ผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพดินเหนียวปนทราย
กรณีศึกษาตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

นางสาววิชุตา กัลยาศิริ

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.

EFFECT OF BIOCHAR ON RICE PRODUCT AND SANDY CLAY QUALITY CASE STUDY OF PADENG SUBDISTRICT, KAENG KRACHAN DISTRICT, PHETCHABURI PROVINCE

Miss Wichuta Kunlayasiri

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	ผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพดินเหนียวปนทราย กรณีศึกษาตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี
โดย	นางสาววิชุตา กัลยาศิริ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรวัฒน์ ศรุตโยภาส)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิชุตา กัลยาศิริ : ผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพดินเหนียวปนทราย กรณีศึกษาตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี. (EFFECT OF BIOCHAR ON RICE PRODUCT AND SANDY CLAY QUALITY CASE STUDY OF PADENG SUBDISTRICT, KAENG KRACHAN DISTRICT, PHETCHABURI PROVINCE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 138 หน้า.

การศึกษาผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพดินเหนียวปนทราย ทำการทดลองในแปลงทดลองขนาด 0.34 ไร่ (542.5 ตารางเมตร) ในพื้นที่ศูนย์วิจัยถ่านชีวภาพป่าเด็ง ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design จำนวน 3 ซ้ำ มี 4 ตำรับการทดลอง คือ ดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก (1,600 กิโลกรัมต่อไร่) ดิน+ถ่านชีวภาพ (1,600 กิโลกรัมต่อไร่) และ ดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก (1,600 กิโลกรัมต่อไร่) โดยแปลงที่ใส่ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ในอัตราส่วนของปุ๋ยคอก 0.5 กิโลกรัม และถ่านชีวภาพ 0.5 กิโลกรัม แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ก่อนปลูกข้าว 2 สัปดาห์ และครั้งที่ 2 ก่อนระยะข้าวตั้งท้อง ในการทดลองใช้ตัวอย่างข้าวทั้งสิ้น 3 กลุ่มจากข้าว 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และตัวอย่างข้าวผสมระหว่างข้าวพันธุ์เหลืองและข้าวพันธุ์นาสาร (ข้าวรวม) เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกข้าว และระหว่างการปลูกข้าวตามระยะเวลา คือ 1) ระยะต้นกล้า 2) ระยะแตกกอ 3) ระยะสร้างรวง 4) ระยะตั้งท้อง 5) ระยะออกดอก และ 6) ระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด – ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความสูง น้ำหนักแห้ง (ลำต้นและราก) จำนวนต้นต่อพื้นที่ การแตกกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนรวงต่อพื้นที่ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใส่ถ่านชีวภาพ (ดิน+ถ่านชีวภาพ) และจากการศึกษาพบว่าเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มคุณสมบัติของดิน ผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของทุกกลุ่มการทดลองพบว่า ข้าวพันธุ์นาสารให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวพันธุ์เหลือง และข้าวรวม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5387218620 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS: BIOCHAR / SOIL QUALITY / SANDY CLAY / UPLAND RICE / RICE PRODUCTIVITY

WICHUTA KUNLAYASIRI: EFFECT OF BIOCHAR ON RICE PRODUCT AND SANDY CLAY QUALITY CASE STUDY OF PADENG SUBDISTRICT, KAENG KRACHAN DISTRICT, PHETCHABURI PROVINCE. ADVISOR: SAOWANEE WIJITKOSUM, Ph.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. THAVIVONGSE SRIBURI, Ph.D., 138 pp.

The study of the effects of biochar on rice product and sandy clay quality was conducted in the experimental plot size of 0.34 rai (542.5 sq.m.) at the Pa-deng Biochar Research Center (Pd-BRC), Padeng subdistrict, Kaeng Krachan, Phetchaburi. The experiment employed a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replicates and comprised four treatments: untreated soil (control group), soil incorporation of cow manure (1,600 Kg per rai), soil incorporation of biochar (1,600 Kg per rai) and soil incorporation of biochar and cow manure (1,600 Kg per rai). For the latter treatment, the mixture was in the ratio of 0.5 Kg of cow manure and 0.5 Kg of Biochar. There were two equal applications; once at two weeks before rice planting and subsequently at booting stage. There were two cultivars used in this experiment; Lueng (place scientific name here) and Nasarn (place scientific name here) which contributed to three rice samples; Lueng, Nasarn and the mixture of the two cultivars. Soil samples were collected before and during six growth stages of rice: 1) seedling, 2) tillering, 3) panicle initiation, 4) booting, 5) flowering and 6) grain maturation. The results showed that the soil properties such as pH, conductivity, organic matter, cation exchange capacity (CEC), Total Carbon, Total Nitrogen, Available Phosphorus, and Exchangeable Potassium increased significantly at a 95% confidence level. The results of yield and growth of rice such as height, dry weight (stem and root), number of rice stems per area, tillering, number of seeds per panicle, number of panicles per area, thousand grain weight and percentage of filled grain increased significantly at a 95% confidence level when applied the soil incorporation of biochar treatment. The results showed that the soil properties, yield and growth of rice increased even more when the soil incorporation of biochar and cow manure was applied. Moreover, comparing the yields of the two rice cultivars, it was found the Nasarn rice had a higher yield than the Lueng rice and the seed mixture.

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

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

Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการศึกษาด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้ช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ ศรุตโยภาส ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนบางส่วนในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ปฏิบัติการในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยถ่านชีวภาพป่าเด็ง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการออกภาคสนาม และให้คำปรึกษา ตลอดจนบุคคลอื่น ๆ ที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ (นายวิรูญ กัลยาศิริ) คุณแม่ (นางพัชรี กัลยาศิริ) และพี่สาว (นางสาวนาตยา กัลยาศิริ) ที่คอยให้ความช่วยเหลืออย่างมาก และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมาระหว่างทำการศึกษา และให้เงินทุนสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
หน้า ..... ญ
หน้า ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฎ
หน้า ..... ฎ
หน้า ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ทฤษฎีและการทบทวนเอกสาร 5
2.1.1 ลักษณะของข้าวไร่ 5
2.1.2 การเพาะปลูกข้าวไร่ 5
2.1.3 ลักษณะและการเจริญเติบโตของข้าวไร่ 8
2.1.4 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของข้าวไร่ 14
2.1.5 ธาตุอาหารหลักของข้าว 15
2.1.6 ถ่านชีวภาพ 18
2.1.7 ปุ๋ยอินทรีย์ 21
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 28
3.1 สถานที่ดำเนินการศึกษาวิจัย 28
3.1.1 ภาคสนาม 28
3.1.2 ห้องปฏิบัติการ 28

หน้า

3.2 พารามิเตอร์และการวิเคราะห์ 29
3.2.1 การวิเคราะห์ดิน 29
3.2.2 การวิเคราะห์ถ่านชีวภาพ 30
3.2.3 การวิเคราะห์ปุ๋ยคอก 31
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย 31
3.3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย 31
3.3.2 การวางแผนการศึกษาวิจัย 32
3.3.3 ขั้นตอนเตรียมถ่านชีวภาพและแปลงทดลอง 32
3.3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง 36
3.4 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล 36
3.4.1 การเก็บตัวอย่างดิน 36
3.4.2 การเก็บตัวอย่างถ่านชีวภาพ 37
3.4.3 การเก็บตัวอย่างข้าว 37
3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 38
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถ่านชีวภาพและคุณภาพดิน 39
4.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพ 39
4.1.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพก่อนการทดลอง 39
4.1.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพหลังการทดลอง 43
4.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดิน 58
4.2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินก่อนการปลูกข้าวไร่ 58
4.2.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวไร่ 63
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินจากการเพาะปลูกข้าวไร่ 84
บทที่ 5 ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าวและผลผลิตข้าว 100
5.1 ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าว 100
5.1.1 จำนวนต้นต่อพื้นที่ 100
5.1.2 ความสูงของต้นข้าว 102
5.1.3 น้ำหนักแห้ง 104

หน้า

5.1.4 การแตกกอของข้าว 106
5.2 ผลของถ่านชีวภาพต่อองค์ประกอบของข้าว 107
5.2.1 จำนวนรวงต่อพื้นที่ 107
5.2.2 จำนวนเมล็ดต่อรวง 108
5.2.3 เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี 109
5.2.4 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด 110
5.3 ผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตข้าว 112
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 114
6.1 สรุปผลการวิจัย 114
6.1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ 114
6.1.2 ผลของถ่านชีวภาพในการปรับปรุงคุณภาพดิน 115
6.1.3 ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว 115
6.2 ข้อเสนอแนะ 116
รายการอ้างอิง 117
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 138

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของถ่านชีวภาพ 20
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ดิน 29
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ถ่านชีวภาพ 30
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยคอก 31
ตารางที่ 3.4 ตำรับการทดลองในการศึกษา 32
ตารางที่ 3.5 ค่ามาตรฐานสำหรับเตาเผาระบบไพโรไลซิส 33
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพที่ได้จากการเผาด้วยเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า และการเผาในห้องปฏิบัติการ 41
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ใช้ในการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่ 42
ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม 44
ตารางที่ 4.4 ค่าความนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม 46
ตารางที่ 4.5 ปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม 48
ตารางที่ 4.6 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม 50
ตารางที่ 4.7 ปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม 52
ตารางที่ 4.8 ปริมาณไนโจรเจนทั้งหมดของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม 54
ตารางที่ 4.9 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม 55
ตารางที่ 4.10 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม 57
ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินก่อนการปลูกข้าวไร่ 60
ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่ 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่ 87
ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่ ... 89
ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่ 91
ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่ 93
ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่ 95
ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่ 97
ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่ 99
ตารางที่ 5.1 ผลผลิตของข้าวพันธุ์เหลือง 111
ตารางที่ 5.2 ผลผลิตของข้าวพันธุ์นาสาร 111
ตารางที่ 5.3 ผลผลิตของข้าวรวม 112

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงขอบเขตการดำเนินงานวิจัย 3
รูปที่ 2.1 ลักษณะและส่วนประกอบของต้นข้าว 10
รูปที่ 2.2 ลักษณะและส่วนประกอบของรวงข้าว 11
รูปที่ 2.3 ลักษณะและส่วนประกอบของดอกข้าว (spikelet) 12
รูปที่ 2.4 การพัฒนาของดอกข้าวเป็นเมล็ด 13
รูปที่ 3.1 เตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า (Controlled Temperature Biochar Retort For Slow Pyrolysis Process) 34
รูปที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง 64
รูปที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร 64
รูปที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม 65
รูปที่ 4.4 ค่าการนำไฟฟ้าในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง 66
รูปที่ 4.5 ค่าการนำไฟฟ้าในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร 67
รูปที่ 4.6 ค่าการนำไฟฟ้าในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม 67
รูปที่ 4.7 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง 69
รูปที่ 4.8 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร 69
รูปที่ 4.9 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม 70
รูปที่ 4.10 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง 72
รูปที่ 4.11 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

รูปที่ 4.12 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม 73
รูปที่ 4.13 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง 74
รูปที่ 4.14 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวนาสาร 75
รูปที่ 4.15 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม 75
รูปที่ 4.16 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง 77
รูปที่ 4.17 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร 77
รูปที่ 4.18 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม 78
รูปที่ 4.19 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง 80
รูปที่ 4.20 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร 80
รูปที่ 4.21 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม 81
รูปที่ 4.22 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง 82
รูปที่ 4.23 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร 83
รูปที่ 4.24 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม 83
รูปที่ 5.1 จำนวนต้นต่อพื้นที่ในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง..... 100
รูปที่ 5.2 จำนวนต้นต่อพื้นที่ในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร 101

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รูปที่ 5.3 จำนวนต้นต่อพื้นที่ในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม..... 101
รูปที่ 5.4 ความสูงของต้นข้าวในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง.... 102
รูปที่ 5.5 ความสูงของต้นข้าวในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร.... 103
รูปที่ 5.6 ความสูงของต้นข้าวในตำรับการทดลองต่างๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม..... 103
รูปที่ 5.7 น้ำหนักแห้งในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง..... 104
รูปที่ 5.8 น้ำหนักแห้งในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร..... 105
รูปที่ 5.9 น้ำหนักแห้งในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม..... 105
รูปที่ 5.10 การแตกกอของข้าวในตำรับการทดลองต่าง ๆ ในระยะแตกกอ (45 วัน) ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม..... 106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถ่านชีวภาพ หมายถึง ชีวมวล (Biomass) หรือวัสดุประเภทต่าง ๆ ที่เมื่อถูกความร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนดจะเปลี่ยนสภาพเป็นถ่านชีวภาพ โดยไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจนเข้ามาร่วมในการสันดาป ความร้อนจะทำให้ชีวมวลในเตาผลิตถ่านชีวภาพเกิดการเปลี่ยนแปลงและแยกสลายได้ก๊าซ (Syngas) เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทนและอื่น ๆ และถ่านชีวภาพ (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2554) ประโยชน์ของถ่านชีวภาพ คือ กักเก็บคาร์บอนลงดินและปรับปรุงคุณภาพดิน โดยมีคุณสมบัติเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน และสามารถปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน เช่น ปรับสภาพความเป็นกรด ดูดยึดธาตุอาหารในดิน เพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน และการปรับปรุงสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของดิน ด้วยการดูดยึดน้ำในดิน ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและเพิ่มธาตุอาหาร นอกจากนั้นถ่านชีวภาพยังช่วยในการทำความสะอาดอากาศได้ 2 ทาง คือ การป้องกันการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสารชีวภาพขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ และการช่วยให้พืชดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะที่พืชสังเคราะห์แสง ถ่านชีวภาพจึงถูกนำมาใช้เพื่อลดปัญหาโลกร้อนอีกทางหนึ่ง

การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ราบของพื้นที่ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี เป็นการใช้ประโยชน์เพื่อประกอบกิจกรรมด้านเกษตรกรรมเป็นหลัก (38,942.87 ไร่ หรือร้อยละ 14.91 ของพื้นที่ราบทั้งหมด) (Wijitkosum, 2012) ในการทำเกษตรกรรมในพื้นที่นั้นมีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีเป็นจำนวนมากเพื่อเร่งผลผลิตและป้องกันศัตรูพืช ซึ่งการใช้สารเคมีทางการเกษตรส่งผลทำให้ดินมีคุณภาพเสื่อมโทรมในระยะยาว และส่งผลต่อคุณภาพของสิ่งแวดล้อม คุณภาพชีวิตของเกษตรกร คุณภาพและปริมาณของผลผลิต รวมทั้งต้นทุนในการผลิตที่มีต้นทุนสูง การปลูกข้าวในพื้นที่ตำบลป่าเด็ง ส่วนใหญ่เป็นการปลูกข้าวแบบนาไร่ ซึ่งมีการเพาะปลูกน้อย เนื่องจากมีปัญหาคุณภาพดิน ส่งผลให้เกษตรกรในพื้นที่ได้ผลผลิตต่ำ แต่มีต้นทุนสูงจากการใช้สารเคมีในการเพาะปลูก ทำให้ประชาชนในพื้นที่ไม่สามารถปลูกข้าวไว้สำหรับบริโภคได้อย่างเพียงพอจึงจำเป็นต้องซื้อข้าวมาบริโภค ในขณะที่การทำการเกษตรจะมีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเกิดขึ้น ซึ่งประชาชนในพื้นที่ยังไม่ได้นำเศษวัสดุเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด หากสามารถนำเศษวัสดุเหลือใช้มาผลิตถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินไว้สำหรับปลูกข้าวในพื้นที่ได้ก็จะสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวและลดค่าใช้จ่ายของประชาชนในพื้นที่ได้ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้มีจุดประสงค์หลักในการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการปรับปรุงคุณภาพดินและเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวในพื้นที่

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ และผลผลิตของข้าว

2) ศึกษาการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของถ่านชีวภาพในการปรับปรุงคุณภาพดิน (ดินเหนียวปนทราย) และผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าวในระยะต่าง ๆ รวมทั้งผลผลิตของข้าวพันธุ์พื้นเมืองในพื้นที่ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งมีขอบเขตการดำเนินการวิจัย (รูปที่ 1.1) ดังนี้

1) เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม (ข้าวพันธุ์เหลือง+ข้าวพันธุ์นาสาร) ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศในพื้นที่ และเกษตรกรในพื้นที่นิยมปลูก

2) ถ่านชีวภาพที่ใช้มีขนาด 3 มิลลิเมตร และใช้ปุ๋ยคอกในการทดลอง

3) กำหนดตำรับการทดลอง 4 ตำรับการทดลอง คือ

3.1) ดินเดิม (ดินเหนียวปนทราย)

3.2) ดินเดิม+ปุ๋ยคอก

3.3) ดินเดิม+ถ่านชีวภาพ

3.4) ดินเดิม+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก

4) ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากการเผาในห้องปฏิบัติการและเผาในเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า (Controlled Temperature Biochar Retort For Slow Pyrolysis Process)

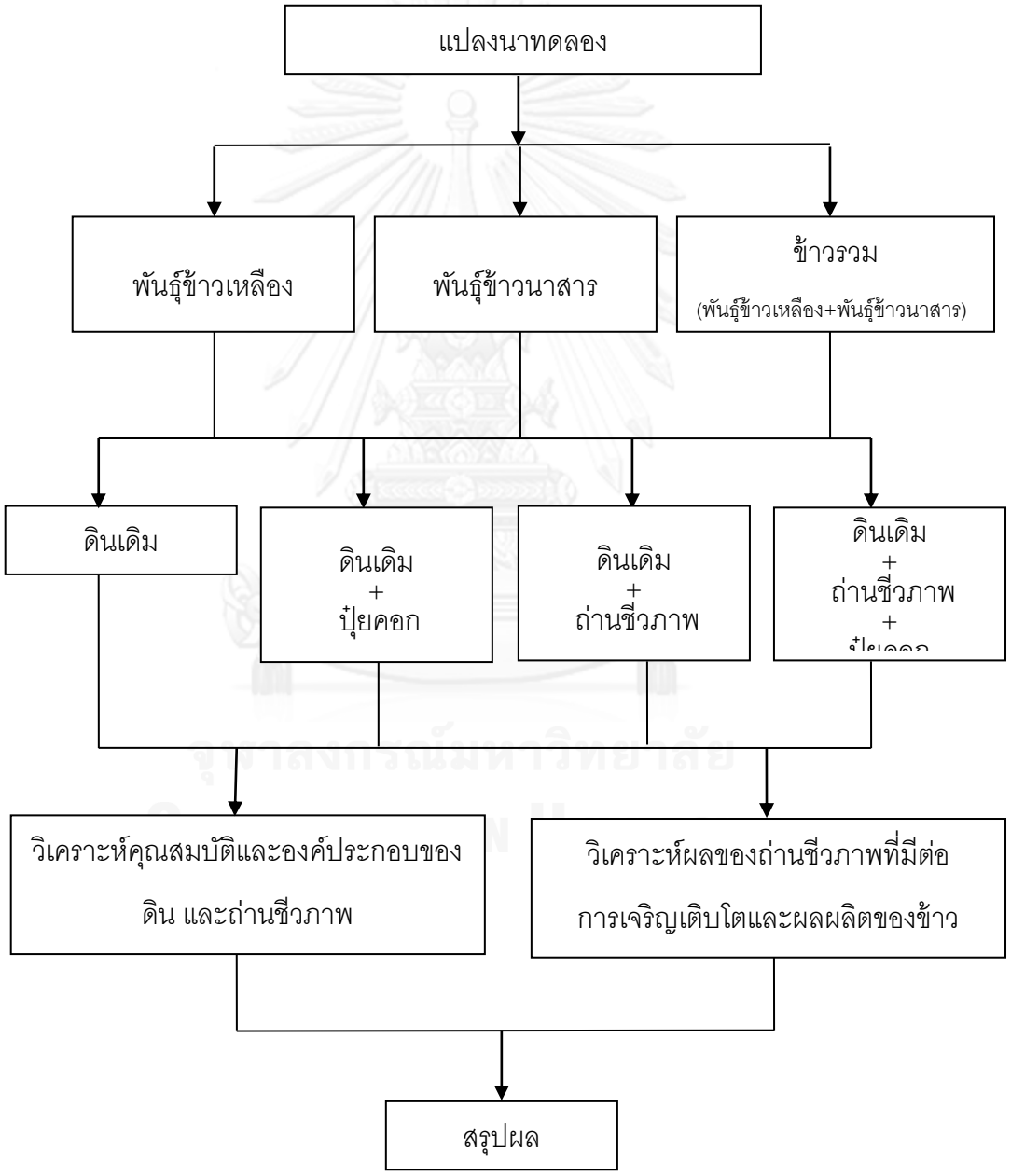
5) ศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของปุ๋ยคอกก่อนการทดลอง โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด และปริมาณ C/N

6) ศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพก่อนและหลังการทดลอง โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ปริมาณCHN พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

7) ศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของดินก่อนและหลังการทดลอง โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

8) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าว และผลผลิตของข้าว โดยพิจารณาจาก ความสูง น้ำหนักแห้งของข้าว (ลำต้นและราก) จำนวนต้นต่อพื้นที่ การแตกกอ จำนวนรวงต่อพื้นที่ จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

9) เก็บตัวอย่างดิน ถ่านชีวภาพ และข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว คือ ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน)



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงขอบเขตการดำเนินงานวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถนำถ่านชีวภาพมาปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวปนทราย และเพิ่มผลผลิตข้าวในพื้นที่ทำการทดลองได้

2) สามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

3) ทราบถึงความเหมาะสมของอัตราส่วนของเศษไม้ชนิดต่าง ๆ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาผลิตถ่านชีวภาพว่ามีข้อดีข้อเสียอย่างไรในการนำมาประยุกต์ใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและการทบทวนเอกสาร

2.1.1 ลักษณะของข้าวไร่

ข้าวไร่ (Upland rice) มีลักษณะแตกต่างกันตามชนิดและพันธุ์ที่ปลูก เช่น ข้าวไร่ในประเทศอินเดียและบังกลาเทศ มีความสูงประมาณ 50 – 100 เซนติเมตร แตกกอ 6 – 12 ต้น ใบยาว แคบ และตั้ง ปรับตัวในสภาพแห้งแล้งได้ดี มีอายุเก็บเกี่ยวไม่เกิน 100 วัน ผลผลิตแปรปรวนตั้งแต่ต่ำจนถึงสูง แต่ในอเมริกากลาง อเมริกาใต้ และแอฟริกาตะวันตก ข้าวไร่มีความสูงประมาณ 80 – 120 เซนติเมตร แตกกอ 4–8 ต้น ใบตั้ง ยาว ปรับตัวในสภาพแห้งแล้งได้ดี ให้ผลผลิตปานกลางจนถึงสูง ส่วนในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ บางส่วนของอเมริกากลาง อเมริกาใต้ และแอฟริกาตะวันตก ข้าวไร่มีความสูงประมาณ 120–180 เซนติเมตร แตกกอ 2–5 ต้น ใบกว้าง ยาว และแผ่ ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ผลผลิตต่ำถึงปานกลาง ข้าวไร่ของญี่ปุ่น มีระบบรากลึก ทนแล้ง ต้นสูงอวบใหญ่ แตกกอน้อย ใบกว้าง และยาว สามารถต้านทานโรคไหม้ แต่หักล้มง่าย เมล็ดใหญ่ คุณภาพเมล็ดต่ำ เป็นต้น (IRRI, 1977) นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวไร่บางสายพันธุ์มีการแตกกอต่ำและพื้นที่ใบคงที่ เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำเกิดความเสียหายน้อยกว่าข้าวนาดำ แต่ข้าวนาดำบางสายพันธุ์สามารถทนแล้งได้ดีเท่ากับข้าวไร่ จากการศึกษาโดย IRRI ซึ่งรวบรวมข้าวไร่มากกว่า 4,000 สายพันธุ์ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบว่า ลักษณะทางการเกษตรและสัณฐานวิทยาของข้าวไร่โดยทั่วไปคือ มีระบบรากใหญ่และลึก เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดสูง ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เช่น ทนแล้ง ทนต่อการขาดธาตุฟอสฟอรัส และความเป็นพิษจากอลูมิเนียมและแมงกานีส ตลอดจนสามารถทนสภาพดินเค็ม ต้านทานต่อโรคและแมลงบางชนิดได้ดี เป็นต้น แต่มีลักษณะที่จำกัดผลผลิตคือ มีลักษณะต้นสูง แตกกอน้อย ใบน้อยใหญ่ ยาว และแผ่ ตอบสนองต่อปุ๋ยน้อย ไวต่อช่วงแสง มีผลผลิตต่ำ ประมาณ 80–240 กิโลกรัมต่อไร่ เมล็ดใหญ่และแข็ง อายุการเก็บเกี่ยว 95– 145 วัน (IRRI, 1984)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.2 การเพาะปลูกข้าวไร่

ข้าวไร่ เป็นข้าวชนิดหนึ่งที่ปลูกบนที่ดอนและในสภาพไร่เช่นเดียวกับพืชไร่ทั่วไป อาศัยน้ำฝนตามสภาพธรรมชาติเพื่อการเจริญเติบโต การปลูกข้าวไร่ไม่จำเป็นต้องทำคันนาเพื่อขังน้ำแต่ไม่ได้หมายความว่าข้าวไร่ต้องการน้ำสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตน้อยกว่าพืชอื่น ในธรรมชาติข้าวไร่มักเป็นข้าวที่ทนแล้ง โดยทั่วไปเกษตรกรจะปลูกข้าวไร่ตามสภาพพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ตามไหล่เขา ที่ราบเชิงเขา ที่ราบสูง ตามหุบเขาต่าง ๆ หรือปลูกแซมกับพืชที่อื่น ๆ เช่น ต้นยางพารา ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น การปลูกข้าวไร่จะเริ่มในเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาของฝนที่ตกลงมาด้วย การปลูกข้าวไร่ในประเทศไทยเป็นการปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน แต่ละครอบครัวจะปลูกข้าวไร่ในพื้นที่เพียงเล็กน้อย ลักษณะการปลูกเป็นการปลูกที่ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ขาดการดูแลเอาใจใส่เท่าที่ควร ดังนั้น ผลผลิตที่ได้แต่ละปีจึงไม่แน่นอน ปัญหาอุปสรรคในการปลูกข้าวไร่นั้นมีสภาพคล้ายคลึงกับพืชไร่อื่น ๆ ซึ่งได้แก่ ปัญหาการขาดพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพ

พื้นที่แต่ละแห่ง ปริมาณเมล็ดพันธุ์ดีมีราคาสูง ปัญหาโรคแมลง และวัชพืช ปัญหาด้านความรู้ของเกษตรกรในวิทยาการเกษตรแผนใหม่ คุณภาพของดินที่เสื่อมตามสภาพการถูกใช้แต่ขาดการบำรุง นอกจากนี้ยังมีปัญหาด้านความเสี่ยงภัยตามธรรมชาติ เช่น ฝนตกน้อยหรือมากเกินไป หรือฝนตกไม่ถูกต้องตามฤดูกาล เป็นต้น (เมธินี ณ เชียงใหม่ และคณะ, 2532)

ข้าวไร่ เป็นข้าวที่สามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตได้ในที่มีอากาศเย็นและความสูงเกิน 1,000 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ข้าวไร่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจน้อยหรือแทบไม่มีเลยเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจอื่น ๆ แต่ความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวไร่พันธุ์ท้องถิ่นจัดว่าเป็นแหล่งยีนที่สำคัญมาก เพราะเป็นแหล่งพันธุกรรม (germplasm sources) สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ (Harlan, 1992) แม้ว่าจะมีข้อเสียหลายประการ เช่น การชูรวงไม่ดี ต้นสูงเกินไปทำให้เกิดปัญหาการหักล้ม หรือเมล็ดมีระยะพักตัวนาน แต่ข้อดีที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของข้าวไร่พันธุ์ท้องถิ่นคือ มีความต้านทานโรคและแมลงศัตรูพืช ทนแล้ง และมีความสามารถในการแข่งขันกับวัชพืชได้ดี ซึ่งถือว่าเป็นความหลากหลายที่มีคุณค่าโดยเฉพาะเป็นแหล่งพันธุกรรมของข้าวที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อการสร้างและพัฒนาข้าวพันธุ์ใหม่ (Chang, 1976; ดำเนิน กาละดี พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ และศันสนีย์ จำจด, 2543)

การปลูกข้าวไร่ให้ได้ผลผลิตดีมีขั้นตอนและปัจจัยต่าง ๆ (ประพาส วีระแพทย์, 2523; วราภรณ์ คำบุญเรือง, 2532) ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1) การเลือกพันธุ์และการเตรียมเมล็ดพันธุ์

พันธุ์ข้าวไร่ที่เกษตรกรปลูกมักเป็นพันธุ์พื้นเมืองเป็นส่วนใหญ่ และยังมีพันธุ์ข้าวที่แบ่งตามสภาพพื้นที่ที่ปลูก เช่น พันธุ์ข้าวที่ชาวไทยภูเขาปลูกในสภาพพื้นที่ราบสูงและสภาพบนภูเขา มักเป็นพันธุ์ที่ทนต่อสภาพอากาศหนาวเย็นแต่ได้ผลผลิตต่ำ ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวไร่จะต้องเป็นข้าวที่มีอายุปานกลาง ไวต่อช่วงแสงน้อย เนื่องจากข้าวไร่อาศัยน้ำฝนแต่เพียงอย่างเดียว ถ้าหากเป็นข้าวอายุหนักและออกดอกในช่วงที่ขาดฝนจะทำให้เมล็ดลีบ เป็นต้น

2) ฤดูกาลปลูกที่เหมาะสม

เนื่องจากการปลูกข้าวไร่ต้องอาศัยน้ำฝนแต่เพียงอย่างเดียว ดังนั้น ฤดูกาลที่เหมาะสมในการปลูกข้าวไร่คือฤดูฝน เกษตรกรใช้วิธีการสังเกตการเริ่มต้นฤดูฝนในปีก่อน ๆ ประกอบกับการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เพื่อหาช่วงฤดูเริ่มต้นของการปลูกข้าวไร่ ปริมาณของฝนแต่ละช่วงระยะเวลาจึงมีความจำเป็นมากในการปลูกข้าวไร่ในประเทศไทย ฤดูฝนจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม แต่ปริมาณฝนที่ตกแต่ละปีไม่แน่นอน บางปีฝนอาจตกเร็วและมีช่วงระยะฝนทิ้งช่วงซึ่งจะมีผลทำให้การปลูกข้าวไร่ไม่ได้ผลผลิตดีเท่าที่ควร จึงจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนและการแพร่กระจายของฝนมีความสำคัญต่อการปลูกข้าวไร่อย่างยิ่ง

3) การเตรียมดิน

ดินที่เหมาะสำหรับการปลูกข้าวไร่ควรเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวที่มีอินทรียวัตถุและมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง การเตรียมดินในการปลูกข้าวไร่คล้ายคลึงกับการเตรียมดินปลูกพืชไร่อื่น ๆ การไถควรให้มีความลึก 5-6 นิ้ว เพื่อให้ดินพลิกกลับและมีการตากดินเพื่อ

ทำลายเชื้อโรคหรือทำลายเมล็ดวัชพืช และจะต้องมีการไถพรวนเพื่อย่อยดินทำให้ดินร่วนโปร่ง ให้มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก การเตรียมดินที่ดีเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยในการลดจำนวนวัชพืชในแปลงข้าวไร่

4) การใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยประกอบด้วยธาตุอาหารพืชที่ต้นข้าวจำเป็นต้องใช้เพื่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะดินนาที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจะต้องมีการใส่ปุ๋ยหรือเพิ่มธาตุอาหารลงไปในดินนั้น เพื่อให้ข้าวมีการแตกกอและให้ผลผลิตสูง ธาตุอาหารที่ข้าวต้องการมากและอาจจำเป็นต้องใส่ลงไปในดินในรูปของปุ๋ยได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

2.1.2.1 วิธีการปลูกข้าวไร่

การปลูกข้าวไร่โดยทั่วไปมีอยู่ 3 วิธี (ริเรืองรอง รัตนวิไลสกุล, 2551)

1) การปลูกแบบหยอด เป็นวิธีที่ชาวไทยภูเขาและเกษตรกรใช้ปลูกข้าวไร่กันเป็นส่วนมาก โดยใช้ไม้แหลมกระทุ้งดินเป็นหลุม ๆ ลึกประมาณ 1-2 นิ้ว แล้วหยอดเมล็ดข้าวลงไปในหลุม หลุมละ 5-10 เมล็ด แล้วกลบเมล็ดในหลุมด้วยดินโดยใช้เท้าเหยียบ ระยะระหว่างหลุมไม่แน่นอนจะขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ แต่ปัจจุบันพบว่า ระยะระหว่างแถวและต้นที่ใช้กันอยู่คือ ประมาณ 20-30 เซนติเมตร ในสภาพพื้นที่สูงจะปลูกโดยการใช้จอบขุดเป็นหลุมแล้วหยอดเมล็ดลงไป การปลูกแบบนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์ปลูกไร่ละประมาณ 6-8 กิโลกรัม หลังจากปลูกแล้ว 7 วัน จะต้องตรวจดูการงอกของเมล็ดโดยเฉพาะการปลูกแบบหยอดเป็นหลุม หากพบว่าหลุมใดไม่งอกก็ต้องปลูกซ่อมทันที

2) การปลูกแบบโรยเป็นแถว วิธีนี้จะต้องมีการเตรียมดินเป็นอย่างดีแล้วใช้คราดหรือไม้ขีดดินเป็นร่องเพื่อโรยเมล็ดในร่องทันที แต่ละร่องห่างกัน 25-30 เซนติเมตร การโรยเมล็ดลงในร่องจะต้องโรยให้สม่ำเสมอ วิธีนี้ใช้เมล็ดพันธุ์ปลูกไร่ละประมาณ 10-15 กิโลกรัม

3) การปลูกแบบหว่าน การปลูกวิธีนี้ต้องเตรียมดินให้ดีเช่นกัน ปกติใช้เมล็ดพันธุ์หว่านประมาณ 15 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ต้องมีการไถกลบหลังจากหว่านเมล็ดอีกครั้งเพื่อจะได้ฝังเมล็ดลงในดิน

2.1.2.2 การดูแลรักษาข้าวไร่

การปลูกข้าวไร่ให้ได้ผลผลิตสูง นอกจากการเลือกใช้พันธุ์ดีแล้วการดูแลรักษาก็เป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งการปลูกข้าวไร่โดยทั่วไปขาดการดูแลเอาใจใส่เท่าที่ควรจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตของข้าวไร่ต่ำ ดังนั้นเพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตที่ดีจะต้องหมั่นคอยดูแลรักษาและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นดังนี้ (วราภรณ์ คำบุญเรือง, 2532)

1) การกำจัดวัชพืช ก่อนปลูกข้าวหากมีการเตรียมดินที่ดีจะทำให้มีวัชพืชเจริญเติบโตขึ้นมาแข่งขันกับข้าวไร่น้อย แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องตรวจดูและกำจัดวัชพืชหลังการปลูกแล้วประมาณ 20 วัน ซึ่งระยะนี้อาจกำจัดโดยการใช้จอบถากหรือดายหญ้าหรือถอนด้วยมือ และเมื่อข้าวมีอายุ 50 วัน ควรมีการกำจัดวัชพืชอีกครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) การป้องกันโรคและแมลงศัตรู เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกันในแต่ละปี จึงทำให้การระบาดของโรคและแมลงศัตรูไม่แน่นอน เกษตรกรจะต้องหมั่นตรวจดูแปลงที่ปลูกข้าวไร่ เพื่อจะได้หาวิธีป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูที่เกิดขึ้น สำหรับโรคข้าวไร่ที่พบมากคือโรคไหม้ (Rice blast) และถ้าหากเป็นรุนแรงทำให้ผลผลิตลดลงหรือเก็บเกี่ยวไม่ได้ การใช้สารเคมีในการป้องกันทำได้ยาก เนื่องจากมีราคาสูงและเมื่อใช้แล้วเกิดการตกค้าง จึงควรใช้พันธุ์ต้านทานจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด ตัวอย่างข้าวไร่พันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคไหม้ได้แก่ กู้เมืองหลวง ดอกพะยอม เจ้าขาวเชียงใหม่ เจ้าลีซอสันป่าตอง เจ้าฮื้อ ขาวโปร่งไคร้ เป็นต้น (กรมการข้าว, 2556)

3) การป้องกันศัตรูพืชอื่น ๆ การปลูกข้าวไร่ส่วนมากปลูกในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลจากบ้านที่อยู่อาศัยซึ่งจะมีนก หนู กระต่ายป่า ฯลฯ คอยทำลายในช่วงระยะข้าวแตกกอ ดังนั้น ต้องคอยดูแลป้องกันสัตว์ศัตรูเหล่านี้

2.1.2.3 การเก็บเกี่ยวข้าวไร่

วิธีการเก็บเกี่ยวข้าวไร่ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ที่ปลูก ข้าวไร่จะสามารถเก็บเกี่ยวได้หลังจากออกดอกแล้วประมาณ 30 วัน แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วย กล่าวคือหากดินมีความอุดมสมบูรณ์ดี การสุกของรวงก็จะช้าออกไปอีก ในกรณีของพันธุ์พื้นเมืองอาจสังเกตจากการแห้งของใบธง ถ้าหากใบธงแห้งลงมาประมาณครึ่งหนึ่งของใบก็เก็บเกี่ยวได้ ถ้าหากเก็บเกี่ยวช้าไปกว่านี้จะทำให้เมล็ดร่วง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ผลผลิตลดลง สำหรับเครื่องมือที่ใช้เก็บเกี่ยวข้าวใช้เคียวเช่นเดียวกับข้าวนาสวน (Lowland rice) แต่มีชาวไทยภูเขาเก็บเกี่ยวข้าวโดยใช้ทั้งเคียวและแกระ เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วเกษตรกรนิยมตากบนตอซังหรือวางกองรวมกันไว้ในแปลงประมาณ 3-5 วัน การนวดทำโดยใช้ฟาดกับกระบุงไม้ไผ่ขนาดใหญ่หรือผ้าใบ หลังจากนั้นนำมาฝัดทำความสะอาดแล้วจึงนำไปเก็บรักษาไว้ในยุ้งฉาง (วราภรณ์ คำบุญเรือง, 2532)

2.1.3 ลักษณะและการเจริญเติบโตของข้าวไร่

ต้นข้าวเจริญเติบโตทั้งทางลำต้นและทางการสืบพันธุ์ โดยมีระยะเวลาของการเจริญเติบโตทั้ง 2 ทาง ดังนี้

2.1.3.1 การเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative growth phase)

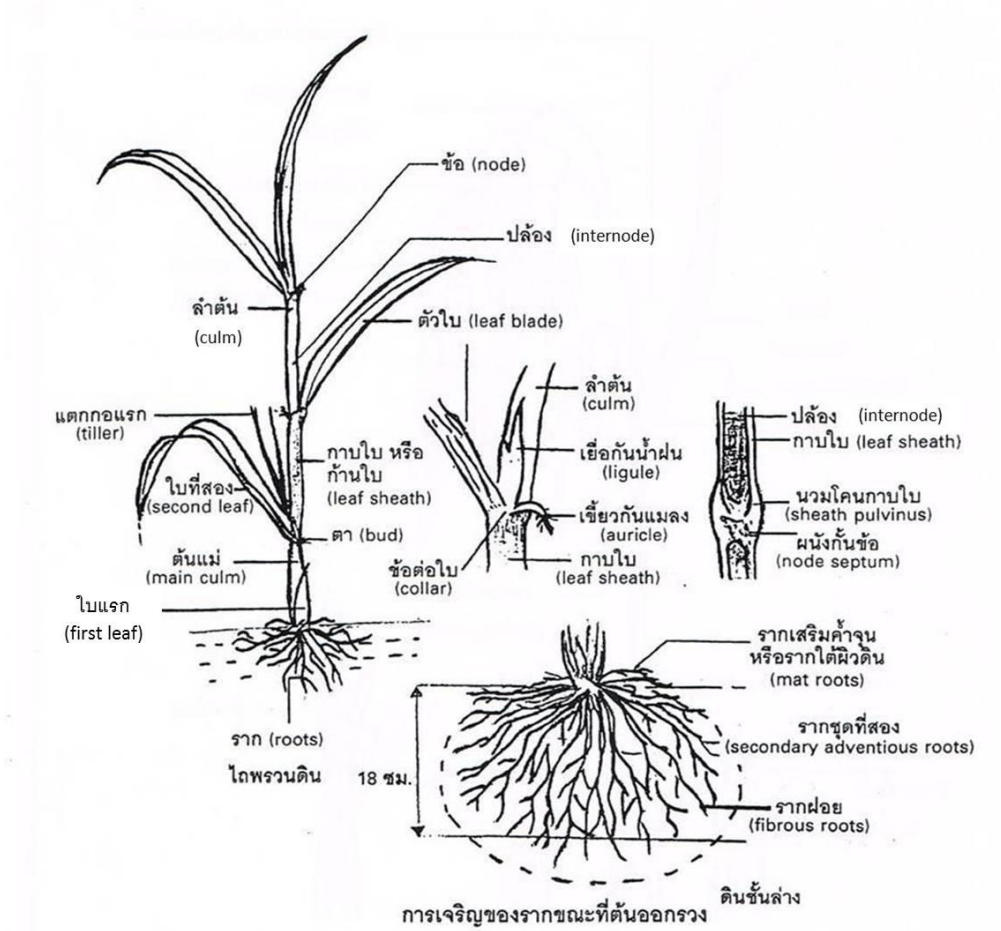
การเจริญเติบโตทางลำต้นเริ่มตั้งแต่ต้นข้าวงอกจากเมล็ดข้าวจนถึงวันที่เริ่มสร้างรวงอ่อนหรือช่อดอก (Floral initiation) ใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยต้นข้าวจะสร้างราก ลำต้น ใบและการแตกกอ ทำการสะสมอาหารไว้สำหรับการเจริญเติบโตในระยะสืบพันธุ์ ซึ่งการเจริญเติบโตทางลำต้นสังเกตได้ (ประพาส วีระแพทย์, 2523; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ดังนี้

1) ราก (root) รากข้าวเป็นระบบรากฝอย (fibrous) ที่ประกอบด้วยรากย่อย (rootlets) และรากขนอ่อน (root hairs) การเจริญเติบโตของรากเป็นระยะ คือ รากชุดแรก (seminal roots) จะแตกแขนงไม่มาก มีอายุไม่นานหลังจากการงอก รากชุดเสริมชุดที่สอง (secondary root หรือ adventitous roots) เป็นรากที่เกิดจากข้อใต้ระดับผิวดินของต้นข้าวที่อ่อน

แตกแขนงอย่างอิสระ ต่อมาเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตมากขึ้น จะมีรากอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า รากเสริม ชนิดค้ำจุน หรือรากฝังดิน (mat roots) ซึ่งเกิดจากข้อเหนือระดับผิวดิน บางส่วนจะงอกลงดินแต่บางส่วนจะกระจายไปในแนวระดับ รากจะทำหน้าที่ยึดลำต้นและดูดน้ำและแร่ธาตุที่ละลายในดินลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวผ่านลำต้นและหน่อ อาหารเหล่านี้จะถูกส่งไปที่ใบเพื่อเปลี่ยนเป็นแป้ง โดยวิธีการที่เรียกว่า การสังเคราะห์แสง (รูปที่ 2.1)

2) ลำต้น (culm) เกิดจากชุดของข้อ (node) และปล้อง (internode) ที่ต่อเรียงสลับกันโดยมีผนังกั้นข้อ (node septum) กั้น มีนวมโคนกาบใบ (sheath pulvinus) หุ้มอยู่ จึงมีลักษณะบวม ใหญ่ขึ้น บริเวณข้อจะเป็นที่เกิดของใบและตา (bud) ตาบนต้นข้าวโดยเฉพาะที่ข้อถี่บริเวณโคนต้นจะเจริญเติบโต แตกกอ (tiller) เป็นต้นใหม่ที่มีต้น ใบ รากและมีรวงอยู่ด้วย ความยาวของปล้องต้นข้าวนั้นจะแตกต่างกัน จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว โดยปกติจะมีประมาณ 25 -30 ปล้อง แต่จะมีใบติดอยู่ที่ต้นให้เห็นเพียง 5-7 ใบ ปล้องที่อยู่โคนต้นจะสั้นกว่าและหนากว่าปล้องซึ่งอยู่ที่ปลายของลำต้น นอกจากนี้ปล้องซึ่งอยู่ที่โคนจะมีขนาดโตกว่าปล้องที่อยู่ตรงส่วนปลาย ยกเว้นข้าวขึ้นน้ำที่ต้องยืดปล้องให้สูงเมื่อมีน้ำลึกซึ่งมีขนาดปล้องยาวมากและปล้องที่อยู่ใกล้ผิวน้ำจะโตกว่าที่อยู่ลึกลงไปในน้ำ ความยาวของปล้องจะแตกต่างไปตามชนิดพันธุ์ข้าว พันธุ์ต้นสูงจะมีปล้องยาวกว่าพันธุ์ต้นเตี้ย ต้นข้าวถูกห่อหุ้มด้วยกาบใบ จึงทำให้ไม่สามารถมองเห็นลำต้นหรือปล้องของต้นข้าวในระยะแตกกอ แต่ต้นข้าวมีการยืดลำต้นสูงขึ้นในระยะออกรวงจนสามารถมองเห็นลำต้นได้ พันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความสามารถในการแตกกอไม่เท่ากัน ข้าวที่ปลูกในดินดีและปลูกห่างจะแตกกอมาก ลำต้นจะทำหน้าที่พยุงใบ ดอก และรวง โดยเฉพาะให้ใบชูออกรับแสงแดด เพื่อสร้างอาหารจากการสังเคราะห์แสง (รูปที่ 2.1)

3) ใบ (leaf) ข้าวเป็นธัญพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) ใบข้าวจึงเป็นใบแท้ (foliage leaf) ชนิดใบเดี่ยว (single leaf) เพราะมีลักษณะเป็นแผ่นแบน บาง และยาว เกิดจากข้อของลำต้น เรียงสลับกันเป็นสองแนว ประกอบด้วยตัวใบ (leaf blade) กาบใบหรือก้านใบ (leaf sheath) ข้อต่อใบ (collar) หูใบ (stipule) หรือเยื่อกั้นน้ำฝน (ligule) และเขี้ยวกันแมลง (auricle) ใบข้าวใบแรกที่เกิดจากต้นแม่ (main culm) จะเป็นใบที่ไม่สมบูรณ์มีลักษณะคล้ายกาบใบ ส่วนใบธงจะเป็นใบข้าวที่อยู่บนสุดของต้นข้าว ใต้ช่อดอกข้าวหรือรวงข้าว ในระยะที่ข้าวออกดอกผสมเกสรสร้างรวงและเมล็ดนั้น จะได้รับอาหารจากใบธงและใบล่างถัดมาจากใบธงอีก 2-3 ใบ เป็นส่วนใหญ่ เพราะใบอื่น ๆ จะแก่และปรุงอาหารไม่ได้เกือบหมดแล้ว หน้าที่หลักของใบก็คือ การปรุงอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์แสง การคายน้ำและการหายใจ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ลักษณะและส่วนประกอบของต้นข้าว

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547

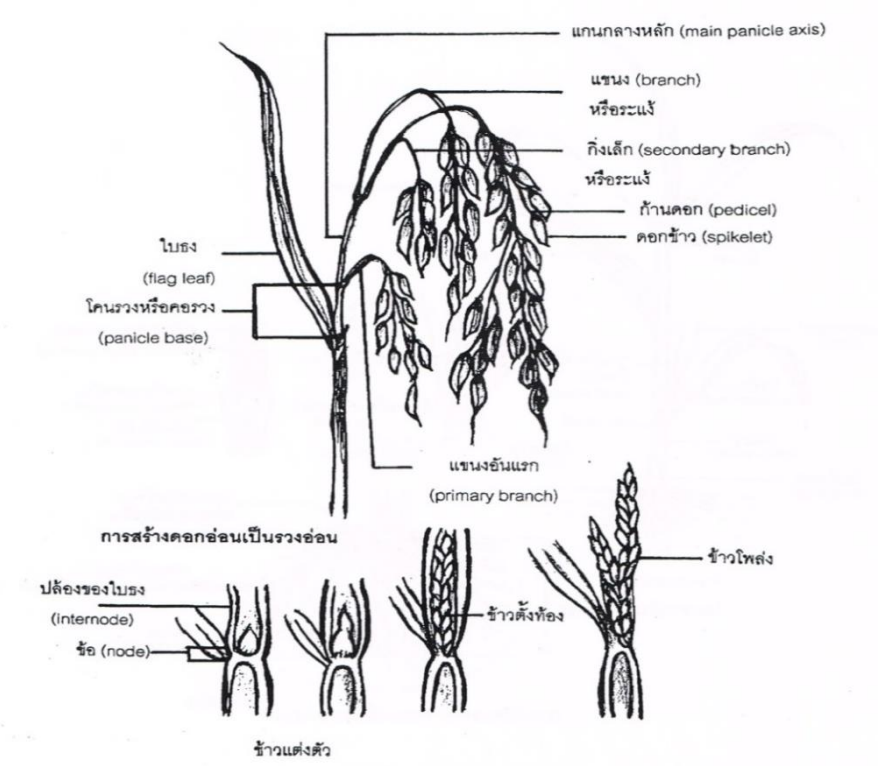
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.3.2 การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth phase)

การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์เริ่มตั้งแต่วันที่ข้าวเริ่มสร้างดอกอ่อน จนถึงวันที่รวงเริ่มโผล่ออกจากใบธง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30-40 วัน ระยะแรก เรียกว่า ข้าวแต่งตัว ต่อมารวงอ่อนมีขนาดใหญ่พอสมควร ทำให้ต้นข้าวอ้วน กลม ป่องออก เรียกว่า ข้าวตั้งท้อง ระยะที่รวงข้าวเริ่มโผล่ออกจากลำต้น เรียกว่า ข้าวโพล่ง ต้นข้าวจะสร้างส่วนต่าง ๆ ของช่อดอกหรือรวงข้าว (panicle) และดอกข้าว (spikelet) (รูปที่ 2.2) (ประพาส วีระแพทย์, 2523)

1) ช่อดอก (รวงข้าว) ประกอบด้วย แขนงอันแรก (primary branch) ของช่อดอก เริ่มจากข้อด้านบนของคอรวง (panicle base) แขนงต่อไปจะเกิดจากแกนกลาง (panicle axis) ของรวง ซึ่งมี 2 แบบ คือ แกนกลางหลัก (main panicle axis) และแกนกลางทั่วไป (panicle axis) ไปจนถึงปลายรวง บนแขนงจะแตกกิ่งเล็ก (secondary branch) ซึ่งแต่ละกิ่งจะมีดอกข้าว ความถี่

ห่างของแขนงและกิ่งแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ แขนงและกิ่งเล็กเรียกอีกชื่อว่า ระแง้ ถ้าข้าวพันธุ์ใดมีระแง้ถี่แสดงว่ามีดอกอยู่บนช่อดอกหรือบนรวงจำนวนมากกว่าข้าวพันธุ์ที่มีระแง้ห่าง

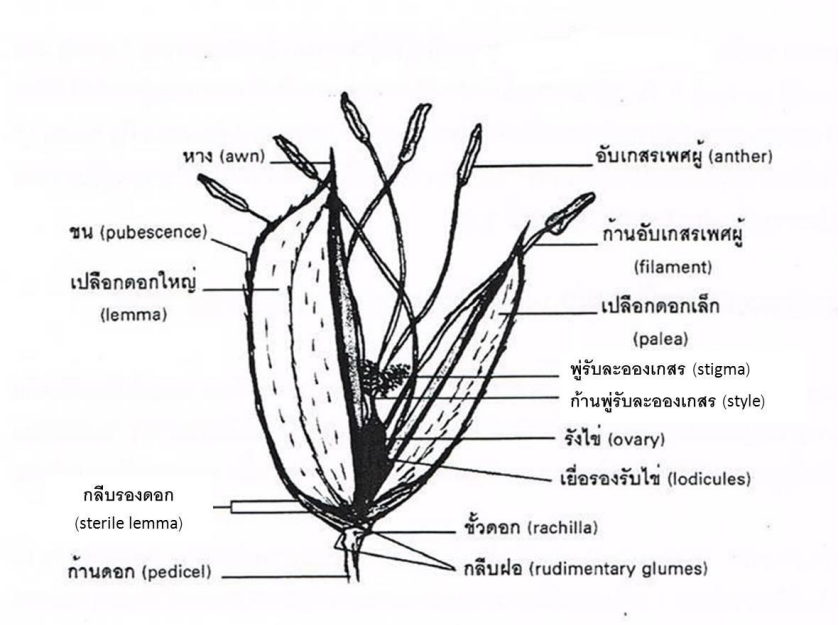


รูปที่ 2.2 ลักษณะและส่วนประกอบของรวงข้าว

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547

2) ดอกข้าว หมายถึง ส่วนที่มีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียสำหรับผสมพันธุ์ ดอกข้าวประกอบด้วยเปลือกนอกสองแผ่นประสานกันเพื่อห่อหุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ เปลือกนอกแผ่นใหญ่เรียกว่า lemma ส่วนเปลือกนอกแผ่นเล็กเรียกว่า palea ทั้งสองเปลือกนี้ภายนอกอาจมีขนหรือไม่มีขนก็ได้ ที่ปลายสุดของ lemma มีลักษณะเป็นปลายแหลมยื่นออกมา เรียกว่า หาง (awn) เปลือกดอกเป็นอวัยวะที่ใหญ่ที่สุดของดอกข้าว ทำหน้าที่ป้องกันและห่อหุ้มดอกไว้ข้างใน ดอกข้าวมีความกว้างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 5-10 มิลลิเมตร เป็นดอกสมบูรณ์แบบ (perfect flower) คือ มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ทั้ง 2 เพศ คือ เกสรตัวผู้ (stamen) และเกสรตัวเมีย (pistel) อยู่ภายในดอกเดียวกัน แต่เป็นดอกชนิดที่มีอวัยวะสำคัญของดอกไม่ครบ (incomplete flower) คือ ไม่มีกลีบเลี้ยง (sepal) และไม่มีกลีบดอก (petal) ห่อหุ้มดอกไว้ ดอกข้าวสามารถผสมพันธุ์ได้ด้วยตนเอง (self-pollinated plant) เพศผู้มีอับเกสรเพศผู้ (anther) 6 อัน อยู่บนก้านอับเกสร (filament) ภายในอับเกสรเพศผู้จะเต็มไปด้วยละอองเกสร (pollen grain) ขนาดเล็ก เพศเมียมีพู่รับละอองเกสร (stigma) 2 อัน และรังไข่ (ovary) 1 รัง ซึ่งเชื่อมกันด้วยก้านพู่รับ

ละอองเกสร (style) ก้านนี้มีขนาดสั้น เมื่อดอกข้าวบานปลายของพู่รับละอองเกสรจะอยู่ประมาณกึ่งกลางของดอกข้าว (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ลักษณะและส่วนประกอบของดอกข้าว (spikelet)

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547

2.1) การพัฒนาของดอกข้าวเป็นเมล็ด (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536; จำรัส โปร่งศิริ, 2534; ประสูติ สิทธิสรวง, 2524)

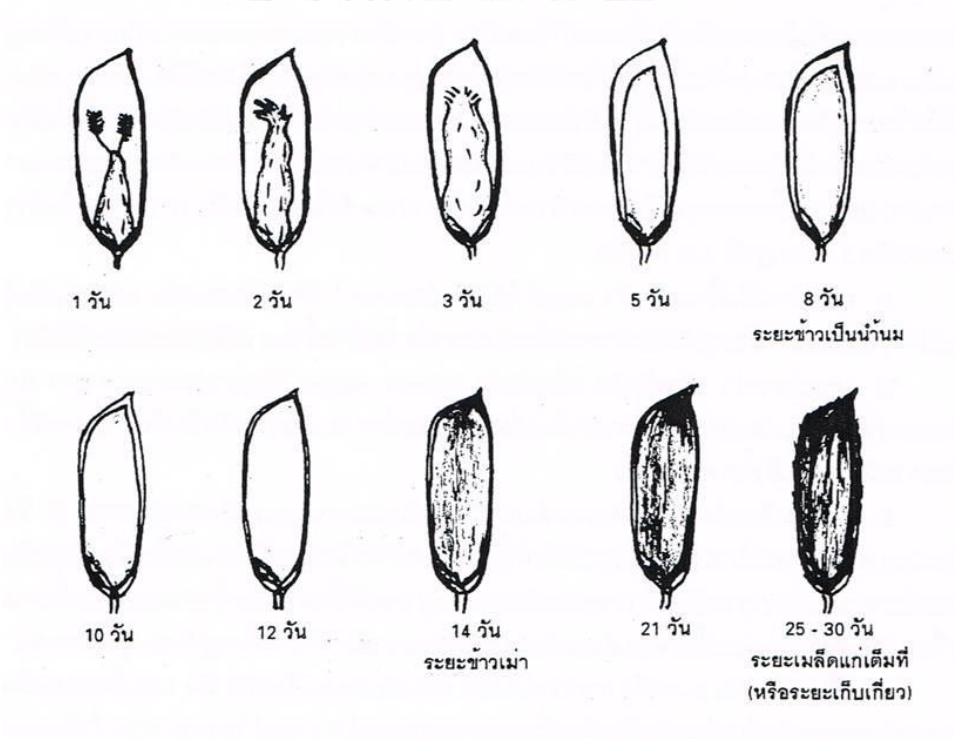
กระบวนการของดอกข้าว คือ การที่เมื่อถึงกำหนดอากาศจะสดใสหรือไม่ดอกก็จะบาน เปลือกดอกใหญ่และเปลือกดอกเล็กเปิดอ้าออกเนื่องจากแรงดันของเยื่อรองรังไข่ (lodicules) จำนวน 2 อันที่ฐานของรังไข่ โดยแต่ละดอกอาจใช้เวลาบานเป็นเวลานานระหว่าง 6 นาทีถึงมากกว่า 60 นาที ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และเมื่ออับละอองเกสรปล่อยละอองเกสรออกมาแล้วเปลือกดอกทั้งสองก็จะเปิด

การถ่ายละอองเกสร (pollination) คือ การถ่ายละอองเกสร (Anther) ปล่อยละอองเกสร (Pollen grain) ออกไปจากบนพู่รับละอองเกสรโดยการถ่ายละอองเกสร อาจเกิดขึ้นก่อนหรือหลังดอกบานเล็กน้อย ดอกข้าวจะบานหลังจากรวงโผล่พ้นกาบใบธง 1-2 วัน โดยดอกข้าวจะเริ่มบานจากปลายช่อดอกและจะทยอยบานจากปลายช่อสู่โคนช่อดอกและใช้เวลาประมาณ 7 วันจึงจะบานครบทุกดอก ระยะเวลาตั้งแต่การถ่ายละอองเกสรจนถึงการผสมระหว่างหน่วยสืบพันธุ์ (Fertilization) ใช้เวลาประมาณ 12-24 ชั่วโมง หลังการผสมระหว่างหน่วยสืบพันธุ์ รังไข่ก็จะพัฒนาหรือเจริญเติบโตไปเป็นผลหรือเมล็ด ส่วนเซลล์ไข่ที่ได้รับการผสมก็จะพัฒนาไปเป็นต้นอ่อน (Embryo) หรือจมูกข้าวการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าว แบ่งเป็น 3 ระยะ (รูปที่ 2.4) ดังนี้

2.2.1) ระยะข้าวเป็นน้ำนม (milk stage) คือระยะเวลาประมาณ 7-8 วัน หลังการผสมระหว่างหน่วยสืบพันธุ์ ลักษณะภายในของเมล็ดข้าวจะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม เปลือกของเมล็ดมีสีเขียว

2.2.2) ระยะข้าวเม่า หรือเป็นไต หรือเป็นโด (dough stage) คือระยะเวลาประมาณ 14-21 วัน หลังผสมเกสร เปลือกใหญ่และเปลือกเล็กจะเริ่มแข็ง มีสีเขียวอมน้ำตาล เนื้อในเมล็ดซึ่งเป็นน้ำนมจะมีน้ำน้อยลง เหนียวและแข็งขึ้น ตามลำดับ

2.2.3) ระยะเมล็ดแก่เต็มที่ หรือระยะเก็บเกี่ยว (maturation stage) คือระยะเวลาประมาณ 30 วัน หลังผสมเกสร เมล็ดจะมีโครงสร้างสมบูรณ์เต็มที่ ทั้งขนาด ความแข็งของเปลือกและสีเปลือกที่สุกเต็มที่จะเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสีน้ำตาลทองเป็นส่วนใหญ่ อาจมีสีน้ำตาลเข้ม น้ำตาลม่วง หรือน้ำตาลดำ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ส่วนเนื้อของเมล็ดจะมีสีขาว และแข็ง ซึ่งจะแข็งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวเช่นกัน



รูปที่ 2.4 การพัฒนาของดอกข้าวเป็นเมล็ด

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547

2.1.4 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของข้าวไร่

1) ปริมาณน้ำฝน

ในการปลูกข้าวไร่ต้องอาศัยปริมาณน้ำฝนที่ตกอย่างสม่ำเสมอ ติดต่อกันมากกว่าการปลูกข้าวนาสวนในที่ราบลุ่มธรรมดา เพราะสภาพการปลูกข้าวไร่มักปลูกบนที่สูง ที่ไหล่เขา หรือที่ลาดเชิงเขา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ลาดเอียงไม่มีการทำคันนาไว้เพื่อกักเก็บน้ำ ข้าวไร่จะต้องอาศัยน้ำฝนที่ตกลงมาทำความชุ่มชื่นให้แก่ดิน ดังนั้น ปริมาณน้ำฝนที่ตก และการกระจายตัวของฝนที่ตกอย่างสม่ำเสมอในจำนวนที่มากพอสมควรเท่านั้น จึงจะเป็นประโยชน์ต่อข้าวไร่

2) ปริมาณแสงแดด

แสงแดดเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้มีการสังเคราะห์แสงของพืช เพราะต้นข้าวสังเคราะห์แสงเฉพาะตอนกลางวันที่มีแสงแดดเท่านั้น แต่เนื่องจากข้าวไร่ต้องปลูกเฉพาะในฤดูฝน ซึ่งในฤดูฝนมีเมฆมากทำให้บังแสงแดดทำให้ปริมาณแสงแดดส่องผ่านมาถึงพุ่มใบพืชน้อย และส่งผลกระทบถึงผลผลิตโดนเฉพาะในช่วงระยะ reproductive ทำให้ขนาดหรือปริมาณของรวงและเมล็ดลดต่ำลง และจากผลการศึกษาการปลูกข้าวไร่ ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า สภาพของดอยจะปกคลุมด้วยเมฆฝนและมีฝนตกอยู่ตลอดเวลาในช่วงฤดูปลูกข้าวไร่วันหนึ่งจะมีช่วงแสงแดดรวมกันประมาณ 3-4 ชั่วโมง ข้าวไร่ที่ทดลองจะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นช้า อายุออกดอกและเก็บเกี่ยวจะยาวนานออกไปประมาณ 15-20 วัน ต้นจะเตี้ย และให้ผลผลิตต่ำ (ทรงเชาว์ อินสมพันธ์, 2531)

3) ความสั้น-ยาวของช่วงแสงในตอนกลางวัน

พันธุ์ข้าวไร่ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ข้าวที่มีความไวต่อช่วงแสงสั้นในตอนกลางวัน ความสั้นของช่วงแสงแดดในตอนกลางวันจะเป็นผลให้ต้นข้าวออกดอกออกรวง ใน 1 วันมี 24 ชั่วโมง ซึ่งกลางวันและกลางคืนสั้นยาวไม่เท่ากันทุกวัน

4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต การออกดอก และการผสมเกสรของข้าว หากอุณหภูมิในระหว่างการพัฒนาละอองเกสรเพศผู้สูงเกินไปทำให้ละอองเกสรพัฒนาไม่สมบูรณ์จึงไม่สามารถผสมกับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียได้ รังไข่ก็จะไม่พัฒนาเป็นผล เมล็ดข้าวจะลีบ อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะต่าง ๆ มาก อุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวคือ 25 องศาเซลเซียส ข้าวไร่ไม่ชอบอากาศที่มีอุณหภูมิสูงมากจนเกินไปขณะที่ออกดอก ในขณะเดียวกันข้าวไร่ก็ไม่ชอบอุณหภูมิที่ต่ำหรือหนาวเย็นมากจนเกินไป เพราะอากาศหนาวเย็นจะทำให้ต้นข้าวไร่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นช้า ออกดอกและเก็บเกี่ยวช้า ลำต้นจะเตี้ย เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวลีบจะเพิ่มมากขึ้นถ้าหากว่าข้าวไร่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิเย็นมากขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าอากาศเย็นจะทำให้การผสมเกสรของดอกข้าวเกิดขึ้นได้น้อยเหมือนกับอุณหภูมิที่สูงมาก (ชัยฤกษ์ มณีพงษ์, 2517)

5) ลม

ลมที่พัดอ่อน ๆ ทำให้อากาศถ่ายเทดี ทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตดี ช่วยให้ได้ผลผลิตข้าวสูงเพราะอากาศที่พัดผ่านไปมา นำแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อต้นข้าวและต่อต้นพืชทุกชนิดในการสังเคราะห์แสง คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลมที่พัดแรงทำให้ต้นข้าวล้ม เมล็ดข้าวร่วงหล่น ทำให้ดอกข้าวแห้งเป็นผลทำให้เมล็ดลีบและยังทำให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคแมลงศัตรูข้าว ทำให้เกิดความเสียหายมากขึ้นเพราะลมพัดพาไปได้เร็วและแรง (เมธินี ณ เชียงใหม่ และคณะ, 2532)

2.1.5 ธาตุอาหารหลักของข้าว

1) ไนโตรเจน

ไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบอยู่ในกรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์ เอ็นไซม์ โคเอ็นไซม์ คลอโรฟิลส์ และสารประกอบสำคัญในพืชอีกมากมายหลายชนิด ไนโตรเจนในใบพืชประมาณ 70% อยู่ในคลอโรพลาสท์ และคาดว่าในพืชที่มีใบมาก ๆ ประมาณครึ่งหนึ่งของไนโตรเจนทั้งหมดจะอยู่ในออร์แกเนลส์ (ยงยุทธ โอสถสภา และสุรเดช จินตกานนท์, 2521) ไนโตรเจนโดยทั่วไปอยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) ไนโตรเจนในดินที่เป็นประโยชน์ประมาณ 95-99% จะอยู่ในรูปอินทรีย์ทั้งในเศษพืชและสัตว์ในรูปอินทรีย์วัตถุที่ค่อนข้างอยู่ตัว หรือในจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ไนโตรเจนรูปนี้ไม่สามารถเป็นประโยชน์โดยการกระทำของจุลินทรีย์ ไนโตรเจนอินทรีย์จำนวนน้อยอาจอยู่ในสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เช่น ยูเรียที่อาจเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ เป็นต้น ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชส่วนใหญ่จะเป็นอนินทรีย์ เช่น รูป NH_4^+ และ NO_3^- เป็นต้น ไนโตรเจนทั้งสองรูปนี้รากพืชจะดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (วิจิตร วังใน, 2552)

พืชที่ขาดไนโตรเจน ใบจะมีสีเขียวจางหรือสีเหลือง ใบแก่เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว การขาดไนโตรเจนจะเกิดขึ้นที่ใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างของต้นมากกว่าใบยอด และใบจะร่วงก่อนกำหนด พืชจะมีการเจริญเติบโตช้า ลำต้นมีทรงพุ่มเล็ก การแตกแขนงช้า ให้ผลผลิตต่ำคุณภาพลดลง พืชที่ได้รับไนโตรเจนมากเกินไปมีการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบมากทำให้เกิดอาการเฝือใบ สร้างดอกผลน้อยลง มีลำต้นอ่อนแอ ล้มง่าย ความต้านทานโรคและแมลงลดลง และให้ผลผลิตต่ำ (อภิพรรณ พุกภักดี, 2541) ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตและการแตกกอของข้าว เป็นองค์ประกอบของเม็ดสีในเซลล์พืช การขาดไนโตรเจนพบได้ทั่วไป โดยเฉพาะในดินนาเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หรือในดินที่ขาดการจัดการที่เหมาะสม เป็นต้น ข้าวที่ขาดไนโตรเจนจะมีใบแก่หรือบางครั้งใบทั้งหมดเป็น สีเขียวอ่อน ปลายใบเหลือง ถ้าข้าวขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรงใบแก่จะตายเหลือเพียงใบอ่อน ใบแคบ สั้นและตั้งตรง มีสีเขียวปนเหลือง ต้นข้าวแคระแกรน แตกกอน้อย มีเมล็ดดีต่อรวงลดลง ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง

1.1) การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดิน (อภิพรรณ พุกภักดี, 2541)

การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเกิดจากปฏิกิริยาทางชีวภาพ (biological reaction) โดยมีเอนไซม์หรือจุลินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้องอยู่ด้วย การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1.1.1) Aminization เป็นการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในสารอินทรีย์รูปต่าง ๆ ให้เป็นเอมีน ($R\text{-}NH_2$) หรือกรดอะมิโน

1.1.2) Ammonification เป็นการเปลี่ยนรูปของเอมีนไปเป็นรูปแอมโมเนียหรือเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+)

1.1.3) Nitrification เป็นการเปลี่ยนรูปของ NH_4^+ ให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-)

1.1.4) Denitrification เป็นกระบวนการรีดักชัน (reduction) เปลี่ยนรูปของ NO_3^- หรือ NH_4^+ ในดินไปเป็นแก๊ส N_2, N_2O และ NO

2) ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารจำเป็นของพืชเพราะเป็นส่วนหนึ่งของสารประกอบที่เป็นโครงสร้างหลักของพืชและเป็นตัวช่วยในการแปลงปฏิกิริยาชีวเคมีที่สำคัญจำนวนมากในพืช ธาตุฟอสฟอรัสมีความโดดเด่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการจับและเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นสารประกอบที่เป็นประโยชน์ในพืช หน้าที่สำคัญ 2 ประการ ของธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่มีต่อพัฒนาการและการผลิตพืชที่เป็นไปอย่างปกติ คือ เป็นส่วนประกอบที่จำเป็นที่สุดของ DNA ซึ่งเป็น “memory unit” ทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และยังเป็นส่วนประกอบของ RNA ซึ่งเป็นสารประกอบที่แปลรหัสพันธุกรรม DNA เพื่อสร้างโปรตีนและสารประกอบอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับโครงสร้างพืช สร้างเมล็ดและถ่ายโอนพันธุกรรม และฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นของ ATP ซึ่งเป็น “energy unit” ของพืช ATP ซึ่งถูกสร้างในขณะเกิดการสังเคราะห์แสงมีฟอสฟอรัสในโครงสร้างของมันและในกระบวนการตั้งแต่ต้นกล้าจนถึงการสร้างเมล็ดและโตเต็มวัย ดังนั้น ฟอสฟอรัสจึงจำเป็นต่อความแข็งแรงของพืชทุกชนิด ธาตุฟอสฟอรัสมีประโยชน์ในการกระตุ้นพัฒนาการของราก เพิ่มความแข็งแรงของลำต้น ช่วยในการสร้างดอกและการผลิตเมล็ด พืชผลแก่เร็วและสม่ำเสมอมากขึ้น (วิจิตร วังใน, 2552)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้คือ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} ฟอสฟอรัสในดินที่อยู่ในรูปของ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} จะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอนินทรีย์ของดินกลายเป็นรูปที่ไม่เป็นประโยชน์แก่พืช เรียกว่า การตรึงฟอสเฟต (P-fixation หรือ P-immobilization) โดยปกติในดินกรด เหล็กและอลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสกลายเป็นสารประกอบสลับซับซ้อนที่ละลายได้ยาก ส่วนในดินล่าง แคลเซียมและแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสกลายเป็นแคลเซียมและแมกนีเซียมฟอสเฟตที่ละลายได้ยาก ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินจึงเกิดขึ้นในช่วงpH ที่ใกล้เป็นกลางคือ 6.5-7.0 เท่านั้น เนื่องจากฟอสฟอรัสในดินมักทำปฏิกิริยากับดิน และถูกดูดซับอยู่ในดิน การเคลื่อนตัวของอนุมูลโมโน

ฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) จึงมีน้อยมาก ดังนั้น ฟอสฟอรัสจึงจัดเป็นธาตุเคลื่อนย้ายได้ยากในดิน ซึ่งตรงข้ามกับไนโตรเจน คุณสมบัตินี้จึงช่วยป้องกันมิให้มีการสูญเสียฟอสฟอรัสไปจากดินได้ง่าย

ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัส จะมีอาการแคระแกรน แตกกอน้อย ใบแคบ สั้น ตั้งตรงและมีสีเขียวเข้ม ลำต้น ผอมเรียว ข้าวจะชะงักการเจริญเติบโต จำนวนใบ จำนวนรวงและจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง ใบอ่อนสมบูรณ์ดีแต่ใบแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายในที่สุด ถ้าพันธุ์ข้าวที่ปลูกสามารถผลิต Anthocyanin ได้ ใบอาจเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือสีม่วง ในดินที่เป็นกรดการขาดฟอสฟอรัสมักจะเกิดร่วมกับเหล็กเป็นพิษ (อภิพรรณ พุกภักดี, 2541)

3) โพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักอีกตัวหนึ่งที่พืชต้องการในปริมาณมาก นับเป็นธาตุอาหารที่มีประจุบวก (แคทไอออน) ที่พืชดูดใช้เป็นปริมาณมากที่สุดในบรรดาแคทไอออนต่าง ๆ ความแตกต่างของโพแทสเซียมจากธาตุอาหารหลักสองตัวแรก (ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส) คือ โพแทสเซียมไม่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างเนื้อเยื่อพืช ดังเช่นที่ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโปรตีนและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิก แต่โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิยาและชีวเคมีในพืชนับตั้งแต่การสังเคราะห์แสง การหายใจ การลำเลียงสารประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์แสง การสร้างโปรตีนและน้ำมันในพืชและมีบทบาทในการคาตาไลซิสของเอนไซม์ต่าง ๆ ดังนั้น หากพืชขาดโพแทสเซียมจะทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง นอกจากนี้โพแทสเซียมยังมีอิทธิพลต่อโครงสร้างระดับอวัยวะพืชและเซลล์พืช เช่น เพิ่มการสร้างผนังเซลล์ (cell wall) ทำให้พืชต้านทานโรคดีขึ้นและช่วยเพิ่มเซลล์ที่เก็บสำรองอาหารที่สังเคราะห์ (แป้งและน้ำตาล) ในเมล็ดธัญพืช เป็นต้น (ปัทมา วิตยากร, 2543)

โพแทสเซียมในดินมีกำเนิดมาจากการสลายตัวของแร่ feldspar, mica และดินเหนียวพวก illite พบอยู่ในรูปสารละลายในดินมากกว่าฟอสฟอรัส รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ K^+ ที่ละลายเป็นอิสระและรูปของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K^+) ซึ่งถูกดูดซับอยู่รอบ ๆ อนุภาคดินเหนียว หากจะแบ่งโพแทสเซียมในดินออกเป็นรูปต่าง ๆ ตามความเป็นประโยชน์ต่อพืชอาจแบ่งได้ดังนี้ (อภิพรรณ พุกภักดี, 2541)

3.1) รูปที่เป็นประโยชน์ทันทีทันใด (readily available form) คือ รูปที่อยู่ในสารละลายดิน (soil solution K^+) รวมทั้งรูปที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งถูกดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคดินเหนียว (exchangeable K^+)

3.2) รูปที่เป็นประโยชน์ได้ช้า (slowly available form) คือ รูปที่ถูกตรึงอยู่ระหว่างแผ่นแร่ของอนุภาคดินเหนียวพวก illite, vermiculite และแร่ดินเหนียวชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะผลึกแบบ 2:1 ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากจะถูกปลดปล่อยออกมาเสียก่อน ปกติโพแทสเซียมในรูปนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ ชดเชยรูปที่ถูกพืชนำไปใช้

3.3) รูปที่ยังไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (relatively unavailable from) ได้แก่ รูปที่อยู่ในแร่พวก feldspar, mica และแร่อื่น ๆ เป็นแหล่งของโพแทสเซียมในดินในระยะยาวเพราะโพแทสเซียมจะถูกปลดปล่อยให้ละลายออกมาทีละน้อย โดยสารละลายกรดคาร์บอนิค

พืชที่ขาดโพแทสเซียมจะแสดงอาการโดยทั่วไป คือ ขอบใบโดยเฉพาะใบแก่ จะมีอาการแห้งตายและลุกลามไปสู่กลางใบ การสะสมแป้งและน้ำตาลน้อยลง ข้าวที่ขาดโพแทสเซียมจะทำให้มีใบขนาดเล็กแคบสีเขียวอมน้ำเงิน การแตกกอล่าช้าออกไป มีดวงคลอโรซิสเกิดกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบและต่อมาจะกลายเป็นแผลเนโครซิส แพร่ขยายตามแนวยาวของใบแก่ โดยเริ่มจากปลายใบและต่อมาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมแดง ในที่สุดใบจะกลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งตายเริ่มจากส่วนปลาย ใบอ่อนที่เกิดภายหลังมักจะมีสีเขียวอมเหลืองซีด ๆ อาการขาดโพแทสเซียมในข้าว รู้จักในชื่อ “grey speck” รากของต้นข้าวที่ขาดโพแทสเซียมจะมีพลังออกซิไดส์จะลดลง (วิจิตร วังใน, 2552)

2.1.6 ถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ (biochar) คือ วัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอนผลิตจากการให้ความร้อนมวลชีวภาพ (biomass) ผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมาก หรือเรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ที่อุณหภูมิมากกว่า 300 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของถ่านชีวภาพ ประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และขี้เถ้า แต่องค์ประกอบของถ่านชีวภาพจะเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาทำถ่านชีวภาพ ถ่านชีวภาพ (biochar) มีความหมายแตกต่างจากถ่านทั่วไป (charcoal) ตรงจุดมุ่งหมายของการใช้ประโยชน์ กล่าวคือ ถ่านทั่วไป คือ ถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ขณะที่ถ่านชีวภาพ คือ ถ่านที่ใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บคาร์บอนลงดินและปรับปรุงดิน (อรสา สุกสว่าง, 2552) ถ่านชีวภาพประกอบด้วยอินทรีย์คาร์บอนที่คงทนต่อการย่อยสลาย จึงช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ ดังนั้น การปรับปรุงดินด้วยถ่านในปริมาณที่เหมาะสมและกระทำอย่างกว้างขวาง อาจช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง (อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, 2552)

2.1.6.1 การผลิตถ่านชีวภาพ

1) วัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพ

วัตถุดิบซึ่งสามารถนำมาผลิตถ่านชีวภาพได้ ได้แก่ เศษไม้ ซังข้าวโพด แกลบ มูลสัตว์ และเศษของเหลือทิ้งอื่น ๆ จากการเกษตรกรรม

2) การผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

ถ่านชีวภาพผลิตโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการสลายตัวของสารด้วยความร้อนในสภาวะไร้อากาศหรืออับอากาศ การเผาไหม้ลักษณะนี้จะทำให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีคุณลักษณะพิเศษหลายประการ เช่น มีรูพรุนสูง ไม่มีสารพิษจำพวกน้ำมันดิบ หรือมีน้อยมาก ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการเผา นอกจากนี้กระบวนการเผาถ่านชีวภาพยังได้ ผลพลอยได้คือน้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) (Food and agriculture organization of united nation (FAO), 2009)

กระบวนการไพโรไลซิส สามารถแบ่งประเภทตามอัตราการให้ความร้อนชีวมวลได้ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow pyrolysis) และกระบวนการ

ไพโรไลซิสอย่างเร็ว (Fast pyrolysis) กระบวนการทั้งสองมีผลต่อการแตกออกของพันธะเคมีของโครงสร้างของชีวมวลและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ชนิดา มฤคทัต, 2550)

2.1) กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow pyrolysis) เป็นการถ่ายเทความร้อนให้แก่ชีวมวลอย่างช้า ๆ ในช่วงเวลามากกว่า 5 นาทีขึ้นไป อุณหภูมิอยู่ในช่วง 400-600 องศาเซลเซียส โดยอัตราการให้ความร้อนไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที โดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนแก่ชีวมวลอย่างช้าสามารถจำแนกได้ ดังนี้

- อุณหภูมิ 20-100 องศาเซลเซียส ชีวมวลถูกดูดซับความร้อน โดยความชื้นในชีวมวลถูกทำให้กลายเป็นไอน้ำจนถูกทำให้แห้ง

- อุณหภูมิ 100-250 องศาเซลเซียส ชีวมวลเกิดปฏิกิริยาสลายตัวให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และกรดอะซิติก

- อุณหภูมิ 250-500 องศาเซลเซียส ชีวมวลเกิดปฏิกิริยาสลายตัวให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน รวมทั้งของเหลวทาร์ (Liquid tar)

- อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส เป็นปฏิกิริยาการเกิดชาร์ (Char)

2.2) กระบวนการไพโรไลซิสอย่างเร็ว (Fast pyrolysis) เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ชีวมวลอย่างเร็ว ที่อุณหภูมิ 600-1,000 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 10-100 องศาเซลเซียส การเกิดไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วมักจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความร้อนสูง

2.1.6.2 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพที่ได้จากการเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิส มีขนาดพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุน ขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านชีวภาพ รูพรุนของถ่านชีวภาพสามารถกักเก็บปุ๋ยและน้ำได้มาก จึงทำให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ และสามารถปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้น จากการศึกษาถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้เนื้ออ่อน 6 ชนิด (ไม้จามจุรี ไม้กระถิน ไม้กระชิด ไม้สะแกวัลย์ ไม้ชะแอม และไม้กระดูกแตก) ของทวีวงศ์ ศรีบุรี (2553) พบว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากซังข้าวโพด มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูงสุด คือ พื้นที่ผิวมีค่าเท่ากับ 56.35 m^2/g ปริมาตรรูพรุนมีค่าเท่ากับ 0.0405 cc/g รองลงมาคือ ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้จามจุรี (ไม้เนื้ออ่อน) ซึ่งมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 45.62 m^2/g ปริมาตรรูพรุนมีค่าเท่ากับ 0.0372 cc/g และจากการศึกษาพบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระดูกแตกมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางรูพรุนสูงที่สุด คือ 211.40 A° รองลงมาคือ ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้ชะแอม คือ 163.10 A° ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของถ่านชีวภาพ

ชื่อตัวอย่างถ่านชีวภาพ	Multipoint BET (m^2/g)	Total pore volume (cc/g)	Average pore diameter (A^o)
ไม้จามจุรี	45.62	0.0372	32.61
ไม้กระถิน	42.08	0.0374	35.53
ไม้กระชิด	3.16	0.0130	164.60
ไม้สะแกวัลย์	2.92	0.0104	143.10
ไม้ชะแอม	3.67	0.0150	163.10
ไม้กระดูกแตก	3.09	0.0163	211.40
ซังข้าวโพด	56.35	0.0405	28.72

ที่มา : ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2553

ถ่านชีวภาพซึ่งได้จากชีวมวลที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสมีคุณสมบัติที่ดีในการส่งเสริมสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดิน ดังนี้

1) คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีผลต่อเคมีของดิน

ถ่านชีวภาพที่ได้จากการเผาไหม้ในสภาพอับอากาศจะมีความพรุนสูง มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวก High aromatic ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงและเกิดหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ โดยเฉพาะคาร์บอกซิล (COO^-) คือ มีประจุลบสุทธิที่พื้นที่ผิวปริมาณมาก หรือทำให้มีความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) สูง ประกอบกับถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงจึงมีพื้นที่สัมผัสมากด้วย จึงทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชซึ่งอยู่ในรูปไอออนได้เป็นจำนวนมากและช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารโดยการชะละลาย ไม่ว่าธาตุอาหารในดินจะได้รับจากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ หรือธาตุอาหารที่มีอยู่เดิมในดิน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติเป็นด่าง ดังนั้น เมื่อใส่ในดินจะทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังให้ธาตุอาหารต่าง ๆ แก่พืชได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้หรือวัสดุอินทรีย์ที่นำมาเผา (ทิพานันท์ อุปนิสากร และ ศิวพร ปรีชา, 2554; อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, 2552)

2) คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีผลต่อกายภาพของดิน

การที่ถ่านชีวภาพมีรูพรุนมาก จะช่วยในการการกักเก็บน้ำและอาหารในดินได้เป็นอย่างดี จึงทำให้สามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินสำหรับการเพาะปลูก และช่วยทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง (Steiner, 2009) รวมทั้งถ่านชีวภาพยังทำให้ดินโปร่ง สามารถถ่ายเทอากาศได้ดี (Islam, 1999) และเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ช่วยดูดซับธาตุอาหารพืชและปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชอย่างช้า ๆ

3) คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีผลต่อชีวภาพของดิน

การใส่ถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงดินทั้งถ่านชีวภาพและจุลินทรีย์ในดินจะมีผลซึ่งกันละกัน กล่าวคือ โครงสร้างของถ่านชีวภาพที่เป็นรูพรุนจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว ประกอบกับความเป็นด่างของถ่านชีวภาพจะช่วยปรับความเป็นกรด-ด่างของดินที่เป็นกรดให้สูงขึ้น เหมาะต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์มากขึ้น ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็ทำให้ถ่านชีวภาพเกิดการเปลี่ยนสภาพได้ ถึงแม้ว่าถ่านชีวภาพจะมีสารพวกอะโรแมติกซึ่งคงทนต่อการย่อยสลายมากกว่าอินทรีย์สารที่ไม่ได้ผ่านการเผาไหม้ ลักษณะรูพรุนและขนาดของรูพรุนของถ่านชีวภาพที่มีขนาดเล็กมากจึงเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น เชื้อแอคทิโนมัยซิส (*Actinomyces*) ไตรคอเดอมา (*Trichorderma*) และบาซิลลัส (*Bacillus*) เป็นต้น ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการควบคุมจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ จุลินทรีย์ที่มีโทษซึ่งมักมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของถ่านชีวภาพจึงเข้าไปอยู่อาศัยไม่ได้ และจะถูกรบกวนโดยการเป็นปรสิตของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า (ทิพานันท์ อุปนิสากร และ ศิวพร ปรีชา, 2554)

2.1.7 ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นปุ๋ยที่ได้มาจากธรรมชาติ จากเศษซากพืชและสัตว์ที่ตายแล้ว ตลอดจนสิ่งขับถ่ายออกมาจากสัตว์ การหมักขยะ หรือการไถกลบพืชสดหรือพืชตระกูลถั่วจนเน่าเปื่อย ปุ๋ยอินทรีย์จะมีธาตุอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ในปริมาณต่ำและปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชอย่างช้า ๆ ดังนั้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จำเป็นต้องใช้ในปริมาณสูง (ประเสริฐ สองเมือง, 2543)

ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยเพิ่มระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยช่วยให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น เช่น ในดินเนื้อละเอียดหรือดินเหนียว ปุ๋ยอินทรีย์จะแทรกอยู่ที่ผิวของอนุภาคดิน ทำให้ลดการการเกาะยึดหรือการเกาะตัวของอนุภาคดิน ความเหนียวของดินจะลดลงมีการระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศดีขึ้น ส่วนในดินเนื้อหยาบหรือดินทราย ปุ๋ยอินทรีย์จะแทรกอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินและทำให้ดินมีการอุ้มน้ำมากขึ้น และช่วยในการดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ ได้ดีขึ้น ฯลฯ นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์ยังประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในดิน (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ ปุ๋ยมูลสัตว์ (animal manures) ซึ่งส่วนใหญ่จะได้จากคอกสัตว์เลี้ยง จึงได้ชื่อว่า ปุ๋ยคอก (farmyard manures) ปุ๋ยมูลสัตว์บางชนิดอาจได้มาจากสัตว์ที่ไม่ได้เลี้ยงซึ่งอาศัยรวมกันอยู่เป็นกลุ่มใหญ่ตามเกาะหรือถ้ำ ได้แก่ มูลนกและมูลค้างคาว เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้ประกอบไปด้วย ส่วนของแข็งที่มาจากอุจจาระของสัตว์ ซึ่งเป็นเศษซากของพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนระหว่างทางของระบบย่อยของสัตว์และส่วนที่เป็นปัสสาวะ ซึ่งอุดมไปด้วยเกลือและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเมื่อรวมกันเข้าก็จะมีองค์ประกอบที่สมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหารพืช อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติของมูลสัตว์เหล่านี้จะประกอบไปด้วยธาตุใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์ชนิดนั้น ๆ กินเข้าไป และขึ้นอยู่กับโอกาสที่อุจจาระและปัสสาวะของสัตว์จะมารวมอยู่ในที่เดียวกัน ดังนั้น มูลนก มูลค้างคาว และมูลสัตว์เลี้ยงประเภทสัตว์ปีกจึงมีความเข้มข้นของ NPK สูง เพราะสัตว์เหล่านี้กินปลา แมลง และสัตว์เล็ก มากกว่าอาหารที่มาจากพืช

และในการขับถ่ายทั้งอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ปีกรวมกันออกจากระบบขับถ่ายมาพร้อมกัน สำหรับสัตว์ใหญ่ เช่น ช้าง ม้า โค กระบือ มักจะใช้พืชเป็นอาหารจึงมักมีความเข้มข้นของ NPK ค่อนข้างต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ธาตุอาหารในปุ๋ยคอกและปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ มีทั้งธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุ พืชได้ประโยชน์จากปุ๋ยคอก คือ ให้ธาตุอาหารพืชรูปที่เป็นประโยชน์ เป็นการให้ธาตุอาหารที่มีลักษณะต่อเนื่อง และช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดิน อย่างไรก็ตามในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งแรก ๆ จะได้ผลในด้านธาตุอาหารมากกว่าการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน แต่เมื่อใส่ปุ๋ยคอกหลาย ๆ ครั้งจะสามารถเพิ่มการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดินได้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2528)

2.1.7.1 ปัจจัยที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยอินทรีย์ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2547)

1) ชนิดของอาหารที่สัตว์กิน สัตว์ที่กินสัตว์เป็นอาหาร เช่น แมลง ปลา หอย จะมีธาตุอาหารพืชในมูลที่ขับถ่ายออกมามากกว่ามูลสัตว์ที่ได้จากสัตว์ที่บริโภคพืชเป็นอาหาร

2) สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนของปุ๋ยคอก จะเป็นคุณสมบัติของปุ๋ยคอกที่บอกถึงองค์ประกอบทางเคมี ปุ๋ยคอกที่มาจากสัตว์ที่บริโภคพืชเป็นอาหารจะมีคาร์บอน/ไนโตรเจนสัดส่วนที่กว้าง แสดงว่ามีปริมาณธาตุไนโตรเจนที่น้อย

3) อายุสัตว์ สัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีการย่อยสลายและการดูดซึมธาตุอาหารดี จึงทำให้มูลสัตว์มีธาตุอาหารน้อย แต่ในสัตว์อายุมาก การย่อยสลายและการดูดซึมธาตุอาหารจะมีน้อย จึงทำให้มูลสัตว์อายุมากมีธาตุอาหารติดมามาก

4) การเก็บรักษาปุ๋ยคอก การสลายตัวของปุ๋ยคอกจะเกิดขึ้นในเวลาสั้นกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ซึ่งมีผลทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารได้ง่าย

2.1.7.2 การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์และการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1) ขั้นตอนการย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์

เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินและปุ๋ยได้รับความชื้นและสภาวะอื่น ๆ ที่เหมาะสม สารต่าง ๆ ที่ละลายได้ในปุ๋ยจะถูกปลดปล่อยออกมาและถูกดูดกินโดยจุลินทรีย์ หรือรากพืช ในขณะเดียวกันอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและง่ายต่อการถูกย่อยสลายโดยน้ำย่อยของจุลินทรีย์ ส่วนสารที่มีลักษณะโมเลกุลที่ค่อนข้างซับซ้อนก็จะถูกย่อยสลายอย่างช้า ๆ และบางส่วนของโมเลกุลที่ถูกย่อยสลายไปบ้างแล้วแต่ยังมีลักษณะ aromatic ring ที่ซับซ้อนอยู่อาจรวมตัวกับไอออนต่าง ๆ เกิดเป็นสารฮิวมัส ซึ่งเป็นองค์ประกอบอันสำคัญของอินทรียวัตถุในดินซึ่งคงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์มักจะเข้าทำปฏิกิริยากับแร่ดินเหนียวเกิดเป็น humus-clay complex ส่วนสารประกอบอินทรีย์พวก aliphatic หรือ straight chain จะค่อย ๆ ถูกย่อยสลายกลายเป็น CO_2 เข้าสู่บรรยากาศไปในที่สุด

2) การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยอินทรีย์

ขณะที่อินทรีย์สารต่าง ๆ ในปุ๋ยอินทรีย์ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์นั้น สารประกอบอินทรีย์รูปต่าง ๆ ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนแปลงย่อยสลายไปตามลำดับ และเปลี่ยนไปเป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งมีธาตุ N และ P เช่น NH_4^+, NO_3^-, $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^- ซึ่งจุลินทรีย์และรากพืชดูดนำไปใช้ได้ ส่วนโพแทสเซียมในปุ๋ยซึ่งมักอยู่ในรูปไอออนที่ละลายน้ำได้ดีจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทันที ส่วนโพแทสเซียมที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ในปุ๋ยจะค่อย ๆถูกปลดปล่อยออกมาในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตามการปลดปล่อยธาตุอาหารของ ปุ๋ยอินทรีย์จะเป็นอัตราที่ช้าและสม่ำเสมอกว่าปุ๋ยเคมี จึงทำให้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูง พืชตอบสนองดี ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืช

2.1.7.3 ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์

1) อินทรียวัตถุมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

1.1) อินทรียวัตถุช่วยลดการทำให้ดินแน่นโดยฝน เนื่องจากอินทรียวัตถุที่ปกคลุมหรือคลุกเคล้าอยู่บนผิวดิน ช่วยลดแรงกระแทกของเม็ดฝนที่ตกลงมากระทบกับดินโดยตรงดินจึงไม่แน่น และน้ำฝนสามารถซึมลงไปในดินชั้นล่าง เป็นการลดการพังทลายของหน้าดิน

1.2) อินทรียวัตถุช่วยเพิ่มช่องว่างและลดความหนาแน่นของดิน ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายและสังเคราะห์สารบางชนิดขึ้นมา ซึ่งเป็นตัวเชื่อมอนุภาคของดินให้เกาะกันเป็นก้อน ทำให้ดินทรายมีช่องว่างขนาดเล็กเพิ่มขึ้นส่งผลให้สามารถอุ้มน้ำได้มากสำหรับดินเหนียวซึ่งเป็นดินที่ประกอบไปด้วยขนาดของดินมีอนุภาคละเอียด ทำให้เกิดช่องขนาดใหญ่ ซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทอากาศและระบายน้ำได้ดีตลอดจนลดความเหนียวทำให้ไถพรวนดินได้สะดวก

1.3) อินทรียวัตถุช่วยป้องกันการระเหยน้ำในดิน โดยปกคลุมบนผิวดินช่วยป้องกันไม่ให้แสงแดดส่องถึงผิวดินโดยตรง ตลอดจนช่องว่างในดินชั้นบนที่เพิ่มขึ้น น้ำใต้ดินที่จะซึมผ่านช่องดังกล่าวมาด้านบนผิวดินได้ยากจึงเป็นการลดการระเหยน้ำในดินได้อีกทางหนึ่ง

1.4) อินทรียวัตถุช่วยทำให้ดินอุ้มน้ำได้มากขึ้น โดยอินทรียวัตถุสามารถอุ้มน้ำได้ 7 เท่าของน้ำหนักอินทรียวัตถุ ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง โดยเฉพาะดินเนื้อหยาบจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2) อินทรียวัตถุมีผลต่อสมบัติทางเคมีของดิน (ยงยุทธ โอสถสภา, 2528)

2.1) อินทรียวัตถุมีผลโดยทางตรงต่อสมบัติทางเคมีของดิน กล่าวคือ อินทรียวัตถุเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนและกำมะถัน นอกจากนั้นยังให้ธาตุอาหารอื่น ๆ ด้วยในปริมาณที่แตกต่างกัน

2.2) อินทรียวัตถุมีผลโดยทางอ้อมต่อสมบัติทางเคมีของดิน 3 ประการ คือ

2.2.1) ปุ๋ยอินทรีย์มีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) สูงกว่าดินมาก การใส่ปุ๋ยอย่างต่อเนื่องจะทำให้ดินมี CEC สูงขึ้น เป็นสัดส่วนกับปริมาณปุ๋ยคอกที่ใส่ จึงเพิ่มเป็นการดูดซับธาตุอาหารพวกแคตไอออน ซึ่งนอกจากเป็นประโยชน์ต่อพืชแล้วยังถูกชะล้างยากด้วย

2.2.2) กรดฮิวมิก กรดฟุลวิกและกรดอินทรีย์หลายชนิดเป็นสารคีเลต (chelating agent) ซึ่งทำปฏิกิริยาคีเลชัน (chelation) กับไอออนของจุลธาตุพวกโลหะ จุลธาตุเหล่านั้นจึงอยู่ในรูปคีเลต (chelated form) ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ได้

2.2.3) ลดการตรึงฟอสฟอรัสในดิน

2.2.4) ช่วยลดความรุนแรงของความเค็มในดิน ดังนั้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด เมื่อดินเค็มได้รับอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินดีขึ้น กล่าวคือ ปริมาณน้ำในดินมีมากขึ้น และปริมาณโซเดียมถูกดูดซับอยู่บริเวณพื้นที่ผิวอินทรียวัตถุ ทำให้ลดระดับความเข้มข้น พืชจึงสามารถเจริญเติบโตได้

3) อินทรียวัตถุมีผลต่อสมบัติทางชีวภาพของดิน

เนื่องจากสารอินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์นั้นอยู่ในระหว่างขั้นตอนการสลายตัว จึงยังมีสารให้พลังงานเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อใส่ลงไปในดินจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เชื้อราต่าง ๆ จะแทงกระจุกใยรา (mycelium) ลงไปในดินอย่างหนาแน่น สัตว์เล็ก ๆ จะมาใช้เป็นอาหารและชอนไชไปรอบบริเวณ กิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์เหล่านี้มีผลโดยทางตรงและทางอ้อมต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ซึ่งในขณะนั้นจะทำให้มีการหมุนเวียนของธาตุอาหารในรูปต่าง ๆ ถ่ายเทจากสิ่งมีชีวิตหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ จึงเท่ากับเป็นการรักษาธาตุอาหารพืชต่าง ๆ ไว้ไม่ให้สูญหายในเวลาอันสั้น การปรากฏตัวและเพิ่มปริมาณของไส้เดือนและสัตว์เล็กสัตว์น้อยอื่น ๆ ภายหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ย่อมเป็นสัญลักษณ์ที่บ่งบอกให้ทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hossain และคณะ (2010) ศึกษาการใช้สลัดจ์ของน้ำเสียในการทำถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินในการเพาะปลูกมะเขือเทศเชอรี่ โดยทำการทดลองในอุณหภูมิปกติในสภาพควบคุม กำหนดการทดลองเป็น 4 ตำรับการทดลอง คือ 1) ดิน (flat paddock) 2) ดิน+ถ่านชีวภาพ 3) ดิน+ปุ๋ย+ถ่านชีวภาพ 4) ดิน+ปุ๋ย โดยปริมาณถ่านชีวภาพที่ใส่ คือ 10 ตันต่อเฮกตาร์ (10,000 กิโลกรัม/10,000 ตารางเมตร) ในการเตรียมถ่านชีวภาพ ทำให้แห้งแล้วเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิส อุณหภูมิที่ใช้ คือ 550 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพในดิน สามารถปรับปรุงผลผลิตของมะเขือเทศเชอรี่ได้ 64% มากกว่าสภาพที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ซึ่งการเพิ่มผลผลิตได้เนื่องมาจากมีการเพิ่มธาตุอาหารพวกฟอสฟอรัสและไนโตรเจน นอกจากนั้นถ่านชีวภาพ ยังช่วยปรับสภาพทางเคมีของดินได้ดีขึ้น อีกทั้งยังพบว่า ผลผลิตของมะเขือเทศเชอรี่สูงสุดเมื่อใส่ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ย

Peng และคณะ (2011) ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยใช้ดิน (ultisol) ที่มีอยู่ทั่วไปในภาคใต้ของจีน ในการประเมินผลการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพในช่วงของอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ กัน วัตถุดิบในการทำถ่านชีวภาพ คือ ฟางข้าว โดยเผาถ่านที่อุณหภูมิระหว่าง 250-450 องศาเซลเซียส ขนาดของถ่านชีวภาพที่ใส่ในดิน คือ 3 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นผลทำให้โครงสร้างของถ่านชีวภาพมีขนาดเล็กลง (สังเกตโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน, SEM) ส่วนประกอบที่พบ คือ O, H และ aliphatic C functional groups แต่อะโรมาติกคาร์บอนถูกตรวจพบโดย infrared spectroscopy เวลาคงตัวอยู่ของถ่านชีวภาพภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมถูกประมาณว่ามีระยะเวลา 244-1,700 ปี ถ่านชีวภาพทำให้เกิดการลดการชะของคาร์บอนในดินและปรับปรุงให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อคุณภาพดินมีความชัดเจนมากขึ้นในดินที่มีการผุพังสูงและดินที่เพาะปลูกไม่ได้ผลในเขตร้อน การใส่ถ่านชีวภาพในดินเพียง 1% จะเพิ่มค่า pH 0.1-0.46 และค่า CEC 3.9-17.3%

Petter และคณะ (2012) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัสต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวไร่ โดยทดลองในดินร่วนปนทราย ปริมาณของถ่านชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง คือ 0, 8, 16 และ 32 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ผลการศึกษาพบว่า ถ่านชีวภาพมีผลต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน คือ เพิ่มปริมาณคาร์บอนทั้งหมด แคลเซียม ฟอสฟอรัส อะลูมิเนียม และค่าpH ที่ระดับความลึกของดิน 0-10 เซนติเมตร นอกจากนั้น ถ่านชีวภาพยังมีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักแห้ง และการเจริญเติบโตของข้าวไร่

เสาวคนธ์ เหมวงษ์ และศศิธร เชื้อกุณะ (2554) ศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดพันธุ์ดอกคูณ 49 โดยมีตำรับการทดลอง 4 ตำรับ คือ 1) ดิน 2) ดิน+ถ่านชีวภาพ 3) ดิน+ปุ๋ยไนโตรเจน และ 4) ดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี ผลการศึกษาพบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 และตำรับการทดลองที่ 4 มีความชื้นสูงกว่าตำรับการทดลองที่ 3 และตำรับการทดลองที่ 1 หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด พบว่า pH, Electrical Conditivity, อินทรียวัตถุในดิน และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นถึงแม้ว่าปริมาณอินทรียวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งอาจเป็นเพราะเป็นการศึกษาระยะสั้น (3 เดือน) การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุจากการใส่ถ่านชีวภาพลงไปต้องใช้เวลานาน การเจริญเติบโตของข้าวโพดเมื่ออายุ 60 วันหลังปลูกพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติทั้งน้ำหนักแห้ง และปริมาณไนโตรเจนในต้นข้าวโพด อย่างไรก็ตาม น้ำหนักผลผลิตฝักสดข้าวโพดเมื่อถึงอายุเก็บเกี่ยวพบว่า มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ให้ผลผลิตฝักสดสูงสุด (383 กรัมต่อต้น) ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยไนโตรเจน ให้ผลผลิตฝักสดต่ำสุด (148 กรัมต่อต้น) น้ำหนักแห้งของต้น และซังข้าวโพดเมื่ออายุเก็บเกี่ยวพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยตำรับการทดลองดิน+ ถ่านชีวภาพ ให้น้ำหนักแห้งต้นข้าวโพดสูงสุด คือ 530 กรัมต่อต้น และในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ให้น้ำหนักแห้งซังสูงสุด (0.21 กรัมต่อต้น) โดยตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยไนโตรเจน (160 กรัมต่อต้น) ให้ผลผลิตฝักสดต่ำกว่าการใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว

Novak และคณะ (2009) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินบริเวณชายฝั่งทางตะวันออกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินทรายและมีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ วัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ คือ เปลือกถั่วพีแคน โดยมีชุดการทดลอง คือ ดินที่เติมถ่านชีวภาพ 0.5 % 1% และ 2% (w/w) ตามลำดับ และทำการเก็บตัวอย่างดินในวันที่ 0, 25 และ 67 วัน ผลการศึกษาพบว่า วันที่ 67 ชุดการทดลองที่เติมถ่านชีวภาพ 2 % มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพิ่มสูงขึ้นจาก 4.8 เป็น 6.4 ปริมาณฟอสฟอรัสในดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 31 เป็น 34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมในดินเพิ่มสูงขึ้นจาก 35 เป็น 69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Masulili (2010) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากแกลบด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยตั้งสมมติฐานว่า ถ่านชีวภาพสามารถปรับปรุงดินที่เป็นกรดได้และมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยมีชุดการทดลอง คือ 1) ดิน (ควบคุม) 2) ฟางข้าว 15 ตันต่อเฮกตาร์ 3) แกลบ 15 ตันต่อเฮกตาร์ 4) ขี้เถ้าแกลบ 10 ตันต่อเฮกตาร์ 5) ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากแกลบ 10 ตันต่อเฮกตาร์ 6) สาบเสือ (*Chromolaena odorata*) 15 ตันต่อเฮกตาร์ ผลการทดลองพบว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากแกลบสามารถลดความหนาแน่นของดิน เพิ่มอินทรีย์คาร์บอน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความสูง จำนวนแขนง และน้ำหนักแห้งได้

วิชัย ลิมโพธิ์ทอง สลิตา สุสิงห์ และชัยนาม ดิสถาพร (2554) ศึกษาผลของชนิดและอัตราของถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินทรายที่เป็นกรดเพื่อการปลูกข้าวปทุมธานี1 โดยใช้ถ่านชีวภาพ 4 ชนิด ที่ได้จากการให้ความร้อนโดยขบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ได้แก่ ถ่านไม้ ถ่านแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ถ่านแกลบจากเตาเผาคุนตัง และถ่านชีวภาพจากน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งในแต่ละตำรับการทดลองประกอบด้วย 1) ชุดควบคุม 2) ถ่านไม้ อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ 3) ถ่านไม้ อัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ 4) ถ่านแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ 5) ถ่านแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล อัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ 6) ถ่านแกลบจากเตาคุนตัง อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ 7) ถ่านแกลบจากเตาคุนตัง อัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ 8) ถ่านชีวภาพจากน้ำหมักชีวภาพ อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ และ 9) ถ่านชีวภาพจากน้ำหมักชีวภาพ อัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ จากการศึกษาพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงสภาพความเป็นกรดของดิน โดยการใช้ในอัตรา 200 และ 400 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ความสูงของข้าว จำนวนแขนงต่อกอ ผลผลิตของข้าว และน้ำหนักฟางไม่แตกต่างกับแปลงควบคุม แต่มีแนวโน้มให้เห็นว่า การใช้ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงกว่าแปลงควบคุม รวมทั้งยังสามารถช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างของดินให้สูงขึ้น

Sriburi (2011) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยผลิตถ่านชีวภาพจากไม้ 6 ชนิด และซังข้าวโพด โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 500-600 องศาเซลเซียส ถ่านชีวภาพที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ CHN ค่าความร้อน วิเคราะห์พื้นผิว ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการดูดซับไนโตรเจน ผลการศึกษาพบว่า ถ่านชีวภาพเหมาะสมในการใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพของดินให้เหมาะแก่การทำการเกษตร

Sriburi and Mattayom (2013) ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า ทดลองโดยใช้ขี้เลื่อยผสมถ่านชีวภาพ ในปริมาณ 10, 20 และ 30% ซึ่งจากการทดลองพบว่า ขี้เลื่อยที่ผสมถ่านชีวภาพ 20% ให้ผลผลิตสูงสุด จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่าการผสมถ่านชีวภาพกับขี้เลื่อยสามารถเพิ่มผลผลิตได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่ดำเนินการศึกษาวิจัย

3.1.1 ภาคสนาม

พื้นที่การทดลองเพาะปลูกข้าวมีขนาด 0.34 ไร่ (542.5 ตารางเมตร) ในพื้นที่ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี แต่ละแปลงมีขนาด 4x10 ตารางเมตร โดยเว้นระยะขอบแปลง 0.5 เมตร จำนวนแปลงทั้งหมด 12 แปลง

3.1.2 ห้องปฏิบัติการ

1) ห้องปฏิบัติการสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ห้องปฏิบัติการวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

5) ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 พารามิเตอร์และการวิเคราะห์

3.2.1 การวิเคราะห์ดิน

พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ดินมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	pH meter (ดิน : น้ำ = 1 : 1)	พัชรี ธีรจินดาขจร, 2552
ค่าความนำไฟฟ้า (Electro Conductivity)	Conductivity meter	พัชรี ธีรจินดาขจร, 2552
ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter)	Walkley and Black method	Soil Survey Staff, 1996
ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	Leaching method	ASA-SSSA, 1982
เนื้อดิน (Soil texture)	Hydrometer method	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)	Kjeldahl method	Soil Survey Staff, 1996
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)	Bray II determine by spectrophotometer	Soil Survey Staff, 1996
ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium)	Ammonium acetate extraction determine by atomic	Soil Survey Staff, 1996
ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total carbon)	TOC Analyzer	Schumacher, 2002

3.2.2 การวิเคราะห์ถ่านชีวภาพ

พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ถ่านชีวภาพมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ถ่านชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	pH meter (ดิน : น้ำ = 1 : 1)	พัชรี ธีรจินดาขจร, 2552
ค่าความนำไฟฟ้า (Electro Conductivity)	Conductivity meter	พัชรี ธีรจินดาขจร, 2552
ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter)	Walkley and Black method	Soil Survey Staff, 1996
ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	Leaching method	ASA.-SSSA, 1982
ปริมาณ CHN	CHNS Analyzer	Mahinpey et al., 2009
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)	Kjeldahl method	Soil Survey Staff, 1996
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)	Bray II determine by spectrophotometer	Soil Survey Staff, 1996
ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium)	Ammonium acetate extraction determine by atomic	Soil Survey Staff, 1996
พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน (Specific surface area and total pore volume)	Surface Area Analyzer	Blake JH, 1967

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.3 การวิเคราะห์ปุ๋ยคอก

พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยคอกมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยคอก

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	pH meter (ดิน : น้ำ = 1 : 1)	พัชรี ธีรจินดาขจร, 2552
ค่าความนำไฟฟ้า (Electro Conductivity)	Conductivity meter	พัชรี ธีรจินดาขจร, 2552
ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter)	Walkley and Black method	Soil Survey Staff, 1996
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)	Kjeldahl method	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)	Walkley and Black method	กรมวิชาการเกษตร, 2551
ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (Total phosphate)	Spectrophotometric molybdovanadophosphate method	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium)	Flame photometric method	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
C/N	Walkley and Black method	กรมวิชาการเกษตร, 2551

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย

เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการศึกษา เช่น สภาพภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ฯลฯ จากหน่วยงานทั้งส่วนกลางและส่วนท้องถิ่น รวมทั้งจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ประกอบกับการสำรวจพื้นที่ภาคสนาม การสอบถาม สัมภาษณ์เจ้าหน้าที่และเกษตรกรในพื้นที่เกี่ยวกับข้อมูลการเพาะปลูก เช่น พันธุ์ข้าวท้องถิ่น ลักษณะและรูปแบบการปลูกข้าว ไร่ การให้น้ำ และการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.2 การวางแผนการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยวางแผนการทดลองด้วยวิธี Randomized Complete Block Design มี 4 ตำรับการทดลอง โดยใช้ข้าวพันธุ์นาสาร ข้าวพันธุ์เหลือง และข้าวรวม (นาสาร+เหลือง) จำนวน 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 36 หน่วยการทดลอง โดยตำรับการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตำรับการทดลองในการศึกษา

ตำรับการทดลอง	พันธุ์ข้าว/สิ่งทดลอง		
	ข้าวพันธุ์เหลือง	ข้าวพันธุ์นาสาร	ข้าวรวม (นาสาร + เหลือง)
1	ดินเดิม	ดินเดิม	ดินเดิม
2	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ดิน+ถ่านชีวภาพ
3	ดิน+ปุ๋ยคอก	ดิน+ปุ๋ยคอก	ดิน+ปุ๋ยคอก
4	ดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก	ดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก	ดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก

หมายเหตุ : ใส่ปุ๋ยปุ๋ยคอก อัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่

ใส่ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่

ใส่ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก อัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ (ถ่านชีวภาพ 0.5 กิโลกรัม : ปุ๋ยคอก 0.5 กิโลกรัม)

3.3.3 ขั้นตอนเตรียมถ่านชีวภาพและแปลงทดลอง

3.3.3.1 การผลิตถ่านชีวภาพ

การผลิตถ่านชีวภาพมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1) เตรียมวัตถุดิบ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมี 2 ประเภท (รูปที่ ผ. 3) คือ

1.1) ไม้เนื้ออ่อน ได้แก่ ไม้ชะแอม ไม้กระชิด ไม้สะแกวัลย์ ไม้กระดูกแตก ซึ่งเป็นไม้ที่หาได้ง่ายและเหลือใช้ในท้องถิ่น

1.2 วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ได้แก่ ซังข้าวโพด โดยซังข้าวโพดมีความชื้นสูงจึงต้องนำมาตากแดดให้แห้งเป็นเวลาอย่างน้อย 1วัน

2) วิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพของเศษไม้และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรก่อนนำมาเผา (รูปที่ ผ. 3) มีพารามิเตอร์ดังนี้

2.1) อุณหภูมิ วัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ (Multi Logger Thermometer HH506RA)

2.2) ปริมาณความชื้น วัดปริมาณความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น (CEM DT-129)

2.3) น้ำหนัก หาน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 20 กิโลกรัม

3) เตาเผาถ่านชีวภาพ

ในการวิจัยเผาถ่านชีวภาพด้วยเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า (Controlled Temperature Biochar Retort For Slow Pyrolysis Process) (เลขที่จดสิทธิบัตร 110100118 โดยทวีวงศ์ ศรีบุรี) ซึ่งสร้างเตาเผาถ่านชีวภาพที่มีจุดประสงค์ให้เกษตรกรในพื้นที่ห่างไกลสามารถนำเตาเผาถ่านชีวภาพไปใช้ได้ การสร้างเตาเผาถ่านชีวภาพเน้นการใช้วัสดุเหลือใช้และหาได้ง่ายในท้องถิ่น โดยเป็นการนำทฤษฎีการออกแบบเตาในระบบไพโรไลซิสที่มีการพัฒนาสำหรับระบบเพื่อการพาณิชย์ การทดลองสร้างเตาเผาถ่านชีวภาพดังกล่าวได้ทำการทดสอบหลายรูปแบบเพื่อให้ผลการทดลองเป็นที่ยอมรับทั้งด้านวิชาการและสำหรับเกษตรกรที่จะนำไปใช้ต่อไปในอนาคต และมีการตรวจสอบอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกทุกครั้งที่มีการเผาถ่านชีวภาพ

เตาเผาถ่านชีวภาพที่ใช้ทดลองผลิตถ่านชีวภาพ ใช้อุณหภูมิในการเผาแบบช้า (500-600 องศาเซลเซียส) ตามมาตรฐานของ FAO ดังแสดงในตารางที่ 3.5 ผลการทดลองตรวจวัดอุณหภูมิของเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในถังผลิตถ่านชีวภาพในช่วงเวลาต่าง ๆ และที่ปลายท่อใยหินพบว่า เตาเผาถ่านชีวภาพที่มีช่องให้อากาศเข้าออกด้านล่างของเตาให้ความร้อนชั้นนอก (ถังส้วมคอนกรีต) ที่เจาะจำนวน 8 รู และถังผลิตถ่านชีวภาพ (ถังโลหะ) ที่เจาะจำนวน 4 รู แต่ละรูมีขนาดของรูเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร มีอัตราส่วนปริมาณเศษไม้หรือเศษวัสดุที่ใช้เผาเพื่อผลิตเป็นถ่านชีวภาพ (ปริมาณชีวมวล) ต่อปริมาณเชื้อเพลิงเป็น 1 ต่อ 0.60 (40 กิโลกรัม : 25 กิโลกรัม) ระหว่างการเผาถ่านชีวภาพมีการวัดอุณหภูมิภายในเตาและปากปล่องเพื่อให้อุณหภูมิเป็นไปตามกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ซึ่งอุณหภูมิที่ได้ทำการทดสอบและเหมาะสมจะอยู่ในช่วง 500-600 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผาประมาณ 24 ชั่วโมง (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2554)

ตารางที่ 3.5 ค่ามาตรฐานสำหรับเตาเผาระบบไพโรไลซิส

พารามิเตอร์	ไพโรไลซิสแบบเร็วที่อุณหภูมิต่ำ	ไพโรไลซิสแบบเร็วที่อุณหภูมิสูง	ไพโรไลซิสแบบช้า
ขนาดมวลชีวภาพ	เล็ก	เล็ก	ปานกลาง
ความชื้น (%)	ต่ำมาก	ต่ำมาก	ต่ำ
อุณหภูมิ (^{o}C)	450-600	650-900	500-600
ความดัน (bar)	1	0.1-1	1

ที่มา : ดัดแปลงจาก FAO, 2009

รูปที่ 3.1 เตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า (Controlled Temperature Biochar Retort For Slow Pyrolysis Process)

กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2556)

3.1) เตรียมถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร โดยการเจาะรูที่บริเวณกึ่งกลางของช่วงล่างถังน้ำมัน 200 ลิตร จำนวน 4 รู จากนั้นนำถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ไปวางไว้ในปลอกหลุมส้วม (เตาให้ความร้อนด้านนอก) ซึ่งเจาะรู 8 รู ที่ด้านล่าง โดยแต่ละรูมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร

3.2) นำไม้ที่จะใช้ทำถ่านชีวภาพมาเรียงเป็นแนวตั้งลงถังน้ำมัน 200 ลิตร แบ่งเป็น 2 ชั้น จะเริ่มเรียงโดยใช้ไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร จากข้างล่างขึ้นมา เมื่อส่วนล่างเต็มจะเริ่มเรียงส่วนบนโดยใช้ไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตรขึ้นไป ในการทดลองได้แยกเผาวัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ คือ ไม้เนื้ออ่อน (ไม้ชะแอม ไม้กระชิด ไม้สะแกวัลย์ และไม้กระดูกแตก) และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร (ซังข้าวโพด) แต่ละรอบในการเผาถ่านชีวภาพหลังจากการเผาวัตถุดิบแต่ละชนิดแล้วจึงนำถ่านชีวภาพที่ได้มาบดรวมกันและนำไปใช้ประโยชน์

3.3) ปิดฝาถังน้ำมัน 200 ลิตรให้เรียบร้อย แล้วนำเชื้อฟืนใส่เรียงลงไปในช่องว่างระหว่างปลอกหลุมส้วมกับถังน้ำมัน 200 ลิตร โดยเชื้อฟืนที่ใช้ควรมีขนาดเล็กและใกล้เคียงกันทั้งหมด เมื่อจัดการเรียงเชื้อฟืนเรียบร้อยแล้วจึงทำการจุดไฟเผา โดยการจุดไฟเผาเชื้อฟืนจะทำการจุดไฟจากส่วนบนให้ไฟไหม้ลามลงไปข้างล่าง แล้วจัดการปิดฝาปลอกหลุมส้วมและสวมท่อปล่องควัน

4) การเผาถ่านชีวภาพ

การเผาเศษไม้จะเผาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าในช่วงอุณหภูมิประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพโดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้ออกซิเจนน้อยที่สุด การเผาถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีความเสถียรทำให้คาร์บอนในถ่านชีวภาพมีความคงตัวได้นานนับพันปี แต่ถ้าอุณหภูมิที่ทำการเผาถ่านชีวภาพสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส จะส่งผลกระทบต่อบรรยากาศ เนื่องจากพบว่า เป็นการ

ก่อให้เกิดสารไดออกซิน (dioxin) และสาร polycyclic aromatic compounds (PAHs) ในการเผาถ่านชีวภาพมีการเจาะรูเตาให้ความร้อนด้านใน (ถังน้ำมันขนาด 200ลิตร) และเตาให้ความร้อนด้านนอก (ปลอกหลุมส้วม) เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณอากาศที่จะเข้าไปในเตา หากขนาดรูที่เจาะมากหรือกว้างเกินไปจะทำให้เตาทำความร้อนในอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะทำให้ไม่สามารถผลิตถ่านชีวภาพที่มีคุณภาพดีได้ (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2554)

3.3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในการปลูกข้าวก่อนการทดลอง

1) เก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลองปลูกข้าว สุ่มเก็บตัวอย่างดินจากหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง โดยใช้จอบขุดหลุมเป็นรูปตัววี (V) ขนาดความกว้างเท่ากับหน้าจอบ ลึกประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นเก็บตัวอย่างดินที่ได้ใส่ถังพลาสติกที่สะอาด หลังจากเก็บทุกหลุมแล้วผสมตัวอย่างดินทุกหลุมให้เข้ากันก่อนเก็บตัวอย่างดินใส่ถุงพลาสติกประมาณ 1 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพดิน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2555) และวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ที่ศึกษา (ตารางที่ 3.1)

2) เก็บถ่านชีวภาพที่ได้จากการเผาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส โดยเก็บใส่ถุงพลาสติกประมาณ 1 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์ถ่านชีวภาพตามพารามิเตอร์ที่ศึกษา (ตารางที่ 3.2) และนำถ่านชีวภาพที่เผาเสร็จแล้วมาบด และใช้ตะแกรงร่อนคัดขนาดถ่านชีวภาพให้มีขนาด 3 มิลลิเมตร ในการศึกษามีการทดลองเผาถ่านชีวภาพด้วยวิธีไพโรไลซิสในห้องปฏิบัติการ และนำถ่านชีวภาพที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพที่ได้จากเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า (Controlled Temperature Biochar Retort For Slow Pyrolysis Process)

3) เก็บตัวอย่างปุ๋ยคอกก่อนการปลูกข้าว โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างกระจายรอบกองปุ๋ยคอก ไม่น้อยกว่า 10 จุด นำตัวอย่างมาเทกองและคลุกผสมให้เข้ากันจนพูนเป็นรูปกรวย ตบยอดให้ราบลงแล้วแบ่งกองปุ๋ยเป็นสี่ส่วน นำส่วนตรงข้ามสองส่วนมารวมกัน พูนเป็นรูปกรวยใหม่ แล้วแบ่งเป็นสี่ส่วนอีก ทำดังนี้จนได้น้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3 กิโลกรัม (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555) และวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ที่ศึกษา (ตารางที่ 3.3)

3.3.3.3 การเตรียมแปลงทดลอง

การเตรียมแปลงทดลอง เริ่มจากการไถดะ โดยการไถดะจะช่วยให้พลิกดินเพื่อให้ดินชั้นล่างได้ขึ้นมาสัมผัสกับอากาศออกซิเจนและเป็นการตากดินเพื่อทำลายวัชพืช โรคพืชบางชนิด หลังจากไถดะจะตากดินเอาไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ จึงทำการไถแปร ซึ่งจะช่วยพลิกดินที่กลบเอาไว้ขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง เพื่อทำลายวัชพืชที่ขึ้นใหม่ และย่อยดินให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นทำการคราดเอาวัชพืชออกแปลงทดลองและปรับระดับของพื้นที่ให้เรียบเสมอกัน

3.3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

1) การทดลองปลูกข้าว ปลูกในลักษณะของข้าวไร่ วิธีในการปลูกเป็นแบบหยอดเป็นหลุม โดยหยอดเมล็ดข้าวลงไปหลุมละประมาณ 10 เมล็ด แล้วกลบหลุมด้วยดินบาง ๆ หลังจากปลูกแล้วประมาณ 7 วัน ทำการตรวจดูการงอกของเมล็ด หากพบว่าหลุมใดไม่งอกจะทำการปลูกซ่อม พันธุ์ข้าวไร่เป็นพันธุ์ข้าวที่ต้องการน้ำน้อยในการเจริญเติบโต เมื่อเปรียบเทียบกับการพันธุ์ข้าวอื่น โดยมีความต้องการน้ำ 875 มิลลิเมตรต่อปี (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2555) ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะให้น้ำแก่ข้าวโดยให้ทุก 3 วัน เนื่องจากดินที่ศึกษาเป็นดินเหนียวปนทรายจึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้เพียงพอสำหรับต้นข้าว

2) ใส่ปุ๋ยคอก ในแปลงตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก ในปริมาณ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง (กรมการข้าว, 2555) คือ

2.1) ก่อนปลูกข้าวประมาณ 2 อาทิตย์ ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

2.2) ก่อนระยะข้าวตั้งท้อง ในอัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่

3) ใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ในแปลงตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ จำนวนการใส่ 2 ครั้ง (กรมการข้าว, 2555) คือ

3.1) ก่อนปลูกข้าวประมาณ 2 อาทิตย์ ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

3.2) ก่อนระยะข้าวตั้งท้อง ในอัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่

4) ใส่ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ในปริมาณ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ในแปลงตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก จำนวนการใส่ 2 ครั้ง (กรมการข้าว, 2555) คือ

4.1) ก่อนปลูกข้าวประมาณ 2 อาทิตย์ ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

4.2) ก่อนระยะข้าวตั้งท้อง 600 กิโลกรัมต่อไร่

5) เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเมื่อมีอายุ 120 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

3.4.1 การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินจะทำการเก็บตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างต้นข้าว โดยสุ่มจากหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง จำนวน 3 จุด จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ได้มาผึ่งแห้งแล้วบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ที่ศึกษา โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 6 ครั้งตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว ดังนี้

1) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 15 วัน (ระยะต้นกล้า)

2) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 45 วัน (ระยะแตกกอ)

3) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 60 วัน (ระยะสร้างรวง)

4) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน (ระยะตั้งท้อง)

5) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 90 วัน (ระยะออกดอก)

6) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 120 วัน (ระยะเก็บเกี่ยว)

3.4.2 การเก็บตัวอย่างถ่านชีวภาพ

การเก็บตัวอย่างถ่านชีวภาพในตำรับการทดลอง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างถ่านชีวภาพจำนวน 3 จุด คือ หัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง หลังจากเก็บแล้วใส่ถุงพลาสติกประมาณ 1 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์ถ่านชีวภาพตามพารามิเตอร์ที่ศึกษา โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างถ่านชีวภาพจำนวน 6 ครั้งตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว ดังนี้

1) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 15 วัน (ระยะต้นกล้า)

2) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 45 วัน (ระยะแตกกอ)

3) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 60 วัน (ระยะสร้างรวง)

4) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน (ระยะตั้งท้อง)

5) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 90 วัน (ระยะออกดอก)

6) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 120 วัน (ระยะเก็บเกี่ยว)

3.4.3 การเก็บตัวอย่างข้าว

เก็บตัวอย่างต้นข้าวในแต่ละแปลงย่อยใน Quatdrat ขนาด 0.5x0.5 เมตร จำนวนแปลงละ 3 จุด และทำการวัดความสูงของต้นข้าวโดยแบ่งเป็น 6 ระยะ คือ ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะสร้างรวง ระยะตั้งท้อง ระยะออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว ทำการวัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว ดังนี้

1) ความสูง วัดความสูงของต้นข้าวทุกต้นเพื่อหาความสูงเฉลี่ยของข้าวในแต่ละ quadrat ที่ทำการเก็บตัวอย่างมา วิธีการวัดความสูง คือ วัดจากโคนรากถึงส่วนปลายของต้นข้าวที่ยืดตรงโดยวัดความสูงในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของข้าว

2) การแตกกอ โดยนับแขนงของต้นข้าวในระยะแตกกอ

3) จำนวนต้นต่อพื้นที่ โดยนับจำนวนต้นต่อพื้นที่ ขนาด 0.5x0.5 ตารางเมตร จำนวน 3 จุดต่อหน่วยทดลอง ทำการเก็บในทุกระยะ รายงานผลเป็นจำนวนต้นต่อตารางเมตร

4) จำนวนรวงต่อพื้นที่ โดยนับจำนวนรวงต่อพื้นที่ ขนาด 0.5x0.5 ตารางเมตร จำนวน 3 จุดต่อหน่วยทดลอง ทำการเก็บในระยะสร้างรวง รายงานผลเป็นจำนวนรวงต่อตารางเมตร

5) จำนวนเมล็ดต่อรวง เป็นการหาค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดต่อรวงจากจำนวนตัวอย่างหน่วยทดลองละ 10 รวงในระยะเก็บเกี่ยว

6) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี โดยนับจำนวนเมล็ดดีจากจำนวนเมล็ดตัวอย่าง 500 เมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (วีรศักดิ์ บุญเชิญ, 2538) ดังนี้

เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี = 100 x จำนวนเมล็ดดี /500

7) คำนวณหาน้ำหนัก 1000 เมล็ด โดยหาจากค่าเฉลี่ยจากน้ำหนักเมล็ดดีจำนวน 100 เมล็ด จำนวน 5 ตัวอย่างในระยะเก็บเกี่ยว แล้วคำนวณน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (วีรศักดิ์ บุญเชิญ, 2538) ดังนี้

น้ำหนัก 1,000 เมล็ด = 10 x น้ำหนัก 100เมล็ดเฉลี่ย

8) การหาน้ำหนักแห้งของข้าว โดยนำลำต้นและราก ในระยะต่าง ๆ มาอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 48 ชั่วโมง

3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัย คือ ผลการทดลองดิน ผลการทดลองถ่านชีวภาพ และผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Two-way ANOVA เพื่อหาความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ถ้าผลที่ได้แตกต่างกันจะทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลกลุ่มใดที่แตกต่างจากกลุ่มอื่นด้วยวิธีการของ Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังกล่าวนั้นจะปฏิบัติการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป คือ Statistical Package for the Social Science (SPSS)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถ่านชีวภาพและคุณภาพดิน

4.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพ

4.1.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพก่อนการทดลอง

ผลการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่เผาด้วยเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า (Controlled Temperature Biochar Retort For Slow Pyrolysis Process) กับเตาเผาในห้องปฏิบัติการ (ตารางที่ 4.1) โดยใช้วิธี T-test พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (T-test, $p>0.05$) จึงแสดงให้เห็นได้ว่า ถ่านชีวภาพที่เผาด้วยเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า (Controlled Temperature Biochar Retort For Slow Pyrolysis Process) มีคุณสมบัติที่ไม่แตกต่างจากถ่านชีวภาพที่เผาในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาในครั้งนี้จึงใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้เนื้ออ่อน (ไม้ชะแอม ไม้กระชิต ไม้สะแกวัลย์ ไม้กระดูกแตก) และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร (ซังข้าวโพด) จากการเผาด้วยเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า (Controlled Temperature Biochar Retort For Slow Pyrolysis Process) ซึ่งสามารถทำให้เกษตรกรในพื้นที่สามารถผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุในท้องถิ่นด้วยวิธีการเผาด้วยเตาเผาที่ผลิตขึ้นเอง เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินในการเพาะปลูกข้าวไร่ได้ โดยคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพก่อนการทดลอง (ตารางที่ 4.2) มีรายละเอียดดังนี้

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเท่ากับ 8.50 ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.49 dS/m ปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าเท่ากับ 20.25 % ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเท่ากับ 26.97 cmol/Kg ปริมาณ CHN มีค่า %C = 70.51 %H = 2.92 และ %N = 1.21 พื้นที่ผิวมีค่าเท่ากับ 21.02 m^2/g ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.0255 cc/g ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.68 % ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าเท่ากับ 0.25 % และ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 0.77 %

การทดสอบคุณลักษณะของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ (ไม้เนื้ออ่อน) ได้แก่ ไม้จามจุรี ไม้กระถิน ไม้กระชิต ไม้สะแกวัลย์ ไม้กระดูกแตก ไม้ชะแอม และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ ซังข้าวโพด ของทวีวงศ์ ศรีบุรี (2554) พบว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากซังข้าวโพด มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูงสุด คือ พื้นที่ผิวมีค่าเท่ากับ 56.35 m^2/g ปริมาตรรูพรุนมีค่าเท่ากับ 0.0405 cc/g รองลงมาคือ ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้จามจุรี (ไม้เนื้ออ่อน) ซึ่งมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 45.62 m^2/g ปริมาตรรูพรุนมีค่าเท่ากับ 0.0372 cc/g (ตารางที่ 2.1) และปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน (ตารางที่ ผ 7) ของถ่านชีวภาพ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้จามจุรีมีปริมาณคาร์บอนมากที่สุด คือ 84.78 % รองลงมาคือ ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถิน ซึ่งมีปริมาณ

คาร์บอนเท่ากับ 84.61 % ปริมาณไฮโดรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้ชะแอมมีค่าสูงสุดคือ 3.77 % รองลงมาคือ ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระดูกแตก ซึ่งมีปริมาณไฮโดรเจนเท่ากับ 3.57 % ปริมาณไนโตรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระดูกแตกมีค่าสูงสุด คือ 1.22 % รองลงมาคือ ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้สะแกวัลย์ ซึ่งมีค่าปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.20 %

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ถ่านชีวภาพผลิตจากไม้เนื้ออ่อน (ไม้ชะแอม ไม้กระชิต ไม้สะแกวัลย์ ไม้กระดูกแตก) และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร (ซังข้าวโพด) ซึ่งภายหลังการเผาจะนำถ่านชีวภาพที่ได้จากเศษไม้เนื้ออ่อน และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาบดรวมกัน ซึ่งจากการศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพพบว่า ถ่านชีวภาพที่ได้จากการวัดคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษไม้เนื้ออ่อนและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแต่ละชนิด มีคุณสมบัติที่ดีกว่าถ่านชีวภาพที่ได้จากเศษไม้เนื้ออ่อนและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่บดรวมกัน แต่อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการใช้ไม้เนื้ออ่อน และซังข้าวโพด ซึ่งเป็นการใช้วัสดุเหลือใช้ภายในท้องถิ่นเพื่อผลิตถ่านชีวภาพ ซึ่งถึงแม้ว่าคุณสมบัติของวัตถุดิบแบบผสมจะต่ำกว่าคุณสมบัติของไม้เนื้ออ่อนแยกชนิด แต่คุณสมบัติบางประการซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญ (ปริมาตรรูพรุน) ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพที่ได้จากการเผาด้วยเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า และการเผาในห้องปฏิบัติการ

คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพ	**เผาด้วยเตาผลิตถ่านชีวภาพควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยความร้อนแบบช้า**	**เผาในห้องปฏิบัติการ**
1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)*	8.50±0.02	9.10±0.03
2. ค่าการนำไฟฟ้า(Electro Conductivity; dS/m)*	0.49±0.15	2.41±0.08
3. ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter ; %w/w)*	20.25±0.54	35.83±2.12
4. ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity ; cmol/Kg)*	26.97±0.56	27.98±0.15
5. ปริมาณCHN (%)*	%C = 70.51±1.24 %H = 2.92±0.06 %N = 1.21±1.24	%C = 68.73±1.35 %H = 2.85±0.04 %N = 1.25±0.05
6. พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน (Specific surface area and total pore volume)*	พื้นที่ผิว = 21.02±1.74 m^2/g ปริมาตรรูพรุน = 0.0255±0.01 (cc/g)	พื้นที่ผิว = 31.34±1.00 m^2/g ปริมาตรรูพรุน = 0.0312±0.02 (cc/g)
7. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)*	0.68±0.03	1.10±0.02
8. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (%)*	0.25±0.04	0.15±0.02
9 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (%)*	0.77±0.03	0.83±0.03

หมายเหตุ : เครื่องหมาย * แสดงคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (T-test, p >0.05) โดยเปรียบเทียบระหว่างถ่านชีวภาพที่เผาด้วยวิธีการเผาแบบท้องถิ่นกับวิธีการเผาในห้องปฏิบัติการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ใช้ในการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่

คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพ	**ค่าที่วัดได้**
1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	8.50±0.02
2. ค่าการนำไฟฟ้า (Electro Conductivity ; dS/m)	0.49±0.15
3. ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter ; %w/w)	20.25±0.54
4. ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity ; cmol/Kg)	26.97±0.56
5. ปริมาณ CHN (%)	%C = 70.51±1.24 %H = 2.92±0.06 %N = 1.21±1.24
6. พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน (Specific surface area and total pore volume) 6.1 พื้นที่ผิว (Specific surface area ; m^2/g) 6.2 ปริมาตรรูพรุน (total pore volume ; cc/g)	 21.02±1.74 0.0255±0.01
7. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen ; %)	0.68±0.03
8. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus ; %)	0.25±0.04
9. ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium ; %)	0.77±0.03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพหลังการทดลอง

การศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของถ่านชีวภาพหลังการทดลองปลูกข้าว ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน และปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) จากการปลูกข้าวพื้นเมือง ได้แก่ ข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ตำรับการทดลอง คือ 1) ดิน+ถ่านชีวภาพ 2) ดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ทำการเก็บตัวอย่างถ่านชีวภาพที่ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.1.2.1 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่มีค่าเท่ากับ 8.50 ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของถ่านชีวภาพในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวพบว่า ถ่านชีวภาพภายหลังการทดลองปลูกข้าวในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.3) โดยข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 7.74-7.86 ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 7.70-7.81 และข้าวรวมมีค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 7.71-7.85

ถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นกัน (ตารางที่ 4.3) โดยในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 7.85-7.92 ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 7.76-7.87 และข้าวรวมมีค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 7.80-7.88

เนื่องจากพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่ได้จากการเผาไหม้ในสภาพอับอากาศมีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวก high aromatic สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้สูง และเกิดหมู่ฟังชันก์ต่าง ๆ โดยเฉพาะคาร์บอกซิล (COO^-) คือ มีประจุลบสุทธิบริเวณพื้นผิวในปริมาณมาก (อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, 2552) ซึ่งดินที่เป็นกรดจะมีประจุบวก (H^+) ละลายอยู่ในสารละลายดิน เมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุเกิดขึ้นจึงทำให้ค่า pH ของถ่านชีวภาพมีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพระหว่างตำรับการทดลองพบว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยคอกที่ใส่ร่วมกับถ่านชีวภาพมีค่าสูงคือ 7.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ก่อนการทดลอง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดิน+ถ่านชีวภาพ	8.50±0.02	7.86 ± 0.02^{a}	7.85 ± 0.01^{ab}	7.82 ± 0.01^{b}	7.77 ± 0.02^{c}	7.76 ± 0.03^{c}	7.74 ± 0.03^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		7.92 ± 0.03^{a}	7.90 ± 0.02^{ab}	7.88 ± 0.01^{abc}	7.87 ± 0.02^{bc}	7.86 ± 0.01^{bc}	7.85 ± 0.04^{c}
นาสาร	ดิน+ถ่านชีวภาพ		7.81 ± 0.02^{a}	7.79 ± 0.01^{ab}	7.75 ± 0.02^{bc}	7.73 ± 0.03^{c}	7.71 ± 0.06^{c}	7.70 ± 0.03^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		7.87 ± 0.07	7.83 ± 0.04	7.82 ± 0.07	7.79 ± 0.02	7.77 ± 0.08	7.76 ± 0.06
รวม	ดิน+ถ่านชีวภาพ		7.85 ± 0.07^{a}	7.82 ± 0.06^{ab}	7.80 ± 0.05^{ab}	7.76 ± 0.04^{ab}	7.74 ± 0.05^{ab}	7.71 ± 0.09^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		7.88 ± 0.10	7.87 ± 0.04	7.85 ± 0.05	7.83 ± 0.03	7.82 ± 0.07	7.80 ± 0.04

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

4.1.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่มีค่าเท่ากับ 0.49 dS/m ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวพบว่า ถ่านชีวภาพภายหลังการทดลองปลูกข้าวในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าการนำไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.4) โดยข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าการนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.33-0.44 dS/m ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าการนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.37-0.46 dS/m และข้าวรวมมีค่าการนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.36-0.44 dS/m

ถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอกของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าการนำไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นกัน (ตารางที่ 4.4) โดยในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าการนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.37-0.47 dS/m ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าการนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.40-0.48 dS/m และข้าวรวมมีค่าการนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.39-0.47 dS/m

ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเนื่องจากถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งบริเวณพื้นที่ผิวของถ่านจะมีประจุลบสุทธิปริมาณมาก จึงทำให้สามารถดึงดูดจับไอออนบวกซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เมื่อถ่านชีวภาพสัมผัสกับน้ำ ไอออนบวกเหล่านี้จะละลายปนออกมาในน้ำได้และสามารถนำไฟฟ้าได้ (สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2553) เมื่อระยะเวลาผ่านไปเกิดการดึงดูดไอออนบวกที่ละลายออกมาโดยพืชจึงทำให้ค่าความนำไฟฟ้าลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพระหว่างตำรับการทดลองพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยคอกที่ใส่ร่วมกับถ่านชีวภาพมีค่าสูง คือ 0.35 dS/m (ตารางที่ ผ. 6)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 ค่าความนำไฟฟ้าของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ก่อนการทดลอง	ค่าความนำไฟฟ้า (dS/m)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.49±0.15	0.44 ± 0.02^{a}	0.43 ± 0.03^{a}	0.40 ± 0.02^{ab}	0.39 ± 0.02^{ab}	0.37 ± 0.03^{ab}	0.33 ± 0.04^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.47 ± 0.01^{a}	0.45 ± 0.03^{ab}	0.43 ± 0.01^{abc}	0.40 ± 0.04^{bcd}	0.39 ± 0.02^{cd}	0.37 ± 0.03^{d}
นาสาร	ดิน+ถ่านชีวภาพ		0.46 ± 0.02^{a}	0.43 ± 0.03^{ab}	0.42 ± 0.05^{ab}	0.41 ± 0.06^{ab}	0.39 ± 0.03^{ab}	0.37 ± 0.05^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.48 ± 0.01^{a}	0.46 ± 0.03^{ab}	0.45 ± 0.02^{ab}	0.43 ± 0.05^{ab}	0.41 ± 0.05^{b}	0.40 ± 0.02^{b}
รวม	ดิน+ถ่านชีวภาพ		0.44 ± 0.01^{a}	0.42 ± 0.01^{ab}	0.41 ± 0.04^{ab}	0.40 ± 0.05^{ab}	0.38 ± 0.04^{ab}	0.36 ± 0.04^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.47 ± 0.03^{a}	0.44 ± 0.05^{ab}	0.43 ± 0.05^{ab}	0.42 ± 0.05^{ab}	0.40 ± 0.01^{ab}	0.39 ± 0.04^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

4.1.2.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ

ปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่มีค่าเท่ากับ 20.25 % ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า ถ่านชีวภาพภายหลังการทดลองปลูกข้าวในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.5) โดยข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 15.67-19.28% ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 15.58 - 19.67 % และข้าวรวมมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 15.43 -19.39 %

ถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นกัน (ตารางที่ 4.5) โดยในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 16.68- 20.10 % ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 17.79-20.23 % และข้าวรวมมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 17.82-20.14 %

การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างของถ่านชีวภาพเป็นรูพรุนสามารถกักเก็บปริมาณอินทรียวัตถุไว้และค่อย ๆ ปลดปล่อยอินทรียวัตถุออกมาสู่ดิน (อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, 2552) เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณอินทรียวัตถุในถ่านชีวภาพจึงค่อย ๆ ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพระหว่างตำรับการทดลองพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีค่าปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ในทุกระยะการทดลอง เนื่องจากปุ๋ยคอกที่ใส่ลงไปร่วมกับถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงคือ 20.70 % (ตารางที่ ผ. 6)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 ปริมาณอินทรียวัตถุของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ก่อนการทดลอง	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดิน+ถ่านชีวภาพ	20.25±0.5	19.28 ± 0.18^{a}	18.62± 0.45^{b}	17.87 ± 0.24^{c}	17.52 ± 0.25^{c}	16.89 ± 0.10^{d}	15.67 ± 0.35^{e}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		20.10 ± 0.21^{a}	19.65 ± 0.13^{a}	18.35 ± 0.42^{b}	18.89 ± 0.19^{c}	17.66± 0.08^{d}	16.68 ± 0.34^{e}
นาสาร	ดิน+ถ่านชีวภาพ		19.67 ± 0.17^{a}	18.84 ± 0.19^{b}	17.63 ± 0.34^{c}	17.10 ± 0.15^{d}	16.73 ± 0.27^{d}	15.58 ± 0.04^{e}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		20.23 ± 0.12^{a}	19.59 ± 0.07^{b}	18.70 ± 0.01^{c}	19.13 ± 0.18^{d}	18.56 ± 0.16^{d}	17.79 ± 0.23^{e}
รวม	ดิน+ถ่านชีวภาพ		19.39 ± 0.28^{a}	18.81 ± 0.07^{b}	17.72 ± 0.09^{c}	17.11 ± 0.23^{d}	16.68 ± 0.22^{e}	15.43 ± 0.13^{f}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		20.14 ± 0.27^{a}	19.28 ± 0.15^{b}	18.13 ± 0.14^{b}	18.97 ± 0.31^{c}	18.22 ± 0.29^{c}	17.82 ± 0.20^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

4.1.2.4 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่มีค่าเท่ากับ 26.97 cmol/Kg ผลการวิเคราะห์ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวพบว่า ถ่านชีวภาพภายหลังทดลองปลูกข้าวในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.6) โดยข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 5.27-12.86 cmol/Kg ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 5.33-12.46 cmol/Kg และข้าวรวมมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 5.63-12.40 cmol/Kg

ถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นกัน (ตารางที่ 4.6) โดยในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 7.53-14.74 cmol/Kg ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 6.92-14.11 cmol/Kg และข้าวรวมมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 7.21-14.47 cmol/Kg

เนื่องจากปริมาณอินทรียวัตถุในถ่านชีวภาพมีความสัมพันธ์กับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เมื่ออินทรียวัตถุมีค่าลดลงจากการถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย ส่งผลให้ได้ฮิวมัสซึ่งเป็นสารที่มีประจุลบสูงและมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกลดลง จึงส่งผลต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพลดลงด้วย (ธัญญรัศม์ ศรีศักดิ์เลขา, 2554) เมื่อเปรียบเทียบค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของถ่านชีวภาพระหว่างตำรับการทดลองพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพในทุกระยะการทดลอง เนื่องจากเมื่อปุ๋ยคอกที่ใส่ร่วมกับถ่านชีวภาพถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุต่าง ๆ ออกมาในรูปสารอนินทรีย์เหลือแต่ฮิวมัส ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนคงทนต่อการย่อยสลาย ฮิวมัสซึ่งมีประจุลบจำนวนมากบนพื้นผิวสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่เป็นไอออนบวกได้ดี (วิโรจน์ วจนานวัช, 2528) ทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในถ่านชีวภาพของตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอกมีค่ามากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 4.6 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ก่อนการทดลอง	ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol/Kg)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดิน+ถ่านชีวภาพ	26.97±0.56	12.86 ± 2.63^{a}	10.60 ± 1.02^{a}	8.06 ± 1.34^{b}	7.93 ± 0.62^{b}	6.54 ± 0.27^{bc}	5.27 ± 0.18^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		14.74 ± 1.63^{a}	10.35 ± 0.94^{b}	8.47 ± 2.22^{bc}	8.05 ± 1.07^{bc}	7.89 ± 1.36^{bc}	7.53 ± 0.15^{c}
นาสาร	ดิน+ถ่านชีวภาพ		12.46 ± 2.03^{a}	11.25± 1.56^{ab}	9.64 ± 0.36^{bc}	8.11 ± 0.53^{cd}	7.02 ± 0.34^{d}	5.33 ± 0.35^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		14.11 ± 1.53^{a}	12.70 ± 1.64^{a}	10.54 ± 0.91^{b}	9.76 ± 1.21^{b}	7.41 ± 0.43^{c}	6.92 ± 0.20^{c}
รวม	ดิน+ถ่านชีวภาพ		12.40 ± 0.55^{a}	9.15 ± 0.40^{b}	8.47 ± 0.35^{bc}	7.42 ± 0.65^{c}	6.04 ± 0.89^{d}	5.63 ± 0.54^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		14.74 ± 1.35^{a}	11.84 ± 0.17^{b}	10.76 ±0.89^{bc}	10.16 ±1.04^{bc}	9.05 ± 1.17^{c}	7.21 ± 0.92^{d}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

4.1.2.5 ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน

ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของถ่านชีวภาพก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 70.51 % ปริมาณไฮโดรเจนเท่ากับ 2.92 % และปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.21 % ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของถ่านชีวภาพในการทดลองปลูกข้าวในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ตารางที่ 4.7) มีรายละเอียดดังนี้

ถ่านชีวภาพภายหลังทดลองปลูกข้าวในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพของข้าวพันธุ์เหลือง มีค่าปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 59.40-68.25 % ปริมาณไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 2.25-2.86 % และปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.44-0.75 % ในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 60.45-66.42 % ปริมาณไฮโดรเจนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 2.10-2.85 % และปริมาณไนโตรเจนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.47-0.73 % ในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวรวมมีค่าปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 59.64-68.52 % ปริมาณไฮโดรเจนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 2.34-3.22 % และปริมาณไนโตรเจนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.40-0.64 %

ถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ของข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 61.02-68.12 % ปริมาณไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 2.09-3.20 % และปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.50-0.76 % ในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 60.02-69.54% ปริมาณไฮโดรเจนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 2.06–2.59 % และปริมาณไนโตรเจนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.49-0.75 % ในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวรวมมีค่าปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 50.60-68.01 % ปริมาณไฮโดรเจนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 2.13-2.40 % และปริมาณไนโตรเจนของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.49-0.73 %

ภายหลังการปลูกข้าวพบว่า ปริมาณคาร์บอนและปริมาณไฮโดรเจนในถ่านชีวภาพมีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลงจนเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวจึงเริ่มคงที่ ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนเมื่อระยะเวลาผ่านไปมีค่าลดลง เนื่องจาก C H N เป็นสารประกอบอินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในถ่านชีวภาพใช้สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ (Unger, 2008) และในกิจกรรมย่อยสลายของจุลินทรีย์จะเกิดกระบวนการ mineralization ซึ่งปลดปล่อยไนโตรเจนที่เหลือจากการย่อยสลายออกมาจึงทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ปัทมา วิตยากร, 2557) จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rachel Colleen Unger (2008) ที่ได้ศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อข้าวโพดโดยศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพในระยะเวลาต่าง ๆ คือ 0, 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพมีค่าไม่คงที่และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 6

ตารางที่ 4.7 ปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ก่อนการทดลอง	ปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน (%)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดิน+ถ่านชีวภาพ	C=70.51±1.24 H = 2.92±0.06 N = 1.21±1.24	C=59.40±0.21^{c} H=2.25±0.05^{c} N=0.55±0.10^{bc}	C=64.67±1.61^{b} H=2.49±0.18^{bc} N=0.72±0.08^{ab}	C=64.50±3.35^{b} H= 2.42±0.12^{bc} N= 0.75±0.14^{a}	C=68.25±0.15^{a} H= 2.86±0.32^{a} N= 0.55±0.07^{bc}	C=66.45±0.13^{ab} H= 2.78±0.22^{ab} N= 0.50±0.02^{c}	C=66.05±0.06^{ab} H= 2.72±0.09^{a} N= 0.44±0.10^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		C=61.02±0.21^{e} H=2.09±0.09^{c} N=0.76±0.06^{a}	C= 63.75±0.33^{c} H= 3.01±0.14^{ab} N= 0.74±0.03^{a}	C=61.59±0.23^{d} H=2.97±0.22^{ab} N=0.68±0.03^{ab}	C= 68.12±0.13^{a} H= 3.20±0.10^{a} N= 0.59±0.27^{ab}	C= 67.59±0.42^{b} H= 2.94±0.08^{b} N= 0.55±0.08^{ab}	C=67.23±0.26^{b} H= 2.87±0.13^{b} N= 0.50±0.03^{b}
นาสาร	ดิน+ถ่านชีวภาพ		C=60.45±0.23^{f} H= 2.10±0.08^{b} N= 0.73±0.09^{a}	C= 66.42±0.02^{a} H= 2.29±0.13^{b} N= 0.65±0.18^{ab}	C=62.23±0.23^{e} H= 2.17±0.22^{b} N=0.60±0.05^{ab}	C= 64.26±0.15^{b} H= 2.85±0.10^{a} N= 0.59±0.10^{ab}	C= 63.71±0.16^{c} H= 2.78±0.18^{a} N= 0.52±0.06^{b}	C=63.15±0.04^{d} H= 2.68±0.03^{a} N= 0.47±0.06^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		C= 60.02±0.13^{e} H= 2.06±0.04^{b} N= 0.75±0.11^{a}	C= 66.54±0.29^{b} H= 2.47±0.16^{a} N= 0.60±0.03^{ab}	C= 61.07±0.06^{d} H= 2.14±0.19^{b} N= 0.56±0.14^{b}	C= 63.69±0.44^{c} H= 2.55±0.05^{a} N= 0.54±0.09^{b}	C= 69.54±0.42^{a} H= 2.59±0.02^{a} N= 0.51±0.08^{b}	C=69.04±0.16^{a} H= 2.47±0.16^{a} N= 0.49±0.02^{b}
รวม	ดิน+ถ่านชีวภาพ		C= 64.47±0.27^{e} H= 2.34 ±0.27^{b} N= 0.64 ±0.11^{a}	C= 66.98±0.02^{d} H= 3.02 ± 0.20^{a} N= 0.58±0.05^{ab}	C= 59.64±0.13^{f} H= 2.65±0.32^{b} N= 0.46±0.10^{ab}	C= 68.52±0.08^{a} H= 3.22±0.13^{a} N= 0.44±0.05^{ab}	C= 67.83±0.11^{b} H= 3.19±0.04^{a} N= 0.42±0.03^{ab}	C=67.31±0.17^{c} H= 3.14±0.13^{a} N= 0.40±0.22^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		C= 50.60±0.20^{d} H= 2.13±0.19^{b} N= 0.73±0.15^{a}	C= 68.01±0.02^{a} H= 2.37±0.10^{a} N= 0.68±0.02^{a}	C= 64.62±0.38^{c} H= 2.32±0.11^{ab} N= 0.59±0.26^{a}	C=67.92±0.52^{a} H= 2.40±0.14^{a} N= 0.58±0.09^{a}	C=67.50±0.21^{ab} H= 2.37±0.03^{a} N= 0.52±0.05^{a}	C=67.04±0.11^{b} H=2.34±0.12^{ab} N= 049±0.22^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

4.1.2.6 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ปริมาณธาตุอาหารหลักของถ่านชีวภาพก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.68 % ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าเท่ากับ 0.25 mg/Kg และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 0.77 mg/Kg ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ มีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.8) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของถ่านชีวภาพในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าอยู่ในช่วง 0.36-0.59 % ในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.33-0.57 % และข้าวรวมมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.30-0.54 %

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวพันธุ์รวม มีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นกัน (ตารางที่ 4.8) โดยในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.42-0.63% ในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.41-0.61% และในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวรวมมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.40-0.59 %

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.9) โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าอยู่ในช่วง 0.09–0.23 % ในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.06-0.19 % และในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวรวมมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.07-0.22 %

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นกัน (ตารางที่ 4.9) โดยในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.10-0.25 % ในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.09-0.23% และในตำรับการทดลองที่ปลูกข้าวรวมมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.09-0.25 %

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.8 ปริมาณไนโจรเจนทั้งหมดของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ก่อนการทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.68±0.03	0.59 ± 0.02^{a}	0.54 ± 0.03^{ab}	0.49 ± 0.08^{abc}	0.44 ± 0.04^{bcd}	0.40 ± 0.11^{cd}	0.36 ± 017^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.63 ± 0.15^{a}	0.59 ± 0.06^{ab}	0.55 ± 0.16^{ab}	0.53 ± 0.07^{ab}	0.48 ± 0.06^{bc}	0.42 ± 0.05^{c}
นาสาร	ดิน+ถ่านชีวภาพ		0.57 ± 0.09^{a}	0.51 ± 0.20^{ab}	0.46 ± 0.14^{ab}	0.40 ± 0.09^{ab}	0.37 ± 0.29^{ab}	0.33 ± 0.12^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.61 ± 0.09^{a}	0.57 ± 0.13^{ab}	0.53 ± 0.10^{ab}	0.51 ± 0.11^{ab}	0.47 ± 0.03^{ab}	0.41 ± 0.06^{b}
รวม	ดิน+ถ่านชีวภาพ		0.54 ± 0.08^{a}	0.48 ± 0.18^{ab}	0.45 ± 0.26^{abc}	0.39 ± 0.16^{bcd}	0.35 ± 0.04^{cd}	0.30 ± 0.14^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.59 ± 0.07^{a}	0.56 ± 0.13^{ab}	0.51 ± 0.11^{ab}	0.50 ± 0.12^{ab}	0.45 ± 0.12^{ab}	0.40 ± 0.10^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

ตารางที่ 4.9 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ก่อนการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/Kg)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.25±0.04	0.23 ± 0.04^{a}	0.19 ± 0.04^{ab}	0.15 ± 0.06^{bc}	0.13 ± 0.03^{bc}	0.11 ± 0.03^{c}	0.09 ± 0.03^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.25 ± 0.05^{a}	0.20 ± 0.06^{ab}	0.16 ± 0.05^{ab}	0.14 ± 0.05^{bc}	0.12 ± 0.05^{bc}	0.10 ± 0.04^{c}
นาสาร	ดิน+ถ่านชีวภาพ		0.19 ± 0.02^{a}	0.15 ± 0.03^{ab}	0.13 ± 0.03^{bc}	0.11 ± 0.03^{bc}	0.09 ± 0.02^{cd}	0.06 ± 0.02^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.23 ± 0.04^{a}	0.19 ± 0.03^{ab}	0.17 ± 0.03^{ab}	0.16 ± 0.04^{b}	0.13 ± 0.03^{bc}	0.09 ± 0.02^{c}
รวม	ดิน+ถ่านชีวภาพ		0.22 ± 0.04^{a}	0.18 ± 0.03^{ab}	0.15 ± 0.07^{bc}	0.13 ± 0.03^{bc}	0.10 ± 0.06^{cd}	0.07 ± 0.02^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.25 ± 0.04^{a}	0.20 ± 0.06^{ab}	0.17 ± 0.04^{bc}	0.16 ± 0.05^{bcd}	0.12 ± 0.03^{cd}	0.09 ± 0.08^{d}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.10) ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของถ่านชีวภาพในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าอยู่ในช่วง 0.50-0.69 % ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.44-0.65 % และข้าวรวมมีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.43-0.66 %

ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม มีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นกัน (ตารางที่ 4.10) โดยในข้าวพันธุ์เหลืองมีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง 0.55-0.71 % ข้าวพันธุ์นาสารมีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.51-0.70% และข้าวรวมมีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 0.49-0.69 %

การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารหลักในลักษณะดังกล่าวเป็นผลจากการที่ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก และมีประจุลบสุทธิที่พื้นผิวในปริมาณมาก จึงทำให้มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ส่งผลทำให้มีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชได้ (อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, 2552) ภายหลังจากการปลูกข้าวเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณธาตุอาหารลดลง ซึ่งเป็นผลจากข้าวได้นำธาตุอาหารที่ดูดซับไว้ในรูพรุนของถ่านชีวภาพไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิต และเนื่องจากปุ๋ยคอกที่ใส่ร่วมกับถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลัก (N P K) ที่พืชต้องการ เมื่อใส่ร่วมกับถ่านชีวภาพซึ่งมีรูพรุนสูงจึงสามารถดูดซับธาตุอาหารเหล่านี้ไว้ได้ ผลการเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองจึงพบว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของถ่านชีวภาพมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ก่อนการทดลอง	ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/Kg)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.77±0.03	0.69 ± 0.10[a]	0.65 ± 0.08	0.60 ± 0.09	0.57 ± 0.14	0.54 ± 0.14	0.50 ± 0.18
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.71 ± 0.12[a]	0.68 ± 0.10	0.63 ± 0.07	0.62 ± 0.13	0.59 ± 0.17	0.55 ± 0.04
นาสาร	ดิน+ถ่านชีวภาพ		0.65 ± 0.16[a]	0.61 ± 0.14	0.57 ± 0.13	0.54 ± 0.13	0.50 ± 0.11	0.44 ± 0.13
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.70 ± 0.09[a]	0.67 ± 0.23	0.61 ± 0.19	0.60 ± 0.13	0.57 ± 0.15	0.51 ± 0.13
รวม	ดิน+ถ่านชีวภาพ		0.66 ± 0.15[a]	0.63 ± 0.06[a]	0.56 ± 0.12[ab]	0.53 ± 0.11[ab]	0.50 ± 0.07[ab]	0.43 ± 0.07[b]
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ		0.69 ± 0.18[a]	0.66 ± 0.08	0.59 ± 0.07	0.57 ± 0.20	0.54 ± 0.07	0.49 ± 0.11

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

4.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดิน

4.2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินก่อนการปลูกข้าวไร่

ดินที่ใช้ในการศึกษาเป็นดินเหนียวปนทรายมีลักษณะเนื้อดิน คือ Sand 37.4 %, Silt 18.2 % และ Clay 44.4 % การศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของดินก่อนการปลูกข้าวไร่พันธุ์เหลือง พันธุ์นาสาร และข้าวรวม ใน 4 ตำรับการทดลอง (1) ดินเดิม 2) ดิน+ปุ๋ยคอก 3) ดิน+ถ่านชีวภาพ 4) ดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 4.11) มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์เหลืองในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 6.7-6.77 โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (6.77) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (6.73) ดิน+ปุ๋ยคอก (6.71) และดินเดิม (6.70) ตามลำดับ

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์นาสารในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 6.65-6.77 โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (6.77) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (6.73) ดิน+ปุ๋ยคอก (6.67) และดินเดิม (6.65) ตามลำดับ

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวรวมในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 6.66-6.82 โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (6.82) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (6.80) ดิน+ปุ๋ยคอก (6.69) และดินเดิม (6.66) ตามลำดับ

4.2.1.2 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์เหลืองในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.18-0.20 dS/m โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าการนำไฟฟ้า (0.20 dS/m) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.19 dS/m) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.19 dS/m) และดินเดิม (0.18 dS/m) ตามลำดับ

ค่าการนำไฟฟ้าของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์นาสารในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.19-0.22 dS/m โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าการนำไฟฟ้า (0.22 dS/m) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.20 dS/m) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.19 dS/m) และดินเดิม (0.19 dS/m) ตามลำดับ

ค่าการนำไฟฟ้าของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวรวมในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.19-0.23 dS/m โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมี

ค่าการนำไฟฟ้า (0.23 dS/m) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.20 dS/m) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.19 dS/m) และดินเดิม (0.19 dS/m) ตามลำดับ

4.2.1.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ

ปริมาณอินทรียวัตถุของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์เหลืองในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.66-1.07 % โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุ (1.07 %) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.98 %) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.91 %) และดินเดิม (0.66 %) ตามลำดับ

ปริมาณอินทรียวัตถุของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์นาสารในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.69-1.08 % โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุ (1.08 %) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (1.02 %) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.97 %) และดินเดิม (0.69 %) ตามลำดับ

ปริมาณอินทรียวัตถุของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวรวมในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.69-1.17 % โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุ (1.17 %) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (1.08 %) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.99 %) และดินเดิม (0.69 %) ตามลำดับ

4.2.1.4 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์เหลืองในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 11.62-13.63 cmol/Kg โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (13.63 cmol/Kg) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (12.25 cmol/Kg) ดิน+ปุ๋ยคอก (12.04 cmol/Kg) และดินเดิม (11.62 cmol/Kg) ตามลำดับ

ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์นาสารในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 11.61-13.47 cmol/Kg โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (13.47 cmol/Kg) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (12.94 cmol/Kg) ดิน+ปุ๋ยคอก (12.62 cmol/Kg) และดินเดิม (11.61 cmol/Kg)

ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวรวมในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 11.70-13.73 cmol/Kg โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (13.73 cmol/Kg) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (12.79 cmol/Kg) ดิน++ปุ๋ยคอก (12.29 cmol/Kg) และดินเดิม (11.70 cmol/Kg) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินก่อนการปลูกข้าวไร่

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมี							
		ความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol/Kg)	ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/Kg)	ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/Kg)
เหลือง	ดินเดิม	6.7	0.18	0.66	11.62	0.06	0.13	10.88	86.84
	ดิน+ปุ๋ยคอก	6.71	0.19	0.91	12.04	0.07	0.14	11.08	90.26
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	6.73	0.19	0.98	12.25	0.14	0.15	12.73	93.58
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	6.77	0.20	1.07	13.63	0.19	0.17	14.73	101.14
นาสาร	ดินเดิม	6.65	0.19	0.69	11.61	0.06	0.11	10.86	87.12
	ดิน+ปุ๋ยคอก	6.67	0.19	0.97	12.62	0.07	0.13	11.40	90.53
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	6.73	0.20	1.02	12.94	0.14	0.16	12.89	95.32
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	6.77	0.22	1.08	13.47	0.19	0.19	15.58	100.89
รวม	ดินเดิม	6.66	0.19	0.69	11.70	0.06	0.10	10.97	86.98
	ดิน+ปุ๋ยคอก	6.69	0.19	0.99	12.29	0.07	0.12	11.85	91.19
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	6.80	0.20	1.08	12.79	0.16	0.13	14.54	95.93
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	6.82	0.23	1.17	13.73	0.20	0.19	17.16	101.83

4.1.2.5 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์เหลืองในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.19 % โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (0.19 %) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.14%) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.07 %) และดินเดิม (0.06 %) ตามลำดับ

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์นาสารในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.19 % โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (0.19 %) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.14%) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.07 %) และดินเดิม (0.06 %) ตามลำดับ

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวรวมในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.20 % โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (0.20 %) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.16 %) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.07 %) และดินเดิม (0.06 %) ตามลำดับ

4.1.2.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์เหลืองในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.13-0.17 % โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.17 %) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.15 %) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.14 %) และดินเดิม (0.13 %) ตามลำดับ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์นาสารในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.11-0.19 % โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.19 %) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.16 %) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.13 %) และดินเดิม (0.11 %) ตามลำดับ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวรวมในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.19 % ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.19 %) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (0.13 %) ดิน+ปุ๋ยคอก (0.12 %) และดินเดิม (0.10 %) ตามลำดับ

4.1.2.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์เหลืองในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 10.88-14.73 mg/Kg โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (14.73 mg/Kg) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (12.73 mg/Kg) ดิน+ปุ๋ยคอก (11.08 mg/Kg) และดินเดิม (10.88 mg/Kg) ตามลำดับ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์นาสารในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 10.86-15.58 mg/Kg โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (15.58 mg/Kg) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (12.89 mg/Kg) ดิน+ปุ๋ยคอก (11.40 mg/Kg) และดินเดิม (10.86 mg/Kg) ตามลำดับ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวรวมในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 10.97-17.16 mg/Kg โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (17.16 mg/Kg) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (14.54 mg/Kg) ดิน+ปุ๋ยคอก (11.85 mg/Kg) และดินเดิม (10.97 mg/Kg) ตามลำดับ

4.1.2.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์เหลืองในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 86.84-101.14 mg/Kg ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (101.14 mg/Kg) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (93.58 mg/Kg) ดิน+ปุ๋ยคอก (90.26 mg/Kg) และดินเดิม (86.84 mg/Kg) ตามลำดับ

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่พันธุ์นาสารในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 87.12-100.89 mg/Kg ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (100.89 mg/Kg) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (95.32 mg/Kg) ดิน+ปุ๋ยคอก (90.53 mg/Kg) และดินเดิม (87.12 mg/Kg) ตามลำดับ

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินก่อนการทดลองเพาะปลูกข้าวไร่ของข้าวรวมในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 86.98-101.83 mg/Kg โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (101.83 mg/Kg) มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (95.93 mg/Kg) ดิน+ปุ๋ยคอก (91.19 mg/Kg) และดินเดิม (86.98 mg/Kg) ตามลำดับ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวไร่

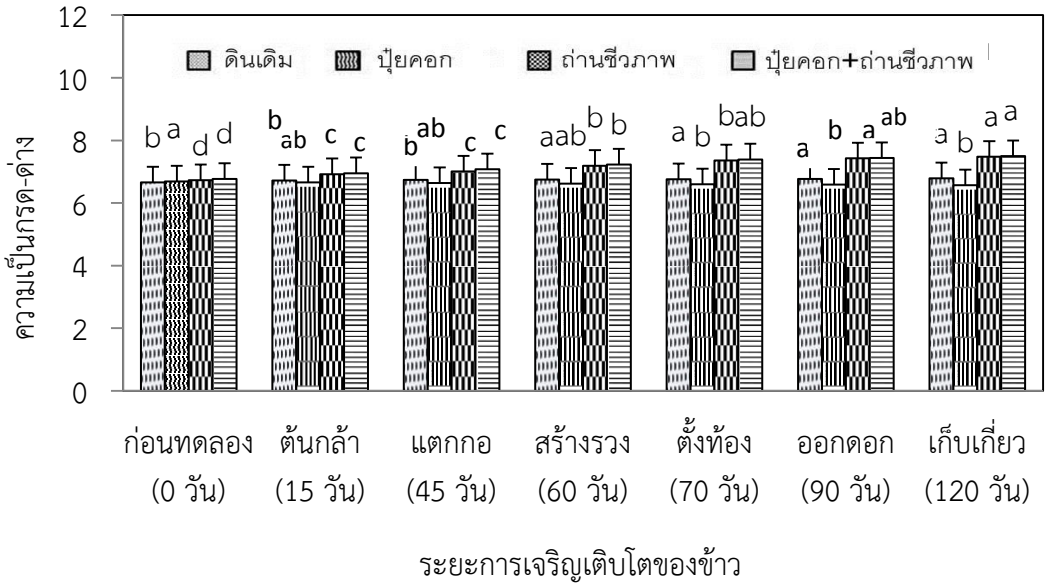
การศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวไร่ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ จากการปลูกข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระยะก่อนการปลูกข้าวไร่ (0 วัน) ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) มีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

4.2.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

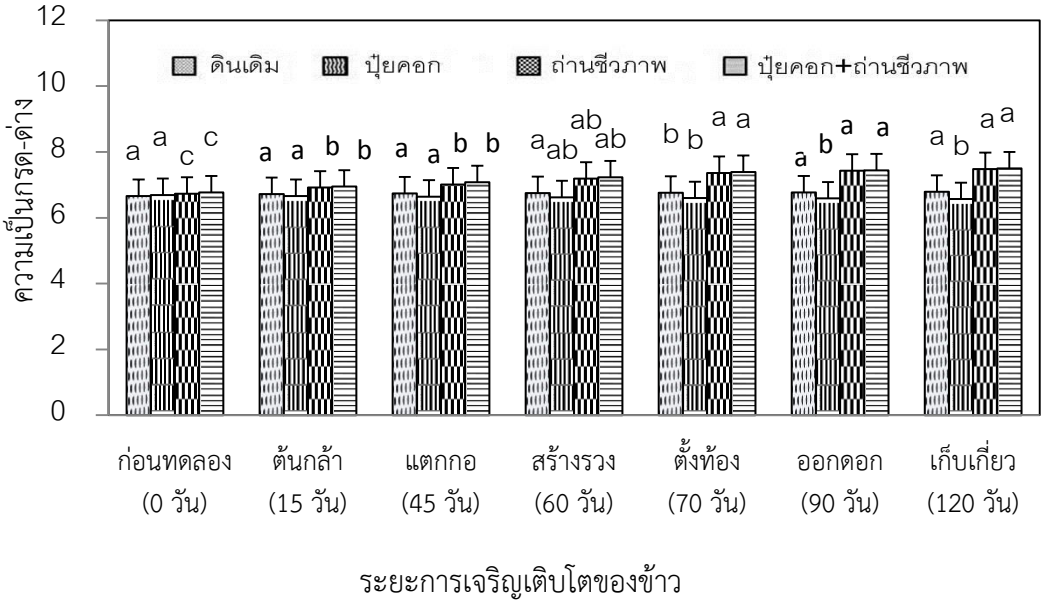
จากการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ในทุกตำรับการทดลองของข้าวทุกสายพันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงดินก่อนทดลอง (0 วัน) ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) มีค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a, ab, b, c และd) (รูปที่ 4.1-4.3)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ ในตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก ดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง (ตัวอักษร ก กข ข ขค และ ค) (ตารางที่ ข 1) โดยดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ดิน+ปุ๋ยคอกและดินเดิม ตามลำดับ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในทุกระยะการเจริญเติบโต และทุกพันธุ์ข้าวที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 6.60-7.51 ซึ่งเป็นช่วงที่ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดี (กรมการข้าว, 2555)

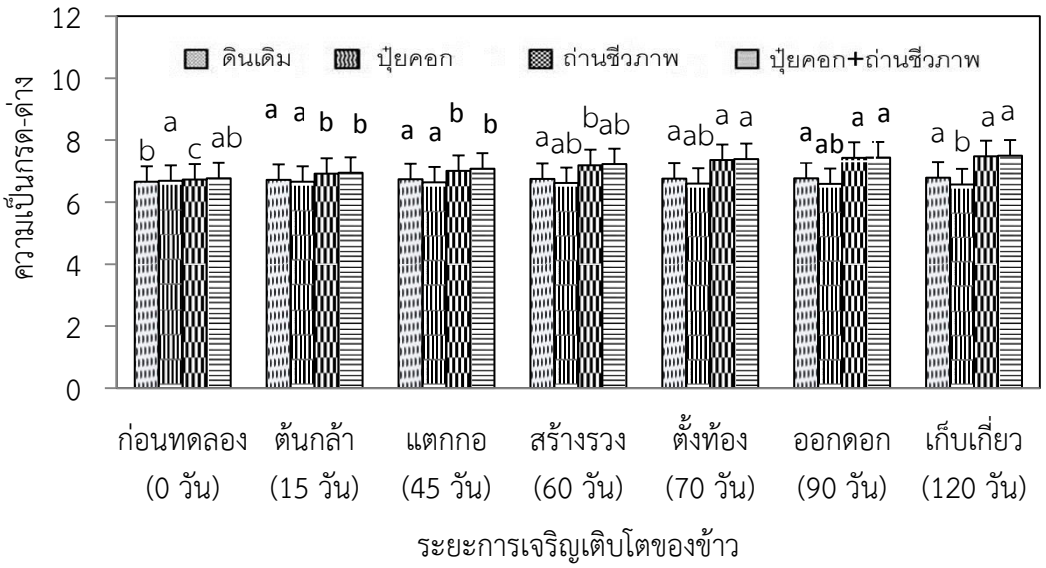
ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.60-6.71 ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร จารุณี นักระนาด และชอบ คณะฤกษ์, 2534) ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินมีประจุลบเป็นจำนวนมาก และมีความสามารถในการดูดซับแคตไอออนได้สูง จึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน ได้ดี หรือมี buffering capacity สูงขึ้น ปฏิกิริยานี้เป็น equilibrium reaction หากมีการเพิ่มสารประกอบที่มีสมบัติเป็นกรดหรือด่างลงไปในดิน ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นทันทีเพื่อรักษาสมดุลทำให้การสะสมของกรดหรือด่างในสารละลายดิน (soil solution) มีน้อยมาก ทำให้ pH เปลี่ยนแปลงน้อยมาก จึงทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)



รูปที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



รูปที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



รูปที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

จากการศึกษาพบว่า ดินในตำรับการทดลองที่มีการใส่ถ่านชีวภาพร่วมด้วยจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากพื้นผิวของถ่านชีวภาพมีประจุลบสุทธิสูง จึงทำให้ถ่านชีวภาพมีสมบัติเป็นด่าง (อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, 2552) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ (Rodríguez, 2009) ที่พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินที่ปลูกข้าวโพดทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้น 1.75 หน่วย คือ เพิ่มจาก 4.58 เป็น 6.33 และผลการวิจัยของ (Novak, 2009) ที่ศึกษาผลของถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินทรายและมีความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ต่ำ พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินเพิ่มสูงขึ้นจาก 4.8 เป็น 6.4

4.2.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า

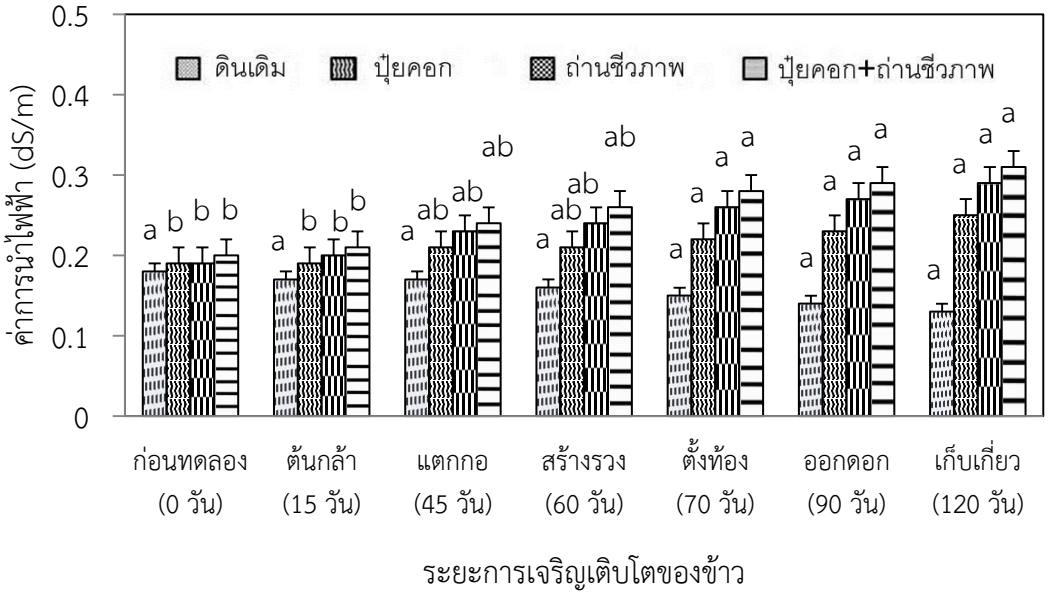
จากการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของดิน พบว่า ในทุกตำรับการทดลองของข้าวทุกสายพันธุ์ตามระยะการเจริญการเติบโตของข้าวในช่วงก่อนการทดลอง (0 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) มีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a, ab และb) ส่วนในระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) และระยะสร้างรวง (60 วัน) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a)

ค่าการนำไฟฟ้าในทุกตำรับการทดลองของข้าวทุกสายพันธุ์ ในระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) และระยะสร้างรวง (60 วัน) มีค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง (ตัวอักษร ก) ส่วนในช่วงดินก่อนการทดลอง (0 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน)

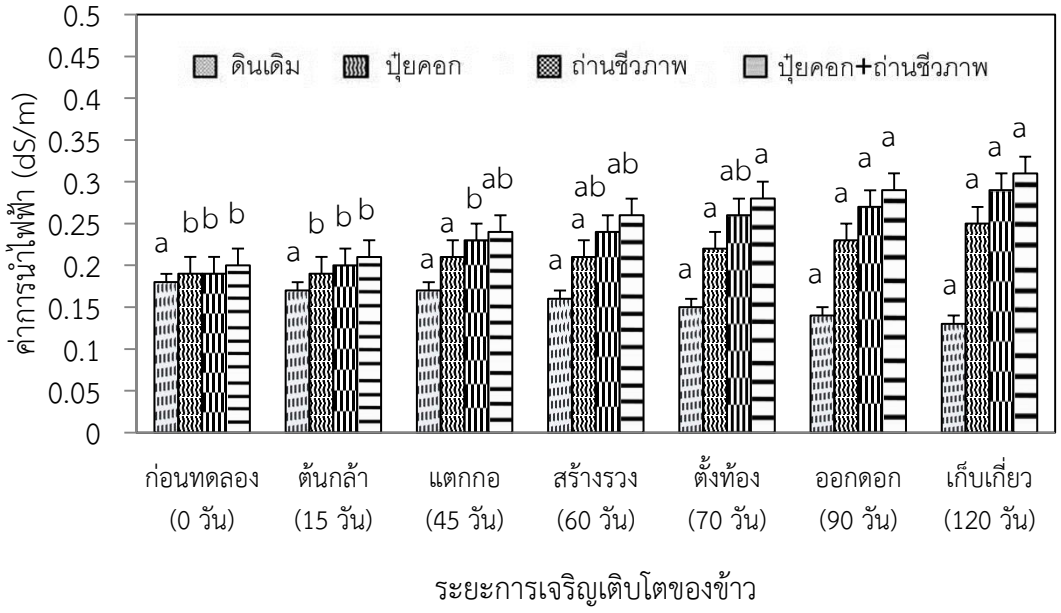
ในทุกตำรับการทดลอง มีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง (ตัวอักษร ก ข กข ขค และ ค) (ตารางที่ ข 2) โดยดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ข้าวที่ศึกษา

ดินในตำรับการทดลองดินเดิมของทุกพันธุ์ข้าวมีแนวโน้มของค่าการนำไฟฟ้าลดลงในทุกระยะการทดลอง คือ มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.13–0.18 ds/m (รูปที่ 4.4-4.6) ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกว่ามีไอออนปรากฏรวมกันในดินมาก แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นไอออนในรูปใด (สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2553) ดินที่ละลายออกมาอาจละลายออกมาในรูปไอออนบวก ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ได้ จึงทำให้เมื่อระยะเวลาผ่านไปข้าวนำไอออนบวกเหล่านี้ไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตจึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง

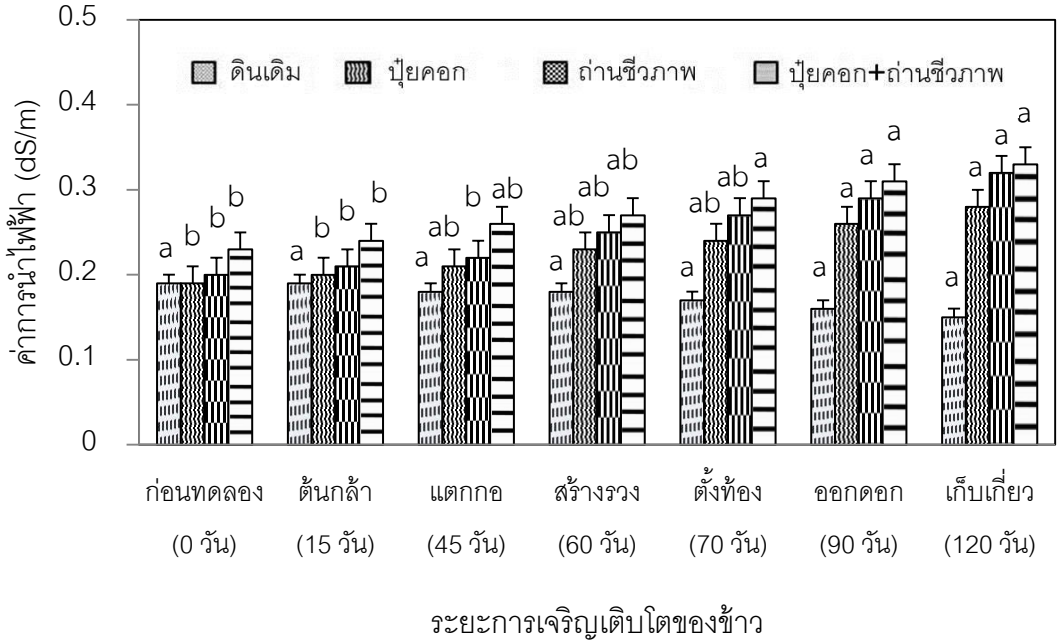
ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก มีแนวโน้มค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในทุกระยะการทดลอง เนื่องจากปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินที่ใช้ในการทดลอง คือ 0.35 dS/m เมื่อใส่ลงไปในดินจะเป็นการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าให้แก่ดิน เช่นเดียวกันกับดินในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในทุกระยะการทดลอง เนื่องจากทั้งถ่านชีวภาพและปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าดินคือ 0.49 dS/m และ 0.35 dS/m ตามลำดับ เมื่อใส่ลงไปในดินจึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 ค่าการนำไฟฟ้าในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



รูปที่ 4.5 ค่าการนำไฟฟ้าในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



รูปที่ 4.6 ค่าการนำไฟฟ้าในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

4.2.2.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM)

จากการศึกษาปริมาณอินทรียวัตถุของดิน พบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองของข้าวพันธุ์เหลืองและข้าวรวม ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงก่อนทดลอง (0 วัน) ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a, ab, b, c และ d)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแต่ละตำรับการทดลองของการปลูกข้าวพันธุ์นาสารในช่วงก่อนทดลอง (0 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตัวอักษร a, ab, b, c และ d) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดินในระยะต้นกล้า (15 วัน) ในแต่ละตำรับการทดลองปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a)

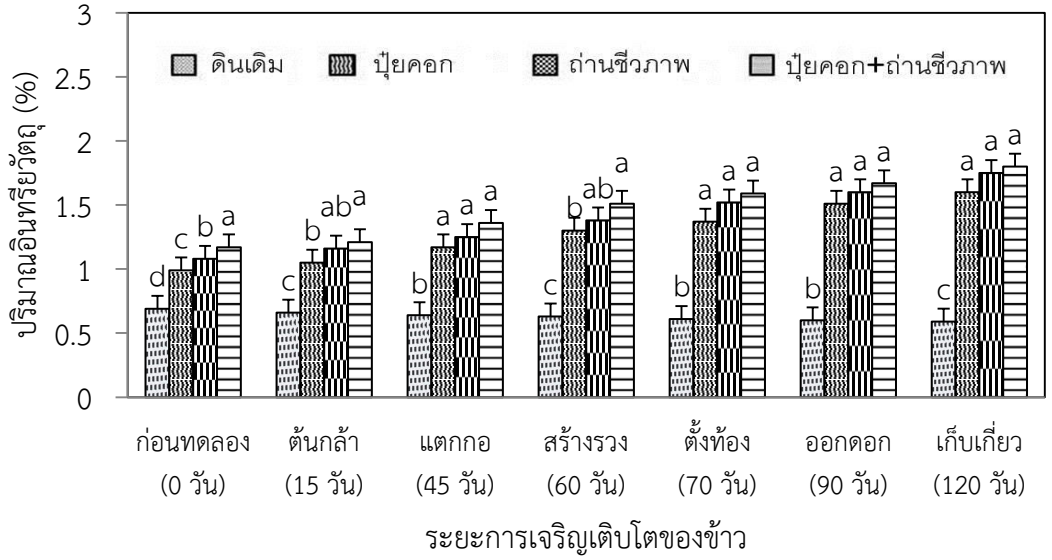
ปริมาณอินทรียวัตถุในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ ในตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก ดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรียวัตถุแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง (ตัวอักษร ก กข ข ค และ ง) (ตารางที่ ข 3) โดยดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก +ถ่านชีวภาพ มีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ข้าวที่ศึกษา

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ปลูกข้าวทุกสายพันธุ์และทุกตำรับการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 0.65-1.81 % (รูปที่ 4.7-4.9) ภายหลังการทดลองปลูกข้าว พบว่า ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก มีแนวโน้มปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นในทุกระยะการทดลอง ทั้งนี้เนื่องมาจากปุ๋ยคอกที่ใส่ลงไปในดินถือว่าเป็นแหล่งอินทรียวัตถุ เมื่อสลายตัวจะทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ขึ้น (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) ซึ่งอินทรียวัตถุเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนให้กับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2553)

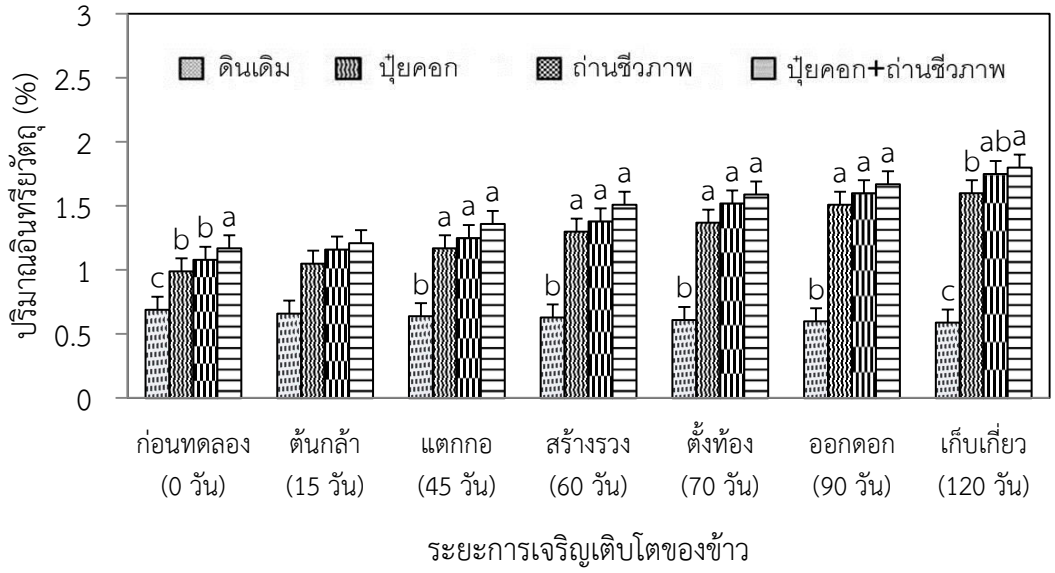
ดินในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นในทุกระยะการทดลอง เนื่องจากถ่านชีวภาพก่อนการทดลองมีอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 20.25 % การใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินจะทำให้ดินได้รับสารอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในถ่านชีวภาพซึ่งจะเป็นแหล่งธาตุอาหารให้แก่ข้าวที่ปลูกในดินดังกล่าว อีกทั้งการเติมถ่านชีวภาพลงไปในดินจะช่วยลดความหนาแน่นของดิน ทำให้ดินโปร่งและมีออกซิเจนสูงขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินสูงขึ้นด้วย (Steiner, 2009)

ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นในทุกระยะการทดลองเช่นกัน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีรูพรุนสูงจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากทำให้

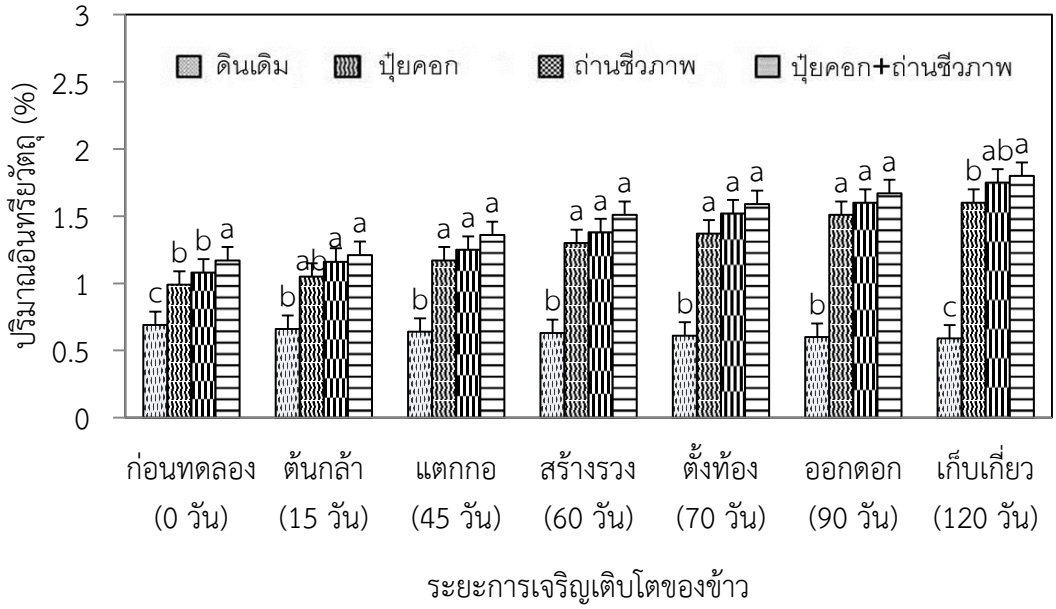
สามารถดูดซับปริมาณสารอินทรีย์จากปุ๋ยคอกที่ใส่ลงไปในดิน อีกทั้งปริมาณอินทรียวัตถุในถ่านชีวภาพมีปริมาณมากจึงทำให้ดินที่ได้รับปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าทุกตำรับการทดลอง ในขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุในตำรับการทดลองดินเดิมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากต้นข้าวมีการดูดซับอินทรียวัตถุไปใช้ในการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



รูปที่ 4.8 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



รูปที่ 4.9 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

4.2.2.4 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC)

จากการศึกษาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินของข้าวทุกสายพันธุ์และทุกตำรับการทดลองพบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองของข้าวทุกสายพันธุ์ ตามระยะการเจริญการเติบโตของข้าวในช่วงก่อนทดลอง (0 วัน) ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a, ab, b, c และ d)

ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ ในตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก ดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณอินทรียวัตถุแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง (ตัวอักษร ก กข ข ค และ ง) (ตารางที่ ข 4) โดยดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ข้าวที่ศึกษา

ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินที่ปลูกข้าวทุกสายพันธุ์และทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 8.95-18.11 cmol/Kg (รูปที่ 4.10-4.12) โดยค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในตำรับการทดลองดินเดิมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณสารอินทรีย์ในดิน กล่าวคือ ปริมาณ

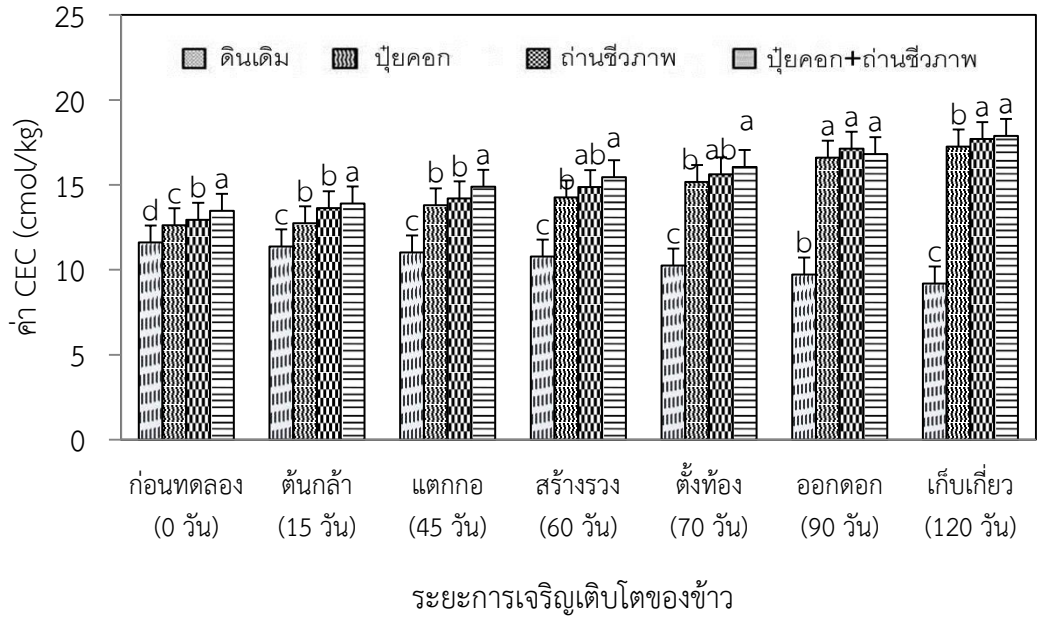
อินทรียวัตถุในดินมีผลในการเพิ่มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก สารฮิวมัสที่ได้จากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดิน สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่เป็นไอออนบวกได้ดีเป็นผลทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากในดินก่อนการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณอินทรียวัตถุในดินก็ยิ่งลดลง จึงทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินลดลงด้วย

ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก มีแนวโน้มความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นในทุกระยะการทดลอง ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่อปุ๋ยคอกถูกจุลินทรีย์ดินย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุต่าง ๆ ออกมาในรูปอนินทรีย์แล้วเหลือสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีลักษณะคงทน เรียกว่า ฮิวมัส ซึ่งมีความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง (ยงยุทธ โอสถสภา, 2528) ทำให้ธาตุอาหารพืชซึ่งเป็นไอออนบวกถูกดูดซับไว้ไม่ให้สูญหายไปเนื่องจากกระบวนการชะล้าง ทำให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชเป็นไปได้ดียิ่งขึ้น

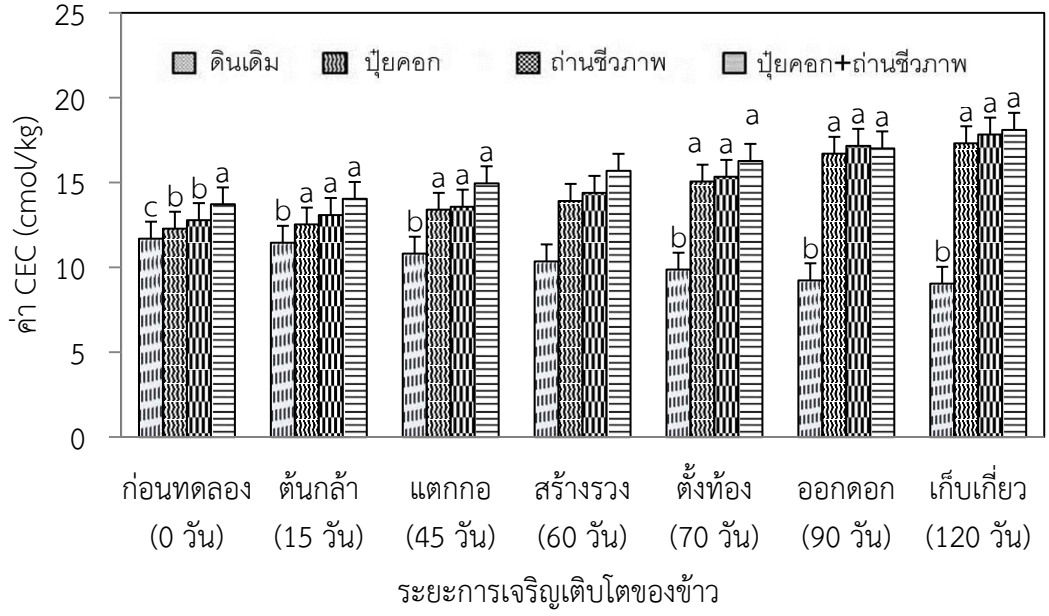
ดินในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นในทุกระยะการทดลอง เนื่องจากถ่านชีวภาพมีรูพรุน มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวก high aromatic ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูง และเกิดหมู่ฟังก์ชั่นต่าง ๆ โดยเฉพาะคาร์บอกซิล (COO^-) นั่นคือมี ประจุลบสุทธิที่พื้นผิวในปริมาณมากจึงทำให้มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ประกอบกับถ่านชีวภาพมีรูพรุนสูงจึงทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชซึ่งอยู่ในรูปที่เป็นไอออนบวกได้ เมื่อใส่ลงไปในดินที่มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุต่ำ ทำให้สามารถเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนประจุได้ (อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, 2552)

ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นในทุกระยะการทดลองเช่นกัน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีประจุลบสุทธิที่พื้นผิวในปริมาณมากจึงทำให้มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงและปุ๋ยคอกมีเมื่อเกิดการย่อยสลายของอินทรียวัตถุทำให้ได้ฮิวมัส ซึ่งมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ส่งผลทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่เป็นไอออนบวกได้ดียิ่งขึ้น เมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกลงในดินเป็นผลทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินสูงกว่าทุกตำรับการทดลอง

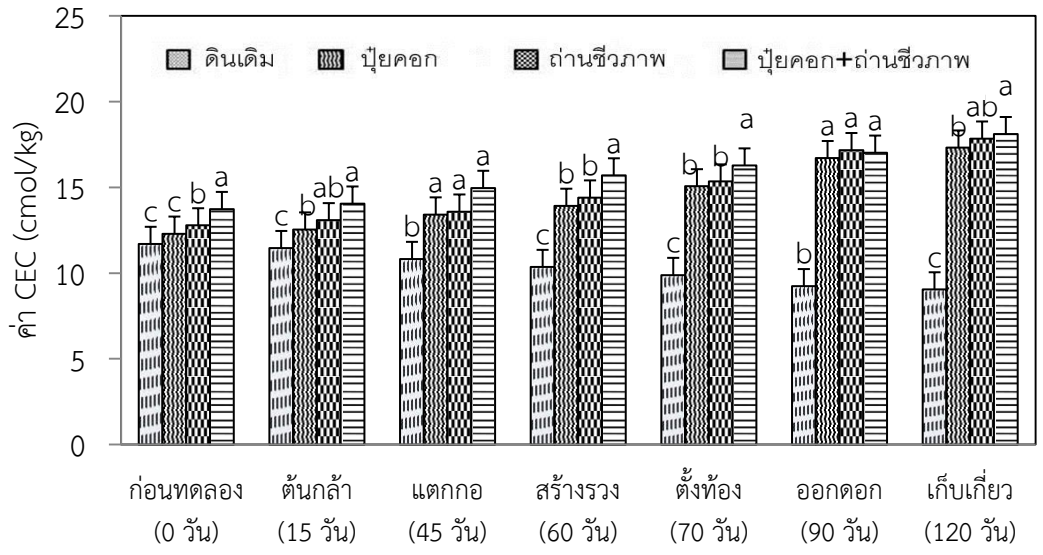
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.10 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



รูปที่ 4.11 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



รูปที่ 4.12 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

4.2.2.5 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด

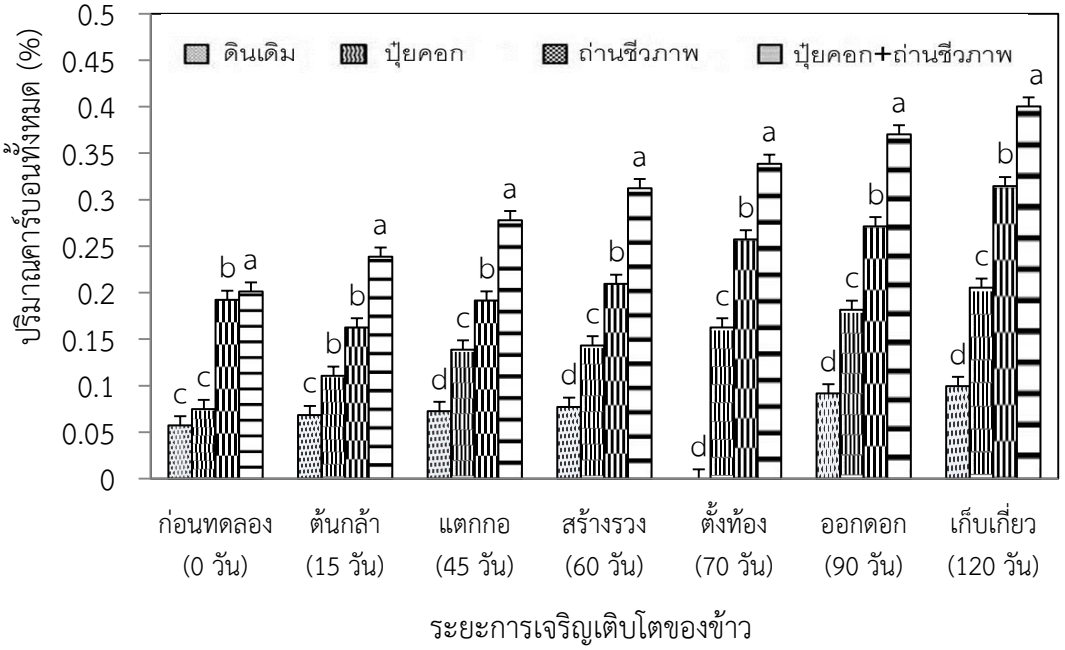
จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของข้าวทุกสายพันธุ์และทุกตำรับการทดลองพบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองของข้าวทุกสายพันธุ์ ตามระยะการเจริญการเติบโตของข้าวในช่วงก่อนทดลอง (0 วัน) ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a, b, c และ d)

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ ในตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก ดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง (ตัวอักษร ก ข ค และ ง) (ตารางที่ ข 5) โดยดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิมตามลำดับ ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ข้าวที่ศึกษา

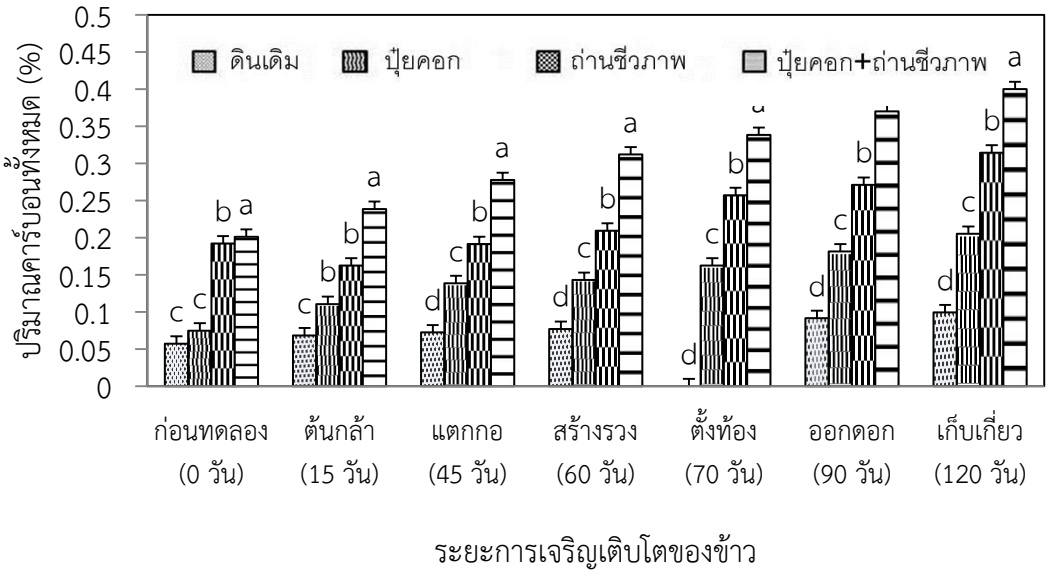
จากการทดลองพบว่า ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดมากกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ โดยปริมาณคาร์บอนทั้งหมดทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.13-4.15) ดินในตำรับการทดลองดินเดิมมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการกักเก็บคาร์บอนในดินโดยอาศัยพืชเป็นตัวดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงให้กลายเป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบที่

สำคัญของโครงสร้างของพืชหรืออินทรีย์คาร์บอนในพืช หากสามารถนำส่วนต่าง ๆ ของพืชเหล่านี้กลับลงดินและกักเก็บในดินไว้ก็จะเป็นการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินได้มาก (สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2556)

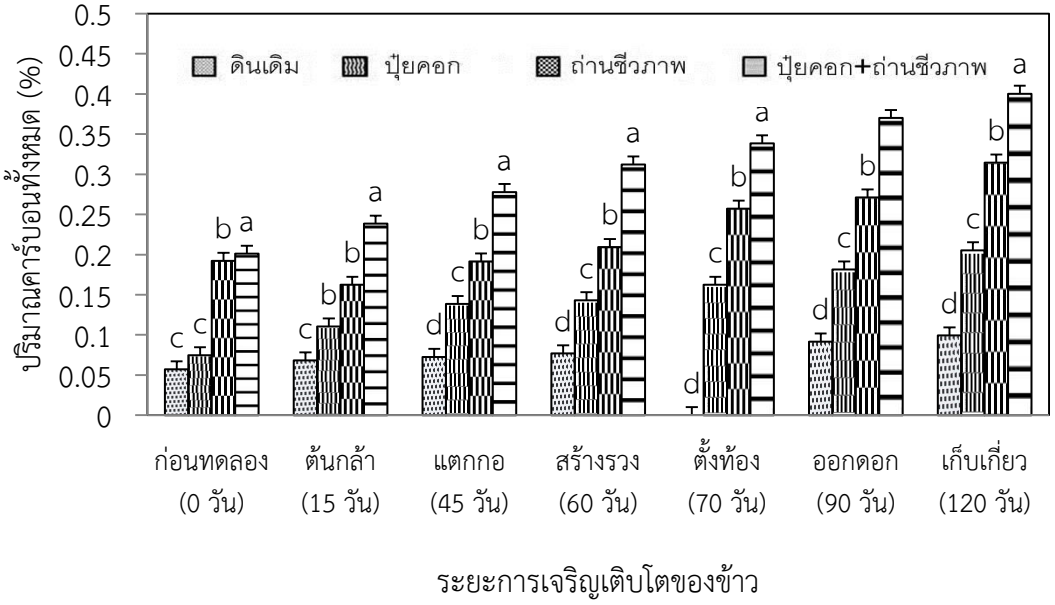
ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีแนวโน้มปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอินทรียวัตถุมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเมื่อใส่ลงไปในดิน ถึงแม้จะมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แต่ก็มีบางส่วนที่ย่อยสลายยาก เช่น สารฮิวมัส ซึ่งยังคงเก็บสะสมอยู่ในดินต่อไปในรูปของอินทรียวัตถุจึงถือว่าเป็นการเพิ่มคาร์บอนให้แก่ดิน ส่วนในตำรับการทดลองที่มีการใส่ถ่านชีวภาพร่วมด้วยมีแนวโน้มปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อนำถ่านชีวภาพไปใส่ไว้ในดิน จะเป็นการกักเก็บคาร์บอนในดิน สามารถลดการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ (อรสา สุกสว่าง, 2552)



รูปที่ 4.13 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



รูปที่ 4.14 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวนาสาร



รูปที่ 4.15 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

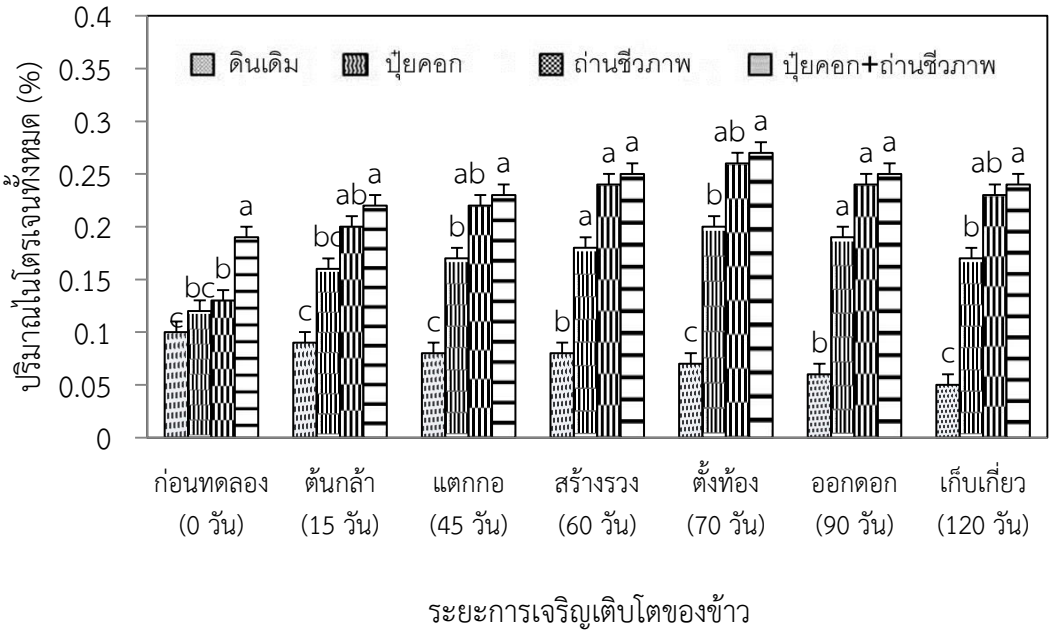
4.2.2.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของข้าวทุกสายพันธุ์และทุกตำรับการทดลองพบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองของข้าวทุกสายพันธุ์ ตามระยะการเจริญการเติบโตของข้าวในช่วงก่อนทดลอง (0 วัน) ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญการเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a, ab, b, bc และ c) (รูปที่ 4.16-4.18)

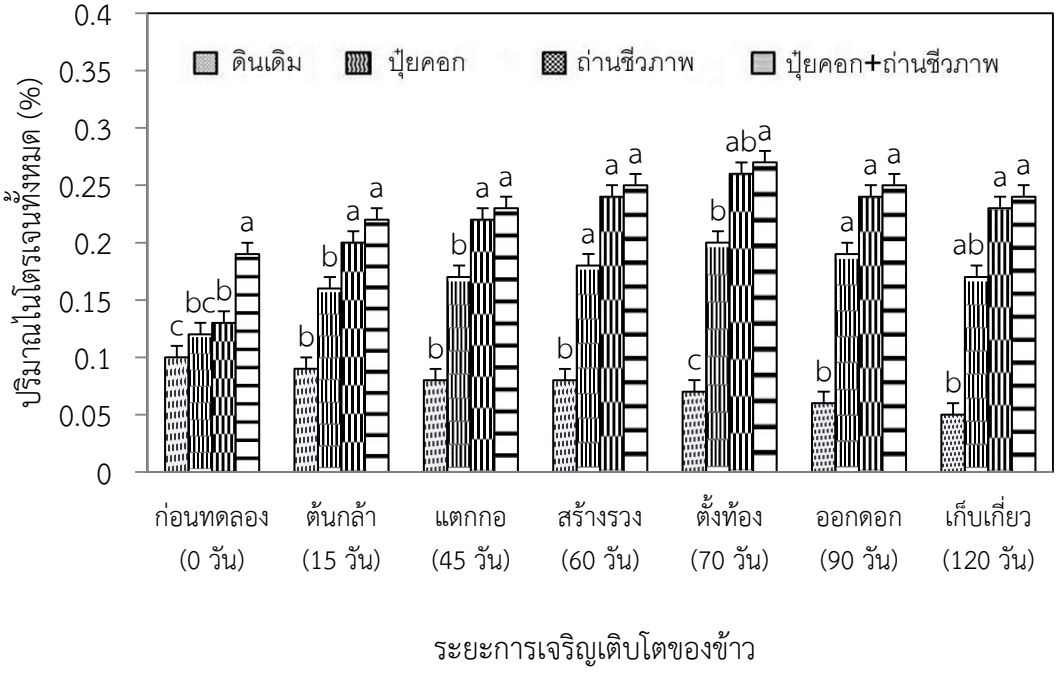
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ในตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก ดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง (ตัวอักษร ก กข ข ขค และ ค) (ตารางที่ ข 6) โดยดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ข้าวที่ศึกษา

ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีแนวโน้มของปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากปุ๋ยคอกมีอินทรียวัตถุซึ่งเป็นแหล่งสำคัญที่ปลดปล่อยไนโตรเจนให้แก่ดิน อีกทั้งคุณสมบัติของอินทรียวัตถุช่วยทำให้ดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชได้มากเพราะอินทรียวัตถุมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากและมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเป็นส่วนใหญ่จึงสามารถดูดซับไอออนบวกได้มาก (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) จึงส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงระยะออกดอกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ (วัลนิกา หมั่นเพียรสุข, 2547) ที่ศึกษาพบว่า มีการสะสมปริมาณของไนโตรเจนในส่วนของฟางข้าว รากข้าว ลูกข้าวและเมล็ดข้าวเปลือก

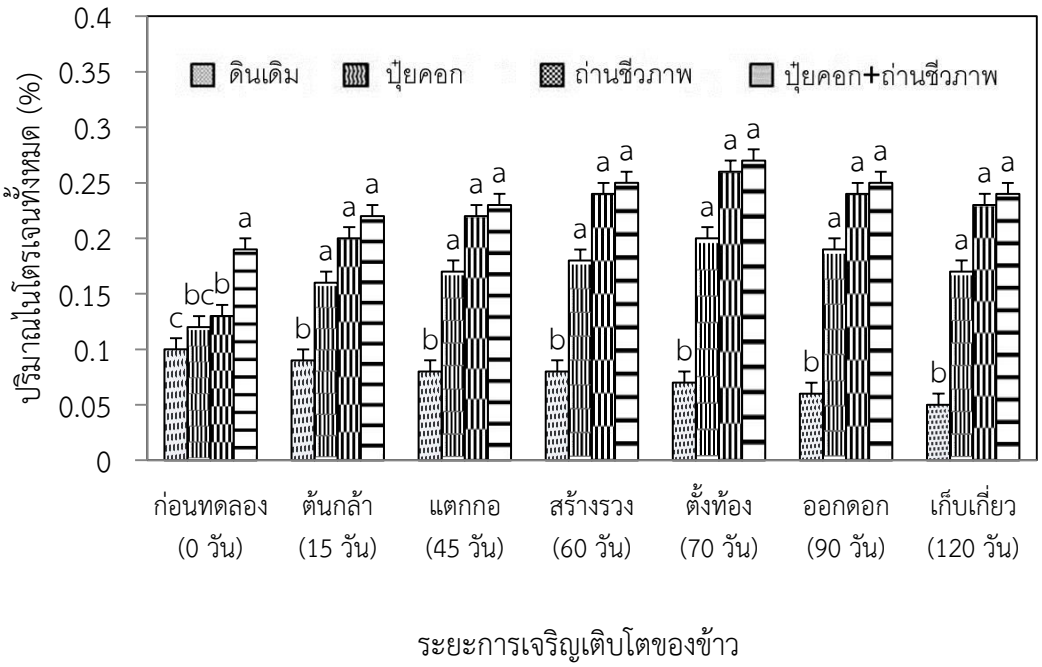
ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ และ ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ลดลงในระยะออกดอกจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มของปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเนื่องจากถ่านชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนสูงการใส่ลงไปในดินจึงทำให้เป็นการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินให้สูงขึ้น และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มของปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีรูพรุนซึ่งสามารถดูดซับสารอินทรีย์จากปุ๋ยคอกได้ ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายจะปลดปล่อยไนโตรเจนออกมา



รูปที่ 4.16 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



รูปที่ 4.17 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



รูปที่ 4.18 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

4.2.2.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของข้าวทุกสายพันธุ์และทุกตำรับการทดลองพบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองของข้าวทุกสายพันธุ์ ตามระยะการเจริญการเติบโตของข้าวในช่วงก่อนทดลอง (0 วัน) ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญการเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a, b, c และ d) (รูปที่ 4.19-4.21)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ ในตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก ดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง (ตัวอักษร ก ข ค และ ง) (ตารางที่ ข 7) โดยดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ข้าวที่ศึกษา

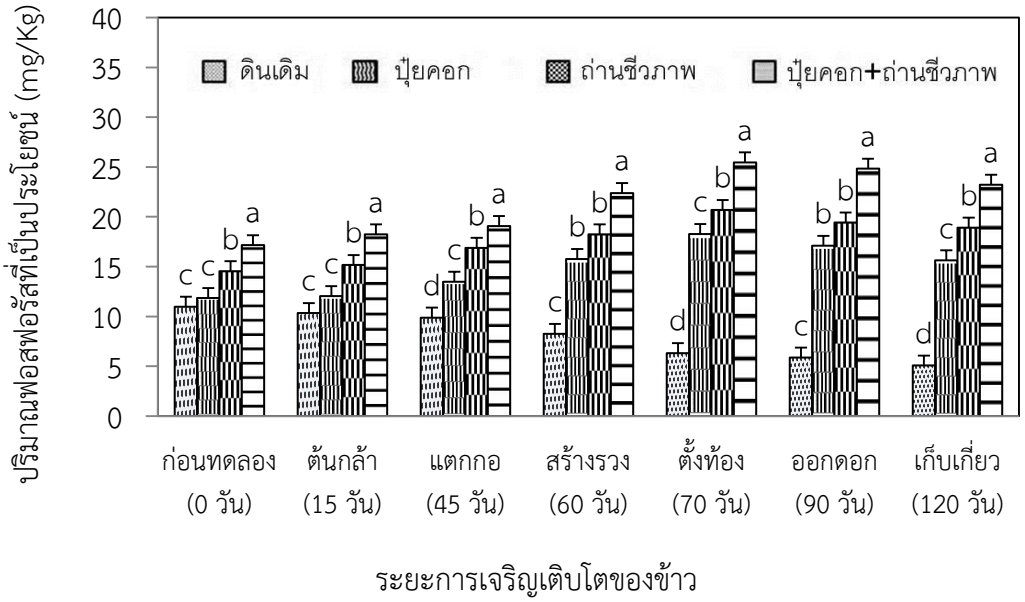
ดินในตำรับการทดลองดินเดิมของทุกพันธุ์ข้าวมีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลง เนื่องจากฟอสฟอรัสในดินจะปรากฏในรูปของสารประกอบที่เรียกว่า ออโธฟอสเฟต เมื่อมีการแตกตัวออกไปจะเรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็น

ไอออนของกรดออโธฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้ 2 แบบ ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลายดิน กรณีที่ pH ของดินต่ำกว่า 6.8 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพืชนำไปใช้ได้ง่ายที่สุด และpH ของดินที่มีค่าระหว่าง 6.8–7.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูป HPO_4^{2-} มาก ซึ่งพืชดูดดึงได้ช้ากว่ารูป $H_2PO_4^-$ และถ้า pH ของดินสูงกว่า 7.2 จะมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในรูป PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ ทำให้พืชดูดดึงไปใช้ได้ยาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) ซึ่งดินที่ใช้ในการทดลองในตำรับดินเดิมมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.70-6.79 ดังนั้น ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจึงอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตได้ดี จึงทำให้เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจึงลดลง

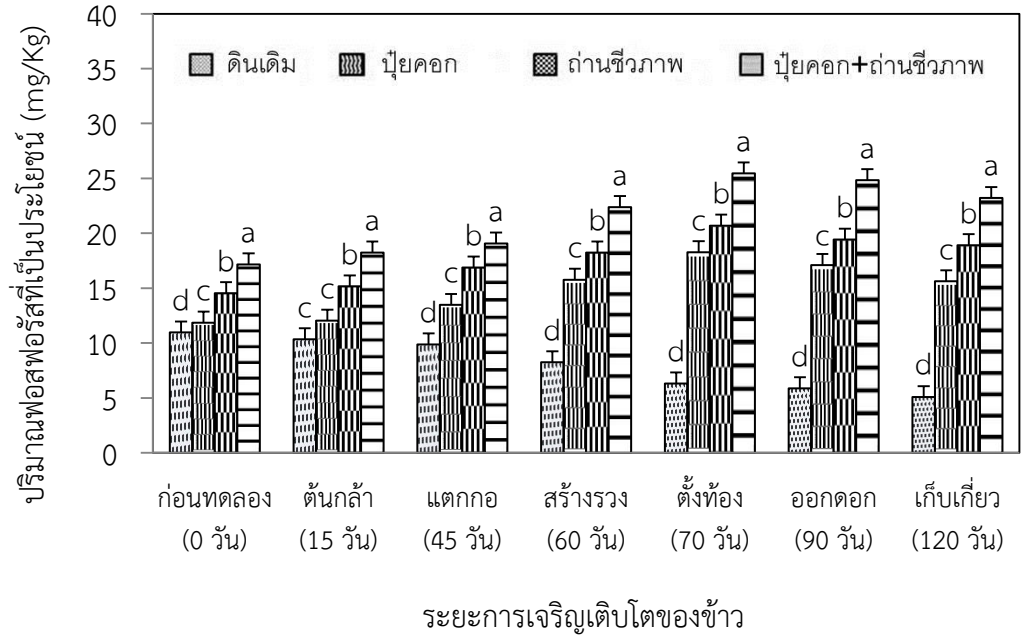
ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง และเมื่อเติมลงไปในดินจะเกิดการแปรสภาพฟอสฟอรัสในรูปอินทรีย์สารไปเป็นสารอนินทรีย์ เช่น $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} ซึ่งพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงระยะออกดอกจึงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นผลมาจากที่ต้นข้าวต้องการฟอสฟอรัสในการสร้างดอก ผสมเกสรและติดเมล็ด (อรรถวุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

ดินในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไปในทิศทางเดียวกัน คือ ลดลงในระยะออกดอกจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยสาเหตุที่ทำให้ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงการใส่ลงไปในดินจึงทำให้เป็นการช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินให้สูงขึ้น และในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีรูพรุนซึ่งสามารถดูดซับสารอินทรีย์จากปุ๋ยคอกได้ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายจะปลดปล่อยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ออกมา

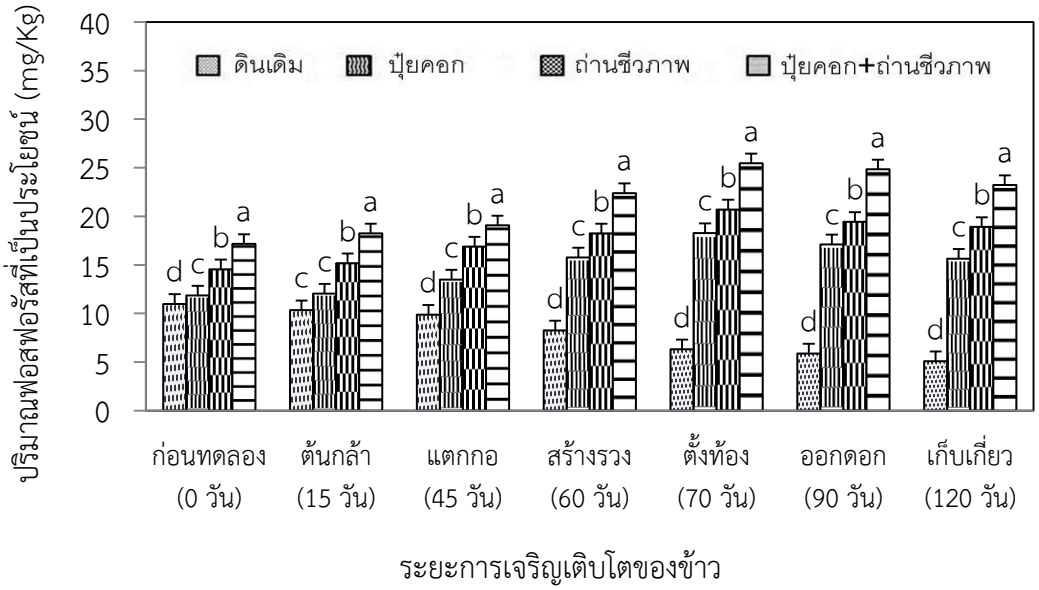
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.19 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



รูปที่ 4.20 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



รูปที่ 4.21 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

4.2.2.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้

ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของข้าวทุกสายพันธุ์และทุกตำรับการทดลองพบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองของข้าวทุกสายพันธุ์ ตามระยะการเจริญการเติบโตของข้าวในช่วงก่อนทดลอง (0 วัน) ระยะต้นกล้า (15 วัน) ระยะแตกกอ (45 วัน) ระยะสร้างรวง (60 วัน) ระยะตั้งท้อง (70 วัน) ระยะออกดอก (90 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ตัวอักษร a, ab, b, bc, c และ d) (รูปที่ 4.22-4.24)

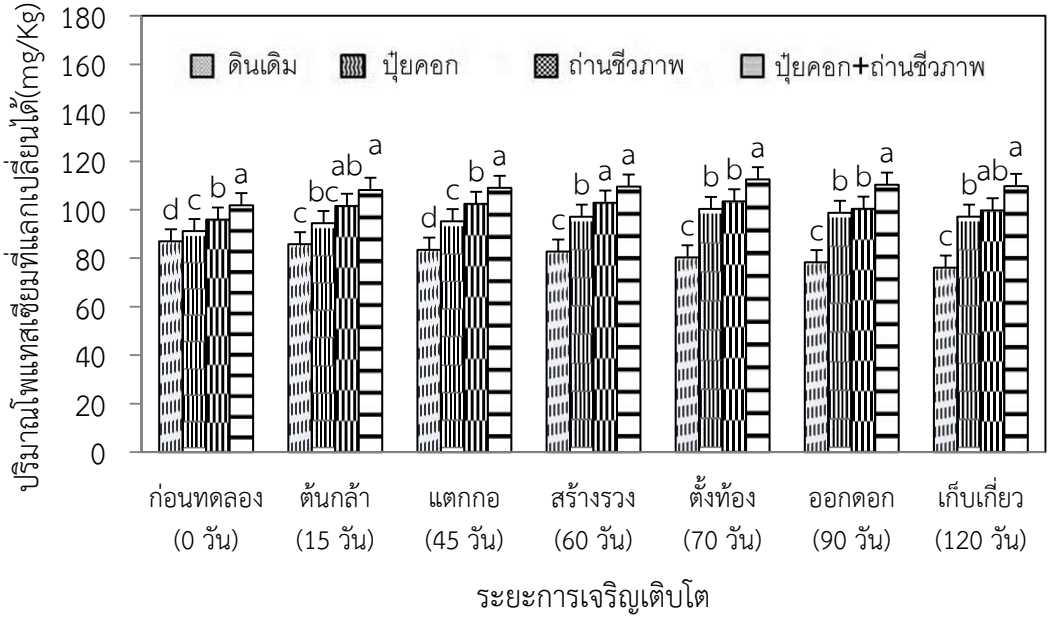
ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ ในตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก ดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง (ตัวอักษร ก กข ข ขค ค และ ง) (ตารางที่ ข 7) โดยดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวและทุกสายพันธุ์ข้าวที่ศึกษา

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ดินในตำรับการทดลองดินเดิมของทุกพันธุ์ข้าวมีแนวโน้มของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงเนื่องจากข้าวใช้โพแทสเซียมในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต โพแทสเซียมมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวคือ ช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโตทำให้ต้นข้าวแข็งแรงไม่ล้ม ช่วยสร้างคาร์โบไฮเดรตทำให้เมล็ดข้าวสมบูรณ์ มีเมล็ดขนาดใหญ่และมี

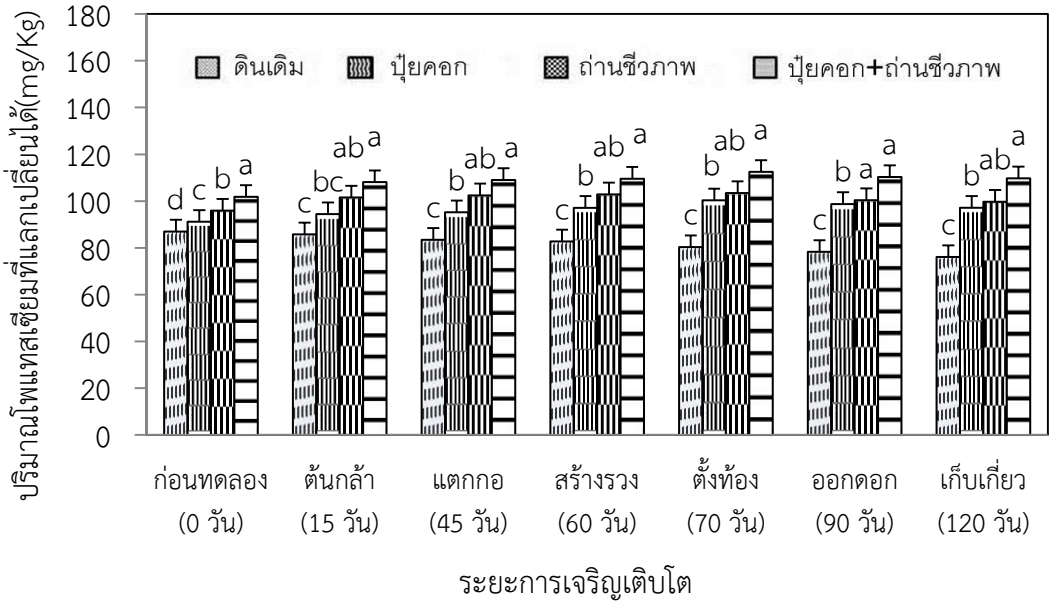
น้ำหนักดี อีกทั้งส่งเสริมการพัฒนาการของรากข้าวช่วยให้รากดูดน้ำได้ดีขึ้น (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543; อรรถวุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

ดินในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีแนวโน้มของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมปุ๋ยคอกลงไปในดินจะเป็นการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยในปุ๋ยคอกมีจะมีโพแทสเซียมซึ่งมักอยู่ในรูปไอออนที่ละลายน้ำได้ดีซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อพืชทันที (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงระยะออกดอกจึงมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว เนื่องจากโพแทสเซียมมีผลต่อจำนวนดอกและเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีต่อรวง โดยต้นข้าวจะนำไปสร้างดอก สร้างเมล็ด และทำให้ละอองเกสรแข็งแรง

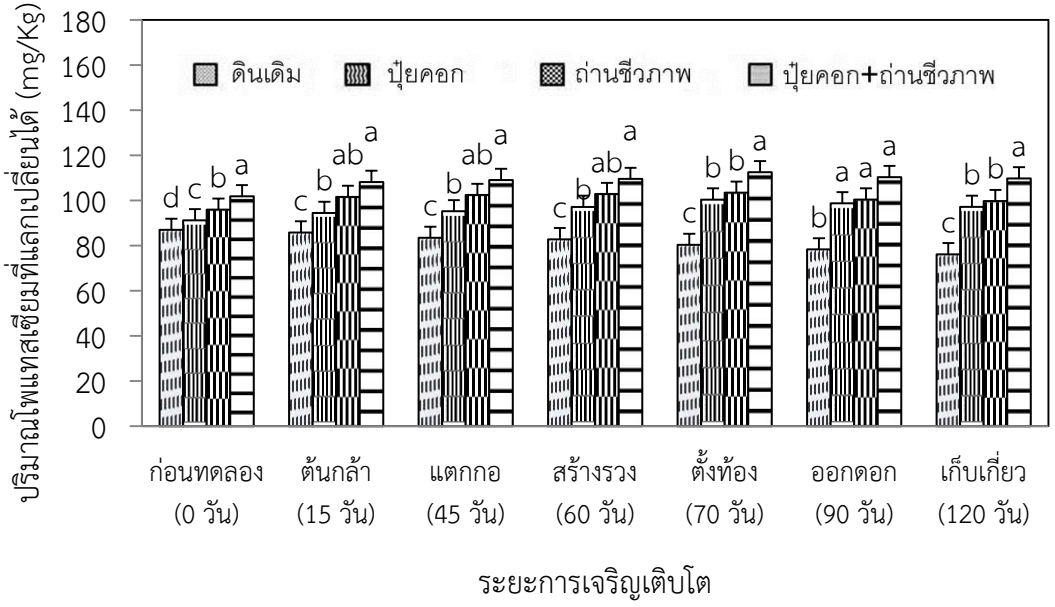
ดินในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ไปในทิศทางเดียวกัน คือลดลงในระยะออกดอกจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยว ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่สูงการใส่ลงไปในดินจึงทำให้เป็นการช่วยเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินให้สูงขึ้น ตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีแนวโน้มของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีรูพรุนซึ่งสามารถดูดซับสารอินทรีย์จากปุ๋ยคอกได้ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายจะปลดปล่อยปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ออกมา



รูปที่ 4.22 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



รูปที่ 4.23 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



รูปที่ 4.24 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินจากการเพาะปลูกข้าวไร่

การศึกษาการเปลี่ยนคุณสมบัติของดินในการทดลองปลูกข้าวพันธุ์เหลือง พันธุ์นาสาร และข้าวรวม ใน 4 ตำรับการทดลอง 1) ดินเดิม 2) ดิน+ปุ๋ยคอก 3) ดิน+ถ่านชีวภาพ 4) ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ) เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า คุณสมบัติของดินหลังการเพาะปลูกข้าวไร่มีคุณภาพดีขึ้น โดยสรุปได้ตามพารามิเตอร์ที่ศึกษา ดังนี้

4.2.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในดินของข้าวพันธุ์เหลือง ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด คือ 0.07 รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.04 และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด คือ 0.73 รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.71 ส่วนในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเท่ากับ 0.18 (ตารางที่ 4.12)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในดินของข้าวพันธุ์นาสาร ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด คือ 0.12 รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.08 และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด คือ 0.75 รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.70 ส่วนในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเท่ากับ 0.17 (ตารางที่ 4.12)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในดินของข้าวรวมก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด คือ 0.16 รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.14 และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.03 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด คือ 0.71 รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.69 ส่วนในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเท่ากับ 0.22 (ตารางที่ 4.12)

จากการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวทุกสายพันธุ์ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ระหว่างตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันเล็กน้อย และสามารถปรับเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างของดินได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิมตามลำดับ ในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจึงสามารถใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินได้ แต่หากใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกจะสามารถปรับปรุงค่าความเป็นกรด-ด่างของดินได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	
		ดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่	ดินหลังการปลูกข้าวไร่ (ระยะเก็บเกี่ยว)
เหลือง	ดินเดิม	6.7±0.14^{b}	6.78 ± 0.45^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	6.71±0.25^{b}	6.60 ± 0.18^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	6.73±0.36^{ab}	7.49 ± 0.29^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	6.77±0.34^{a}	7.51 ± 0.16^{a}
นาสาร	ดินเดิม	6.65±0.15^{c}	6.77 ± 0.12^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	6.67±0.14^{bc}	6.60 ± 0.17^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	6.73±0.25^{ab}	7.47 ± 0.14^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	6.77±0.72^{a}	7.52 ± 0.15^{a}
รวม	ดินเดิม	6.66±0.15^{c}	6.79 ± 0.61^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	6.69±0.15^{b}	6.57 ± 0.45^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	6.80±0.26^{a}	7.48 ± 0.38^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	6.82±0.20^{a}	7.50 ± 0.24^{a}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.3.2 ค่าการนำไฟฟ้า

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในดินของข้าวพันธุ์เหลืองก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ 0.02 dS/m รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่า

ความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 dS/m และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 dS/m ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ 0.18 dS/m รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.16 dS/m และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.12 dS/m ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในดินของข้าวพันธุ์นาสารก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ 0.03 dS/m รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 dS/m ส่วนในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก (0.19±0.34 dS/m) มีค่าค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากตำรับการทดลองดินเดิม (0.19±0.02 dS/m) (ตารางที่ 4.13)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ 0.18 dS/m รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.16 dS/m และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.12 dS/m ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในดินของข้าวรวมก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ 0.04 dS/m รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 dS/m ส่วนในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก (0.19±0.35 dS/m) มีค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากตำรับการทดลองดินเดิม (0.19±0.11 dS/m) (ตารางที่ 4.13)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ 0.18 dS/m รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.17 dS/m และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.13 dS/m ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13)

จากการเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของข้าวทุกสายพันธุ์ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ระหว่างตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพและตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกันเล็กน้อย และสามารถเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของดินได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ ในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของดินจึงสามารถใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของดินได้ แต่หากใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกจะสามารถเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของดินได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	
		ดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่	ดินหลังการปลูกข้าวไร่ (ระยะเก็บเกี่ยว)
เหลือง	ดินเดิม	0.18±0.05^{c}	0.13 ± 0.05^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.19±0.06^{bc}	0.25 ± 0.04^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.19±0.10^{ab}	0.29 ± 0.07^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	0.20±0.15^{a}	0.31 ± 0.04^{a}
นาสาร	ดินเดิม	0.19±0.02^{c}	0.15 ± 0.04^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.19±0.34^{bc}	0.27 ± 0.08^{ab}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.20±0.21^{ab}	0.31 ± 0.08^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	0.22±0.10^{a}	0.33 ± 0.09^{a}
รวม	ดินเดิม	0.19±0.11^{c}	0.15 ± 0.04^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.19±0.35^{bc}	0.28 ± 0.06^{ab}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.20±0.07^{ab}	0.32 ± 0.04^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	0.23±0.01^{a}	0.33 ± 0.12^{a}

4.2.3.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดินของข้าวพันธุ์เหลืองก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด คือ 0.41 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.32 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.25 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด คือ 1.16 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.08 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.91 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดินของข้าวพันธุ์นาสารก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด คือ 0.39 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+

ถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.33 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.28 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด คือ 1.21% รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.14 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.95 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดินของข้าวรวมก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด คือ 0.48 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.39 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.30 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด คือ 1.21% รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.16 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.01 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14)

จากการเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของข้าวทุกสายพันธุ์ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ระหว่างตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพและตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณอินทรียวัตถุที่แตกต่างกันเล็กน้อย และสามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุของดินได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิมตามลำดับ ในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุของดินจึงสามารถใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุของดินได้ แต่หากใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกจะสามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุของดินได้ดียิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	
		ดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่	ดินหลังการปลูกข้าวไร่ (ระยะเก็บเกี่ยว)
เหลือง	ดินเดิม	0.66±0.10^{d}	0.58 ± 0.06^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.91±0.15^{c}	1.49 ± 0.11^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.98±0.15^{b}	1.66 ± 0.06^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	1.07±0.21^{a}	1.74 ± 0.08^{a}
นาสาร	ดินเดิม	0.69±0.15^{c}	0.60 ± 0.06^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.97±0.02^{b}	1.55 ± 0.13^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	1.02±0.03^{b}	1.74 ± 0.15^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	1.08±0.03^{a}	1.81 ± 0.13^{a}
รวม	ดินเดิม	0.69±0.01^{d}	0.59 ± 0.14^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.99±0.29^{c}	1.60 ± 0.12^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	1.08±0.04^{b}	1.75 ± 0.12^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	1.17±0.03^{a}	1.80 ± 0.15^{a}

4.2.3.4 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดิน

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินของข้าวพันธุ์เหลืองก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงสุด คือ 2.01 cmol/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.63 cmol/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.42 cmol/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงสุด คือ 8.80 cmol/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 8.63 cmol/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.73 cmol/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินของข้าวพันธุ์นาสารก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงสุด คือ 1.86 cmol/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.33 cmol/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.01 cmol/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงสุด คือ 8.69 cmol/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 8.51 cmol/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 8.06 cmol/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินของข้าวรวมก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงสุด คือ 2.03 cmol/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.09 cmol/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.59 cmol/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงสุด คือ 9.06 cmol/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 8.79 cmol/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 8.27 cmol/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15)

จากการเปรียบเทียบค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของข้าวทุกสายพันธุ์ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ระหว่างตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพและตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่แตกต่างกันเล็กน้อย และสามารถเพิ่มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ ในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเพิ่มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินจึงสามารถใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในการเพิ่มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินได้ แต่หากใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกจะสามารถเพิ่มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่และหลังการปลูกข้าวไร่

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cmol/Kg)	
		ดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่	ดินหลังการปลูกข้าวไร่ (ระยะเก็บเกี่ยว)
เหลือง	ดินเดิม	11.62±0.08^{d}	8.95 ± 0.18^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	12.04±0.06^{c}	16.68 ± 0.63^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	12.25±0.05^{b}	17.58 ± 0.21^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	13.63±0.11^{a}	17.75 ± 0.27^{a}
นาสาร	ดินเดิม	11.61±0.67^{c}	9.19 ± 0.15^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	12.62±0.08^{b}	17.25 ± 0.65^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	12.94±0.21^{b}	17.70 ± 0.36^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	13.47±0.35^{a}	17.88 ± 0.72^{a}
รวม	ดินเดิม	11.70±0.26^{d}	9.05 ± 0.38^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	12.29±0.07^{c}	17.32 ± 0.21^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	12.79±0.24^{b}	17.84 ±0.59^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	13.73±0.10^{a}	18.11 ± 0.13^{a}

4.2.3.5 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของข้าวพันธุ์เหลืองก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.13 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.08 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.29 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.23 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.09 cmol/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของข้าวพันธุ์นาสารก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.13 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.08 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.28 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.22 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.08 cmol/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของข้าวรวมก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.14 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.10 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.30 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.21 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.11 cmol/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

จากการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของข้าวทุกสายพันธุ์ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ระหว่างตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพและตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่แตกต่างกันเล็กน้อย และสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกและดินเดิม ตามลำดับ ในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินจึงสามารถใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินได้ แต่หากใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกจะสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)	
		ดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่	ดินหลังการปลูกข้าวไร่ (ระยะเก็บเกี่ยว)
เหลือง	ดินเดิม	0.06±0.01^{c}	0.08 ± 0.07^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.07±0.05^{c}	0.17 ± 0.17^{c}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.14±0.27^{b}	0.31 ± 0.31^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	0.19±0.10^{a}	0.37 ± 0.30^{a}
นาสาร	ดินเดิม	0.06±0.002^{c}	0.10 ± 0.11^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.07±0.05^{c}	0.18 ± 0.02^{c}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.14±0.16^{b}	0.32 ± 0.01^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	0.19±0.10^{a}	0.38 ± 0.01^{a}
รวม	ดินเดิม	0.06±0.0032^{c}	0.10 ± 0.01^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.07±0.1180^{c}	0.21 ± 0.33^{c}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.16±0.4652^{b}	0.31 ± 0.01^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	0.20±0.1020^{a}	0.40 ± 0.01^{a}

4.2.3.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของข้าวพันธุ์เหลืองก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.04 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.02 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.21 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.17 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.14 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของข้าวพันธุ์นาสารก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลอง

ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.08 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.05 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.02 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.21 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.19 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.12 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของข้าวรวมก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.09 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.03 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.02 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ 0.19 % รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.18 % และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.12 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17)

จากการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของข้าวทุกสายพันธุ์ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ระหว่างตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพและตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่แตกต่างกันเล็กน้อย และสามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกและดินเดิม ตามลำดับ ในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินจึงสามารถใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินได้ แต่หากใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกจะสามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินได้ดียิ่งขึ้น

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)	
		ดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่	ดินหลังการปลูกข้าวไร่ (ระยะเก็บเกี่ยว)
เหลือง	ดินเดิม	0.13±0.02^{c}	0.05 ± 0.02^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.14±0.07^{bc}	0.19 ± 0.02^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.15±0.02^{b}	0.22± 0.09^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	0.17±0.03^{a}	0.26 ± 0.03^{a}
นาสาร	ดินเดิม	0.11±0.05^{c}	0.04 ± 0.01^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.13±0.27^{bc}	0.16± 0.05^{ab}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.16±0.02^{b}	0.23± 0.10^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	0.19±0.01^{a}	0.25 ± 0.11^{a}
รวม	ดินเดิม	0.10±0.02^{c}	0.05 ± 0.01^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	0.12±0.01^{bc}	0.17± 0.10^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	0.13±0.37^{b}	0.23 ± 0.01^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	0.19±0.03^{a}	0.24 ± 0.07^{a}

4.2.3.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของข้าวพันธุ์เหลืองก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด คือ 3.85 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.85 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.20 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด คือ 13.86 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.48 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.08 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของข้าวพันธุ์นาสารก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด คือ 4.72 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.03 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.54 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด คือ 15.92 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 12.83 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 9.53 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของข้าวรวมก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในสูงสุด คือ 6.19 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.57 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.88 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด คือ 18.14 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 13.83 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.55 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18)

จากการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของข้าวทุกสายพันธุ์ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ระหว่างตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพและตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่แตกต่างกันเล็กน้อย และสามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ ในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินจึงสามารถใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินได้ แต่หากใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกจะสามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/Kg)	
		ดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่	ดินหลังการปลูกข้าวไร่ (ระยะเก็บเกี่ยว)
เหลือง	ดินเดิม	10.88±0.35^{c}	7.22 ± 0.44^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	11.08±0.06^{c}	14.30 ± 0.31^{c}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	12.73±0.21^{b}	17.70 ± 0.30^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	14.73±0.24^{a}	21.08 ± 0.18^{a}
นาสาร	ดินเดิม	10.86±0.08^{d}	5.34 ± 0.22^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	11.40±0.09^{c}	14.87 ± 0.32^{c}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	12.89±0.12^{b}	18.17 ± 0.83^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	15.58±0.48^{a}	21.26 ± 0.07^{a}
รวม	ดินเดิม	10.97±0.06^{d}	5.08 ± 1.10^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	11.85±0.12^{c}	15.63 ± 1.15^{c}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	14.54±0.65^{b}	18.91 ± 0.37^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	17.16±0.50^{a}	23.22 ± 0.83^{a}

4.2.3.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดิน

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินของข้าวพันธุ์เหลืองก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูงสุด คือ 14.30 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.74 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.42 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูงสุด คือ 40.11 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 32.68 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก

มีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 28.05 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินของข้าวพันธุ์นาสารก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูงสุด คือ 13.77 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 8.2 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.41 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูงสุด คือ 28.97 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 24.91 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 19.79 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินของข้าวรวมก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูงสุด คือ 14.85 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 8.95 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.21 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19)

ในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินของตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูงสุด คือ 33.62 mg/Kg รองลงมาคือตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 23.60 mg/Kg และตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกมีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 21.03 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19)

จากการเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของข้าวทุกสายพันธุ์ก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ (0 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า ระหว่างตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพและตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ที่แตกต่างกันเล็กน้อย และสามารถเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของดินได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ ในการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของดินจึงสามารถใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของดินได้ แต่หากใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกจะสามารถเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ได้ดียิ่งขึ้น

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่ และหลังการปลูกข้าวไร่

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (mg/Kg)	
		ดินก่อนการทดลองปลูกข้าวไร่	ดินหลังการปลูกข้าวไร่ (ระยะเก็บเกี่ยว)
เหลือง	ดินเดิม	86.84±0.15^{d}	70.33 ± 5.99^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	90.26±0.17^{c}	98.38 ± 2.21^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	93.58±0.17^{b}	103.01±7.55^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	101.14±0.19^{a}	110.44 ± 2.57^{a}
นาสาร	ดินเดิม	87.12±0.16^{d}	78.28 ± 0.15^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	90.53±0.41^{c}	98.07 ± 5.52^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	95.32±0.18^{b}	103.19±1.92^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	100.89±0.37^{a}	107.25 ± 0.15^{a}
รวม	ดินเดิม	86.98±0.09^{d}	76.12 ± 5.67^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	91.19±0.13^{c}	97.15 ± 3.88^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	95.93±0.17^{b}	99.72 ± 5.59^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	101.83±0.23^{a}	109.74 ± 2.40^{a}

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

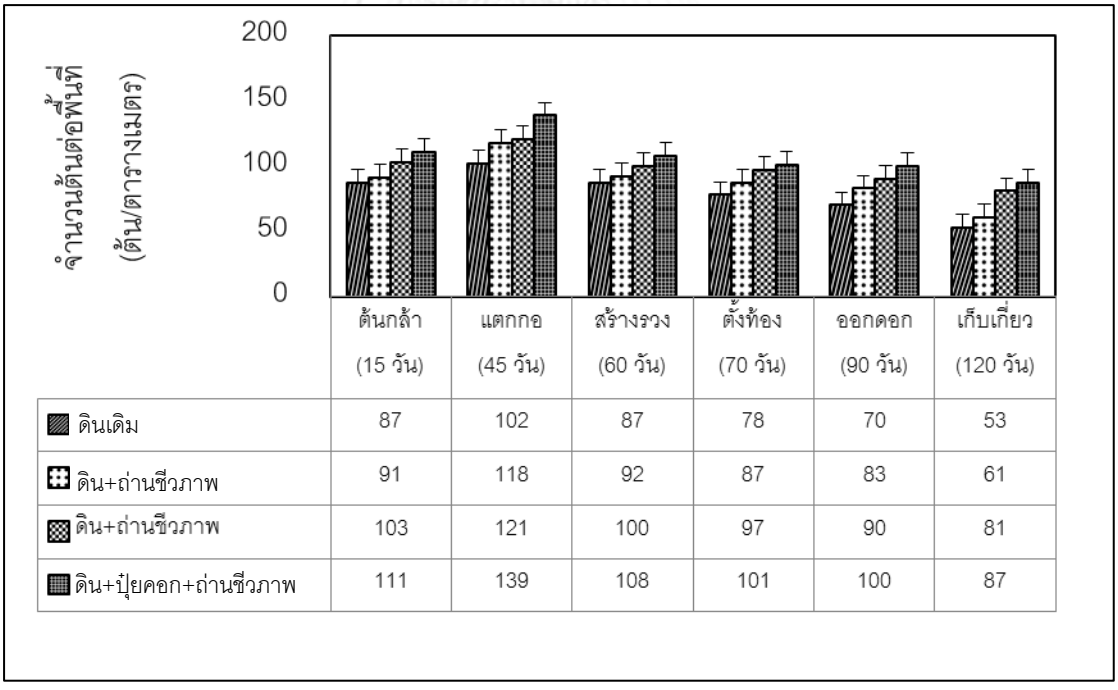
บทที่ 5
ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าวและผลผลิตข้าว

5.1 ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าว

การศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าวประกอบไปด้วยการศึกษา จำนวนต้นต่อพื้นที่ ความสูงของต้นข้าว น้ำหนักแห้ง และการแตกกอของข้าว แบ่งการทดลองเป็น 4 ตำรับการทดลองคือ 1) ดินเดิม 2) ดิน+ปุ๋ยคอก 3) ดิน+ถ่านชีวภาพ 4) ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ ทำการเก็บข้อมูลในช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าวดังนี้ ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะสร้างรวง ระยะตั้งท้อง ระยะออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว โดยสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

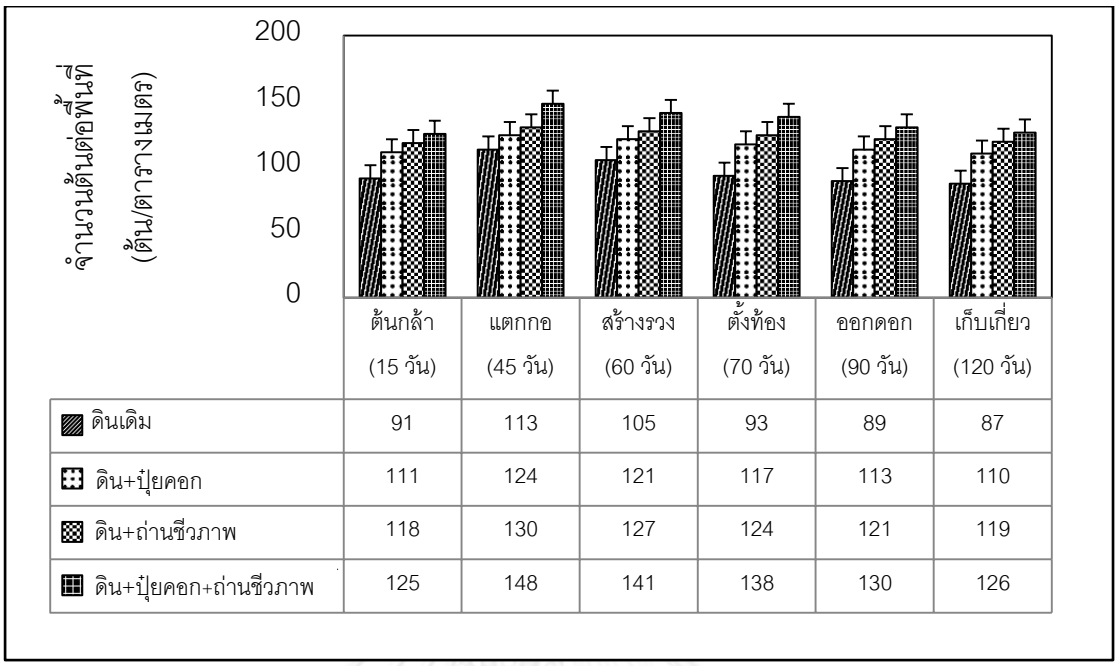
5.1.1 จำนวนต้นต่อพื้นที่

ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของข้าวโดยการนับจำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม แสดงผลดังรูปที่ 5.1-5.3



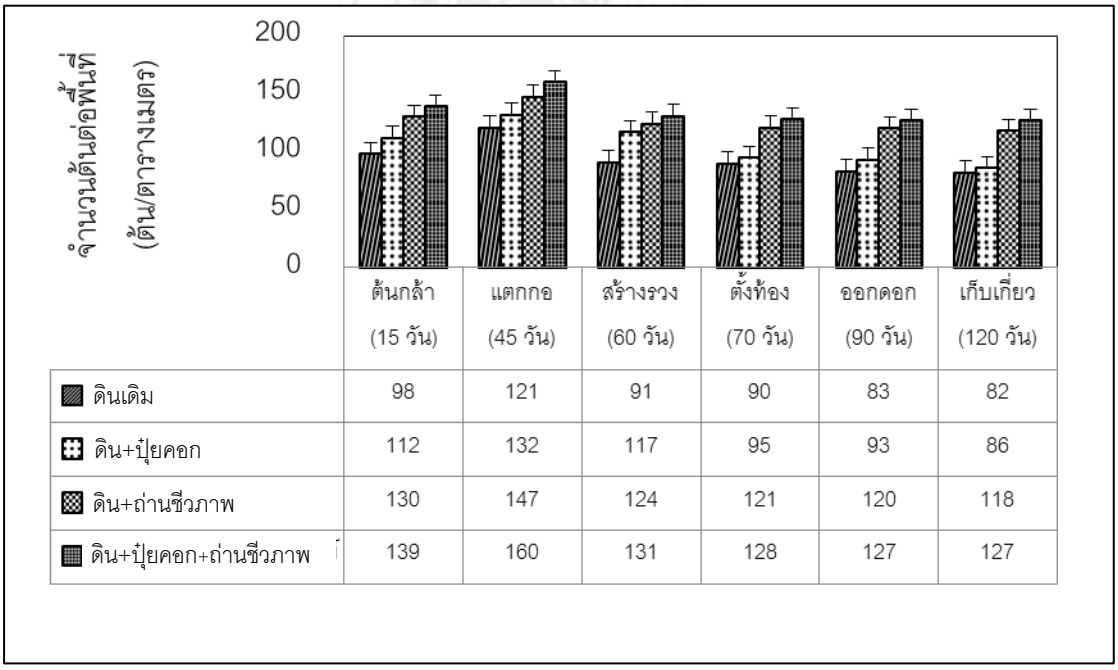
	ต้นกล้า (15 วัน)	แตกกอ (45 วัน)	สร้างรวง (60 วัน)	ตั้งท้อง (70 วัน)	ออกดอก (90 วัน)	เก็บเกี่ยว (120 วัน)
ดินเดิม	87	102	87	78	70	53
ดิน+ถ่านชีวภาพ	91	118	92	87	83	61
ดิน+ถ่านชีวภาพ	103	121	100	97	90	81
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	111	139	108	101	100	87

รูปที่ 5.1 จำนวนต้นต่อพื้นที่ในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



	ต้นกล้า (15 วัน)	แตกกอ (45 วัน)	สร้างรวง (60 วัน)	ตั้งท้อง (70 วัน)	ออกดอก (90 วัน)	เก็บเกี่ยว (120 วัน)
ดินเดิม	91	113	105	93	89	87
ดิน+ปุ๋ยคอก	111	124	121	117	113	110
ดิน+ถ่านชีวภาพ	118	130	127	124	121	119
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	125	148	141	138	130	126

รูปที่ 5.2 จำนวนต้นต่อพื้นที่ในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



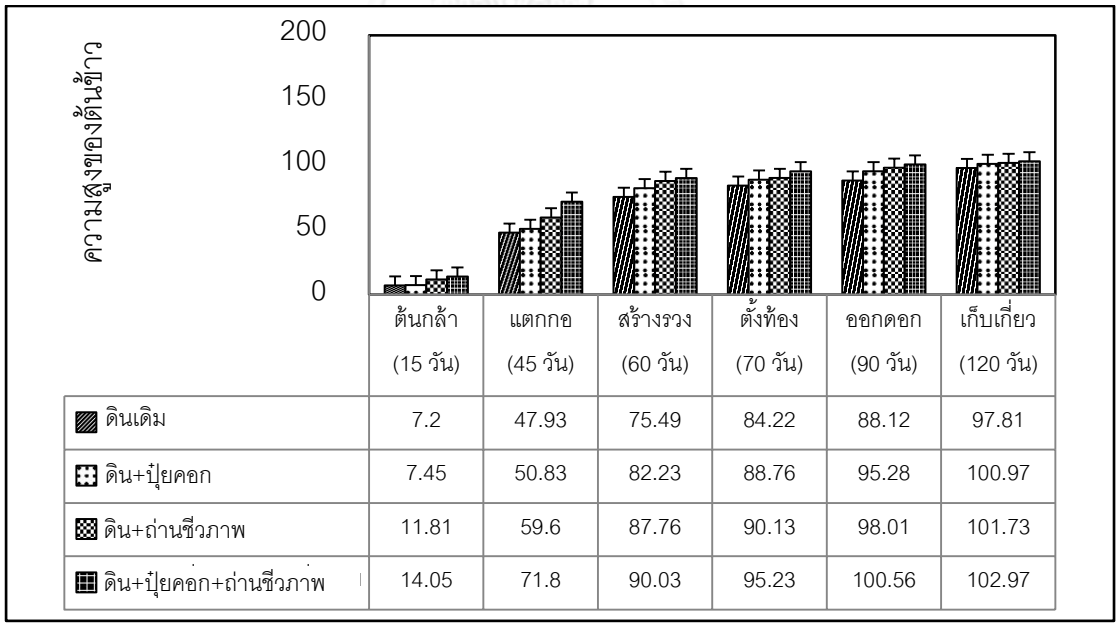
	ต้นกล้า (15 วัน)	แตกกอ (45 วัน)	สร้างรวง (60 วัน)	ตั้งท้อง (70 วัน)	ออกดอก (90 วัน)	เก็บเกี่ยว (120 วัน)
ดินเดิม	98	121	91	90	83	82
ดิน+ปุ๋ยคอก	112	132	117	95	93	86
ดิน+ถ่านชีวภาพ	130	147	124	121	120	118
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	139	160	131	128	127	127

รูปที่ 5.3 จำนวนต้นต่อพื้นที่ในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

จากการศึกษาจำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าว ในทุกตำรับการทดลองของทุกพันธุ์ข้าวที่ศึกษา (รูปที่ 5.1-5.3) พบว่า ข้าวมีจำนวนต้นเพิ่มขึ้นตามอายุของข้าว แต่จะเริ่มลดลงในระยะสร้างรวง และคงที่จนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีจำนวนต้นข้าวมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มจำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าวได้ดียิ่งขึ้น การเพิ่มขึ้นของจำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าวเป็นผลมาจากธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ในถ่านชีวภาพ และปุ๋ยคอก ซึ่งด้วยคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีความพรุนสูง มีประจุลบสุทธิในปริมาณมาก จึงสามารถดูดซับธาตุอาหารหลักจากปุ๋ยคอกซึ่งเป็นประจุบวกได้ดี ทำให้ต้นข้าวได้รับธาตุอาหารดี ส่งผลให้ต้นข้าวมีความสมบูรณ์แข็งแรง ลดการล้ม มีการแตกกอมากทำให้มีจำนวนต้นข้าวมาก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; สุระพร รัตนโกศล, 2520) โดยไนโตรเจนจะช่วยในการแตกกอของต้นข้าว ฟอสฟอรัสช่วยในการสร้างราก ทำให้ต้นข้าวตั้งตัวและแตกกอได้ดี เช่นเดียวกันกับอิทธิพลของโพแทสเซียมที่เติมลงในดินซึ่งมีผลทำให้จำนวนต้นต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น (Mondal, 1982)

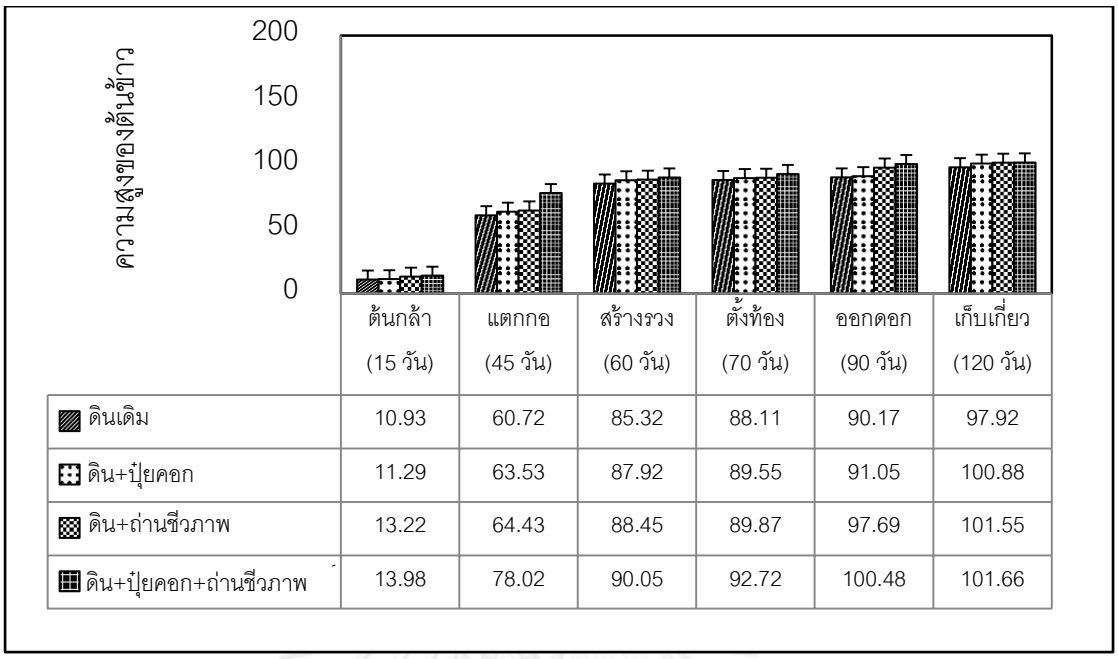
5.1.2 ความสูงของต้นข้าว

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของข้าวโดยวัดความสูงของข้าว 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม แสดงดังรูปที่ 5.4-5.6



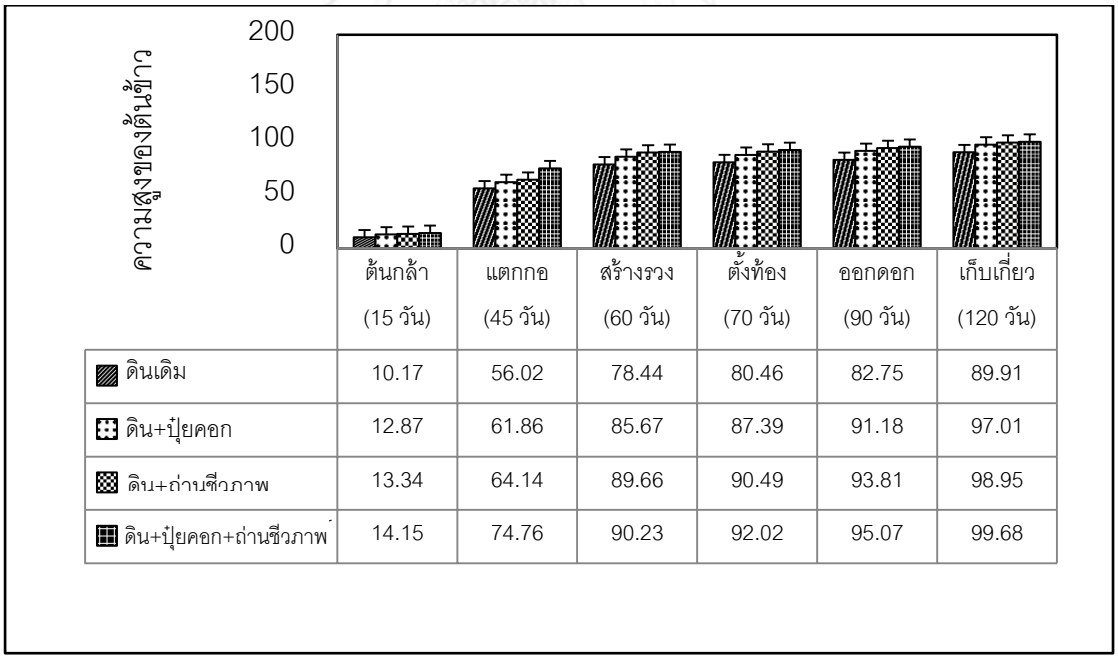
	ต้นกล้า (15 วัน)	แตกกอ (45 วัน)	สร้างรวง (60 วัน)	ตั้งท้อง (70 วัน)	ออกดอก (90 วัน)	เก็บเกี่ยว (120 วัน)
ดินเดิม	7.2	47.93	75.49	84.22	88.12	97.81
ดิน+ปุ๋ยคอก	7.45	50.83	82.23	88.76	95.28	100.97
ดิน+ถ่านชีวภาพ	11.81	59.6	87.76	90.13	98.01	101.73
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	14.05	71.8	90.03	95.23	100.56	102.97

รูปที่ 5.4 ความสูงของต้นข้าวในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



	ต้นกล้า (15 วัน)	แตกกอ (45 วัน)	สร้างรวง (60 วัน)	ตั้งท้อง (70 วัน)	ออกดอก (90 วัน)	เก็บเกี่ยว (120 วัน)
ดินเดิม	10.93	60.72	85.32	88.11	90.17	97.92
ดิน+ปุ๋ยคอก	11.29	63.53	87.92	89.55	91.05	100.88
ดิน+ถ่านชีวภาพ	13.22	64.43	88.45	89.87	97.69	101.55
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	13.98	78.02	90.05	92.72	100.48	101.66

รูปที่ 5.5 ความสูงของต้นข้าวในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



	ต้นกล้า (15 วัน)	แตกกอ (45 วัน)	สร้างรวง (60 วัน)	ตั้งท้อง (70 วัน)	ออกดอก (90 วัน)	เก็บเกี่ยว (120 วัน)
ดินเดิม	10.17	56.02	78.44	80.46	82.75	89.91
ดิน+ปุ๋ยคอก	12.87	61.86	85.67	87.39	91.18	97.01
ดิน+ถ่านชีวภาพ	13.34	64.14	89.66	90.49	93.81	98.95
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	14.15	74.76	90.23	92.02	95.07	99.68

รูปที่ 5.6 ความสูงของต้นข้าวในตำรับการทดลองต่างๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

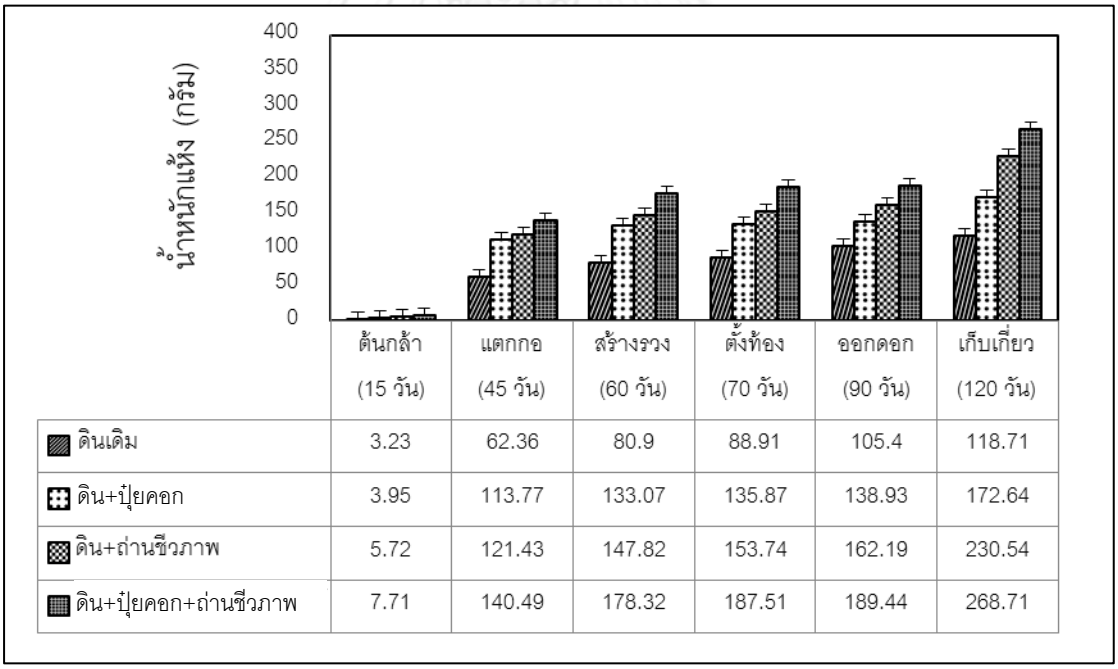
จากการศึกษาความสูงของต้นข้าวในทุกตำรับการทดลองและทุกพันธุ์ข้าวที่ศึกษา (รูปที่ 5.4-5.6) พบว่า ข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยในตำรับการทดลองดิน+

ถ่านชีวภาพมีความสูงของต้นข้าวมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มความสูงของต้นข้าวได้ดียิ่งขึ้น ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว สอดคล้องกับผลการศึกษาของ(สุภาภรณ์ สืบเสนาะ, 2544) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข 6 (RD6) และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) พบว่า ความสูงของต้นข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเจริญเติบโตของข้าว การเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นข้าวเป็นผลมาจากไนโตรเจน ซึ่งส่งเสริมการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น เพิ่มความสูงของต้นข้าว ซึ่งไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพและปุ๋ยคอก (De Datta, 1981)

การที่ต้นข้าวในตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพมีความสูงมากกว่าตำรับการทดลองอื่น เป็นผลมาจากการที่ถ่านชีวภาพมีรูพรุนสูงจึงมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้ดี

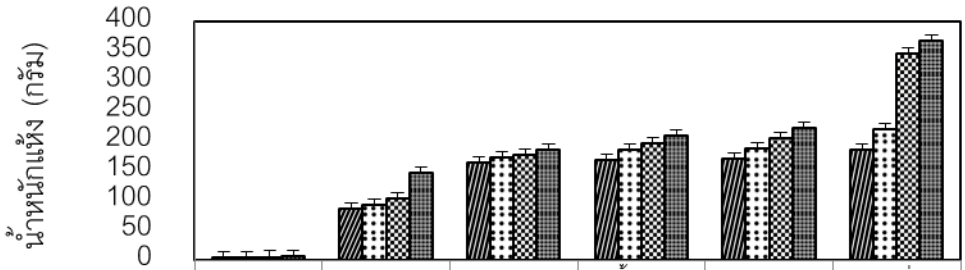
5.1.3 น้ำหนักแห้ง

ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของข้าวด้านน้ำหนักแห้งของ ข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม แสดงดังรูปที่ 5.7-5.9



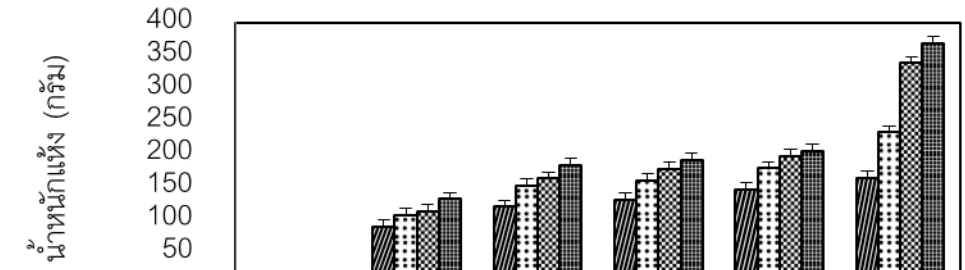
	ต้นกล้า (15 วัน)	แตกกอ (45 วัน)	สร้างรวง (60 วัน)	ตั้งท้อง (70 วัน)	ออกดอก (90 วัน)	เก็บเกี่ยว (120 วัน)
ดินเดิม	3.23	62.36	80.9	88.91	105.4	118.71
ดิน+ปุ๋ยคอก	3.95	113.77	133.07	135.87	138.93	172.64
ดิน+ถ่านชีวภาพ	5.72	121.43	147.82	153.74	162.19	230.54
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	7.71	140.49	178.32	187.51	189.44	268.71

รูปที่ 5.7 น้ำหนักแห้งในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เหลือง



	ต้นกล้า (15 วัน)	แตกกอ (45 วัน)	สร้างรวง (60 วัน)	ตั้งท้อง (70 วัน)	ออกดอก (90 วัน)	เก็บเกี่ยว (120 วัน)
ดินเดิม	3.87	86.13	164.28	166.96	170.05	184.92
ดิน+ปุ๋ยคอก	4.05	93.26	172.77	185.22	187.3	219.73
ดิน+ถ่านชีวภาพ	5.34	103.99	177.17	195.14	204.43	345.87
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	5.82	146.85	185.21	209.07	222.27	368.5

รูปที่ 5.8 น้ำหนักแห้งในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์นาสาร



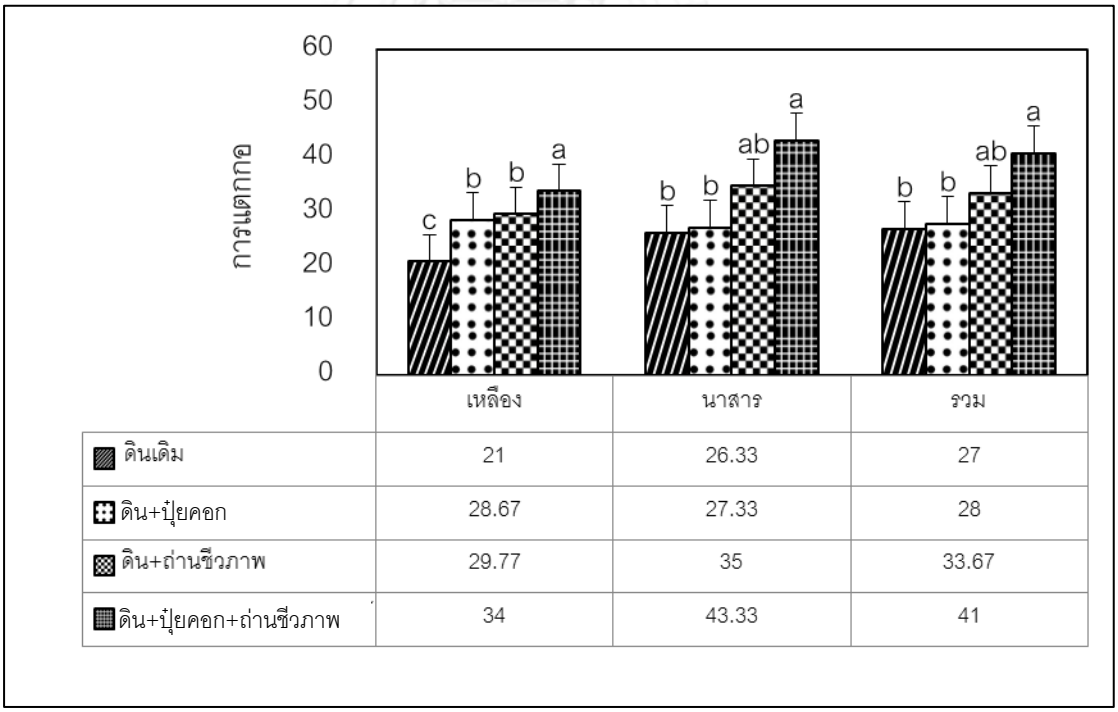
	ต้นกล้า (15 วัน)	แตกกอ (45 วัน)	สร้างรวง (60 วัน)	ตั้งท้อง (70 วัน)	ออกดอก (90 วัน)	เก็บเกี่ยว (120 วัน)
ดินเดิม	2.99	89.54	120.19	130.89	146.09	164.39
ดิน+ปุ๋ยคอก	3.37	107.18	152.22	160.19	178.32	233.09
ดิน+ถ่านชีวภาพ	5.07	113.58	163.02	177.51	197.1	339
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	5.47	131.53	182.8	191.01	205.45	369.34

รูปที่ 5.9 น้ำหนักแห้งในตำรับการทดลองต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวรวม

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของข้าวในทุกตำรับการทดลองและทุกพันธุ์ข้าวที่ศึกษา (รูปที่ 5.7-5.9) พบว่า ข้าวมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีน้ำหนักแห้งของข้าวมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของข้าวได้ดียิ่งขึ้น การเพิ่มน้ำหนักแห้งของข้าวมีผลมากจากถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในดิน ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยธาตุอาหารหลักมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตลำต้นและใบ การแตกกอ และส่งเสริมความแข็งแรงของระบบรากของข้าวและมีผลทำให้ต้นข้าวสมบูรณ์ ให้ผลผลิตสูง (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) ด้วยโครงสร้างของถ่านชีวภาพที่มีความเป็นรูพรุนสูง มีประจุลบสุทธิในปริมาณมาก จึงสามารถดูดซับธาตุอาหารหลักจากปุ๋ยคอก และเนื่องจากถ่านชีวภาพมีธาตุอาหารหลักเป็นองค์ประกอบ (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) เช่นกัน จึงส่งผลให้การใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของข้าวได้มากขึ้น

5.1.4 การแตกกอของข้าว

ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของข้าวโดยการนับการแตกกอ (45 วัน) ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม แสดงผลดังรูปที่ 5.10



	เหลือง	นาสาร	รวม
ดินเดิม	21	26.33	27
ดิน+ปุ๋ยคอก	28.67	27.33	28
ดิน+ถ่านชีวภาพ	29.77	35	33.67
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	34	43.33	41

รูปที่ 5.10 การแตกกอของข้าวในตำรับการทดลองต่าง ๆ ในระยะแตกกอ (45 วัน) ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม

ผลการศึกษาพบว่า การแตกกอของข้าวพันธุ์เหลืองในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก (34 อักษร a) มากกว่าตำรับการทดลองอื่น คือ ดินเดิม (21 อักษร c) ดิน+ปุ๋ยคอก (28.67 อักษร b) และ ดิน+ถ่านชีวภาพ (29.67 อักษร b) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การแตกกอของข้าวพันธุ์นาสาร ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก (43.33 อักษร a) มากกว่าตำรับการทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ดินเดิม (26.33 อักษร b) และ ดิน+ปุ๋ยคอก (27.33 อักษร b) ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ คือ 35 (ตัวอักษร ab) การแตกกอของข้าวรวม ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก (41 อักษร a) มีค่ามากกว่าตำรับการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ดินเดิม และดิน+ปุ๋ยคอก (27 และ 28 ตามลำดับ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ คือ 33.67 (อักษร ab)

จากการศึกษาพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มการแตกกอของข้าวได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ และพบว่าเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มการแตกกอของข้าวได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบข้าวทุกสายพันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์นาสารในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีการแตกกอมากที่สุดคือ 43.33

การเพิ่มการแตกกอของข้าวเป็นผลมาจากธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) จากถ่านชีวภาพและปุ๋ยคอก ซึ่งการที่ถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวที่มีรูพรุนสูง มีประจุลบที่พื้นที่ผิวเป็นจำนวนมาก จึงส่งผลให้เมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในดินทำให้ถ่านชีวภาพสามารถดูดซับธาตุอาหารหลักของพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) จากปุ๋ยคอกซึ่งเป็นประจุบวกได้ดี และเก็บกักในรูพรุนของถ่านชีวภาพ ดังนั้น จึงทำให้ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอกมีการแตกกอของต้นข้าวมากกว่าตำรับการทดลองอื่น ซึ่งหากข้าวขาดธาตุอาหารเหล่านี้จะทำให้ต้นข้าวแตกกอน้อยลง (Mondal, 1982; ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; สุระพร รัตนโกศล, 2520)

5.2 ผลของถ่านชีวภาพต่อองค์ประกอบของข้าว

การศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตของข้าวประกอบไปด้วยการศึกษา จำนวนรวงต่อพื้นที่ จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด แบ่งการทดลองเป็น 4 ตำรับการทดลองคือ 1) ดินเดิม 2) ดิน+ปุ๋ยคอก 3) ดิน+ถ่านชีวภาพ 4) ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ โดยสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.2.1 จำนวนรวงต่อพื้นที่

ผลการศึกษาจำนวนรวงต่อพื้นที่ (ตารางเมตร) ของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม พบว่า จำนวนรวงต่อพื้นที่ของข้าวพันธุ์เหลือง (ตารางที่ 5.1) ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีจำนวนรวงต่อพื้นที่สูงสุดคือ 25 รวง (อักษร a) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตำรับการทดลอง ดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก และดิน+ถ่านชีวภาพ คือ 19.67 22.33 และ 24.33 รวง ตามลำดับ (กลุ่มอักษร a เดียวกัน)

จำนวนรวงต่อพื้นที่ของข้าวพันธุ์นาสาร (ตารางที่ 5.2) ของตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีจำนวนรวงต่อพื้นที่สูงสุดคือ 28.67 รวง (อักษร a) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก และดิน+ถ่านชีวภาพ คือ 25.33 27.67 และ 27.33 รวง (กลุ่มอักษร a เดียวกัน) ตามลำดับ

จำนวนรวงต่อพื้นที่ของข้าวรวม (ตารางที่ 5.3) ของตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีจำนวนรวงต่อพื้นที่สูงสุดคือ 28 รวง (อักษรa) และไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก และดิน+ถ่านชีวภาพ คือ 23.67 27 และ 26.67 รวง ตามลำดับ (กลุ่มอักษร a เดียวกัน)

จากการศึกษาพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มจำนวนรวงต่อพื้นที่ของข้าวได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ และพบว่าเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มจำนวนรวงต่อพื้นที่ของข้าวได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบข้าวทุกสายพันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์นาสารในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีจำนวนรวงต่อพื้นที่มากที่สุด (28.67 รวง) การที่จำนวนรวงต่อพื้นที่ของข้าวในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอกมากกว่าตำรับการทดลองอื่น เนื่องจากพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพมีประจุลบสุทธิจำนวนมากจึงมีผลต่อการดูดซับธาตุอาหารจากปุ๋ยคอกที่มีประจุบวก ประกอบกับการที่ถ่านชีวภาพมีรูพรุนสูงจึงสามารถเก็บกักธาตุอาหารไว้ได้ดี

โดยการเพิ่มขึ้นของจำนวนรวงของข้าวเป็นผลจากธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ในถ่านชีวภาพและปุ๋ยคอก โดยไนโตรเจนช่วยให้เกิดการแตกกอของต้นข้าว ฟอสฟอรัสช่วยเร่งการเจริญเติบโตทำให้ออกดอกได้เร็ว (De Datta, 1981; อรรถวุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) การที่ต้นข้าวแตกกอทำให้มีจำนวนต้นข้าวในปริมาณมาก และจะส่งผลให้จำนวนรวงต่อพื้นที่มากตามไปด้วย (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546)

5.2.2 จำนวนเมล็ดต่อรวง

ผลการศึกษาจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวทุกสายพันธุ์และทุกตำรับการทดลอง พบว่า จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวพันธุ์เหลือง (ตารางที่ 5.1) ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีจำนวนสูงสุด (175.5 เมล็ด อักษร a) และแตกต่างจากตำรับการทดลอง ดินเดิม (101.55 เมล็ด อักษร d) ดิน+ปุ๋ยคอก (136.13 เมล็ด อักษร c) และดิน+ถ่านชีวภาพ (149.8 เมล็ด ตัวอักษร b) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวพันธุ์นาสาร (ตารางที่ 5.2) มีจำนวนสูงสุดในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก (221.8 เมล็ด อักษร a) และแตกต่างจากตำรับการทดลองดินเดิม (131.5 เมล็ด อักษร c) ดิน+ปุ๋ยคอก (138.8 เมล็ด อักษร b) และดิน+ถ่านชีวภาพ (140.77 เมล็ด อักษร b) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวรวม (ตารางที่ 5.3) ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีจำนวนสูงสุด (193.6 เมล็ด อักษร a) และแตกต่างจากตำรับการทดลองดินเดิม (105.57 เมล็ด

อักษร c) ดิน+ปุ๋ยคอก (147 เมล็ด อักษร b) และดิน+ถ่านชีวภาพ (154.4 เมล็ด อักษร b) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการศึกษาพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ และพบว่าเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบข้าวทุกสายพันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์นาสารในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีจำนวนเมล็ดต่อรวงมากที่สุด (221.8 เมล็ด)

จำนวนเมล็ดต่อรวงเพิ่มขึ้นมีผลมาจากธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพ และปุ๋ยคอก ด้วยคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวที่มีประจุลบเป็นจำนวนมากจึงสามารถดึงดูดธาตุอาหารจากปุ๋ยคอกได้ดี นอกจากนั้นการที่ถ่านชีวภาพมีรูพรุนสูงจึงสามารถกักเก็บธาตุอาหารไว้ได้นาน ดังจะเห็นว่า ในระยะแรกของการเจริญเติบโต (Early growth stage) ต้นข้าวจะดูดดึงไนโตรเจนเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงระยะหลังการเจริญเติบโต (Later growth stage) ไนโตรเจนที่ถูกดูดดึงจะนำไปใช้สำหรับการสร้างเมล็ด (De Datta, 1981; Mikkelsen, 1970; Yoshida, 1981; ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; อรรถวุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) และฟอสฟอรัสช่วยเร่งการเจริญเติบโตทำให้ออกดอกได้เร็ว ช่วยดูดดึงโพแทสเซียม และควบคุมสมดุลไนโตรเจนของราก และทำให้เมล็ดข้าวมีคุณภาพดีขึ้น (Yoshida, 1981; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) ส่วนโพแทสเซียมก็มีผลอย่างเด่นชัดเกี่ยวกับจำนวนดอก และจำนวนเมล็ดดีต่อรวง โดยต้นข้าวจะนำโพแทสเซียมไปสร้างดอก ทำให้ละอองเกสรแข็งแรง และสร้างเมล็ด (Von Uexkull, 1976)

5.2.3 เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี

ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม พบว่า เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวพันธุ์เหลือง (ตารางที่ 5.1) ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก (94.16 เปอร์เซ็นต์ อักษร a) มากกว่าตำรับการทดลองดินเดิม (81 เปอร์เซ็นต์ อักษร c) ดิน+ปุ๋ยคอก (81.16 เปอร์เซ็นต์ อักษร c) และ ดิน+ถ่านชีวภาพ (89.03 เปอร์เซ็นต์ อักษร b) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวพันธุ์นาสาร (ตารางที่ 5.2) ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก (94.60 เปอร์เซ็นต์ อักษร a) มากกว่าตำรับการทดลองดินเดิม (88 เปอร์เซ็นต์ อักษร b) ดิน+ปุ๋ยคอก (89.13 เปอร์เซ็นต์ อักษร bc)และ ดิน+ถ่านชีวภาพ (90 เปอร์เซ็นต์ อักษร b) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวรวม (ตารางที่ 5.3) ของตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก (92.4 เปอร์เซ็นต์ อักษร a) มากกว่าตำรับการทดลองดินเดิม (83.8 เปอร์เซ็นต์ อักษร c) ดิน+คอก (86.77 เปอร์เซ็นต์ อักษร bc) และดิน+ถ่านชีวภาพ (89.8 เปอร์เซ็นต์ อักษร ab) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการศึกษาพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ และพบว่าเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบข้าวทุกสายพันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์นาสารในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมากที่สุด (94.60 เปอร์เซ็นต์)

เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีรูพรุนสูงและมีประจุลบจำนวนมากที่พื้นที่ผิว ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการดูดดึงธาตุอาหารและการกักเก็บธาตุอาหาร ทั้งนี้ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีที่เพิ่มขึ้นมีผลมาจากธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ไนโตรเจนซึ่งส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ช่วยเพิ่มโปรตีน และในช่วงระยะหลังการเจริญเติบโต (Later growth stage) ไนโตรเจนที่ถูกดูดดึงจะนำไปใช้สำหรับการสร้างเมล็ด (De Datta, 1981; Yoshida; 1981; ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) และฟอสฟอรัสช่วยในการสร้างดอก การผสมเกสร และการติดเมล็ดของข้าว สำหรับโพแทสเซียมก็ช่วยสร้างคาร์โบไฮเดรตทำให้เมล็ดข้าวสมบูรณ์ และมีเมล็ดขนาดใหญ่ (De Datta, 1981; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

5.2.4 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด

ผลการศึกษาน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวพันธุ์เหลือง ข้าวพันธุ์นาสาร และข้าวรวม พบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวพันธุ์เหลือง (ตารางที่ 5.1) ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีค่าสูงสุด (25.80 กรัม อักษร a) และมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตำรับการทดลองดินเดิม และดิน+ปุ๋ยคอก คือ 22.5 และ 23.47 กรัม ตามลำดับ (กลุ่มอักษร b เดียวกัน) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตำรับการทดลอง ดิน+ถ่านชีวภาพ คือ 24.58 (อักษร ab)

น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวพันธุ์นาสาร (ตารางที่ 5.2) ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงสุด (28.48 กรัม อักษร a) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ และ ดิน+ปุ๋ยคอก คือ 25.81 และ 25.51 ตามลำดับ (กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตำรับการทดลองดินเดิมคือ 24.25 (อักษร b)

น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวรวม (ตารางที่ 5.3) ในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีค่าสูงสุดคือ 25.77 กรัม (อักษร a) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองดินเดิม ดิน+ปุ๋ยคอก และดิน+ถ่านชีวภาพ คือ 24.87 25.01 และ 25.04 กรัม ตามลำดับ (กลุ่มอักษร a เดียวกัน)

จากการศึกษาพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ และพบว่าเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวได้มากขึ้น การเพิ่มของน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีผลมาจากไนโตรเจนที่ถูกดูดหลังการออกรวงจะถูกนำไปเพิ่มน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (De Datta, 1978) และโพแทสเซียมช่วยสร้างคาร์โบไฮเดรตทำให้เมล็ดข้าวสมบูรณ์มีน้ำหนักดี (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; Datta, 1981) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบข้าวทุกสายพันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์นาสารใน

ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุด (28.48 กรัม) โดยตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก 1,000 เมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต

ตารางที่ 5.1 ผลผลิตของข้าวพันธุ์เหลือง

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตของข้าว			
	จำนวนรวงต่อพื้นที่ (รวง/พื้นที่)	จำนวนเมล็ดต่อรวง	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (%)
ดินเดิม	19.67[a]	101.55[d]	22.5[b]	81.00[c]
ดิน+ปุ๋ยคอก	22.33[a]	136.13[c]	23.47[b]	81.60[c]
ดิน+ถ่านชีวภาพ	24.33[a]	149.80[b]	24.58[ab]	89.03[b]
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	25.00[a]	175.50[a]	25.80[a]	94.16[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ (a-d) หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

ตารางที่ 5.2 ผลผลิตของข้าวพันธุ์นาสาร

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตของข้าว			
	จำนวนรวงต่อพื้นที่ (รวง/พื้นที่)	จำนวนเมล็ดต่อรวง	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (%)
ดินเดิม	25.33[a]	131.50[c]	24.25[b]	88.00[b]
ดิน+ปุ๋ยคอก	27. 33[a]	138.80[b]	25.51[ab]	89.13[bc]
ดิน+ถ่านชีวภาพ	27.67[a]	140.77[b]	25.81[ab]	90.00[b]
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	28.67[a]	221.80[a]	28.48[a]	94.60[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ (a-d) หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

ตารางที่ 5.3 ผลผลิตของข้าวรวม

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตของข้าว			
	จำนวนรวงต่อพื้นที่ (รวง/พื้นที่)	จำนวนเมล็ดต่อรวง	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (%)
ดินเดิม	23.67[a]	105.57[c]	24.87[a]	83.80[c]
ดิน+ปุ๋ยคอก	26.67[a]	147.00[b]	25.01[a]	86.77[bc]
ดิน+ถ่านชีวภาพ	27.00[a]	154.40[b]	25.04[a]	89.80[ab]
ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	28.00[a]	193.60[a]	25.77[a]	92.4[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ (a-d) หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

5.3 ผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตข้าว

การประเมินผลของถ่านชีวภาพต่อผลผลิตข้าว ในการศึกษาทำการคำนวณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกต่อพื้นที่ ผลการศึกษาพบว่า ข้าวพันธุ์เหลืองในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีปริมาณผลผลิตมากที่สุด โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 660.48 กิโลกรัมต่อไร่ (ตัวอักษร a) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (629.25 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวอักษร b) ดิน+ปุ๋ยคอก (587.83 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวอักษร c) และดินเดิม (517 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวอักษร d) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข้าวพันธุ์นาสารในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณผลผลิตมากที่สุด โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 729.09 กิโลกรัมต่อไร่ (ตัวอักษร a) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (700.73 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวอักษร b) ดิน+ปุ๋ยคอก (642.06 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวอักษร c) และดินเดิม (585.80 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวอักษร d) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข้าวรวมในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีปริมาณผลผลิตมากที่สุด โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 659.71 กิโลกรัมต่อไร่ (ตัวอักษร a) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ (641.02 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวอักษร b) ดิน+ปุ๋ยคอก (616.25 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวอักษร c) และดินเดิม (575.47 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวอักษร d) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ถึงแม้ว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอกจะให้ผลผลิตที่มากที่สุดสำหรับข้าวทุกสายพันธุ์ แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาผลผลิตของข้าวในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพจะเห็นได้ว่าให้ผลผลิตข้าวมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก สอดคล้องกับผลการวิจัยหลายชิ้น เช่น Petter และคณะ (2012) Novak และคณะ (2009) วิชัย ลิมโพธิ์ทอง และคณะ (2554) และเสาวคนธ์ เหม

วงษ์ (2554) เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการปรับปรุงคุณภาพดินจะพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ ก็มีผลในการปรับปรุงคุณภาพได้ดีกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอกเช่นกัน ดังนั้น หากเกษตรกรต้องการปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มผลผลิตข้าวจะสามารถนำถ่านชีวภาพซึ่งผลิตได้จากวัสดุภายในท้องถิ่นไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการปรับปรุงดิน คือ มีพื้นที่ผิวมาก มีรูพรุนสูง สามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน ดูดซับธาตุอาหารและปลดปล่อยให้พืชอย่างช้า ๆ ได้ (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2556) อีกทั้งยังเป็นการลดการใช้สารเคมีในการเพาะปลูก ซึ่งส่งผลในระยะยาวต่อคุณภาพดิน คุณภาพสิ่งแวดล้อม สุขภาพของเกษตรกร และต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพดิน โดยแบ่งตำรับการทดลองเป็น 4 ตำรับการทดลอง คือ 1) ดินเดิม 2) ดิน+ปุ๋ยคอก 3) ดิน+ถ่านชีวภาพ 4) ดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก จากการวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพ และ ดิน รวมทั้งการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 21.02 m^2/g ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.0255 cc/g สำหรับคุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพก่อนการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.50 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 0.49 ds/m ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 20.25 % ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 26.97 cmol/Kg ปริมาณ CHN เท่ากับ 70.51 % 2.92 % และ1.21% ตามลำดับ และปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เท่ากับ 0.68 % 0.29% และ 0.74 % ตามลำดับ ภายหลังการทดลองพบว่า ถ่านชีวภาพจากตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพและดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก มีคุณสมบัติทางเคมีลดลงทุกตำรับการทดลองในทุกพันธุ์ข้าวที่ศึกษา โดยพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ลดลงมากกว่าตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยคอกที่ใส่ร่วมกับถ่านชีวภาพมีค่าสูง

คุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพ และดิน+ถ่านชีวภาพ+ปุ๋ยคอกลดลง เนื่องจาก เมื่อนำถ่านชีวภาพไปใช้ในการปลูกข้าวไร่ ถ่านชีวภาพจะช่วยปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้น ได้แก่ การที่ข้าวนำธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) และปริมาณอินทรียวัตถุในถ่านชีวภาพไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของข้าว

การเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน เนื่องจากพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่ได้จากการเผาไหม้ในสภาพอับอากาศมีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวก high aromatic สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้สูง และเกิดหมู่ฟังชันก์ต่าง ๆ โดยเฉพาะคาร์บอกซิล (COO^-) คือ มีประจุลบสุทธิบริเวณพื้นผิวในปริมาณมาก (อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, 2552) ซึ่งดินที่เป็นกรดจะมีประจุบวก (H^+) ละลายอยู่ในสารละลายดิน เมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุเกิดขึ้นจึงทำให้ค่า pH ของถ่านชีวภาพมีค่าลดลง

การปรับปรุงค่าการนำไฟฟ้าในดินโดยถ่านชีวภาพซึ่งมีพื้นที่ผิวมาก และบริเวณพื้นที่ผิวของมีประจุลบสุทธิปริมาณมาก ทำให้สามารถดึงดูดจับไอออนบวกซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

เมื่อถ่านชีวภาพสัมผัสกับน้ำ ไอออนบวกเหล่านี้จะละลายปนออกมาในน้ำได้และสามารถนำไฟฟ้าได้ (สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2553) เมื่อระยะเวลาผ่านไปเกิดการดึงดูดไอออนบวกที่ละลายออกมาโดยพืช

การปรับปรุงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินเนื่องจากพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพมีประจุลบสุทธิในปริมาณมาก มีรูพรุนสูงจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากด้วย ดังนั้น เมื่อใส่ลงในดินทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่เป็นประจุบวกได้เพิ่มขึ้น และปริมาณ CHN ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในถ่านชีวภาพใช้สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นแหล่งพลังงาน อีกทั้งไนโตรเจนในถ่านชีวภาพยังเป็นธาตุที่ข้าวสามารถดูดไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิต

ส่งผลให้เมื่อเวลาผ่านไปคุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ ปริมาณ CHN และปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) มีค่าลดลง

6.1.2 ผลของถ่านชีวภาพในการปรับปรุงคุณภาพดิน

ผลจากการใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดิน พบว่า สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดินได้ โดยสามารถเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยพบว่า ตำรับการทดลองที่มีการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดินได้มากกว่าตำรับการทดลองถ่านชีวภาพ ปุ๋ยคอกและดินเดิม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ถ่านชีวภาพมีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพดินเนื่องจาก คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ ได้แก่ การมีรูพรุนสูง พื้นที่ผิวสัมผัสมาก และพื้นผิวมีประจุลบสุทธิสูง เป็นต้น จึงทำให้เมื่อใส่ไปในดินจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้ดียิ่งขึ้น และจากการศึกษา พบว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกจะทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพของดินได้ดีกว่าการใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว เนื่องจากคุณสมบัติของปุ๋ยคอก ได้แก่ การเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญของพืช การประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช เป็นต้น

6.1.3 ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพบว่า ตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในทุกพันธุ์ข้าว ได้มากกว่าตำรับการทดลองดิน+ปุ๋ยคอก และดินเดิม ตามลำดับ ทั้งความสูง น้ำหนักแห้ง จำนวนต้นต่อพื้นที่ จำนวนรวงต่อพื้นที่ การนับการแตกกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด และจากการศึกษาพบว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวได้ดียิ่งขึ้น

การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในตำรับการทดลองดิน+ถ่านชีวภาพของทุกพันธุ์ข้าวที่เพิ่มขึ้นมีผลมาจากถ่านชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวที่มีรูพรุนสูง มีประจุลบที่พื้นที่ผิวเป็นจำนวนมาก จึง

สามารถดูดซับธาตุอาหารหลักของพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และเก็บกักในรูพรุนของถ่านชีวภาพ ทำให้ข้าวสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาสายพันธุ์ของข้าวไร่เพราะข้าวไร่ในแต่ละสายพันธุ์มีศักยภาพในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน

2) ควรมีการศึกษาการเพิ่มผลผลิตของพืชชนิดอื่นด้วยถ่านชีวภาพเพิ่มเติม

3) ควรมีการศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อการปรับปรุงคุณภาพดินประเภทอื่น ๆ เช่น ดินเหนียว ดินทราย เป็นต้น

4) ควรมีการส่งเสริมให้เกษตรกรนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ซังข้าวโพด ฟางข้าว เศษไม้ เป็นต้น มาผลิตเป็นถ่านชีวภาพเพื่อลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ยเคมี และลดการตกค้างของสารเคมีในดิน ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ASA-SSSA. (1982). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. United States of America: Madison,Wisconsin USA.

Chang, T. T. (1976). The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and African rices. *Euphytica, 25*(1), 425-441.

De Datta, S. K. (1978). *Mineral Nutrition and Fertilizer Management of Rice*. Philippines: The International Rice Research Institute Los Banos.

De Datta, S. K. (1981). Principles and Practice of Rice Production *Rice Research International Rice Research Institute*. Philippines: Los Banos.

Food and agriculture organization of united nation (FAO). (2009). The research progress of biomass pyrolysis processes. Retrieved 24 August 2013, from http://www.fao.org/doc rep/t4470e/t4470e0a.htm

Harlan, J. R. (1992). *Crop & Man* (Second ed.). USA: Madision.Wisconsin.

Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., and Nelson, P. F. (2010). Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (Lycopersicon esculentum). *Chemosphere, 78*(9), 1167-1171.

IRRI. (1977). *The International Rice Research Institute Annual report for* 1976. Los Banos, Philippines.

IRRI. (1984). *An overview of upland rice research.Proceedings of the* 1982 *Bouak' e, Ivory Coast upland rice workshop.* Los Banos, Philippines.

Islam, A. F. M. S., Kitaya, Y., Hirai, H., Yanase, M., Mori, G., and Kiyota, M. (1999). Effects of placing rice husk charcoal inside soil ridges for soil aeration and growth and yield of sweet potato in wet lowland. *Journal of Root Crops, 25*(1), 85-97.

Masulili, A., Utomo, W.H. and Syechfani M.S. (2010). Rice Husk Biochar for Rice Based Cropping System in Acid Soil 1. The Characteristics of Rice Husk Biochar and Its Influence on the Properties of Acid Sulfate Soils and Rice Growth in West Kalimantan, Indonesia. *Agricultural Science, 2*(1), 39-47.

Mikkelsen, D. S. (1970). Recent advances in rice plant tissue analysis. *Rice Journal 73*(6), 2-5.

Mondal, S. S., Dasmahapatra, A.N. and Chatterju, B.N. (1982). Potassium nutrition at high levels of nitrogen fertilization on rice. . *Potash Review*(8), 9.

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 & Tillage Research,* 112 (2), 159-166.

Petter, F. A., Madari, B.E., Silva, M.A.S.D., Carneiro, M.A. and Pacheco, L.P. (2012). Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. *Soil Science,* 47, 699-706.

Rodríguez, L., Salazar, P. and Preston R.T. (2009). Effect of biochar and biodigester effluent on growth of maize in acid soils. *Livestock Research for Rural Developme nt,* 21(7), 201-211.

Schumacher, B. A. (2002). Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments (pp. 23): United State Environmental Protection Agency.

Soil Survey Staff. (1996). *Soil survey laboratory methods manual*: Washington D. C.

Thavivongse Sriburi. (2011, 8-9 December). *Biochar Researches for Soil Amendment at Pa-deng Biochar Research Center (PdBRC (CC294I)), Thailand.* Paper presented at the 2011 International Symposium on Biochar for Climate Change Mitigation & Soil and Environmental Management Korea.

Thavivongse Sriburi and Buppachat Mattayom. (2013, 22-24 November). *Grey Oyster Mushroom for food security versus CO_2 emission. Journal of Environmental And Development.* Paper presented at the 5th International Congress of Environment Research malaysia.

Steiner, C. (2009). Soil charcoal amendments maintain soil fertility and establish a carbon sink-research and perspects. *Soil Ecology Research Development*, 1-4.

Unger, R. C. (2008). *The effect of bio-char on selected soil properties and corn grain yields in Iowa.* (Master of Science), Iowa State University.

Von Uexkull, H. R. (1976). *Aspects of fertilizer use in modern high-yield rice culture*: International Potash Institute.

Wijitkosum, S. (2012). Impact of land use changes on soil erosion in Pa-Deng Sub-district, Adjacent area of Kaeng Krachan Natural Park. *Soil and Water Research, 7* (1), 10-17.

Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science*. Philippines: The International Rice Research Institute.

กรมการข้าว. (2555). องค์ความรู้เรื่องข้าว. เข้าถึงเมื่อ 1 สิงหาคม, 2555, แหล่งที่มา http://www.brrd.in th/rkb/data_002/rice_xx2-02_New_index.html

กรมพัฒนาที่ดิน. (2545). คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กรุงเทพมหานคร: กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ. *เข้าถึงเมื่อ 30 สิงหาคม*, 2555, แหล่งที่มา www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-04.pdf

กรมวิชาการเกษตร. (2551). คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์: กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2555). หลักและวิธีการเก็บตัวอย่าง ดิน พืช สัตว์ น้ำ เพื่อการวิเคราะห์ทางการเกษตร. เข้าถึงเมื่อ 22 กรกฎาคม 2555, แหล่งที่มา http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/index.php/com ponent/content/article/788

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2555). สภาพอากาศกับฤดูการปลูกข้าวของไทย. เข้าถึงเมื่อ 7 กันยายน 2555, แหล่งที่มา http://www.tmd.go.th/programs%5Cuploads%15Cweatherclimate%5c3%20Month%20Climat e%20News%20(Vol.2.no3).pdf

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2555). การวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์. เข้าถึงเมื่อ 23 กรกฎาคม, 2555, แหล่งที่มา http://service.moac.go.th/ewt_news.php?nid=3844

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). ปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. (2536). คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด: ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จำรัส โปร่งศิริ. (2534). ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.

จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร จารุณี นักระนาด และชอบ คณะฤกษ์. (2534). ดินและและความอุดมสมบูรณ์ของดินนา เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิชาเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดินนาและการใช้ปุ๋ย รุ่น 1.

ชนิดา มฤคทัต. (2550). การแปรสภาพกากสบู่ดำโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบชั้นเบดนิ่ง. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยฤกษ์ มณีพงษ์. (2517). รายงานการวิจัยการปรับปรุงพันธุ์ข้าวไร่. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดำเนิน กาละดี พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ และศันสนีย์ จำจด. (2543). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องพันธุศาสตร์การปรับปรุงพันธุ์และโภชนศาสตร์เกษตรของข้าวเหนียวดำ. เชียงใหม่ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทรงเชาว์ อินสมพันธ์. (2531). พืชไร่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย: ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทวี คุปต์กาญจนากุล. (2546). ข้าวตอซัง. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ทวีวงศ์ ศรีบุรี. (2553). การวิจัยถ่านชีวภาพที่ศูนย์วิจัยถ่านชีวภาพ ป่าเด็ง. วารสารสิ่งแวดล้อม 14(1), 11-18.

ทวีวงศ์ ศรีบุรี. (2554). รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยปีที่1 ของโครงการต่อเนื่อง 3 ปี โครงการนำร่องการประเมินวัฏจักรชีวิตการปลดปล่อยและเก็บกักก๊าซเรือนกระจกของโครงการพัฒนาอย่างยั่งยืนในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. (2553). ดินที่ใช้ปลูกข้าว. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทิพานันท์ อุปนิสากร และ ศิวพร ปรีชา. (2554). การเจริญเติบโตของดาวเรือง (*Tagetes erecta L.)* ในดินที่ปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพจากไม้หางนกยูงฝรั่ง (*Delonix regia (Bojer) Raf.).* (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประพาส วีระแพทย์. (2523). ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพมหานคร: กองการข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ประสูติ สิทธิสรวง. (2524) . ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับข้าว (สรีรวิทยาของข้าวจากภาพ). กรุงเทพมหานคร: กองการข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ประเสริฐ สองเมือง. (2543). การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร กองวิชาปฐพีวิทยา.

ปัทมา วิตยากร. (2543). ความอุดมสมบูรณ์ของดินขั้นสูง. ขอนแก่น: ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พัชรี ธีรจินดาขจร. (2552). คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2544). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. กรุงเทพมหานคร โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2547). ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

เมธินี ณ เชียงใหม่ และคณะ. (2532). เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรข้าวไร่. กรุงเทพมหานคร: งานเอกสารวิชาการ สถาบันวิจัยข้าว.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2528). หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. กรุงเทพมาหานคร: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2543). ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยงยุทธ โอสถสภา และสุรเดช จินตกานนท์. (2521). คำบรรยายวิชาธาตุอาหารพืช. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ริเรืองรอง รัตนวิไลสกุล. (2551). วิถีการปลูกข้าวไร่ของเกษตรกรในพื้นที่ศูนย์ภูฟ้าพัฒนา อ.บ่อเกลือ จ. น่าน. วารสารรามคำแหง, 25(1), 194-205.

ลัดดาวัลย์ กรรณนุช. (2543). เทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยในนาข้าว: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วราภรณ์ คำบุญเรือง. (2532).เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรข้าวไร่. กรุงเทพมหานคร: งานเอกสารวิชาการ สถาบันวิจัยข้าว.

วัลนิกา หมั่นเพียรสุข. (2547). ธาตุอาหารและธาตุพิษบางชนิดที่ตกค้างในดินและลูกข้าว ภายหลังการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิจิตร วังใน. (2552). ธาตุอาหารกับการผลิตพืชผล. กรุงเทพมหานคร: วี.บี.บุ๊คเซ็นเตอร์.

วิชัย ลิมโพธิ์ทอง สลิตา สุสิงห์ และชัยนาม ดิสถาพร. (2554). การศึกษาชนิดและอัตราที่เหมาะสมของถ่านชาร์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตของข้าวปทุมธานี 1 ในสภาพดินทราย: สถานีพัฒนาที่ดินหนองคาย สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 กรมพัฒนาที่ดิน.

วิโรจน์ วจนานวัช. (2528). อิทธิพลของชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดินและผลผลิตของพืชในระบบข้าว - ถั่วเหลืองที่ปลูกในชุดดินลำปาง. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีรศักดิ์ บุญเชิญ. (2538). การตอบสนองของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการปลูกข้าวแบบนาธรรมชาติและนาหว่านข้าวแห้งในชุดดินร้อยเอ็ดและกำแพงแสน. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. (2556). บทบาทหญ้าแฝกในการกักเก็บคาร์บอนลงดิน. เข้าถึงเมื่อ 20 สิงหาคม, 2556, แหล่งที่มา http://www.ldd.go.th/flddwebsite/web_ord/ordmain/km.html

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. (2553). ค่านำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของสารละลาย. เข้าถึงเมื่อ 31 มกราคม, 2556, แหล่งที่มา h ttp://www.cab.ku.ac.th/suntaree/index.php/publication /article/64-ec.html

สุภาภรณ์ สืบเสนาะ. (2544). การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์กข 6 (*RD*6) และขาวมะลิ 105 (*KDML*105) ในนาดำ. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุระพร รัตนโกศล. (2520). การศึกษาประสิทธิภาพการให้ลูกข้าวแลการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ดี. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสาวคนธ์ เหมวงษ์ และศศิธร เชื้อกุณะ. (2554). การใช้ถ่านปรับปรุงดินเพื่อปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน. วารสารเกษตร, 27(3), 259-266.

อภิพรรณ พุกภักดี. (2541). หลักการผลิตพืช. กรุงเทพมหานคร: สำ นักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรถวุฒิ ทัศน์สองชั้น. (2527). เรื่องของข้าว (พิมพ์ครั้งที่ 2 .). กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรสา สุกสว่าง. (2552). เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ: วิธีแก้ปัญหาโลกร้อน ดิน และความยากจนในภาคเกษตรกรรม. ใน รายงานการประชุมวิชาการเรื่อง สภาวะโลกร้อน: ความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์. (2552). การใช้ถ่านจากการเผาในสภาพอับอากาศในการปรับปรุงดิน. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, 4(1), 22-37.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

เกณฑ์มาตรฐาน และคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการเพาะปลูกข้าวไร่

ตารางที่ ผ.1 ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ระดับ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
กรดรุนแรงมากที่สุด (Ultra acid)	< 3.5
กรดรุนแรงมาก (Extremely acid)	3.5-4.4
กรดจัดมาก (Very strongly acid)	4.5-5.0
กรดจัด (Strongly acid)	5.1-5.5
กรดปานกลาง (Moderately acid)	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย (Slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (Neutral)	6.6-7.3
ด่างเล็กน้อย (Slightly alkaline)	7.4-7.8
ด่างปานกลาง (Moderately alkaline)	7.9-8.4
ด่างจัด (Strongly alkaline)	8.5-9.0
ด่างจัดมาก (Very strongly alkaline)	> 9.0

ที่มา : คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541

ตารางที่ ผ.2 ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา

ระดับ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
กรดจัดมาก (Extremely acid)	< 4.5
กรดจัด (Very strongly acid)	4.5-5.0
กรดแก่ (Strongly acid)	5.1-5.5
กรดปานกลาง (Moderately acid)	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย (Slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (Near neutral)	6.6-7.3
ด่างอ่อน (Slightly alkaline)	7.4-7.8
ด่างปานกลาง (Moderately alkaline)	7.9-8.4
ด่างแก่ (Strongly alkaline)	8.5-9.0
ด่างจัด (Extremely alkaline)	> 9.0

ที่มา : จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973

ตารางที่ ผ.3 ระดับของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา

ระดับ	ปริมาณฟอสฟอรัส (ppm)
ต่ำมาก (Very low)	< 3
ต่ำ (Low)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (Moderately low)	6-10
ปานกลาง (Moderate)	10-15
ค่อนข้างสูง (Moderately high)	15-25
สูง (High)	25-45
สูงมาก (Very high)	> 45

ที่มา : จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973

ตารางที่ ผ.4 ระดับของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ดินนา

ระดับ	ปริมาณฟอสฟอรัส (ppm)
ต่ำมาก (Very low)	< 30
ต่ำ (Low)	30-60
ปานกลาง (Moderate)	60-90
สูง (High)	90-120
สูงมาก (Very high)	> 120

ที่มา : จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973

Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ.5 มาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดิน

ระดับ	ปริมาณฟอสฟอรัส (ppm)
ต่ำมาก	< 0.5
ต่ำ	0.5-1.0
ต่ำปานกลาง	> 1.0-1.5
ปานกลาง	> 1.5-2.5
สูงปานกลาง	> 2.5-3.5
สูง	> 3.5-4.5
สูงมาก	> 4.5

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2545

ตารางที่ ผ. 6 คุณสมบัติของปุ๋ยคอกก่อนการเพาะปลูกข้าวไร่

สมบัติของปุ๋ย	ค่าที่วัดได้
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.3
2. ค่าความนำไฟฟ้า (Electro conductivity)	0.35 dS/m
3. อินทรียวัตถุ (organic matter)	8.61 %
4. อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)	4.99%
5. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	0.8 %
6. ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (total phosphate)	0.4 %
7. ปริมาณโพแทชทั้งหมด (total potash)	0.3 %
8. C/N	6/1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ. 7 ผลการวิเคราะห์คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของเศษไม้ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ชื่อตัวอย่าง	ไม้แห้ง (ค่าเฉลี่ย)			ถ่านชีวภาพ (ค่าเฉลี่ย)		
	% C	% H	% N	% C	% H	% N
จามจุรี	42.69	6.21	0.0	84.78	2.43	0.64
กระถิน	43.76	6.17	0.15	84.61	2.47	1.03
กระชิต	43.11	6.57	0.16	78.88	1.38	0.78
สะแกวัลย์	42.35	6.69	0.0	74.56	3.23	1.20
ชะแอม	42.35	6.36	0.35	66.64	3.77	1.00
กระดูกแตก	43.54	6.69	0.68	64.48	3.57	1.22
ซังข้าวโพด	41.66	6.84	0.74	81.35	2.42	1.00

ที่มา : ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติของดินก่อนและหลังการทดลอง

ตารางที่ ข 1 เปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างในดินก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ดินก่อนการทดลอง	ดินหลังการทดลอง					
			ค่าความเป็นกรด-ด่าง					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดินเดิม	ข6.7±0.14^{b}	ก6.71 ± 0.55^{b}	ก6.72 ± 0.16^{b}	ข6.74 ± 0.06^{a}	ข6.75 ± 0.21^{a}	ก6.76 ± 0.33^{a}	ข6.78 ± 0.45^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ข6.71±0.25^{a}	ก6.68 ± 0.11^{ab}	ก6.67 ± 0.32^{ab}	ข6.66 ± 0.11^{ab}	ข6.64 ± 0.06^{b}	ก6.62 ± 0.19^{b}	ข6.60 ± 0.18^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	กข6.73±0.36^{d}	ก6.81 ± 0.21^{c}	ก7.00 ± 0.44^{c}	ก7.21 ± 0.34^{b}	ก7.32 ± 0.20^{b}	ก7.40 ± 0.27^{a}	ก7.49 ± 0.29^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก6.77±0.34^{d}	ก6.84 ± 0.12^{c}	ก7.03 ± 0.25^{c}	ก7.25 ± 0.14^{b}	ก7.33 ± 0.44^{ab}	ก7.41 ± 0.83^{ab}	ก7.51 ± 0.16^{a}
นาสาร	ดินเดิม	ค6.65±0.15^{a}	ก6.70 ± 0.11^{a}	ก6.72 ± 0.14^{a}	ข6.73 ± 0.26^{a}	ข6.74 ± 0.04^{a}	ข6.75 ± 0.15^{a}	ข6.77 ± 0.12^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ขค6.67±0.14^{a}	ก6.68 ± 0.11^{a}	ก6.67 ± 0.14^{a}	ข6.65 ± 0.12^{ab}	ข6.63 ± 0.18^{b}	ข6.61 ± 0.04^{b}	ข6.60 ± 0.17^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	กข6.73±0.25^{c}	ก6.85 ± 0.26^{b}	ก6.95 ± 0.47^{b}	ก7.23 ± 0.28^{ab}	ก7.32 ± 0.33^{ab}	ก7.42 ± 0.07^{a}	ก7.47 ± 0.14^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก6.77±0.72^{c}	ก6.86 ± 0.60^{b}	ก6.97 ± 0.52^{b}	ก7.28 ± 0.28^{ab}	ก7.36 ± 0.09^{ab}	ก7.42 ± 0.11^{a}	ก7.52 ± 0.15^{a}
รวม	ดินเดิม	ค6.66±0.15^{b}	ก6.72 ± 0.22^{a}	ก6.74 ± 0.06^{a}	ข6.75 ± 0.13^{a}	ข6.76 ± 0.21^{a}	ข6.77 ± 0.17^{a}	ข6.79 ± 0.61^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ข6.69±0.15^{a}	ก6.66 ± 0.46^{a}	ก6.64 ± 0.32^{a}	ข6.62 ± 0.14^{ab}	ข6.60 ± 0.17^{ab}	ข6.59 ± 0.11^{ab}	ข6.57 ± 0.45^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ก6.80±0.26^{c}	ก6.92 ± 0.42^{b}	ก7.01 ± 0.33^{b}	ก7.19 ± 0.21^{b}	ก7.36 ± 0.29^{a}	ก7.43 ± 0.38^{a}	ก7.48 ± 0.38^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก6.82±0.20^{ab}	ก6.95 ± 0.26^{b}	ก7.08 ± 0.21^{b}	ก7.23 ± 0.22^{ab}	ก7.39 ± 0.13^{a}	ก7.44 ± 0.52^{a}	ก7.50 ± 0.24^{a}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษด้านขวามือที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

อักษรภาษาไทยด้านซ้ายมือที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง

ตารางที่ ข 2 เปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าในดินก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ดินก่อนการทดลอง	ดินหลังการทดลอง					
			ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดินเดิม	ค 0.18±0.05 a	ก 0.17 ± 0.02 a	ก 0.17 ± 0.05 a	ก 0.16 ± 0.02 a	ข 0.15 ± 0.05 a	ข 0.14 ± 0.04 a	ข 0.13 ± 0.05 a
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ขค 0.19±0.06 b	ก 0.19 ± 0.02 b	ก 0.21 ± 0.03 ab	ก 0.21 ± 0.05 ab	กข 0.22 ± 0.04 a	กข 0.23 ± 0.05 a	ก 0.25 ± 0.04 a
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	กข 0.19±0.10 b	ก 0.20 ± 0.03 b	ก 0.23 ± 0.04 ab	ก 0.24 ± 0.05 ab	ก 0.26 ± 0.04 a	ก 0.27 ± 0.06 a	ก 0.29 ± 0.07 a
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก 0.20±0.15 b	ก 0.21 ± 0.06 b	ก 0.24 ± 0.07 ab	ก 0.26 ± 0.07 ab	ก 0.28 ± 0.06 a	ก 0.29 ± 0.08 a	ก 0.31 ± 0.04 a
นาสาร	ดินเดิม	ค 0.19±0.02 a	ก 0.18 ± 0.03 a	ก 0.18 ± 0.07 a	ก 0.17 ± 0.05 a	ข 0.16 ± 0.06 a	ข 0.15 ± 0.02 a	ข 0.15 ± 0.04 a
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ขค 0.19±0.34 b	ก 0.19 ± 0.06 b	ก 0.22 ± 0.04 a	ก 0.23 ± 0.04 a	กข 0.25 ± 0.04 a	ก 0.26 ± 0.06 a	กข 0.27 ± 0.08 a
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	กข 0.20±0.21 b	ก 0.22 ± 0.04 b	ก 0.23 ± 0.04 b	ก 0.24 ± 0.04 ab	กข 0.26 ± 0.08 ab	ก 0.28 ± 0.07 a	ก 0.31 ± 0.08 a
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก 0.22±0.10 b	ก 0.23 ± 0.06 b	ก 0.25 ± 0.06 ab	ก 0.26 ± 0.05 ab	ก 0.28 ± 0.02 a	ก 0.29 ± 0.11 a	ก 0.33 ± 0.09 a
รวม	ดินเดิม	ค 0.19±0.11 a	ก 0.19 ± 0.02 a	ก 0.18 ± 0.04 a	ก 0.18 ± 0.02 a	ข 0.17 ± 0.06 a	ข 0.16 ± 0.04 a	ข 0.15 ± 0.04 a
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ขค 0.19±0.35 b	ก 0.20 ± 0.06 b	ก 0.21 ± 0.04 ab	ก 0.23 ± 0.04 ab	กข 0.24 ± 0.03 ab	ก 0.26 ± 0.03 a	กข 0.28 ± 0.06 a
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	กข 0.20±0.07 b	ก 0.21 ± 0.04 b	ก 0.22 ± 008 b	ก 0.25 ± 0.08 ab	กข 0.27 ± 0.03 ab	ก 0.29 ± 0.05 a	ก 0.32 ± 0.04 a
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก 0.23±0.01 b	ก 0.24 ± 0.03 b	ก 0.26 ± 0.06 ab	ก 0.27 ± 0.08 ab	ก 0.29 ± 0.08 a	ก 0.31 ± 0.07 a	ก 0.33 ± 0.12 a

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษด้านขวามือที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

อักษรภาษาไทยด้านซ้ายมือที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง

ตารางที่ ข 3 เปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ดินก่อนการทดลอง	ดินหลังการทดลอง					
			ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดินเดิม	ง0.66±0.10^{a}	ค0.65 ± 0.05^{a}	ข0.64 ± 0.06^{a}	ค0.63 ± 0.03^{a}	ข0.61 ± 0.06^{ab}	ข0.59 ± 0.10^{b}	ค0.58 ± 0.06^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ค0.91±0.15^{c}	ข0.96 ± 0.08^{c}	ก1.16 ± 0.04^{bc}	ข1.24 ± 0.09^{b}	ก1.30 ± 0.10^{b}	ก1.41 ± 0.07^{a}	ข1.49 ± 0.11^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข0.98±0.15^{c}	กข1.05 ± 0.09^{c}	ก1.18 ± 0.08^{bc}	กข1.31 ± 0.07^{b}	ก1.40 ± 0.12^{b}	ก1.52 ± 0.08^{b}	ก1.66 ± 0.06^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก1.07±0.21^{d}	ก1.12 ± 0.06^{d}	ก1.27 ± 0.07^{c}	ก1.38 ± 0.07^{bc}	ก1.46 ± 0.07^{bc}	ก1.59 ± 0.16^{b}	ก1.74 ± 0.08^{a}
นาสาร	ดินเดิม	ค0.69±0.15^{a}	ก0.67 ± 0.08^{a}	ข0.65 ± 0.14^{a}	ข0.64 ± 0.06^{a}	ข0.63 ± 0.07^{a}	ข0.61 ± 0.07^{ab}	ค0.60 ± 0.06^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ข0.97±0.02^{c}	ก1.01 ± 0.53^{c}	ก1.14 ± 0.18^{b}	ก1.27 ± 0.20^{ab}	ก1.34 ± 0.20^{ab}	ก1.47 ± 0.28^{a}	ข1.55 ± 0.13^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข1.02±0.03^{c}	ก1.10 ± 0.09^{c}	ก1.21 ± 0.18^{bc}	ก1.35 ± 0.18^{b}	ก1.49 ± 0.17^{b}	ก1.57 ± 0.29^{b}	กข1.74 ± 0.15^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก1.08±0.03^{d}	ก1.20 ± 0.09^{d}	ก1.33 ± 0.12^{c}	ก1.48 ± 0.24^{bc}	ก1.57 ± 0.05^{bc}	ก1.63 ± 0.14^{b}	ก1.81 ± 0.13^{a}
รวม	ดินเดิม	ง0.69±0.01^{a}	ข0.66 ± 0.06^{a}	ข0.64 ± 0.05^{a}	ข0.63 ± 0.09^{a}	ข0.61 ± 0.09^{a}	ข0.60 ± 0.12^{ab}	ค0.59 ± 0.14^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ค0.99±0.29^{c}	กข1.05 ± 0.46^{c}	ก1.17 ± 0.13^{b}	ก1.30 ± 0.15^{ab}	ก1.37 ± 0.14^{ab}	ก1.51 ± 0.12^{a}	ข1.60 ± 0.12^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข1.08±0.04^{c}	กข1.16 ± 0.15^{c}	ก1.25 ± 0.12^{bc}	ก1.38 ± 0.17^{b}	ก1.52 ± 0.22^{b}	ก1.60 ± 0.08^{b}	กข1.75 ± 0.12^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก1.17±0.03^{d}	ก1.21 ± 0.21^{d}	ก1.36 ± 0.16^{c}	ก1.51 ± 0.13^{bc}	ก1.59 ± 0.12^{bc}	ก1.67 ± 0.10^{b}	ก1.80 ± 0.15^{a}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษด้านขวามือที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

อักษรภาษาไทยด้านซ้ายมือที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง

ตารางที่ ข 4 เปรียบเทียบค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ดินก่อนการทดลอง	ดินหลังการทดลอง					
			ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cmol/Kg)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดินเดิม	งค 11.62±0.08^{a}	ค 11.27 ± 0.23^{a}	ค 10.87 ± 0.65^{b}	ค 10.19 ± 0.38^{b}	ค 10.02 ± 0.23^{b}	ข 9.63 ± 0.29^{c}	ค 8.95 ± 0.18^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ค 12.04±0.06^{d}	ข 12.22 ± 0.18^{c}	ข 13.12 ± 0.34^{b}	ข 13.98± 0.42^{b}	ข 14.57 ± 0.40^{ab}	ก 15.68 ± 0.34^{a}	ข 16.68 ± 0.63^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข 12.25±0.05^{d}	ข 12.49 ± 0.34^{c}	ข 13.37 ± 0.67^{bc}	กข 14.79± 0.51^{b}	กข 15.22 ± 0.34^{ab}	ก 16.79 ± 0.27^{a}	ก 17.58 ± 0.21^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก 13.63±0.11^{d}	ก 13.88 ± 0.16^{c}	ก 14.49 ± 0.35^{bc}	ก 15.36 ± 0.49^{b}	ก 16.05 ± 0.95^{ab}	ก 16.71 ± 1.02^{a}	ก 17.75 ± 0.27^{a}
นาสาร	ดินเดิม	ค 11.61±0.67^{a}	ก 11.37 ± 0.60^{a}	ข 11.02 ± 0.47^{a}	ก 10.78 ± 0.56^{b}	ข 10.25 ± 0.38^{b}	ข 9.72 ± 0.16^{b}	ข 9.19 ± 0.15^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ข 12.62±0.08^{d}	ก 12.74 ± 0.31^{d}	ก 13.80 ± 1.01^{c}	ก 14.26 ± 0.48^{b}	ก 15.17 ± 0.19^{ab}	ก 16.60 ± 0.62^{a}	ก 17.25 ± 0.65^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข 12.94±0.21^{d}	ก 13.63 ± 0.52^{c}	ก 14.20 ± 0.20^{bc}	ก 14.87 ± 0.56^{b}	ก 15.62 ± 0.30^{ab}	ก 17.13 ± 0.15^{a}	ก 17.70 ± 0.36^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก 13.47±0.35^{d}	ก 13.90 ± 1.02^{c}	ก 14.89 ± 0.25^{bc}	ก 15.45 ± 0.15^{b}	ก 16.05 ± 0.92^{ab}	ก 16.81 ± 0.02^{a}	ก 17.88 ± 0.72^{a}
รวม	ดินเดิม	งค 11.70±0.26^{a}	ค 11.46 ± 0.91^{a}	ข 10.82 ± 1.29^{b}	ค 10.36 ± 0.78^{b}	ค 9.88 ± 0.44^{b}	ข 9.24 ± 0.11^{b}	ค 9.05 ± 0.38^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ค 12.29±0.07^{d}	ข 12.54 ± 0.29^{c}	ก 13.41 ± 1.04^{b}	ข 13.92 ± 0.46^{b}	ข 15.07 ± 0.10^{ab}	ก 16.71 ± 0.48^{a}	ข 17.32 ± 0.21^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข 12.79±0.24^{d}	กข 13.09 ±0.41^{c}	ก 13.58 ± 0.35^{bc}	ข 14.40 ± 0.19^{b}	ข 15.35 ± 0.04^{ab}	ก 17.17 ± 0.93^{a}	กข 17.84 ±0.59^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก 13.73±0.10^{d}	ก 14.05 ± 0.15^{c}	ก 14.96 ± 0.75^{bc}	ก 15.70 ± 0.53^{b}	ก 16.28 ± 0.84^{ab}	ก 17.02 ± 0.19^{a}	ก 18.11 ± 0.13^{a}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษด้านขวามือที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

อักษรภาษาไทยด้านซ้ายมือที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง

ตารางที่ ข 5 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ดินก่อนการทดลอง	ดินหลังการทดลอง					
			ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดินเดิม	^{คก}0.0572±0.0032^{c}	^{คก}0.0591 ± 0.0079^{c}	^{งจ}0.0603 ± 0.0048^{b}	^{งจ}0.0614 ± 0.0045^{b}	^{งจ}0.0675 ± 0.0036^{a}	^{งจ}0.0708 ± 0.0104^{a}	^{งจ}0.0772 ± 0.0772^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	^{คก}0.0674±0.0480^{d}	^{ขค}0.1267 ± 0.0122^{c}	^{คก}0.1304 ± 0.0192^{bc}	^{คก}0.1412 ± 0.0155^{b}	^{คก}0.1567 ± 0.0091^{b}	^{คก}0.1622 ± 0.0083^{a}	^{คก}0.1701 ± 0.1701^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	^{ขค}0.1352±0.2652^{c}	^{ขค}0.1456 ± 0.0082^{c}	^{ขค}0.1870 ± 0.0142^{b}	^{ขค}0.2045 ± 0.0300^{b}	^{ขค}0.2417 ± 0.0163^{b}	^{ขค}0.2711 ± 0.0289^{b}	^{ขค}0.3127 ± 0.3127^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	^{กค}0.1872±0.1020^{c}	^{กค}0.2012± 0.0329^{bc}	^{กค}0.2488 ± 0.0110^{b}	^{กค}0.2827 ± 0.0296^{b}	^{กค}0.3311 ± 0.0218^{a}	^{กค}0.3588 ± 0.0378^{a}	^{กค}0.3709 ± 0.3709^{a}
นาสาร	ดินเดิม	^{คก}0.0592±0.0020^{c}	^{งจ}0.0672 ± 0.0079^{b}	^{งจ}0.0687 ± 0.0141^{b}	^{งจ}0.0735 ± 0.0087^{a}	^{งจ}0.0758 ± 0.0104^{a}	^{งจ}0.0846 ± 0.0125^{a}	^{งจ}0.0986 ± 0.1070^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	^{คก}0.0671±0.0510^{d}	^{คก}0.1011 ± 0.0100^{c}	^{คก}0.1232 ± 0.0110^{c}	^{คก}0.1365± 0.0133^{bc}	^{คก}0.1517 ± 0.0061^{b}	^{คก}0.1703 ± 0.0063^{a}	^{คก}0.1782 ± 0.0218^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	^{ขค}0.1412±0.1659^{d}	^{ขค}0.1419 ±00074^{d}	^{ขค}0.1936 ± 0.0098^{c}	^{ขค}0.2154 ± 00068^{bc}	^{ขค}0.2355 ± 0.0057^{b}	^{ขค}0.2644 ± 0.0375^{b}	^{ขค}0.3218 ± 0.0093^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	^{กค}0.1922±0.1010^{c}	^{กค}0.2254± 0.0202^{bc}	^{กค}0.2709 ± 0.1320^{b}	^{กค}0.3038 ± 0.0195^{a}	^{กค}0.3219 ± 0.0110^{a}	^{กค}0.3401 ± 0.0186^{a}	^{กค}0.3818 ± 0.0053^{a}
รวม	ดินเดิม	^{คก}0.0572±0.0032^{c}	^{งจ}0.0683 ± 0.0160^{b}	^{งจ}0.0725 ± 0.0860^{ab}	^{งจ}0.0770± 0.0170^{ab}	^{งจ}0.0864 ± 0.0101^{a}	^{งจ}0.0916 ± 0.107^{a}	^{งจ}0.0994 ± 0.0122^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	^{คก}0.0747±0.1180^{d}	^{คก}0.1105 ± 0.1290^{c}	^{คก}0.1386 ± 0.0208^{c}	^{คก}0.1431± 0.1330^{bc}	^{คก}0.1625 ± 0.2380^{b}	^{คก}0.1815 ± 0.0060^{a}	^{คก}0.2053 ± 0.3320^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	^{ขค}0.1552±0.4652^{d}	^{ขค}0.1625 ± 0.1690^{d}	^{ขค}0.1915 ± 0.0132^{c}	^{ขค}0.2094± 0.0003^{bc}	^{ขค}0.2572 ± 0.1020^{b}	^{ขค}0.2712 ± 0.0069^{b}	^{ขค}0.3145 ± 0.0098^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	^{กค}0.2012±0.1020^{c}	^{กค}0.2386± 0.1450^{bc}	^{กค}0.2778 ± 0.0135^{b}	^{กค}0.3122 ± 0.1210^{a}	^{กค}0.3385 ± 0.0343^{a}	^{กค}0.3702 ± 0.0059^{a}	^{กค}0.4002 ± 0.0110^{a}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษด้านขวามือที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

อักษรภาษาไทยด้านซ้ายมือที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง

ตารางที่ ข 6 เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ดินก่อนการทดลอง	ดินหลังการทดลอง					
			ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดินเดิม	ค0.13±0.02^{a}	ค0.12 ± 0.03^{a}	ค0.12 ± 0.02^{a}	ข0.10 ± 0.04^{b}	ค0.09 ± 0.02^{bc}	ข0.07 ± 0.02^{c}	ค0.05 ± 0.02^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ขค0.14±0.07^{c}	ขค0.15± 0.04^{bc}	ข0.17 ± 0.02^{b}	ก0.20 ± 0.04^{a}	ข0.22 ± 0.02^{a}	ก0.21 ± 0.02^{a}	ข0.19 ± 0.02^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข0.15±0.02^{c}	กข0.20 ± 0.03^{b}	กข0.21 ± 0.03^{ab}	ก0.23 ± 0.03^{a}	กข0.25 ± 0.04^{a}	ก0.23 ± 0.01^{a}	กข0.22± 0.09^{a}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก0.17±0.03^{c}	ก0.22 ± 0.04^{b}	ก0.24 ± 0.03^{b}	ก0.26 ± 0.04^{ab}	ก0.29 ± 0.03^{a}	ก0.27± 0.07^{a}	ก0.26 ± 0.03^{ab}
นาสาร	ดินเดิม	ค0.11±0.05^{a}	ข0.10 ± 0.03^{a}	ข0.09 ± 0.05^{a}	ข0.09 ± 0.02^{a}	ค0.07 ± 0.04^{b}	ข0.06 ± 0.01^{bc}	ข0.04 ± 0.01^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ขค0.13±0.27^{c}	ข0.14 ± 0.03^{bc}	ข0.15 ± 0.02^{b}	ก0.18 ± 0.07^{a}	ข0.20 ± 0.04^{a}	ก0.18 ± 0.01^{a}	กข0.16± 0.05^{a}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข0.16±0.02^{c}	ก0.21 ± 0.03^{b}	ก0.23 ± 0.02^{ab}	ก0.25 ± 0.03^{a}	กข0.26 ± 0.03^{a}	ก0.25± 0.05^{a}	ก0.23± 0.10^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก0.19±0.01^{c}	ก0.23 ± 0.03^{b}	ก0.24 ± 0.03^{b}	ก0.25 ± 0.02^{ab}	ก0.28 ± 0.03^{a}	ก0.26 ± 0.07^{a}	ก0.25 ± 0.11^{ab}
รวม	ดินเดิม	ค0.10±0.02^{a}	ข0.09 ± 0.04^{a}	ข0.08 ± 0.01^{ab}	ข0.08 ± 0.03^{ab}	ข0.07 ± 0.03^{b}	ข0.06 ± 0.03^{bc}	ข0.05 ± 0.01^{c}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ขค0.12±0.01^{c}	ก0.16 ± 0.04^{b}	ก0.17 ± 0.02^{ab}	ก0.18 ± 0.07^{a}	ก0.20 ± 0.06^{a}	ก0.19 ± 0.07^{a}	ก0.17± 0.10^{ab}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข0.13±0.37^{c}	ก0.20 ± 0.02^{b}	ก0.22 ± 0.01^{ab}	ก0.24 ± 0.02^{a}	ก0.26 ± 0.08^{a}	ก0.24 ± 0.13^{a}	ก0.23 ± 0.01^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก0.19±0.03^{c}	ก0.22 ± 0.03^{b}	ก0.23 ± 0.07^{b}	ก0.25 ± 0.06^{a}	ก0.27 ± 0.02^{a}	ก0.25 ± 0.14^{a}	ก0.24 ± 0.07^{ab}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษด้านขวามือที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

อักษรภาษาไทยด้านซ้ายมือที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง

ตารางที่ ข 7 เปรียบเทียบปริมาณปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ดินก่อนการทดลอง	ดินหลังการทดลอง					
			ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/Kg)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดินเดิม	ค10.88±0.35^{a}	ค10.76 ± 0.37^{a}	ง10.11 ± 0.24^{a}	ค9.40 ± 2.94^{b}	ง8.78 ± 0.41^{c}	ค8.12 ± 0.56^{c}	ง7.22 ± 0.44^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ค11.08±0.06^{d}	ค11.23 ± 0.89^{d}	ค12.70 ± 0.83^{c}	ข14.34 ± 1.28^{b}	ค17.34 ± 0.36^{a}	ข15.95 ± 1.92^{a}	ค14.30 ± 0.31^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข12.73±0.21^{d}	ข13.45 ± 1.00^{d}	ข15.17 ± 0.06^{c}	ข17.56 ± 1.20^{b}	ข19.19 ± 1.26^{a}	ข18.09 ± 1.91^{a}	ข17.70 ± 0.30^{b}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก14.73±0.24^{d}	ก17.03 ± 1.86^{c}	ก19.22 ± 0.79^{b}	ก21.17± 1.66^{ab}	ก24.81 ± 0.86^{a}	ก22.17 ± 0.53^{a}	ก21.08± 0.18^{ab}
นาสาร	ดินเดิม	ง10.86±0.08^{a}	ค10.46 ± 0.33^{a}	ง10.01 ± 0.34^{a}	ง8.67 ± 0.58^{b}	ง6.79 ± 0.56^{c}	ง6.15 ± 0.11^{c}	ง5.34 ± 0.22^{d}
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ค11.40±0.09^{d}	ค11.72 ± 0.67^{d}	ค13.05 ± 0.21^{c}	ค15.35 ± 0.58^{b}	ค17.77 ± 0.25^{a}	ค16.02 ± 0.68^{a}	ค14.87± 0.32^{bc}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข12.89±0.12^{d}	ข14.14 ± 0.75^{c}	ข15.69 ±0.69^{c}	ข17.76 ± 0.35^{b}	ข19.18 ± 0.82^{a}	ข19.76 ± 1.32^{a}	ข18.17± 0.83^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก15.58±0.48^{d}	ก17.85 ± 1.30^{c}	ก18.09 ± 0.60^{c}	ก21.74 ± 0.98^{b}	ก25.04 ± 0.72^{a}	ก23.88 ± 1.15^{a}	ก21.26 ± 0.07^{b}
รวม	ดินเดิม	ง10.97±0.06^{a}	ค10.34 ± 0.17^{a}	ง9.87 ± 1.09^{b}	ง8.25 ± 0.80^{bc}	ง6.31 ± 0.99^{c}	ง5.87 ± 1.12^{d}	ง5.08 ± 1.10^{d}
	ดิน+ปุ๋คอก	ค11.85±0.12^{d}	ค12.04 ± 1.71^{c}	ค13.48 ± 1.03^{c}	ค15.76 ± 0.76^{b}	ค18.27 ± 0.96^{a}	ค17.10 ± 0.78^{a}	ค15.63 ± 1.15^{b}
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข14.54±0.65^{c}	ข15.17 ± 0.11^{b}	ข16.88 ± 0.11^{b}	ข18.24± 1.13^{ab}	ข20.69 ± 0.39^{a}	ข19.43 ± 1.24^{a}	ข18.91± 0.37^{ab}
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก17.16±0.50^{c}	ก18.24 ± 0.83^{c}	ก19.07 ± 1.32^{c}	ก22.38 ± 0.39^{b}	ก25.46 ± 0.37^{a}	ก24.84 ± 0.28^{a}	ก23.22 ± 0.83^{b}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษด้านขวามือที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

อักษรภาษาไทยด้านซ้ายมือที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง

ตารางที่ ข 8 เปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง

พันธุ์ข้าว	ตำรับการทดลอง	ดินก่อนการทดลอง	ดินหลังการทดลอง					
			ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (mg/Kg)					
			ต้นกล้า	แตกกอ	สร้างรวง	ตั้งท้อง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
เหลือง	ดินเดิม	ง 86.84±0.15 a	ค 86.11 ± 0.18 a	ง 85.48 ± 5.27 a	ค 83.29 ± 3.02 b	ค 80.25 ± 4.58 bc	ค 76.21 ± 4.18 c	ค 70.33± 5.99 d
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ค 90.26±0.17 d	ขค 94.70± 3.48 c	ค 96.32 ± 1.02 b	ข 98.24 ± 3.00 ab	ข 101.47 ± 3.13 a	ข 99.65 ± 2.90 a	ข 98.38± 2.21 ab
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข 93.58±0.17 d	กข 99.10± 6.76 c	ข 102.33 ±1.96 b	ก 105.47±5.16 a	ข 106.34 ± 3.69 a	ข 103.22 ± 3.41 b	ข 103.01±7.55 a
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก 101.14±0.19 d	ก 107.22± 5.89 c	ก 109.13 ± 2.63 b	ก 111.83±3.44 a	ก 113.24± 2.14 a	ก 111.08 ± 4.56 a	ก 110.44±2.57 ab
นาสาร	ดินเดิม	ง 87.12±0.16 a	ค 87.25 ± 2.98 a	ค 86.34 ± 1.14 a	ค 86.02 ± 1.92 a	ค 84.05 ± 3.50 b	ค 81.25 ± 3.32 c	ค 78.28± 0.15 d
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ค 90.53±0.41 c	ขค 93.13± 2.81 bc	ข 95.37 ±7.19 b	ข 97.64 ± 7.30 b	ข 100.17 ± 4.77 a	ข 99.48 ± 1.08 a	ข 98.07± 5.52 ab
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข 95.32±0.18 c	กข 100.46±5.1 b	กข 102.74±1.96 b	กข 104.23±3.95 a	กข 105.75± 4.75 a	ก 104.44 ± 1.94 a	ก 103.19±1.92 ab
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก 100.89±0.37 c	ก 105.66±4.23 bc	ก 107.35 ± 4.60 b	ก 108.86±6.37 ab	ก 111.45 ± 4.07 a	ก 108.40 ± 3.04 ab	ก 107.25±0.15 b
รวม	ดินเดิม	ง 86.98±0.09 a	ค 85.79 ± 5.79 a	ค 83.46 ± 7.35 b	ค 82.76 ± 2.54 bc	ค 80.34 ± 1.20 c	ข 78.33 ± 3.07 cd	ค 76.12 ±5.67 d
	ดิน+ปุ๋ยคอก	ค 91.19±0.13 c	ข 94.45 ± 4.28 b	ข 95.23±3.58 b	ข 97.11 ± 3.62 ab	ข 100.34 ± 1.11 a	ก 98.73 ± 3.56 a	ข 97.15± 3.88 ab
	ดิน+ถ่านชีวภาพ	ข 95.93±0.17 c	ข 101.56±0.96 ab	กข 102.43±2.43 a	กข 102.87±1.64 a	ข 103.45 ± 3.63 b	ก 100.38 ± 5.14 ab	ข 99.72± 5.59 b
	ดิน+ปุ๋ยคอก+ถ่านชีวภาพ	ก 101.83±0.23 c	ก 108.14±4.40 b	ก 109.03 ± 3.64 ab	ก 109.55±8.30 ab	ก 112.51 ± 7.40 a	ก 110.31±9.86 a	ก 109.74± 1.40 ab

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษด้านขวามือที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

อักษรภาษาไทยด้านซ้ายมือที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างตำรับการทดลอง

ภาคผนวก ค
ภาพงานวิทยานิพนธ์บางส่วน

1 2

3 4

5 6

1-2 การเตรียมแปลงนาปลูกข้าว

3-4 วัสดุในการปลูกข้าว ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) และถ่านชีวภาพ

5 การเจริญเติบโตของข้าวเมื่ออยู่ในระยะเก็บเกี่ยว

6 ลักษณะดินที่ใช้ปลูกข้าว

รูปที่ ผ. 1 การดำเนินการศึกษาวิจัยในแปลงทดลอง

ภาพงานวิทยานิพนธ์บางส่วน

1	2
3	4
5	6

1-3 การวัดการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ นับจำนวนต้นพื้นที่ การวัดความสูง และการนับการแตกกอ

4-6 การวัดผลผลิตของข้าว ได้แก่ นับจำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และการหาน้ำหนักแห้ง

รูปที่ ผ. 2 การวัดการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

ภาพงานวิทยานิพนธ์บางส่วน

1	2
3	4
5	6
7	8

1-5 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ ได้แก่ ไม้สะแกวัลย์ ไม้กระดูกแตก ไม้ชะแอม ไม้กระชิด และ ซังข้าวโพด ตามลำดับ

6-8 เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบ ได้แก่ เครื่องวัดความชื้น (CEM DT-129) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Multi Logger Thermometer HH506RA) และเครื่องชั่งน้ำหนัก

รูปที่ ผ. 3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพและเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบก่อนผลิตถ่านชีวภาพ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิชุตา กัลยาศิริ เกิดเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2552 หลังจากนั้น ได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University