศได้ การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกจึงทำให้ลดความหนาแน่นของดินลง ซึ่งน่าจะส่งผลให้รากของถั่วเหลืองเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ความยาวของรากถั่วเหลืองจึงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในแปลงทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) เมื่อเปรียบกับแปลงเพาะปลูกควบคุม (BC 0) นอกจากนั้นถ่านชีวภาพยังส่งผลให้จำนวนและชนิดของ

จุลินทรีย์ดินเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์ดินมีความสำคัญอย่างมากต่อการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินให้เป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ (Lehmann et al., 2011; Yamato et al., 2006) ดังนั้น ด้วยคุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านชีวภาพดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงส่งผลให้การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองจึงเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งส่งผลให้สามารถเพิ่มความสูงลำต้น ความยาวราก และจำนวนข้อของถั่วเหลือง

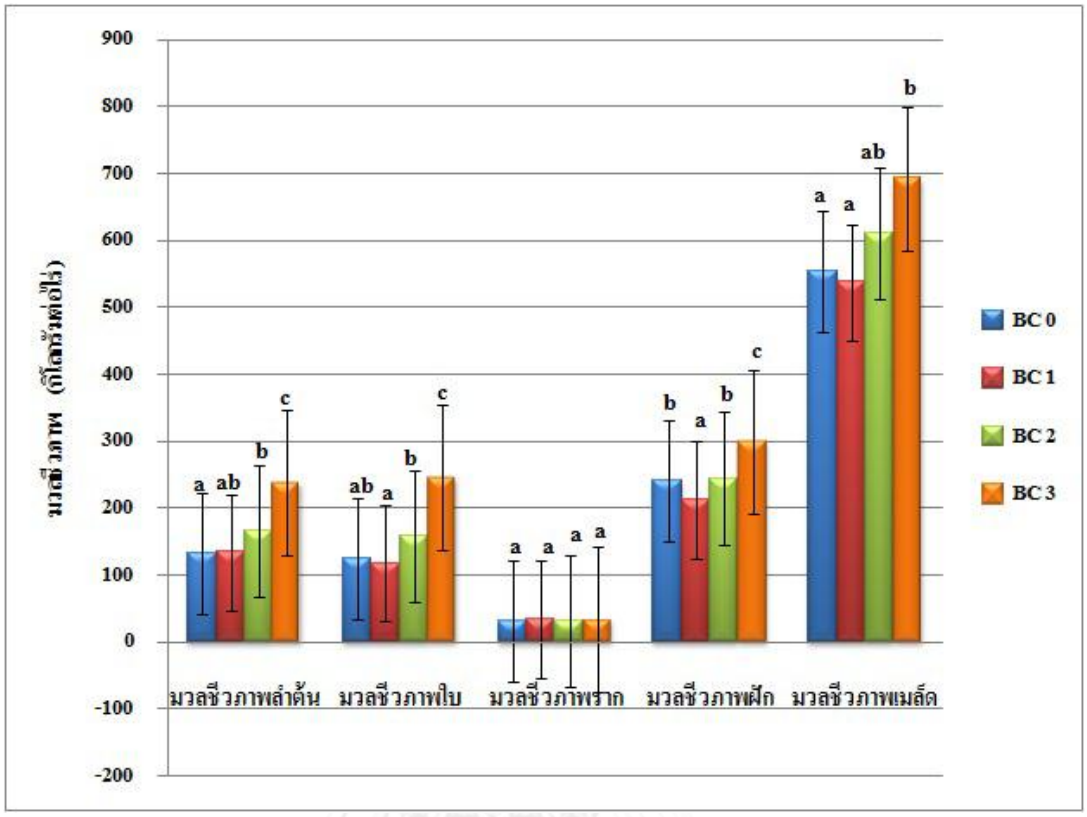
4.3 มวลชีวภาพและผลผลิตของถั่วเหลือง

4.3.1 มวลชีวภาพลำต้นของถั่วเหลือง

มวลชีวภาพลำต้นของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยมวลชีวภาพลำต้นของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.4) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

เมื่อพิจารณามวลชีวภาพของลำต้นถั่วเหลืองในแต่ละตำรับการทดลอง พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีมวลชีวภาพของลำต้นสูงที่สุด คือ 238.5 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีมวลชีวภาพของลำต้นต่ำที่สุด คือ 131.9 กิโลกรัมต่อไร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 4 มวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละมวลชีวภาพขององค์ประกอบผลผลิตแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.2 มวลชีวภาพใบของถั่วเหลือง

มวลชีวภาพของใบถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยมวลชีวภาพใบของถั่วเหลืองในตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.4) กล่าวคือ มวลชีวภาพของใบถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) แต่ไม่มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) นอกจากนี้แล้ว

จากการวิเคราะห์มวลชีวภาพในใบถั่วเหลือง พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีมวลชีวภาพของใบถั่วเหลืองสูงที่สุด 246.1 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีมวลชีวภาพของใบถั่วเหลืองต่ำที่สุด 117.7 กิโลกรัมต่อไร่

4.3.3 มวลชีวภาพรากของถั่วเหลือง

มวลชีวภาพของรากถั่วเหลืองในแต่ละตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (รูปที่ 4.4) แต่มวลชีวภาพรากของถั่วเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง

จากการวิเคราะห์มวลชีวภาพของรากถั่วเหลือง พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีมวลชีวภาพของรากถั่วเหลืองสูงที่สุด คือ 57.0 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับทดลองการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีมวลชีวภาพของรากต่ำที่สุด คือ 42.5 กิโลกรัมต่อไร่

4.3.4 มวลชีวภาพฝักของถั่วเหลือง

มวลชีวภาพของฝักถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยมวลชีวภาพฝักของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.4) กล่าวคือ มวลชีวภาพของฝักถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ ตำรับทดการลองควบคุม (BC 0) ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

จากการวิเคราะห์มวลชีวภาพของฝักถั่วเหลือง พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีมวลชีวภาพของฝักถั่วเหลืองสูงที่สุด คือ 298.6 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีมวลชีวภาพของฝักถั่วเหลืองต่ำที่สุด คือ 212.3 กิโลกรัมต่อไร่

4.3.5 มวลชีวภาพเมล็ดของถั่วเหลือง

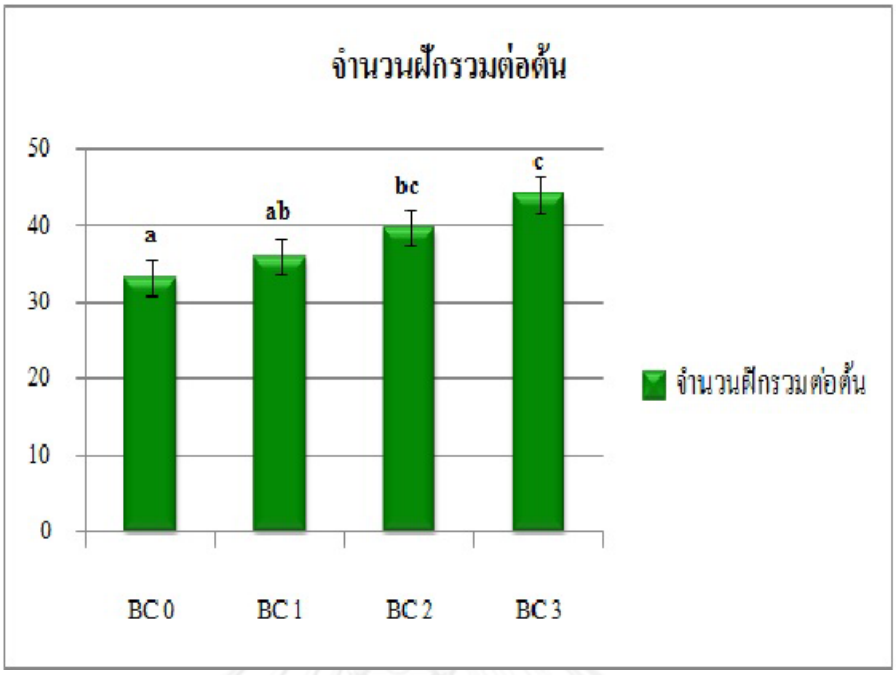
มวลชีวภาพของเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยมวลชีวภาพเมล็ดของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.4) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ ทุกตำรับการทดลอง ยกเว้น ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) แต่เมื่อเปรียบเทียบตำรับการทดลองคู่อื่นๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์มวลชีวภาพของเมล็ดถั่วเหลือง พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีมวลชีวภาพของเมล็ดถั่วเหลืองสูงที่สุด คือ 692.9 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีมวลชีวภาพของเมล็ดถั่วเหลืองต่ำที่สุด คือ 537.0 กิโลกรัมต่อไร่

4.3.6 จำนวนฝักรวมต่อต้น

จำนวนฝักรวมต่อต้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองโดยจำนวนฝักรวมต่อต้นของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.5) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกตำรับการทดลอง ยกเว้น ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

จากการวิเคราะห์จำนวนฝักรวมต่อต้น พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีจำนวนฝักรวมต่อต้นสูงที่สุด คือ 44.1 ฝักต่อต้น ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีจำนวนฝักรวมต่อต้นต่ำที่สุด คือ 33.3 ฝักต่อต้น



รูปที่ 4. 5 จำนวนฝักรวมต่อต้นเฉลี่ยในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละมวลชีวภาพขององค์ประกอบผลผลิตแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

4.3.7 จำนวนเมล็ดต่อฝัก

จำนวนเมล็ดต่อฝักจากแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์จำนวนเมล็ดต่อฝัก พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีจำนวนเมล็ดต่อฝักเท่ากัน คือ 2.1 เมล็ดต่อฝัก ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีจำนวนเมล็ดต่อฝักเท่ากับ 2.0 เมล็ดต่อฝัก

4.3.8 ขนาดเมล็ด (กรัมต่อ 100 เมล็ด)

ขนาดเมล็ด (กรัมต่อ 100 เมล็ด) จากแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (รูปที่ 4.6)

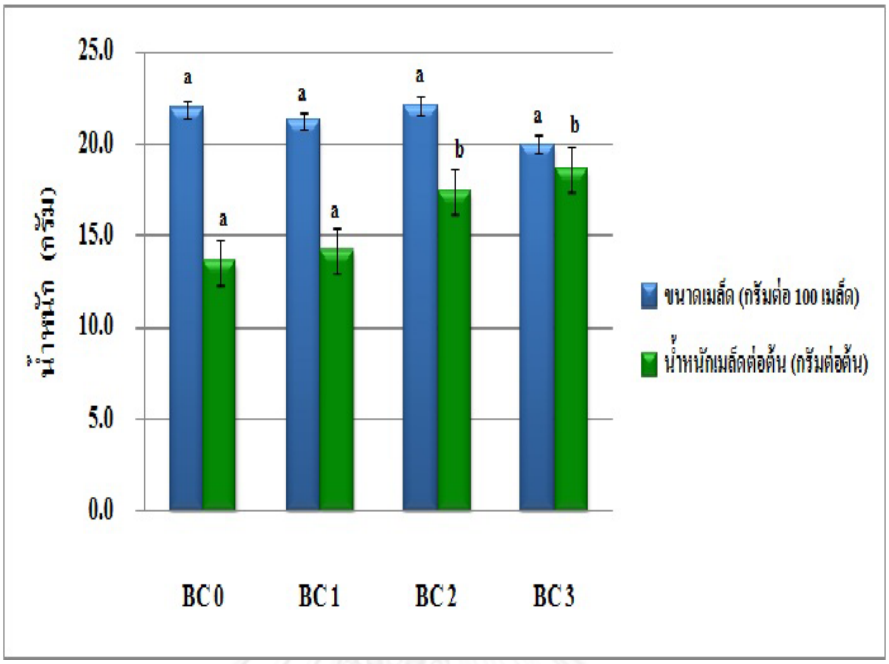
จากการวิเคราะห์ขนาดเมล็ด (กรัมต่อ 100 เมล็ด) พบว่า ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีขนาดเมล็ด (กรัมต่อ 100 เมล็ด) สูงที่สุด คือ 22.1 กรัมต่อ 100 เมล็ด ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีขนาดเมล็ด (กรัมต่อ 100 เมล็ด) ต่ำที่สุด คือ 20.0 กรัมต่อ 100 เมล็ด

4.3.9 น้ำหนักเมล็ดต่อต้น (กรัมต่อต้น)

น้ำหนักเมล็ดต่อต้น (กรัมต่อต้น) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยน้ำหนักเมล็ดต่อต้น (กรัมต่อต้น)ของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$ (รูปที่ 4.7) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) แต่ตำรับการทดลองทั้งสอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และ ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

จากการวิเคราะห์น้ำหนักเมล็ดต่อต้น (กรัมต่อต้น) พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีน้ำหนักเมล็ดต่อต้น (กรัมต่อต้น) สูงที่สุด คือ 18.6 กรัมต่อต้น ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีน้ำหนักเมล็ดต่อต้น (กรัมต่อต้น) ต่ำที่สุด 13.6 กรัมต่อต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 6 น้ำหนักเมล็ดต่อต้นเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) และขนาดเมล็ดเฉลี่ย (กรัมต่อ 100 เมล็ด) ในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละมวลชีวภาพขององค์ประกอบผลผลิตแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

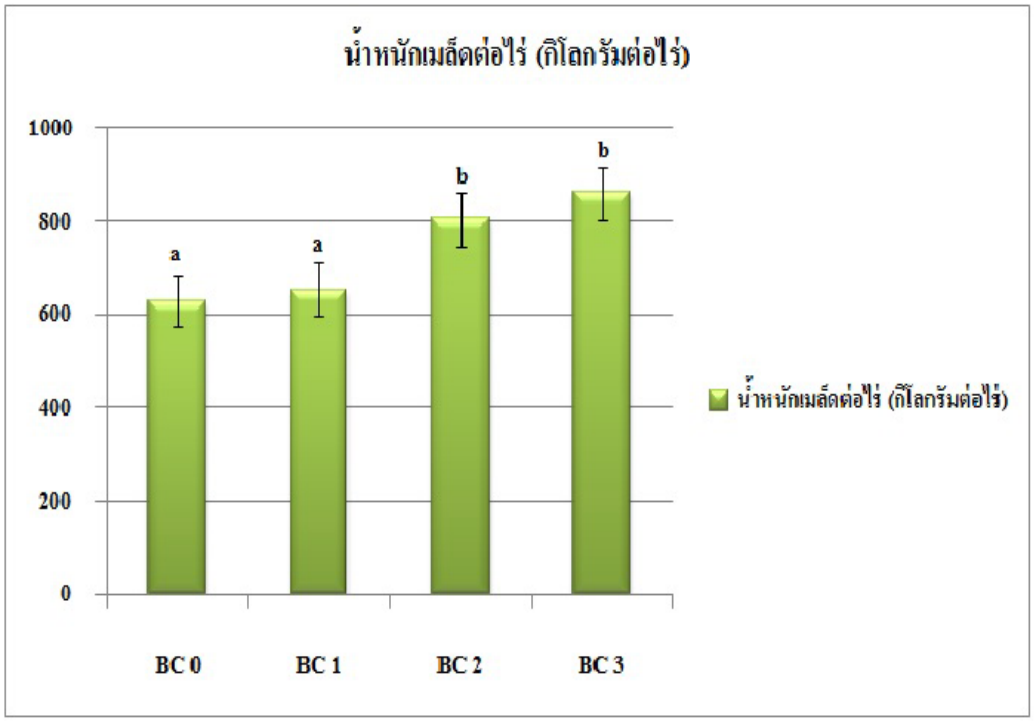
BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.10 น้ำหนักเมล็ดต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่)

น้ำหนักเมล็ดต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยน้ำหนักเมล็ดต่อไร่ของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 2.7) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) แต่ตำรับทดลองทั้งสอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และ ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

จากการวิเคราะห์น้ำหนักเมล็ดต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่) พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีน้ำหนักเมล็ดต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่) สูงที่สุด คือ 858.8 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีน้ำหนักเมล็ดต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่) ต่ำที่สุด คือ 627.6 กิโลกรัมต่อไร่



รูปที่ 4. 7 น้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัมต่อไร่) ในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละมวลชีวภาพขององค์ประกอบผลผลิตแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

การใส่ถ่านชีวภาพลงในแปลงเพาะปลูกถั่วเหลือง ส่งผลต่อการเพิ่มมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งมวลชีวภาพลำต้น มวลชีวภาพใบ มวลชีวภาพราก มวลชีวภาพฝัก และมวลชีวภาพเมล็ด ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ส่งผลให้สามารถเพิ่มมวลชีวภาพลำต้น มวลชีวภาพใบ มวลชีวภาพฝัก และมวลชีวภาพเมล็ด ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อ

เปรียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ยกเว้นมวลชีวภาพรากที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งสาเหตุอาจจะเกิดจากการที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างรากได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ เนื่องจากรากบางส่วนขาดในระหว่างการถอนต้นทั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรากแก้วของถั่วเหลืองจากตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ทดลองเป็นดินเหนียวจัด การขุดดินดินเพื่อให้ได้ความลึกถึงชั้นที่รากแก้วของถั่วเหลืองหยั่งต้นจะต้องขุดดินเป็นบริเวณกว้างรอบโคนต้นถั่วเหลือง ซึ่งการดำเนินการดังกล่าว จะทำให้ต้นถั่วเหลืองอื่น ๆ ที่อยู่บริเวณโดยรอบหักโค่นลง จึงเป็นข้อจำกัดอย่างมากในการขุดดินให้ลึกลงไปถึงชั้นดินที่รากแก้วถั่วเหลืองถึง ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณมวลชีวภาพรากอาจจะมีค่าน้อยกว่าค่าจริง และยังส่งผลถึงปริมาณการสะสมคาร์บอนในรากที่อาจจะน้อยกว่าค่าจริงอีกด้วย

ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกันกับผลการศึกษาวิจัยของผู้ศึกษาวิจัยอื่น ๆ ที่ได้ทำการทดลองใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกพืชซึ่งพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกพืชสามารถเพิ่มมวลชีวภาพหรือน้ำหนักของพืชได้อย่างมีนัยสำคัญหรือมีแนวโน้มที่ส่งผลให้สามารถเพิ่มมวลชีวภาพหรือน้ำหนักของพืชได้ดีกว่าพื้นที่เพาะปลูกที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (Asai et al., 2009; Chan et al., 2007; Steiner et al., 2007; Suppadit et al., 2012; Vaccari et al., 2011)

การใส่ถ่านชีวภาพลงในแปลงเพาะปลูกถั่วเหลือง ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มจำนวนฝักรวมต่อต้น น้ำหนักเมล็ด (กรัมต่อต้น และกิโลกรัมต่อไร่) ของถั่วเหลือง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า การใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC) และ ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ส่งผลให้สามารถเพิ่มจำนวนฝักรวมต่อต้น น้ำหนักเมล็ด (กรัมต่อต้น และกิโลกรัมต่อไร่) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) สอดคล้องกันกับผลการศึกษาวิจัยชิ้นอื่น ๆ ที่ได้ทำการทดลองใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกพืช ซึ่งพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกพืชสามารถเพิ่มผลผลิตพืชได้อย่างมีนัยสำคัญหรือมีแนวโน้มที่ส่งผลให้สามารถเพิ่มผลผลิตพืชได้ดีกว่าพื้นที่เพาะปลูกที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (Alburquerque et al., 2013; Major et al., 2010; Suppadit et al., 2012; Vaccari et al., 2011; ชัยนาม ดิสถาพร วิชัย ลิมโพธิ์ทอง และสลิตา สุสิงห์, 2554)

อิทธิพลของถ่านชีวภาพที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ มวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง และน้ำหนักเมล็ดของถั่วเหลือง เกิดจากการที่ถ่านชีวภาพมีสมบัติที่สำคัญหลายประการต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ส่งเสริมให้สามารถเพิ่มการสะสมมวลชีวภาพและน้ำหนักเมล็ดของถั่วเหลือง โดยที่ถ่านชีวภาพมีสมบัติที่สำคัญ ในการดูดซับธาตุอาหาร เพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ลดการสูญเสียธาตุอาหารไปกับการชะละลายของน้ำ เพิ่มการดูดซับน้ำ ลดความหนาแน่นของดิน ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งเพิ่มทั้งชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ดิน นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของรากพืช (Cavigelli and Robertson, 2001; Chan et al., 2007; Knowles et al., 2011; Kookana et al., 2011; Lehmann et al., 2003; Liang et al., 2006; Rondon et al., 2006; Warnock et al., 2007; Yamato et al., 2006; ชัยนาม ดิสถาพร วิชัย ลิมโพธิ์ทอง และสลิตา สุสิงห์, 2554; ทวีวงศ์ ศรีบุรี,

2554) ดังนั้น การใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่เหมาะสมกับประเภทและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ การใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) จึงทำให้สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบ ของถั่วเหลือง ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสะสมน้ำหนักแห้งหรือมวลชีวภาพของถั่วเหลือง และผลผลิตของถั่วเหลืองในลำดับต่อมา

การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การเจริญเติบโตทางลำต้นและการเจริญพันธุ์ ในการเจริญเติบโตทางลำต้น เริ่มตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอก แล้วสร้างราก ลำต้น ใบ และสิ้นสุดเมื่อออกดอก ซึ่งในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นนี้ ใบ คือ ส่วนที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง ซึ่งถูกนำกักเก็บในรูปของมวลชีวภาพในส่วนของใบ ราก และส่วนฐานของลำต้น เพื่อที่จะรอไว้เคลื่อนย้ายเข้าสู่ฝักและเมล็ดในลำดับถัดไป ขณะที่ในช่วงการเจริญพันธุ์ของถั่วเหลือง เมื่อถั่วเหลืองสร้างฝักและเมล็ดแล้ว ฝักก็จะเจริญเติบโตพร้อม ๆ กันกับที่เมล็ดภายในฝักที่ได้รับการผสม ซึ่งก็จะสะสมน้ำหนักแห้งหรือมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อัตราการเจริญเติบโตของฝักและเมล็ดนั้น จะช้ามากในระยะแรก ๆ แต่ต่อไปจะเร็วขึ้น ปริมาณของมวลชีวภาพที่ผสมในเมล็ดนี้ มาจากการสังเคราะห์ของใบถั่วเหลืองในระยะการเจริญเติบโตหลังการออกดอกเป็นส่วนใหญ่ มวลชีวภาพที่สร้างขึ้นในระยะนี้จึงเคลื่อนย้ายเข้าสะสมไว้ในเมล็ดในรูปโปรตีน น้ำมัน และแป้ง ดังนั้น การสังเคราะห์แสงในระยะนี้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546) จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณมวลชีวภาพที่ถูกสะสมในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลือง ดังนั้น ต้นถั่วเหลืองที่มีปริมาณใบหรือพื้นที่ผิวใบมากก็จะสามารถเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์แสงได้สูงขึ้น ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้สนับสนุนเหตุผลดังกล่าวได้อย่างชัดเจน เมื่อพบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณมวลชีวภาพของใบถั่วเหลืองสูงกว่าตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษาวิจัย แสดงให้เห็นว่าจำนวนข้อมีความสัมพันธ์กันกับความสูงลำต้น กล่าวคือ จำนวนข้อของถั่วเหลืองจะมีจำนวนมากขึ้นเมื่อลำต้นของถั่วเหลืองมีความสูงเพิ่มขึ้น ดังนั้น ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ซึ่งมีความสูงลำต้นมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม (BC 0) จึงมีจำนวนข้อสูงมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม (BC 0) ด้วย ซึ่งจำนวนข้อของถั่วเหลืองมีความสำคัญอย่างมากต่อปริมาณผลผลิต เนื่องจากเป็นบริเวณที่เกิดฝักถั่วเหลือง กล่าวคือหากมีจำนวนข้อมากก็มีโอกาสที่จะเกิดฝักมาก และเมื่อมีฝักปริมาณมากก็จะมีโอกาสที่จะมีเมล็ดมากในที่สุด ดังนั้น จึงพบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ซึ่งมีจำนวนข้อมาก จึงมีจำนวนฝักรวมต่อต้น น้ำหนักเมล็ด (กรัมต่อต้น และกิโลกรัมต่อไร่) สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

ดังนั้น จากผลการศึกษาจึงสามารถสรุปได้ว่าถ่านชีวภาพมีอิทธิพลต่อการเพิ่มผลผลิตถั่วเหลือง เนื่องจากถ่านชีวภาพสามารถปรับปรุงคุณภาพดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดิน เพิ่มธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ได้แก่ ไนโตรเจน และ โพแทสเซียม ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ธาตุอาหารหลักอีกชนิด คือ ฟอสฟอรัส อาจจะไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าถ่านชีวภาพ จะส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับดินควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ ส่งผลต่อการดูดธาตุอาหารต่าง ๆ ของต้นพืช จึงทำให้ถั่วเหลืองมีความสูงลำต้น เพิ่มขึ้น จำนวนข้อมากขึ้น จำนวนฝักรวมมากขึ้น และน้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัมต่อไร่) เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มธาตุอาหารรองในดิน เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Chan et al., 2007; Major et al., 2010; Yamato et al., 2006) และปรับปรุงสมบัติทางกายภาพที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง คือ ลดความหนาแน่นของดินและเพิ่มการอุ้มน้ำของดิน (Zhang et al., 2012)

4.4 ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง

4.4.1 ปริมาณคาร์บอนในลำต้น

ปริมาณคาร์บอนในลำต้น (กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยปริมาณคาร์บอนในลำต้นของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.8) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

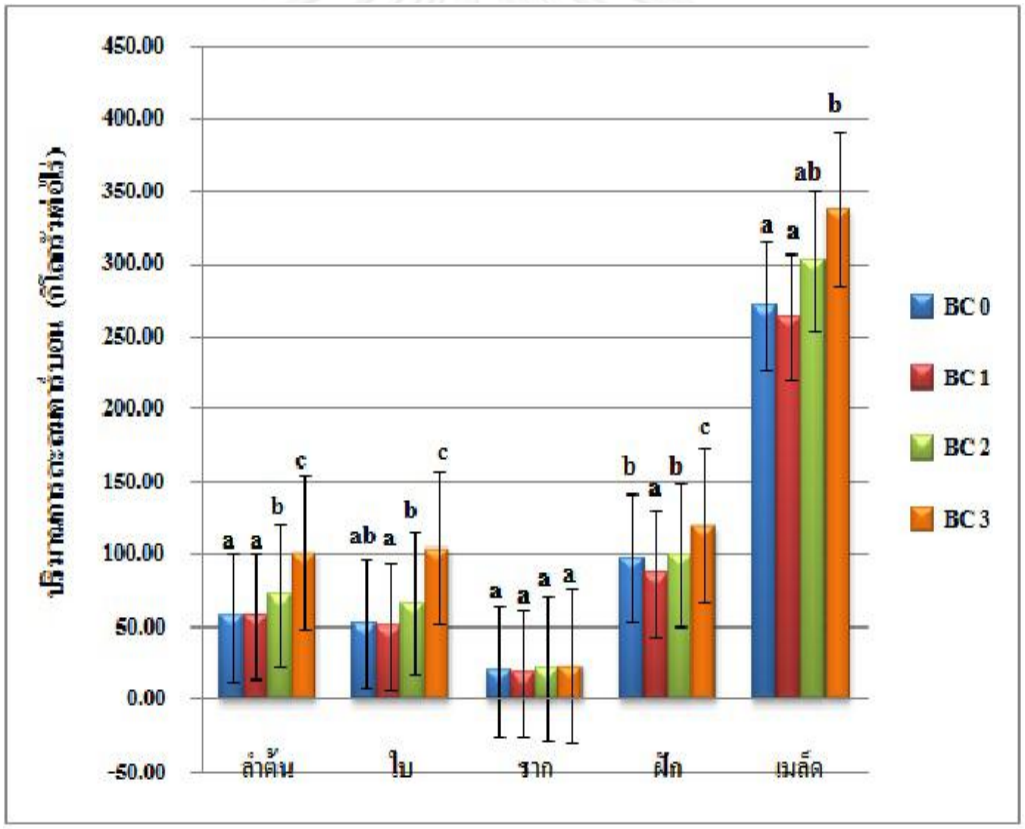
ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในลำต้นของถั่วเหลือง พบว่า ในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณคาร์บอนในลำต้นสูงที่สุด คือ 102.4 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีปริมาณคาร์บอนในลำต้นต่ำที่สุด คือ 57.2 กิโลกรัมต่อไร่

4.4.2 ปริมาณคาร์บอนในใบ

ปริมาณคาร์บอนในใบ (กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยปริมาณคาร์บอนในใบของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.8) กล่าวคือตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในใบของถั่วเหลือง พบว่า ในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณคาร์บอนในใบสูงที่สุด คือ 104.9 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีปริมาณคาร์บอนในใบต่ำที่สุด คือ 50.1 กิโลกรัมต่อไร่



รูปที่ 4. 8 ปริมาณคาร์บอนที่สะสมเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่) ในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง ในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละมวลชีวภาพขององค์ประกอบผลผลิตแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

4.4.3 ปริมาณคาร์บอนในราก

ปริมาณคาร์บอนในราก (กิโลกรัมต่อไร่) ในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (รูปที่ 4.8)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในรากของถั่วเหลือง พบว่า ในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณคาร์บอนในรากสูงที่สุด คือ 24.2 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีปริมาณคาร์บอนในรากต่ำที่สุด คือ 18.05 กิโลกรัมต่อไร่

4.4.4 ปริมาณคาร์บอนในฝัก

ปริมาณคาร์บอนในฝัก (กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยปริมาณคาร์บอนในฝักของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.8) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ ทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในฝักของถั่วเหลือง พบว่า ในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณคาร์บอนในฝักสูงที่สุด คือ 120.2 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีปริมาณคาร์บอนในฝักต่ำที่สุด คือ 86.3 กิโลกรัมต่อไร่

4.4.5 ปริมาณคาร์บอนในเมล็ด

ปริมาณคาร์บอนในเมล็ด (กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยปริมาณคาร์บอนในฝักของถั่วเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.8) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และ ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบตำรับการทดลองคู่อื่นๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในฝักของถั่วเหลือง พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณคาร์บอนในฝักสูงที่สุด คือ 339.0 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) มีปริมาณคาร์บอนในเมล็ดต่ำที่สุด คือ 263.8 กิโลกรัมต่อไร่

การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลือง ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มปริมาณคาร์บอน (กิโลกรัมต่อไร่) ในลำต้น ใบ ฝัก และเมล็ดของถั่วเหลือง แต่ปริมาณคาร์บอนในรากของถั่วเหลืองไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต จากการวิเคราะห์ พบว่า เปอร์เซ็นคาร์บอนในส่วนต่างของถั่วเหลืองของแต่ละตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น ปริมาณคาร์บอน (กิโลกรัมต่อไร่) ในลำต้น ใบ ฝัก ราก และเมล็ดของถั่วเหลือง จึงขึ้นอยู่กับมวลชีวภาพเป็นสำคัญ กล่าวคือ หากมวลชีวภาพ (กิโลกรัมต่อไร่) ในลำต้น ใบ ฝัก ราก และเมล็ดของถั่วเหลือง มีปริมาณสูงก็จะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอน (กิโลกรัมต่อไร่) ในลำต้น ใบ ฝัก ราก และเมล็ดของถั่วเหลืองสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) ซึ่งมีมวลชีวภาพ (กิโลกรัมต่อไร่) สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงมีปริมาณคาร์บอน (กิโลกรัมต่อไร่) ในลำต้น ใบ ฝัก ราก และเมล็ดของถั่วเหลืองสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0)

4.5 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน

4.5.1 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในแต่ละการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

1) ระยะเริ่มติดฝัก

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในระยะเริ่มติดฝักมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.9) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูงที่สุด คือ 4,071.5 mg CO_2-C/m^2/day ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินต่ำที่สุด คือ 2,591.7 mg CO_2-C/m^2/day

2) ระยะฝักมีเมล็ด

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในระยะฝักมีเมล็ดในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (รูปที่ 4.9)

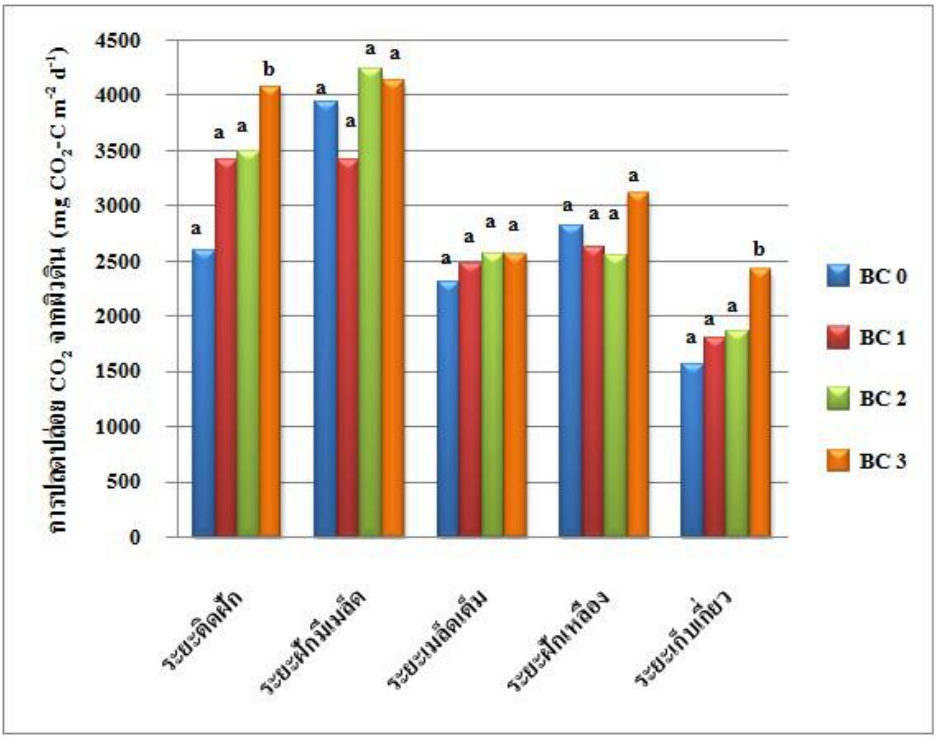
ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูงที่สุด คือ 4,240.9 mg CO_2-C/m^2/day ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินต่ำที่สุด คือ 3,413.1 mg CO_2-C/m^2/day

3) ระยะเมล็ดเต็ม

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในระยะเมล็ดเต็มในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (รูปที่ 4.9)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูงที่สุด คือ 2,557.7 mg CO_2-C/m^2/day ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินต่ำที่สุด คือ 2,304.1 mg CO_2-C/m^2/day

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 9 การปลดปล่อย CO2 เฉลี่ย (mg CO_2-C m^{-2} day^{-1}) ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของถั่งเหลืองในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละมวลชีวภาพขององค์ประกอบผลผลิตแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

Chulalongkorn University

4) ระยะฝักเหลือง

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในระยะฝักเหลืองในแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (รูปที่ 4.9)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน พบว่าตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูงที่สุด คือ 3,116.6 mg CO_2-C/m^2/day ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินต่ำที่สุด คือ 2,547.8 mg CO_2-C/m^2/day

5) ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต

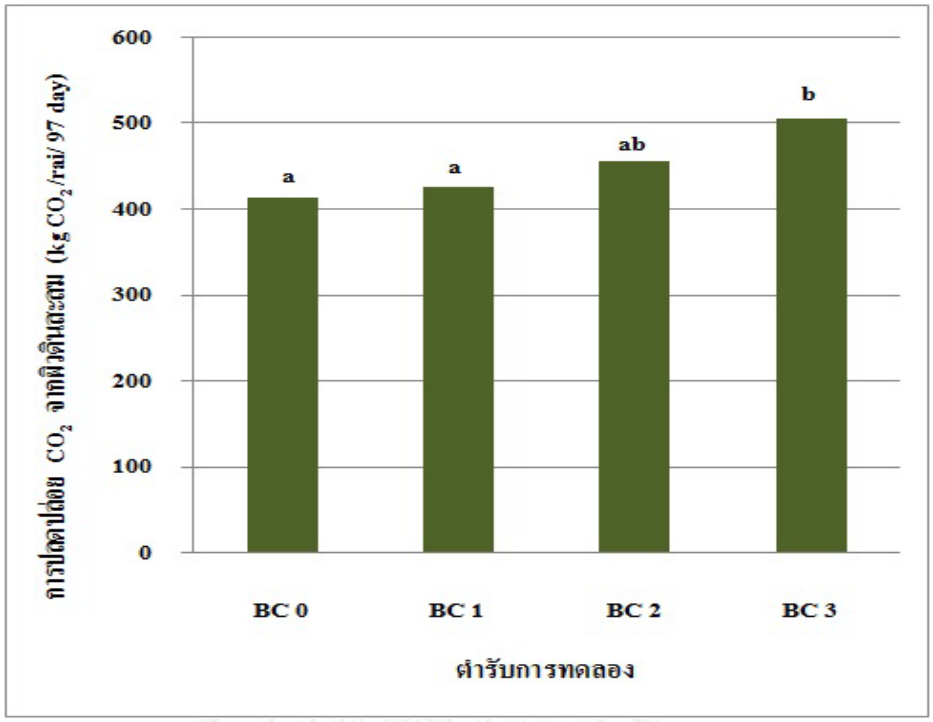
การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง โดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.9) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูงที่สุด คือ 2,419.4 mg CO_2-C/m^2/day ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินต่ำที่สุด คือ 1,569.2 mg CO_2-C/m^2/day

4.5.2 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสม

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสมในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลือง โดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสมในตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.10) กล่าวคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) และตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) ขณะที่ตำรับการทดลองคู่อื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสม พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสมสูงที่สุด คือ 505.7 kg CO_2-C/rai/97day (การศึกษาวิจัยครั้งนี้ถั่วเหลืองมีอายุ 97 วัน) ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสมต่ำที่สุด คือ 412.6 kg CO_2-C/rai/97day



รูปที่ 4. 10 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสมเฉลี่ย (kg CO_2-C/rai/97day)

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละมวลชีวภาพขององค์ประกอบผลผลิตแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ กล่าวคือ ระยะฝักมีเมล็ด ระยะเมล็ดเต็ม และระยะฝักเหลือง การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม ขณะที่ ระยะติดฝัก และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่า ในทุกระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง (ยกเว้นระยะฝักมีเมล็ด) ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินที่เพิ่มสูงขึ้นในตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ อาจจะเกิดจากถ่านชีวภาพมีส่งผลหลายประการต่อองค์ประกอบหรือปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมของดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ประการแรกถ่านชีวภาพมีสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการเพิ่มความชื้นในดิน งานการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาบ่งชี้ได้อย่างชัดเจนว่า พื้นที่ซึ่งใส่ถ่านชีวภาพจะมีความชื้นในดินเพิ่มสูงกว่าพื้นที่ซึ่งไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ (Basso et al., 2013; Ulyett et al., 2014) โดยความชื้นในดินที่มากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกันกับการศึกษาของ สำเริง ปานอุทัย (2547) พบว่า เมื่อความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้จุลินทรีย์ในดินเพิ่มการหายใจและรากพืชหากใจมากขึ้น จึงทำให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกดมากขึ้นด้วย ประการต่อมาถ่านชีวภาพสามารถปรับปรุงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้จุลินทรีย์ดินย่อยสลายอินทรียวัตถุและมีการหายใจเพิ่มสูงขึ้น จึงปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น (Lehmann et al., 2006) ประการสุดท้ายถ่านชีวภาพเป็นอินทรียวัตถุที่ช่วยกักเก็บคาร์บอนในดินจากการเติมปุ๋ยคอกและเศษซากพืชซึ่งอินทรียวัตถุในดินเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ในดิน พื้นที่ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าก็จะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าด้วย (Bazzaz and Williams, 1991)

การศึกษาวิจัยนี้พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินมีแนวโน้มว่าจะส่งผลให้ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินเพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณการใส่ถ่านชีวภาพลงในดินในทุกระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง สอดคล้องกับงานศึกษาวิจัยที่ผ่านพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิดินมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ควบคุม (Karhu et al., 2011; Spokas and Reicosky, 2009; Ulyett et al., 2014; Zhang et al., 2012)

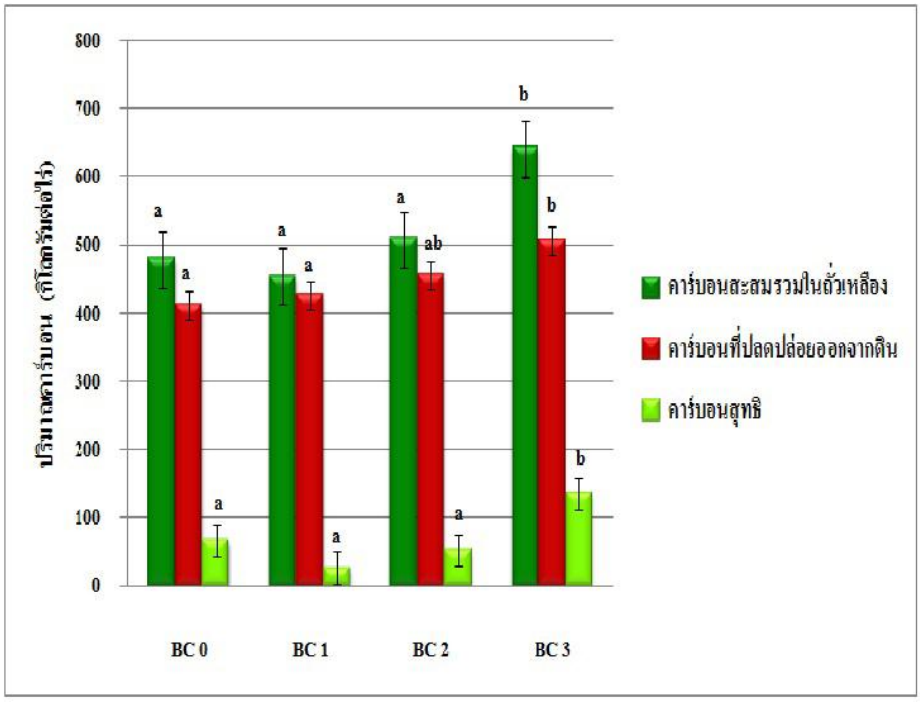
4.6 การประเมินปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลือง

การประเมินคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในงานวิจัยครั้งนี้ กำหนดการประเมินคาร์บอนสุทธิออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

4.6.1 การประเมินคาร์บอนสุทธิระหว่างคาร์บอนสะสมในถั่วเหลืองกับคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกจากดิน

การประเมินคาร์บอนที่สะสมในถั่วเหลืองสามารถคำนวณได้จากผลต่างของผลรวมของปริมาณคาร์บอนที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง คือ ปริมาณคาร์บอนจากราก ลำต้น ใบ ฝัก และเมล็ดของถั่วเหลือง กับปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกจากดินในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (รูปที่ 4.11) ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ทุกตำรับการทดลองมีปริมาณการสะสมคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองมากกว่าปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกจากพื้นที่ กล่าวคือตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณคาร์บอนสุทธิ 66.4 27.1 51.7 และ 135.7 กิโลกรัมต่อไร่

ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบแต่ละตำรับการทดลองพบว่า ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกตำรับการทดลอง แต่ตำรับการทดลองคู่อื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4. 11 ปริมาณคาร์บอนที่สะสมรวมในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง ปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกพื้นที่ และปริมาณคาร์บอนสุทธิ

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

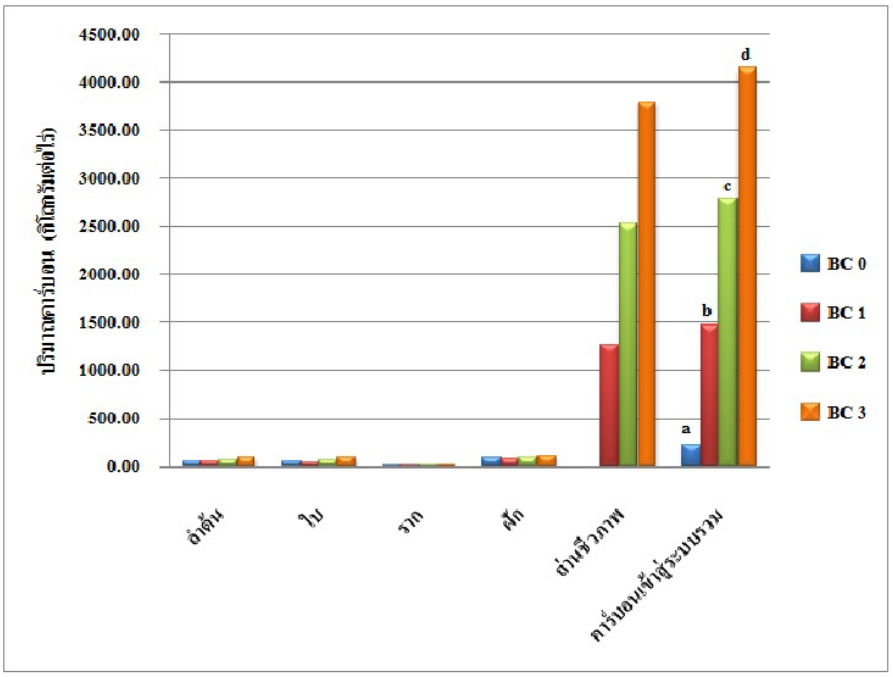
BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

4.6.2 การประเมินคาร์บอนสุทธิระหว่างปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่และคาร์บอนที่ออกจากพื้นที่

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในพื้นที่ ทั้งปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่และปริมาณคาร์บอนที่ออกจากพื้นที่ ดังนั้น การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิจึงสามารถคำนวณได้จากผลต่างของปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่ ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณคาร์บอนจากราก ลำต้น ใบ ฝัก ของถั่วเหลือง และปริมาณคาร์บอนจากถ่านชีวภาพ (รูปที่

4.12) กับ ปริมาณคาร์บอนที่ออกจากพื้นที่ ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณคาร์บอนจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณคาร์บอนจากเมล็ดถั่วเหลือง (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4. 12 ปริมาณคาร์บอนรวมจากการสะสมคาร์บอนของลำต้น ใบ ราก และฝักของถั่วเหลือง ปริมาณคาร์บอนจากถ่านชีวภาพที่เข้าสู่พื้นที่ทดลอง

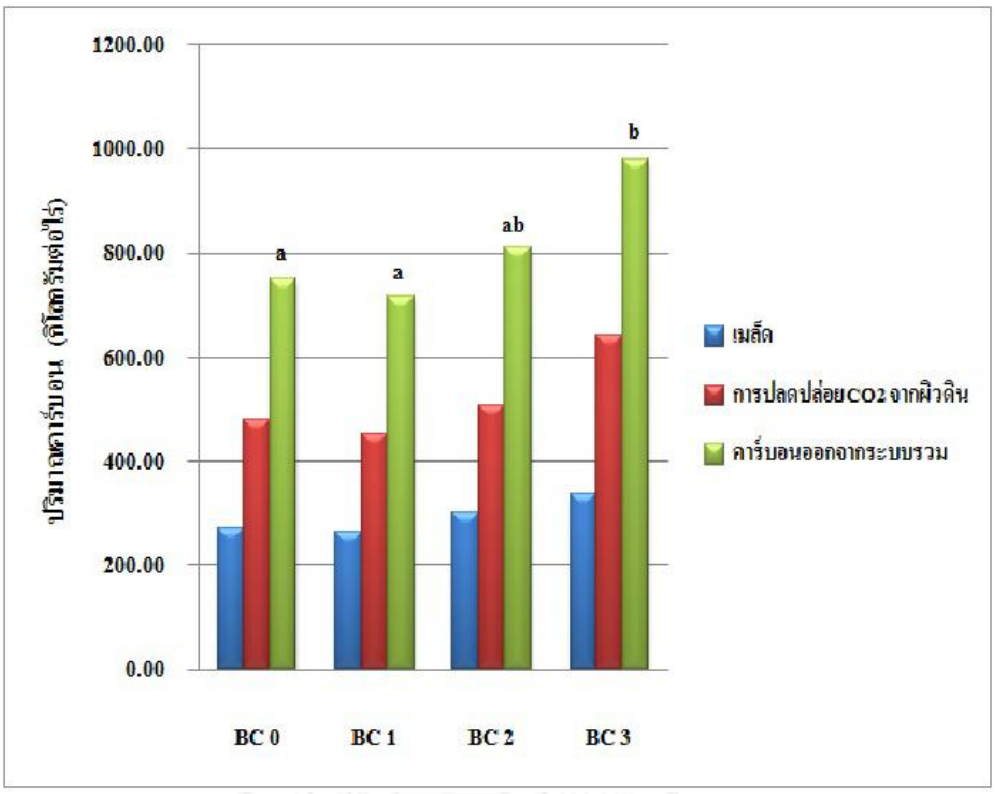
หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร



รูปที่ 4. 13 ปริมาณคาร์บอนรวมของเมล็ดถั่วเหลือง คาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกจากพื้นที่ทดลอง

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

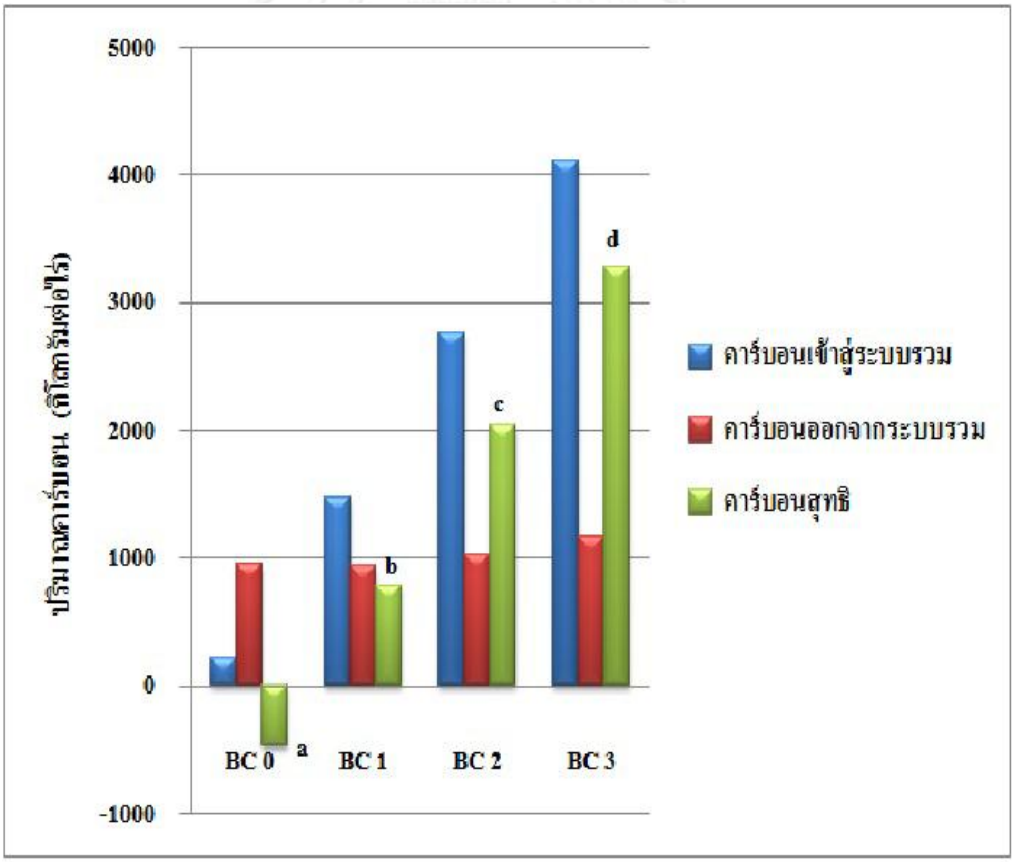
BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ผลการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม ขณะเดียวกันแต่ละตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพก็มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4.14) โดยตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิเพิ่มสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) เช่นเดียวกันกับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC

2) ก็มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิเพิ่มสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยยังแสดงให้เห็นว่า ตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 3) 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 2) และ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (BC 1) สามารถเพิ่มปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ตลอดระยะเวลาการเพาะปลูกได้ถึง 3,282.8 กิโลกรัมต่อไร่ 2,032.3 กิโลกรัมต่อไร่ และ 786.8 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งตรงกันข้ามกับตำรับการทดลองควบคุม (BC 0) ที่สูญเสียคาร์บอนออกจากพื้นที่ตลอดระยะเวลาการเพาะปลูกถึง 467.8 กิโลกรัมต่อไร่



รูปที่ 4. 14 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิ (กิโลกรัมต่อไร่) ในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในตำรบการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพแตกต่างกัน

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อ BC 0 คือ ตำรับทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

BC 1 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 2 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

BC 3 คือ ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกพืชเป็นแนวทางหนึ่งที่มีอิทธิพลสำคัญอย่างยิ่งต่อการกักเก็บคาร์บอน การศึกษาวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในพื้นที่ ตรงกันข้ามกับพื้นที่ควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพกลับสูญเสียคาร์บอนออกพื้นที่ สอดคล้องกันกับผลการศึกษาวิจัยของ Bell and Worrall (2011) ซึ่งพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินจะเป็นวิธีการอย่างหนึ่งในการกักเก็บคาร์บอน โดยที่ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิขึ้นอยู่กับปริมาณถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในพื้นที่ ขณะที่พื้นที่ควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพจะสูญเสียคาร์บอนออกพื้นที่ ในทำนองเดียวกันกับ Vaccari et al. (2011) รายงานว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในพื้นที่เพาะปลูกข้าวสาลี สามารถกักเก็บคาร์บอนเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออไซด์ในอากาศได้ถึง 92-184 ton/ha เมื่อใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 30-60 ton/ha ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกกักเก็บส่วนใหญ่มากจากปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพ และผลการทดสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ บ่งชี้ว่า ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนภายในสูงถึงร้อยละ 80 (Winsley, 2007; Peng et al., 2011) และสามารถคงตัวอยู่ในดินได้เป็นเวลาหลายร้อยหรือพันปี (Lehmann, 2007; Lehmann and Joseph, 2009; Peng et al., 2011) ดังนั้นการใช้ถ่านชีวภาพใส่ลงในพื้นที่เพาะปลูกจึงเป็นการกักเก็บคาร์บอนปริมาณมากได้อย่างถาวร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการใส่ถ่านชีวภาพลงที่ผลิตจากไม้กระชิดลงในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองซึ่งเป็นดินประเภทดินร่วนเหนียว ในพื้นที่ทดลอง ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาถ่านชีวภาพป่าเด็ง ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี เป็นเวลา 1 ฤดูกาลเพาะปลูก สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) การใส่ถ่านชีวภาพส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ นอกจากนี้แล้วความอุดมสมบูรณ์โดยรวมของดินเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารงเมตร เป็นอัตราการใส่ที่ดีที่สุดต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2) การใส่ถ่านชีวภาพส่งผลให้ ความสูงลำต้น จำนวนข้อ และความยาวรากของถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในพื้นที่ที่ใส่ถ่านชีวภาพเมื่อเปรียบเทียบกับดินควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ ซึ่งการใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารงเมตร เป็นอัตราการใส่ที่ดีที่สุดต่อการเพิ่มความสูงลำต้น จำนวนข้อ และความยาวรากของถั่วเหลือง

3) การใส่ถ่านชีวภาพส่งผลให้มวลชีวภาพลำต้น มวลชีวภาพใบ มวลชีวภาพฝัก มวลชีวภาพเมล็ด จำนวนฝักรวม และน้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัมต่อไร่) ของถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบกับดินควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ ขณะที่มวลชีวภาพรากไม่เพิ่มสูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบกับดินควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ ซึ่งการใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารงเมตร เป็นอัตราการใส่ที่ดีที่สุดต่อการเพิ่มมวลชีวภาพลำต้น มวลชีวภาพใบ มวลชีวภาพฝัก มวลชีวภาพเมล็ด จำนวนฝักรวม และน้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัมต่อไร่)

4) การใส่ถ่านชีวภาพส่งผลให้ปริมาณคาร์บอน (กิโลกรัมต่อไร่) ในลำต้น ใบ ฝัก และเมล็ดของถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบกับดินควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ แต่ปริมาณคาร์บอนในรากของถั่วเหลืองไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ซึ่งการใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารงเมตร เป็นอัตราการใส่ที่ดีที่สุดต่อการเพิ่มปริมาณคาร์บอน (กิโลกรัมต่อไร่) ในลำต้น ใบ ฝัก และเมล็ดของถั่วเหลือง

5) การใส่ถ่านชีวภาพส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผิวดินของทุกตำรับทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระยะฝักมีเมล็ด ระยะเมล็ดเต็ม และระยะฝักเหลือง ขณะที่ระยะติดฝัก และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตของตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ ซึ่งการใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารงส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผิวดินมีปริมาณสูงที่สุด

6) การใส่ถ่านชีวภาพส่งผลให้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ตำรับควบคุมที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพนอกจากจะไม่สามารถกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ได้แล้วยังปลดปล่อยคาร์บอนออกจากพื้นที่ ซึ่งการใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เป็นอัตราการใส่ที่ดีที่สุดต่อการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลือง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การวิเคราะห์สมบัติของดินควรวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารรองด้วย เช่น แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เป็นต้น และอาจจะรวมถึงการวิเคราะห์ปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ในดิน ทั้งนี้เพื่อให้การประเมินผลของการใส่ถ่านชีวภาพต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2) ควรมีการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการปลดปล่อยคาร์บอนจากผิวดินร่วมด้วย เช่น ปริมาณแสง ความชื้นบรรยากาศ ความชื้นในดิน อุณหภูมิบรรยากาศ และอุณหภูมิในดินเพื่อให้ได้ข้อมูลครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

3) การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการเพียง 1 ฤดูกาลเพาะปลูก จึงไม่ได้วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนจากเศษซากถั่วเหลืองที่ทับถมในดิน และปริมาณคาร์บอนจากปุ๋ยมูลวัวที่สะสมในดิน การศึกษาในครั้งต่อในพื้นที่ซึ่งใส่ปุ๋ยอินทรีย์และฝังกลบเศษซากพืชในดิน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่ทับถมในดินด้วย

4) การดำเนินการทดลองในพื้นที่ทดลองที่มีดินประเภทดินเหนียว มีข้อจำกัดหลายประการที่อาจจะส่งผลให้การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอาจจะได้ข้อมูลไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ เช่น ไม่สามารถเก็บตัวอย่างของดินและพืชในอยู่ในระดับดินลึกได้ ดินเกาะติดเครื่องมือ และผู้เก็บตัวอย่างจนอาจจะลดประสิทธิภาพการทำงานลง ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ศึกษาวิจัยจะวางแผนป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Alburquerque, J. A., Salazar, P., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. C., Gallardo, A. and Villar, R. (2013). Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development, 33*(3), 475-484.

Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., . . . Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. *Field Crops Research, 111*(1-2), 81-84.

Basso, A. S., Miquez, F. E., Laird, D. A., Horton, R. and Westgate, M. (2013). Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy, 5*(2), 132-143.

Bazzaz, F. A. and Williams, W. E. (1991). Atmospheric CO2 concentrations a mixed forest: Implications for seeding growth. *Ecology, 72*, 12-16.

Bell, M. J. and Worrall, F. (2011). Charcoal addition to soils in NE England: a carbon sink with environmental co-benefits? *Science of the Total Environment, 409*(9), 1704-1714.

Biological and Environmental Research nformation System. (2012). Carbon Cycle. Retrieved 6 March 2013, from http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/

Bonan, G. (2002). Leaves and Plants. Retrieved 2013, March 12, from http://www.cgd.ucar.edu/tss/aboutus/staff/bonan/ecoclim/1sted/Chapter09.pdf

Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. and Haefele, S. (2013). The Impact of Biochar Application on Soil Properties and Plant Growth of Pot Grown Lettuce (Lactuca sativa) and Cabbage (Brassica chinensis). *Agronomy, 3*(2), 404-418.

Cavigelli, M. A. and Robertson, G. P. (2001). Role of denitrifier diversity in rates of nitrous oxide consumption in a terrestrial ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry, 33*, 297-310.

Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. and Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research, 45*(8), 629.

Dempster, D. N., Gleeson, D. B., Solaiman, Z. M., Jones, D. L. and Murphy, D. V. (2010). Biochar addition to soil changed microbial biomass carbon and net inorganic nitrogen mineralized. Retrieved 2012, March 3, from http://www.iuss.org/19th%20WCSS/Symposium/pdf/2504.pdf

East of England Development Agency (EEDA). (2009). Biochar and Carbon Sequestration: A Regional Perspective. Retrieved 2012, March 16, from

http://www.uea.ac.uk/polopoly_fs/1.118134!LCIC%20EEDA%20BIOCHAR%20REVIEW%2020-04-09.pdf

Energy and Environmental Research Center (EERC). (2008). CO2 Sequestration – Controlling CO2 Emissions to the Atmosphere Through Capture and Long-Term Storage. Retrieved 2013, April 23, from http://www.undeerc.org/PCOR/newsandpubs/pdf/FactSheet2.pdf

Falkowski, P., Scholes, R. J., E., B., Canadell, J., Canfield, D., Elser, J., . . . Hibbard, K. (2000). The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System. *Science, 290*, 291-296.

Food and agiculture organization of united nation (FAO). (2009a). Low Greenhouse Gas Agriculture. Retrieved 2012, February 5, from ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai781e/ai781e00.pdf

Food and agiculture organization of united nation (FAO). (2009b). The research progress of biomass pyrolysis processes. Retrieved 12 March 2013, from http://www.fao.org/docrep/t4470e/t4470e0a.htm

Intergovernmental panel on climate change (IPCC). (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Retrieved 2012, February 11, from http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm

Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., van der Velde, M. and Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 144*(1), 175-187.

Joint Research Centre-Institute for Environment and Sustainability. (2010). Biochar Application to Soils :A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. Retrieved 2012, April 12, from http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/other/eur24099.pdf

Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I. and Regina, K. (2011). Biochar addition to agricultural soil increased CH4 uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 140*(1-2), 309-313.

Keith, H. and Wong, S. (2006). Measurement of soil CO2 efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable. *Soil Biology and Biochemistry, 38*(5), 1121-1131.

Kirita, H. (1971). Re-examination of the absorption method of soil respiration under field condition. *Jap. J. Ecol, 21*, 27-42.

Knowles, O. A., Robinson, B. H., Contangelo, A. and Clucas, L. (2011). Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. *Science of the Total Environment, 409*(17), 3206-3210.

Kookana, R. S., Sarmah, A. K., Van Zwieten, L., Krull, E. and Singh, B. (2011). Biochar Application to Soil. *Advances in Agronomy, 112*, 103-143.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestrian impacts on global climate change and food security. Retrieved 2012, February 11, from http://epsc413.wustl.edu/Lal2004_Science.pdf

Lal, R. (2008). Sequestration of atmospheric CO2 in global carbon pools. *Energy & Environmental Science, 1*(1), 86-100.

Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. *Nature, 447*, 143-144.

Lehmann, J., Gaunt, J. and Rondon, M. (2006). Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11*(2), 395-419.

Lehmann, J. and Joseph, S. (2009). Biochar for Environmental Management:An Introduction. Retrieved 2012, March 6, from http://www.biochar-international.org/images/Biochar_book_Chapter_1.pdf

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 and Biochemistry, 43*(9), 1812-1836.

Lehmann, J., Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil, 249*, 343-357.

Lenton, T. M. and Vaughan, N. E. (2009). The radiative forcing potential of different climate geoengineering Options. *Atmospheric Chemical Physical Discussion, 9*, 5539-5561.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., . . . Neves, E. G. (2006). Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Science Society of America Journal, 70*(5), 1719.

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J. and Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil, 333*(1-2), 117-128.

Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W. and Niandou, M. A. S. (2009). Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. *Soil Science, 174*(2), 105-112.

Peng, X., Ye, L. L., Wang, C. H., Zhou, H. and Sun, B. (2011). Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research, 112*(2), 159-166.

Rasmussen, P. E. and Parton, W. J. (1994). Long-Term Effects of Residue Management in Wheat-Fallow: I. Inputs, Yield, and Soil Organic Matter. *Soil science society of american journal, 58*, 523-530.

Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramírez, J. and Hurtado, M. (2006). Biological nitrogen fixation by common beans (Phaseolus vulgaris L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils, 43*(6), 699-708.

Shenbagavalli, S. and Mahimairaja, S. (2012). Charaterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. *International Journal of Advanced Biological Research, 2(2)*, 249-255.

Sohi, S. P., 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.

Sohi, S. P., Lopez-Capel, E., Krull, E. and Bol, R. (2009). Biochar, climate change and soil: A review
to guide future research. Retrieved 2012, April 22, from https://www.google.co.th/#q=Biochar%2C+climate+change+and+soil%3A+A+review++to+guide+future

Spokas, K. A. and Reicosky, D. C. (2009). Impacts of Sixteen Different Biochars on Soil Greenhouse gas Production. *Annals of Environmental Science, 3*, 179-193.

Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., Macêdo, J. L. V., Blum, W. E. H. and Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil, 291*(1-2), 275-290.

Suppadit, T., Phumkokrak, N. and Pongsuk, P. (2012). The effect of using quail litter biochar on soybean (Glycine max [L.] production. *Chilean Journal of Agricultural Research, 72(2)*, 244-251.

Ulyett, J., Sakrabani, R., Kibblewhite, M. and Hann, M. (2014). Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. *European Journal of Soil Science, 65*(1), 96-104.

United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2008). Use of biochar (charcoal) to replenish soil carbon pools, restore soil fertility and sequester CO2. Retrieved 2012, February 12, from http://terrapreta.bioenergylists.org/files/Submission_by_UNCCD_to_AWG-LCA_on_Biochar.pdf

Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F. and Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy, 34*(4), 231-238.

Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W. and Rillig, M. C. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Plant and Soil, 300*(1-2), 9-20.

Winsley, P. (2007). Biochar and Bionenergy Production for Climate Change. *New Zealand Science Review, 64*, 5-10.

Woolf, D. (2008). Biochar as a soil amendment : A review of the environmental implications. Retrieved 22 January 2012, from http://orgprints.org/13268/1/Biochar_as_a_soil_amendment_-_a_review.pdf

Xu, G., Sun, J., Shao, H. and Chang, S. X. (2014). Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecological Engineering, 62*, 54-60.

Xu, R., Ferrante, L., Hall, K., Briens, C. and Berruti, F. (2011). Thermal self-sustainability of biochar production by pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 91*(1), 55-66.

Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S. and 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*, 489-495.

Yanai, Y., Toyota, K. and Okazaki, M. (2007). Effects of charcoal addition on N2O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. *Soil Science and Plant Nutrition, 53*(2), 181-188.

Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., . . . Yu, X. (2012). Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research, 127*, 153-160.

Zibilske, L. M. (1994). Carbon mineralization, pp. 835-863.In R.W. Weaver, J.S. Angle and P.S.

Bottomly, eds. Method of Soil Analysis Part 2: Microbiological and Biochemical properties. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA., อ้างถึงใน สิริกานดา วัชราไทย. 2551. การศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสบู่ดำที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนปนทราย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อมภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2547). คู่มือการวิเคราะห์ ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์วิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. Retrieved 25 April 2010, from http://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf

คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา. (2548). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยนาม ดิสถาพร วิชัย ลิมโพธิ์ทอง และสลิตา สุสิงห์. (2554). การศึกษาชนิดและอัตราที่เหมาะสมของถ่านชาร์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตของข้าวปทุมธานี 1 ในสภาพดินทราย. Retrieved 2 April 2011, from http://r05.ldd.go.th/research/4_03.pdf

ทวีวงศ์ ศรีบุรี. (2554). การทดสอบคุณลักษณะของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ก่อนนำไปปรับปรุงคุณภาพดิน. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนตามแนวพระราชดำริ. หน้า 1-19. 26 สิงหาคม 2554 ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี.

เธียรชัย อารยางกูร. (2546). สรุปผลงานวิจัยปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลือง ใน สรุปรายงานผลงานวิจัยถั่วเหลือง กรมวิชาการเกษตร ปี 2531-2541. กรุงเทพมหานคร.

บรรเจิด พลางกูร. (2523). ทรัพยากรที่ดิน. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ปานทิพย์ อัฒนวานิช. (2554). คาร์บอนไดออกไซด์กับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. Retrieved 11 มกราคม 2555, from http://e-book.ram.edu/e-book/g/GE410/chapter11.pdf

พจนีย์ มอญเจริญ และทวีศักดิ์ เวียรศิลป์. (2541). คาร์บอนในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ. (2552). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการศึกษาติดตามการเจรจาในเวทีการเจรจาเรื่องโลกร้อนที่เกี่ยวโยงกับภาคการเกษตร
และนัยสำคัญต่อประเทศไทย. Retrieved 10 มกราคม 2555, from http://www.measwatch.org/sites/default/files/bookfile/MEAs_TRF_150852_0.pdf

ลิขิต พลยศ. (2555). พลวัตรของคาร์บอนในดินภายใต้การไถพรวนดินแบบต่างๆของข้าวโพดในชุดดินปากช่อง. Retrieved 16 September 2012, from http://www.arda.or.th/kasetinfo/north/plant/soy_data/soy_cultivate.pdf

สมศักดิ์ อิทธิพงษ์ และ รัชนี โสภา. (2547). การปลูกและการดูแลรักษาถั่วเหลือง. Retrieved 5 September 2012, from http://www.ostc.thaiembdc.org/news_us/Sep50_7.html

สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย. (2553). ประเด็นท้าทายข้อเสนอเชิงนโยบายและการเจรจาของไทยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก. Retrieved 10 มกราคม 2555, from http://measwatch.org/sites/default/files/bookfile/3.pdf

สำนักงานที่ปรึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำกรุงวอชิงตัน ดี. ซี. (2555). การจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจับเก็บใต้ดินเพื่อลดปัญหาโลกร้อน. from http://www.ostc.thaiembdc.org/news_us/Sep50_7.html

สำนักนวัตกรรมไม้เศรษฐกิจ. (2555). รายงานโครงการจัดทาบัญชีก๊าซเรือนกระจกพื้นที่สวนป่าองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้. Retrieved 25 April 2012, from http://www.fio.co.th/km/document/km-530108.pdf

สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. (2548). ถั่วเหลือง. Retrieved 9 March 2012, from http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical06028.pdf

สิริกานดา วัชราไทย. (2551). การศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสบู่ดำที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนปนทราย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม และลือชัย ครุฑน้อย. (2555). การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดภาวการณ์กลายเป็นทะเลทรายของพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.ใน รายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยปีที่ 2 ของโครงการต่อเนื่อง 3 ปี การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดภาวการณ์กลายเป็นทะเลทราย ของพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี.

องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2555). แนวทางพัฒนาลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคป่าไม้. Retrieved 29 April 2012, from http://www.conference.tgo.or.th/download/tgo_main/2 5 0 4 1 1 / 0 1 _ForestryCarbonCredits_TGO_Part2.pdf

อภิพรรณ พุกภักดี. (2546). ถั่วเหลือง : พืชทองของไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอนก โชติญาณวงษ์. (2546). สรุปผลงานวิจัยปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลือง ใน สรุปรายงานผลงานวิจัยถั่วเหลือง กรมวิชาการเกษตร ปี 2531-2541. กรุงเทพมหานคร.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจามร อยู่เย็น เกิดเมื่อวันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์หมาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2548 หลังจากนั้น ทำงานที่บริษัท ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริ่งแอนด์แมเนจเม้นท์ จำกัด ในตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ (ผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย) และทำงานพิเศษที่โรงเรียนบ้านวิชากร ในตำแหน่งครูสอนวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ต่อจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University