ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

สุทธิภัทร แซ่ย่าง

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

สุทธิภัทร แซ่ย่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง
อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

สุทธิภัทร แซ่ย่าง

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีราภรณ์ อินทสาร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาสนา วิรุญรัตน์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผานิตย์ นาขยัน)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี
ชื่อผู้เขียน นายสุทธิภัทร แซ่ย่าง
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีราภรณ์ อินทสาร

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง ในพื้นที่อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี ทำการศึกษาระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 – กรกฎาคม พ.ศ. 2561 วางแผนการทดลองแบบสุ่มลงในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) ประกอบด้วย 6 ตำรับ 4 ซ้ำ ดังนี้ 1) ตำรับควบคุม 2) ถ่านชีวภาพ 10 กิโลกรัมต่อต้น 3) มูลไก่ 10 กิโลกรัมต่อต้น 4) มูลวัว 10 กิโลกรัมต่อต้น 5) พัมมิซ 10 กิโลกรัมต่อต้น และ 6) ทรายหยาบ 10 กิโลกรัมต่อต้น ผลการทดลองพบว่า หลังจากใส่วัสดุปรับปรุงดินนาน 12 เดือน การใส่พัมมิซส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงทั้งดินระดับบน (0-15 ซม.) และระดับล่าง (15-30 ซม.) ส่วนการใส่มูลไก่มีผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินระดับดินบนสูงขึ้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุดเมื่อมีการปรับปรุงดินด้วยมูลไก่ทั้งดินระดับบนและดินระดับล่าง การใส่ถ่านชีวภาพช่วยมีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ทั้งในดินระดับบนและดินระดับล่าง ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินหลังจากทำการใส่วัสดุปรับปรุงดินในเดือนที่ 3, 6 และ 9 มีปริมาณสูงที่สุดเมื่อมีการใส่พัมมิซที่ดินระดับบน การใส่มูลไก่และมูลวัวมีผลทำให้ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเพิ่มสูงที่สุดในดินทั้งสองระดับ และปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินระดับบนและดินระดับล่างสูงที่สุดเมื่อมีการใส่มูลไก่ สมบัติทางกายภาพของดินพบว่าการใส่มูลไก่และมูลวัวที่ระยะเวลา 6 และ 12 เดือน ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงที่ระดับบน ส่วนในดินระดับล่างพบว่าการใส่พัมมิซสามารถลดความหนาแน่นรวมของดิน การใส่ถ่านชีวภาพทำให้ความหนาแน่นรวมลดน้อยที่สุดหลังจากการใส่ 12 เดือน มูลวัวและพัมมิซทำให้ความชื้นของดินเพิ่มสูงขึ้น ทั้งในดินบนและดินล่างหลังจากการใส่ 6, 9 และ 12 เดือน อย่างมีนัยสำคัญ การใส่ถ่านชีวภาพมีผลทำให้ความคงทนของเม็ดดินเพิ่มสูงขึ้น ทั้งในระยะ 6 และ 12 เดือน การใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเนื้อดินทั้ง 2 ระดับ สมบัติทางชีวภาพของดิน พบว่าการใส่มูลวัวทำให้ปริมาณแบคทีเรียในดินเพิ่มที่สุดที่ 12 เดือน 5.49×10^6 CFU ส่วนการใส่มูลไก่ในช่วง 3 และ 6 เดือนแรก ทำให้ปริมาณเชื้อราในดินเพิ่มขึ้น คือ 4.91×10^3 และ 1.93×10^4 CFU ขณะที่ช่วง 9 และ 12 เดือน การใส่ถ่าน

ชีวภาพทำให้ปริมาณเชื้อราในดินเพิ่มขึ้นคือ $4.69x10^4$ และ $4.74x10^5$ CFU ตามลำดับ การใส่มูลไก่มีผลทำให้ปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินมากที่สุดที่ช่วง 6, 9 และ 12 เดือน คือ $2.73x10^5$, $3.08x10^6$ และ $3.40x10^6$ CFU ตามลำดับ

คำสำคัญ : วัสดุปรับปรงดิน, สมบัติของดิน, มะม่วง

Title EFFECT OF SOIL AMENDMENTS ON SOIL PROPERTIES UNDER MANGO CANOPIES AT CHALOEM PHRA KIAT DISTRICT, SARABUREE PROVINCE

Author Mr. Sutipat Saeyang

Degree Master of Science in Soil Science

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Jiraporn Inthasan

ABSTRACT

To study of soil amendment on some soil chemical properties under mango canopies at Chaloem Phra Kiat District, Saraburi Province was designed by randomized completely block design (RCBD) with 6 treatments, 4 replications 1) control, 2) Biochar 10 kg/tree, 3) Chicken manure 10 kg/tree, 4) Cow manure 10 kg/tree, 5) Pumice 10 kg/tree and 6) Coarse sand 10 kg/tree. The result showed that application of at pumice decreased soil pH both in topsoil (0-15 cm) and subsoil (15-30 cm) at 12 monhs. Chicken manure caused the highest level of organic matter in topsoil. Moreover, chicken manure gave the highest extractable P both in topsoil and subsoil. On the other hand, it found that Biochar provided the highest extractable K and Mg both in topsoil and subsoil. However, extractable Ca in topsoil was increased by pumice application at 3, 6 and 9 months. Application of chicken and cow manures resulted in the highest Mn extractable in the soil at both levels. Extractable Zn showed the peak value in topsoil and subsoil by chicken manure application. Physicals properties results showed that chicken and cow manures deceased the bulk density in topsoil and pumice treatmant deceased the bulk density in subsoil at 6 and 12 months reaspectivety. Adding biochar caused the lowest bulk density at 12 months. Pumice and cow manure aplication increased significant soil moisture in both top and subsoil at 6, 9 and 12 months. Biochar applicaytion gave the highest soil aggregate both at 6 and 12 months. Soil amendments could not change in the soil texture proportion of both soil levels. Soil biological properties results

showed that adding cow manue caused the highest amount of bacteria ($5.49x10^6$ CFU) at 12 months. The application of chicken manure increased the amount of fungi at $4.91x10^3$ and $1.93x10^4$ CFU after 3 and 6 months respectively. While usage of biochar increased the amount of fungi from $4.69x10^4$ at 9 months to $4.74x10^5$ CFU at 12 months. The application of chicken manure provided the actinomycetes population at 6, 9 and 12 months at $2.73x10^5$, $3.08x10^6$ and $3.40x10^6$ CFU respectively.

Keywords : soil amendment, soil properties, mango

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีราภรณ์ อินทสาร อาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำปรึกษาและให้คำแนะนำ อีกทั้งยังให้การสนับสนุนในเรื่องค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ สารเคมีที่ใช้ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนช่วยแนะนำตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.วาสนา วิรุญรัตน์ และผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.ผานิตย์ นาขยัน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยชี้แนะแนวทางและคอยช่วยเหลือในทุกด้านโดยตลอดมา ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันวิสาข์ ปั้นศักดิ์ ที่สละเวลาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และให้คำแนะนำช่วยให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อมที่คอยให้คำปรึกษา ให้การช่วยเหลือตลอดช่วงระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี ที่ให้ความกรุณาในการให้ใช้พื้นที่แปลงทดลอง อีกทั้งยังช่วยในเรื่องแรงงานและวัสดุอุปกรณ์สำหรับทำการทดลอง ตลอดจนพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อรุ่งศักดิ์ คุณแม่แถ้ อุดมโชติสกุล ที่คอยให้การสนันสนุนด้านการศึกษาและคอยให้กำลังใจตลอดเวลาโดยเสมอมา

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อการทำการเกษตรต่อไป

สุทธิภัทร แซ่ย่าง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

สารบัญภาพภาคผนวก ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

ขอบเขตของงานวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 3

วัสดุปรับปรุงดิน 3

ประเภทของสารปรับปรุงดิน 3

สารปรับปรุงดินอนินทรีย์ (Inorganic soil amendment) 3

สารปรับปรุงดินอินทรีย์ (Organic soil amendment) 6

ประโยชน์ของวัสดุปรับปรุงดิน 9

การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน 9

การปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน 10

การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน 13

ดินที่เหมาะสมต่อการเกษตร 14

ดินที่เป็นปัญหาทางการเกษตร 22
ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมะม่วง 24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 26
พื้นที่และระยะเวลาการศึกษา 26
แผนการทดลอง 26
การเก็บตัวอย่าง 27
บทที่ 4 ผลการวิจัย 31
สมบัติของดิน 31
สมบัติทางเคมีของดิน 31
สมบัติทางกายภาพของดิน 51
สมบัติทางชีวภาพของดิน 60
วิจารณ์ผลการทดลอง 65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 75
บรรณานุกรม 77
ภาคผนวก 89
ประวัติผู้วิจัย 104

สารบัญตาราง

หน้า

Table 1 The contents of biochar, chicken manure, cow manure, pumice and sand. 30

Table 2 Soil chemical properties before soil amendment application 31

Table 3 Soil chemical properties after soil amendment applied at 3 months..... 36

Table 4 Soil chemical properties after soil amendment applied at 6 months..... 41

Table 5 Soil chemical properties after soil amendment applied at 9 months..... 46

Table 6 Soil chemical properties after soil amendment applied at 12 months 50

Table 7 Soil physicals properties before soil amendment application..... 51

Table 8 Soil physical properties after soil amendment applied at 3 months..... 53

Table 9 Soil physical properties after soil amendment applied at 6 months..... 55

Table 10 Soil physical properties after soil amendment applied at 9 months..... 57

Table 11 Soil physical properties after soil amendment applied at 12 months 59

Table 12 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete before soil amendment application 60

Table 13 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete after soil amendment applied at 3 months 61

Table 14 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete after soil amendment applied at 6 months 62

Table 15 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete after soil amendment applied at 9 months 63

Table 16 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete after add soil amendment applied at 12 months..... 64

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุกับปริมาณแบคทีเรียในดิน 73

ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุกับปริมาณเชื้อราในดิน 73

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุกับปริมาณแอคติโนมัยซีทในดิน..... 74

สารบัญภาพภาคผนวก

หน้า

ภาพภาคผนวก 1 ลักษณะพื้นที่ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ 79

ภาพภาคผนวก 2 การเตรียมวัสดุปรับปรุงดิน 79

ภาพภาคผนวก 3 การใส่วัสดุปรับปรุงดิน 80

ภาพภาคผนวก 4 การเก็บตัวอย่างดิน 80

ภาพภาคผนวก 5 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) 81

ภาพภาคผนวก 6 การวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ 81

ภาพภาคผนวก 7 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน 82

ภาพภาคผนวก 8 การวิเคราะปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอาหารเสริม 82

ภาพภาคผนวก 9 การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมและความชื้นของดิน 82

ภาพภาคผนวก 10 การวิเคราะห์ความคงทนของเม็ดดิน 83

ภาพภาคผนวก 11 การวิเคราะห์เนื้อดิน 83

ภาพภาคผนวก 12 ตำรับควบคุม ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน 84

ภาพภาคผนวก 13 ตำรับถ่านชีวภาพ ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีทที่ 12 เดือน 84

ภาพภาคผนวก 14 ตำรับมูลไก่ ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน 85

ภาพภาคผนวก 15 ตำรับมูลวัว ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน 85

ภาพภาคผนวก 16 ตำรับพัมมิซ ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน 86

ภาพภาคผนวก 17 ตำรับทราย ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน 86

ภาพภาคผนวก 18 ตำรับควบคุม ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน 87

ภาพภาคผนวก 19 ตำรับถ่านชีวภาพ ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน 87

ภาพภาคผนวก 20 ตำรับมูลไก่ ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน 88

ภาพภาคผนวก 21 ตำรับมูลวัว ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน 88

ภาพภาคผนวก 22 ตำรับพัมมิซ ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน 89

ภาพภาคผนวก 23 ตำรับทราย ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน 89

ภาพภาคผนวก 24 ตำรับควบคุม ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน 90

ภาพภาคผนวก 25 ตำรับถ่าน ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน 90

ภาพภาคผนวก 26 ตำรับมูลไก่ ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน 91

ภาพภาคผนวก 27 ตำรับมูลวัว ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน 91

ภาพภาคผนวก 28 ตำรับพัมมิซ ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน 92

ภาพภาคผนวก 29 ตำรับทราย ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน 92

บทที่ 1
บทนำ

วัสดุปรับปรุงดิน เป็นสารธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ใด ๆ ที่ใส่ลงดินแล้ว สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชให้ดีขึ้น ซึ่งสามารถปรับปรุงดินทั้งสมบัติทางกายภาพ เคมี และความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมทั้งสมบัติทางชีวภาพของดิน ให้มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช โดยวัสดุปรับปรุงดินประกอบด้วยวัสดุในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ (ปิยะ, 2533) วัสดุปรับปรุงดินในรูปสารอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด วัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากผลผลิตการเกษตร เช่น พีท แกลบดิบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น สารฮิวมัส กรดฮิวมิก และสารดูดน้ำพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น (Cooperband, 2002) ส่วนสารปรับปรุงดินใน รูปสารอนินทรีย์ ได้แก่ วัสดุในรูปของหินและแร่ต่าง ๆ เช่น หินโดโลไมต์ ยิปซัม แร่ซีโอไลต์ พัมมิซ รวมทั้งวัสดุที่เป็นสารเคมีที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น สารซีโอไลต์สังเคราะห์ และฟอสโฟยิปซัม เป็นต้น (Gronthal, 1998) ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากวัสดุปรับปรุงดินเหล่านี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของดินให้มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช การใช้วัสดุปรับปรุงดินในรูปสารอินทรีย์จากการศึกษาของ Bouajila and Sanaa (2011) พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกจากครัวเรือนช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุ ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน และยังสามารถจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาวได้ ขณะที่ Angelova et al. (2013) พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยมูลไส้เดือนดินมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน เช่น EC, pH, อินทรียวัตถุ, ธาตุอาหารหลักและรองที่ดีขึ้น และทำให้ระดับโลหะหนักในดินลดลง ส่วนการใช้วัสดุปรับปรุงดินรูปอนินทรีย์จากการศึกษาของ ฉลอง และคณะ (2557) ที่นำวัสดุอนินทรีย์รูปเพอไลต์ เบนทอไนต์ พัมมิซ และยิปซัม สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังมีอินทรียวัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ในระดับสูงถึงสูงมาก ส่งผลให้ชั้นทรายเป็นด่างลดลง และทำให้ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งดินในพื้นที่ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี เป็นดินที่มีปัญหาทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี รวมถึงสมบัติทางชีวภาพ ซึ่งลักษณะดินในแปลงที่มีการปลูกมะม่วงเป็นดินเหนียวที่มีการระบายน้ำเลว เป็นดินที่มีความหนาแน่นสูง รวมทั้งมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการปลูกมะม่วงต่ำกว่าความต้องการในการเจริญเติบโตของมะม่วง ซึ่งลักษณะดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมะม่วงควรเป็นดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำดี ไม่มีน้ำท่วมขัง มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง (กลุ่มงานศึกษาและพัฒนาการปลูกพืช, 2552) จากปัญหาของลักษณะดินดังกล่าวของแปลงปลูกมะม่วง จึงเป็นสาเหตุของความสนใจที่จะศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง ดังนั้นการศึกษาผลของวัสดุปรับปรุง

ดินต่อสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง จังหวัดสระบุรี อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จึงเป็นการพัฒนาแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของดิน เพื่อนำมาสู่การจัดการดินอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้เป็นแนวทางในการแนะนำให้เกษตรกรในพื้นที่สามารถปรับปรุงสมบัติของดิน เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเพาะปลูกในอนาคตได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลของวัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ คือ มูลวัว มูลไก่ ถ่านชีวภาพ พัมมิซ และทรายหยาบ ต่อสมบัติของดินในด้านสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยทำการศึกษาในพื้นที่การทดลองของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลของการใช้วัสดุปรับปรุงดินที่มีผลการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

วัสดุปรับปรุงดิน

วัสดุปรับปรุงดิน หมายถึง วัสดุใด ๆ หรือสารที่ได้จากธรรมชาติ หรือจากการสังเคราะห์ ที่ใส่ลงดินเพื่อปรับปรุงสมบัติของดิน ให้มีความเหมาะสมในการเพาะปลูกพืช แต่ไม่ได้ใช้แทนปุ๋ย หรือเป็นปุ๋ย (ทัศนีย์, 2537) ส่วน Traunfeld and Nibali (2013) กล่าวว่า วัสดุปรับปรุงดินเป็นวัสดุใด ๆ ที่ผสมลงไปในดิน เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้แข็งแรงขึ้น ซึ่งวัสดุปรับปรุงดินสามารถใช้ปรับปรุงทั้งสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน โดยการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพจะช่วยทำให้ดินเนื้อหยาบเก็บกักน้ำได้มากขึ้น ส่วนดินเนื้อละเอียด ระบายน้ำและอากาศดีขึ้น ทำให้ดินมีโครงสร้าง และดินร่วนซุยขึ้น ตัวอย่างของวัสดุปรับปรุงดินทางกายภาพ ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก เศษซากพืช วัสดุสังเคราะห์ หรือสารโพลีเมอร์ต่าง ๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550a) ส่วนวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดิน จะช่วยปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้เหมาะสม ทำให้ดินมีความสามารถในการดูดยึดธาตุอาหารพืชได้ดีขึ้น ลดความเป็นพิษของธาตุพิษหรือโลหะหนักในดิน ตัวอย่างสารปรับปรุงดินทางเคมี ได้แก่ วัสดุปูนทางการเกษตร ชนิดต่าง ๆ ยิปซัม เศษซากวัสดุอินทรีย์ ซีโอไลต์ เบนทอไนต์ พัมมิซ กำมะถันผง (McCauley et al., 2009) เป็นต้น

ประเภทของสารปรับปรุงดิน

สารปรับปรุงดินที่ใช้ในการเกษตรสามารถจำแนกตามองค์ประกอบของตัวสารได้ 2 ประเภท คือ สารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ (Rana, 2018)

สารปรับปรุงดินอนินทรีย์ (Inorganic soil amendment)

สารปรับปรุงดินชนิดสารอนินทรีย์ ได้แก่ สารปรับปรุงดินในรูปของสารอนินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติหรือที่มีการนำมาปรุงแต่ง คือสารในรูปหินและแร่ชนิดต่างๆ เช่น หินโดโลไมต์ (dolomite rock), วัสดุปูนไลม์ (lime material), ยิปซัม (gypsum), ซีโอไลต์ (zeolite), พัมพิซ (pumice), เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) และทราย (sand) เป็นต้น (ปิยะ, 2533)

1. โดโลไมต์ (Dolomite)

โดโลไมต์ เป็นแร่ประกอบในหินตะกอนหรือหินแปร มีสีขาวหรือสีชมพู และอาจมีสีอื่น ๆ ตามปริมาณของสารเจือปน โดยมีองค์ประกอบที่เป็นแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) สลับกันและคั่นด้วยชั้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีสูตรทางเคมีเป็น $CaMg(CO_3)_2$ (Warren, 2000) ซึ่ง

สามารถนำมาใช้ในทางการเกษตรโดยการปรับปรุงสมบัติของดินทั้งด้านสมบัติทางกายภาพ เคมี และธาตุอาหารพืชในรูปแคลเซียมและแมกนีเซียม (Warren, 2000) จากการศึกษาของ Rastija et al. (2014) ทำการศึกษาการใช้ปูนโดโลไมต์ในดินกรด ในช่วงปี 2003-2006 ของโคเอเชียกลาง พบว่าการใส่โดโลไมต์ลงในดินทำให้ความเป็นกรดด่างของดินและความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่ม

2. วัสดุปูนไลม์ (Lime material)

สารปรับปรุงดินในรูปหินและแร่ธรรมชาติประเภทปูนที่ใส่ลงไปในดินเพื่อแก้ไขและปรับปรุงดิน เพื่อทำให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก เป็นวัสดุที่มีสารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

ปูนไลม์ (Lime) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการเกษตร ปูนไลม์ช่วยปรับค่าความเป็นกรดด่างในดิน ช่วยปรับโครงสร้างของดินให้ร่วน และไถพรวนได้ง่ายขึ้น ซึ่งประกอบด้วย ปูนขาว เป็นปูนที่เกิดจากการนำปูนสุกมาทำให้ชุ่มด้วยน้ำ โดยจะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง CaO กับน้ำ ทำให้ได้สารประกอบในรูป $Ca(OH)_2$ โดยมีความบริสุทธิ์ประมาณ 95-96% หินปูน เป็นหินปูนที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต หรือแร่แคลไซต์ โดยมีความบริสุทธ์ประมาณ 75-99% ซึ่งเป็นวัสดุปูนที่นิยมนำมาใช้ในด้านการเกษตรมากที่สุดชนิดหนึ่ง ในรูปหินปูนบด และปูนมาร์ล เป็นปูนแคลเซียมคาร์บอนเนตที่มีดินเหนียวหรือสารอื่น ๆ ปนอยู่ มีลักษณะอ่อนและร่วน มีสีขาวปนน้ำตาล ลักษณะร่วนซุยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อแก้ไขดินที่เป็นกรด (สุวศรี, 2546)

3. ยิปซัม (Gypsum)

ยิปซัมเป็นสารประกอบในรูปไดไฮเดรตแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4.2H_2O$) ซึ่งมีแคลเซียมประมาณร้อยละ 23.3 และกำมะถันร้อยละ 17 โดยยิปซัมเป็นแร่ที่มีสีขาวหรืออาจมีสีอื่น ๆ เจือปนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้สีของแร่เปลี่ยนไป มีค่าความเป็นกรดด่างที่เป็นกลาง ละลายน้ำได้ค่อนข้างดี (Delate and Arora, 2003) ซึ่งยิปซัมแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ยิปซัมธรรมชาติ และยิปซัมสังเคราะห์

ยิปซัมธรรมชาติ (natural gypsum) หรือแร่เกลือจืด หรือหินแก้ว เป็นแร่ที่พบเป็นแหล่งใหญ่มีอยู่ทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ฝรั่งเศส เม็กซิโก ไทย เป็นต้น แหล่งยิปซัมธรรมชาติในประเทศไทย พบที่จังหวัด พิจิตร นครสรรค์ สุราษฎรธานี กระบี่ กาญจนบุรี นครศรีธรรมราช

ยิปซัมสังเคราะห์ (synthetic gypsum) เกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ใน อุตสาหกรรม มีทั้งที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิต และของเสียต่าง ๆ ได้แก่ ฟอสโฟยิปซัม เป็นยิปซัมที่

เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ ผลิตกรดฟอสฟอริก ฟลูออโรยิปซัม เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกรด ไฮโดรฟลูออริกหรือกรดกัดแก้ว และไททาโนยิปซัม เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ไททาเนียมไดออกไซด์ (พจนีย์, 2546)

4. แร่ซีโอไลต์ (Zeolites)

แร่ซีโอไลต์เป็นแร่ซิลิเกตในรูปสารประกอบไฮดรัส อะลูมิโนซิลิเกต โดยสมบัติทางกายภาพของแร่ซีโอไลต์จากธรรมชาติโดยทั่วไปมีสีขาว เหลือง ชมพูหรือแดง (Ramesh and Reddy, 2011) มีพื้นที่ผิวสูงระหว่าง 780-880 ตารางเมตรต่อกรัม โครงสร้างเป็นรูพรุนมีปริมาณช่องว่างทั้งหมดร้อยละ 18-50 ซึ่งมีขนาดช่องว่างในโครงสร้างเล็กมากระหว่าง 0.002-0.01 มิลลิเมตร สมบัติทางเคมีของแร่ซีโอไลต์ มีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงระหว่าง 100-300 มิลลิกรัมสมมูลต่อ 100 กรัม เช่น ธาตุที่มีประจุบวกในรูป โซเดียม (Na^+) และธาตุอาหารพืชต่าง ๆ ที่เป็นประจุบวก เช่น แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) แอมโมเนียม (NH_4^+) โพแทสเซียม (K^+) และสังกะสี (Zn^{2+}) รวมทั้งธาตุที่เป็นโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb^{2+}) แคดเมียม (Cd^{2+}) สทรอนเซียม (Sr^{2+}) นอกจากนี้ยังสามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำและก๊าซต่าง ๆ เช่น ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี ทำให้มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน (Kamarudin et al., 2003)

5. พัมมิซ (Pumice)

พัมมิซ เป็นหินภูเขาไฟชนิดหนึ่งที่เกิดจากหินอัคนีที่เย็นตัวนอกเปลือกโลกจากการระเบิดของภูเขาไฟ ทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กในเนื้อหินจำนวนมาก ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ ประกอบด้วย ซิลิกา (SiO_2) และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ในอัตราส่วนประมาณ 5:1 ถึง 6:1 ส่วนสมบัติทางกายภาพและเคมีทั่วไปเป็นหินที่มีสีต่าง ๆ ได้แก่ สีขาวครีม สีเทาจาง สีค่อนข้างเหลืองหรือแดง เนื้อหินและโครงสร้างมีลักษณะโปร่งพรุน ซึ่งอาจมีปริมาตรของช่องว่างร้อยละ 85 ขนาด 1 มิลลิเมตร ทำให้น้ำหนักเบาและลอยน้ำได้ดี มีปฏิกิริยาเป็นกลาง (pH 7.0) มีความจุในการดูดซับของเหลวประมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และมีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนระหว่าง 5.46-7.13 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม (Geitgey, 1992)

6. เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite)

เป็นแร่ประกอบของหินที่มีผลึกขนาดใหญ่ โดยเกิดจากการแปรสภาพของแร่ไมกา (mica) ซึ่งแร่เวอร์มิคิวไลต์ที่แร่ประกอบของหินจัดเป็นแร่บริสุทธิ์ ส่วนแร่เวอร์มิคิวไลต์ในรูปแร่ดินเหนียวที่มีผลึกขนาดเล็กไม่บริสุทธิ์ เนื่องจากมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ และแร่เวอร์มิคิวไลต์ในรูปของแร่ดินเหนียวมีค่าความ

จุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) สูงในดิน อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งจะมีค่า CEC อยู่ในช่วงระหว่าง 144-207 มิลลิกรัมสมมูลต่อ 100 กรัม เนื่องจากแร่เวอร์มิคิวไลต์มีโครงสร้างเป็นแผ่น ทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่เป็นประจุบวกได้มาก เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) โพแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นต้น (ปิยะ, 2533) ซึ่ง Malandrino et al. (2011) พบว่า การใส่เวอร์มิคิวไลต์ช่วยลดการดูดธาตุโลหะหนักของพืชได้

7. ทราย (Sand)

ทรายเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติประกอบด้วยเม็ดหินและอนุภาคแร่ละเอียดระหว่าง 0.05-2 มิลลิเมตร ซึ่งเกิดการสลายตังผุพังของหินและแร่ (Whiting et al., 2005) ซึ่งทรายที่ใช้กับการปรับปรุงสมบัติของดินมักใช้ทรายหยาบ จะช่วยเพิ่มช่องว่างในดิน เมื่อเทียบกับทรายปูนปลาสเตอร์และทรายละเอียด (Traunfeld and Nibali, 2013)

สารปรับปรุงดินอินทรีย์ (Organic soil amendment)

สารปรับปรุงดินเป็นสารอยู่ในรูปสารอินทรีย์อาจจะได้จากธรรมชาติ ผลพลอยได้จากกระบวนการต่าง ๆ ที่ได้จากภาคการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากการสังเคราะห์ขึ้น สารปรับปรุงดินอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และ Biochar เป็นต้น มักใช้ในการปรับปรุงสมบัติของดินทั้งสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพและความอุดมสมบูรณ์ของดิน และยังมีการใช้ประโยชน์ทางด้านอื่น ๆ (Lazarovits, 2001) จากการศึกษาของ Uchimiya et al. (2010) พบว่าสารอินทรีย์ของไบโอชาร์ที่ผ่านการเผาที่ 350 °C ที่มีคาร์บอกซิลสูงสามารถดูดซับทองแดง (Cu^{2+}) ที่สะสมในดินด่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำสารปรับปรุงดินมาใช้ประโยชน์ได้ดังตัวอย่างของสารปรับปรุงดินดังนี้

ปุ๋ยคอก (Manure)

ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ต่าง ๆ ที่สัตว์ขับถ่ายออกมาในรูปของแข็งและของเหลว หรือสิ่งที่ปูพื้นคอกสัตว์หรือรองไว้ให้สัตว์อยู่ เช่น ฟางหญ้า แกลบ โดยวัสดุเหล่านี้ต้องผ่านการหมักและย่อยสลายตัวก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งคุณภาพของมูลสัตว์ในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป (บัญชา, 2552) ปุ๋ยคอกต่าง ๆ เหล่านี้ เช่น มูลไก่ และมูลวัว เป็นต้น ซึ่งการใช้มูลสัตว์ในพื้นที่เพาะปลูกเป็นกลไกที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช และธาตุอาหารในมูลสัตว์สามารถใช้แทนปุ๋ยเชิงพาณิชย์ได้ โดยมูลสัตว์ที่ขับออกมามีปริมาณไนโตรเจน 75 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 80 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 85 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสารอินทรีย์ในมูลสัตว์สามารถเพิ่มความจุในการกักเก็บน้ำ และทำให้โครงสร้างของดินพรุนขึ้น

(Rasnake, 2002) ซึ่ง Santillan et al. (2014) พบว่าในพื้นที่ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (1.24 และ 1.43%) การเพิ่มปุ๋ยมูลสัตว์เป็นเวลาหลายปีทำให้ pH ของดินลดลง และค่าการนำไฟฟ้าลดลง (0.66 และ 0.72 dS m^{-1})

มูลไก่ เป็นมูลที่มีปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นแหล่งของธาตุอาหารหลักและเสริม โดยมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมสูง ทั้งยังอุดมไปด้วยสารอินทรีย์โดยใช้เป็นวัสดุปรับปรุงที่ใส่ลงในดิน ทำให้ดินมีความสามารถในการดูดซับน้ำ เพิ่มช่องว่างอากาศ ช่วยให้ดินระบายน้ำได้ดี ทำให้ลดการกัดกร่อนของดินและลดการชะล้างปุ๋ย และยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในดิน เร่งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ได้ (Saliga and Skelly, 2013)

Gana (2009) กล่าวว่า ปุ๋ยมูลวัวเป็นแหล่งของธาตุอาหาร โดยเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน โดยการใช้มูลวัวร่วมกับไนโตรเจนอนินทรีย์ ทำให้ความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้มูลวัวอย่างต่อเนื่องในอัตรา 60 ตันต่อไร่ ในระยะเวลา 10 ปี ในแปลงปลูกพืชมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ประจำทุกปีเพียงอย่างเดียว

ปุ๋ยหมัก (Compost)

ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยธรรมชาติที่ได้จากการนำเศษซากพืชต่าง ๆ เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด ต้นถั่วต่าง ๆ หญ้าแห้ง หรือเศษเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนมาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งจุลินทรีย์ เมื่อหมักโดยสมบูรณ์แล้วเศษพืชจะเปลี่ยนสภาพจากของเดิมเป็นผงเปื่อยสีน้ำตาลปนดำ โดยการหมักเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่ทำให้ส่วนประกอบของปุ๋ยหมักกลายเป็นสารอินทรีย์ที่ค่อนข้างเสถียร ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร และเพื่อการปรับปรุงดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช (Torkashvand, 2010) โดยปุ๋ยหมักจะช่วยให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นเม็ดดิน มีความสามารถในการกักเก็บน้ำ ถ่ายเทอากาศดี เป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชที่มีทั้งธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน (N) 11.6-12.3 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ตั้งแต่ 0.4 ถึงมากกว่า 23 กรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียม (K) ตั้งแต่ 0.7 ถึงมากกว่า 12 กรัมต่อกิโลกรัม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ ปริมาณแคลเซียม (Ca) 21-75 กรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียม (Mg) ตั้งแต่ 1 ถึงมากกว่า 5 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนธาตุอาหารเสริม ได้แก่ ปริมาณเหล็ก (Fe) 9,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โบรอน (B) 44.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดง (Cu) 299 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีส (Mn) 483 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โมลิบดีนัม (Mo) 7.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี (Zn) 838 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก (ยงยุทธ และคณะ, 2551) เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ใน

ดิน ทั้งยังช่วยลดความเป็นกรดของดินให้ดีขึ้น ที่สำคัญช่วยลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีได้ (ทิพวรรณ, 2547)

ถ่านชีวภาพ หรือไบโอชาร์ (Biochar)

ถ่านชีวภาพ หรือไบโอชาร์ (Biochar) เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนเป็นหลัก ซึ่งได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด เปลือกถั่ว กิ่งไม้ เป็นต้น หรือทั้งมูลสัตว์ที่นำผ่านกระบวนการเผาด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจน หรือใช้น้อยมาก (พินิจภณ, 2557) ใช้อุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า 700 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil) 60% แก๊สสังเคราะห์ 20% และถ่านชีวภาพ 20% (Hunt et al., 2010) โดยถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total C) อยู่ในช่วง 172-905 กรัมต่อกิโลกรัม ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) 1.8-56.4 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัส (P) 2.7-480 กรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียม (K) 1.0-58.0 กรัมต่อกิโลกรัม ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ประมาณ 40 มิลลิสมมูลต่อกรัม และความเป็นกรดด่าง (pH) 6.2-9.6 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการทำถ่านชีวภาพ (Verheijen et al., 2010) ซึ่งสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพอาจมีผลต่อโครงสร้างของดิน ความพรุน การกระจายขนาดอนุภาค ความหนาแน่น ทั้งยังสามารถกักเก็บน้ำ จุลินทรีย์ และธาตุอาหารพืชในดินบริเวณรากพืชได้ (Atkinson et al., 2010) โดย Jindo et al. (2014) กล่าวว่า การใช้ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของ โดยการใช้ถ่านชีวภาพที่ได้จากเศษฟางข้าว มีคุณสมบัติทางเคมีสูง ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีที่ไม่เหมือนวัสดุอื่น ๆ เนื่องจากมีองค์ประกอบของซิลิกาในโครงสร้างทางเคมี และจากเศษไม้มีปริมาณคาร์บอนสูงและเป็นตัวดูดซับที่ดี

พีทมอส (Peat moss)

พีทมอส หรือบางทีเรียกว่า Sphagnum peat moss เป็นวัตถุที่เกิดจากการย่อยสลายของมอสสายพันธุ์สแฟคนั่ม (*Sphagnum sp.*) ซึ่งตายทับถมกันมานานเป็นเวลาหลายพันปี พบพีทมอสอยู่ชั้นล่างของสแฟคนั่มมอสที่ยังมีชีวิต การที่จะเกิดพีทมอสได้หนาประมาณ 2-3 ฟุต ใช้เวลาสะสมและย่อยสลายกว่า 1,000 ปี พีทมอสจะมีมากที่แถบอากาศหนาว เช่น ทางตอนเหนือของจีน ซึ่งพีทมอสมีโครงสร้างเป็นลักษณะโปร่ง มีช่องว่างอากาศสูง สามารถเก็บความชื้นได้ดี มีความเป็นกรดระหว่าง 3.8-4.3 ไม่มีเชื้อสาเหตุโรคพืชและวัชพืช จึงมีคุณสมบัติเหมาะสมใช้เป็นวัสดุปลูกและวัสดุเพาะกล้าเป็นอย่างดี มีสารอินทรีย์มากกว่า 90-99% มีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง (110-130 $cmol_c\ kg^{-1}$) (Mofidpoor, 2007) ความหนาแน่นต่ำ ความพรุนสูง และความจุในการดูดซับน้ำ

สูง ทำให้มีความเหมาะสมในการปรับปรุงโครงสร้างของดินและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Fascella, 2015)

ประโยชน์ของวัสดุปรับปรุงดิน

สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติของดินให้มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช ตามลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสมบัติของดิน ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน

สมบัติทางกายภาพของดิน เป็นสมบัติของดินที่มีความสำคัญต่อการปลูกพืช เช่น เนื้อดิน การถ่ายเทอากาศ ความจุในการอุ้มน้ำ การแทรกซึมของน้ำ โครงสร้างดิน และความหนาแน่นของดิน เป็นต้น ซึ่งอาจพบว่าสมบัติทางกายภาพเหล่านี้มักจะมีปัญหา เนื่องจากสภาพการกำเนิดของดิน หรือการจัดการทางการเกษตร เช่น การใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการไถพรวน (มัตติกา, 2549) ดังนั้น การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน จึงเป็นการปรับปรุงดินให้มีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการถ่ายเทอากาศ การแทรกซึมของน้ำ เพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ และลดความหนาแน่นของดิน ซึ่งสารที่ใช้ในการปรับปรุงดินมีทั้งรูปที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์

การใช้วัสดุปรับปรุงรูปอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ Eche et al. (2013) ได้ทำการศึกษาการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในภาคเหนือของกีนี ซาวันน่า ของไนจีเรีย โดยทำการประเมินการจัดการและคุณภาพดินทางกายภาพและเคมีภายใต้การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงฤดูฝนของปี 2006 และ 2007 พบว่าจากการใช้มูลวัวช่วยให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนและความพรุนเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง และความชื้นสัมพัทธ์และจุดเหี่ยวถาวรเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ความเป็นกรดด่าง อินทรีย์คาร์บอน และไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และ Mukherjee and Lal (2013) กล่าวว่า การใช้ถ่านชีวภาพ 1-2% สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ความหนาแน่น และความสามารถในการกักเก็บน้ำ ส่วน Arriaga and Lowery (2003) ทำการศึกษาในปี 1988 โดยทำการทดสอบการพังทลายของดินและการใช้ปุ๋ยในระยะยาวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดินและการผลิตข้าวโพด พบว่าการใช้ปุ๋ยคอกระยะยาวช่วยฟื้นฟูสมบัติทางกายภาพและผลผลิตของข้าวโพด โดยความหนาแน่นลดลง 10% และความสามารถในการกักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น อีกทั้งลดการกัดเซาะของดิน และ Civeira (2010) ทำการทดลองโดยใช้ปุ๋ยหมักขยะชุมชนกับดิน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี โดยทำการศึกษาในกลุ่มดิน Typic Argiudoll จากพื้นที่เสื่อมโทรมในเมืองบัวโนสไอเรส พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักของเสียจากครัวเรือน ช่วยให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้นหลังการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราปานกลางและสูง ซึ่งช่วยลดความหนาแน่นของดินและเพิ่มการแทรกซึม

การใช้วัสดุปรับปรุงรูปอนินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ Ramesh et al. (2015) พบว่า ซีโอไลต์ 1% สามารถทำให้ความชื้นของดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการควบคุมถึง 20.9% และผลผลิตของหัวมันเพิ่มขึ้น 57% จากการควบคุม Sahin and Anapali (2006) ศึกษาความแตกต่างของขนาดและอัตราของพัมมิซร่วมกับดิน ซึ่งขนาดของพัมมิซที่ใช้ คือ <4 มิลลิเมตร, <8 มิลลิเมตร และ 4-8 มิลลิเมตร ในอัตราต่อปริมาตร 10, 20, 30, 40 และ 50% พบว่าความพรุนเพิ่มขึ้นตามขนาดและอัตราของพัมมิซ เมื่อใช้อัตรา 50% ทำให้ช่องว่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 98.2% และ 70.3% และความหนาแน่นของดินลดลงเท่ากับ 24.8% และ 21.0% ตามลำดับ ส่วน Malekian et al. (2012) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการและในโรงเรือนกระจก ในปี 2009-2010 เพื่อประเมินการดูดซับน้ำของภูเขาไฟและศึกษาผลของการใช้ต่อความชื้นและคุณสมบัติการเจริญเติบโตของข้าวโพด พบว่าการใช้พัมมิซในการกักเก็บน้ำ การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพด เพิ่มขึ้นตามระดับของพัมมิซ และ Li et al. (2015) พบว่าการวัสดุปรับปรุงที่เป็นทราย ทำให้การขนส่งออกซิเจนและโปรตอนเพิ่มขึ้นอย่างมาก ส่งผลให้ความพรุนของดินเพิ่มขึ้นจาก 44.5% เป็น 51.3% อัตราการย่อยสลายของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น 268% ใน 135 วัน

การปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีของดิน เป็นสมบัติที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสมบัติทางเคมีของดิน เช่น ความเป็นกรดด่างของดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน และปริมาณธาตุอาหารในดิน (ยงยุทธ และคณะ, 2551) โดยสมบัติทางเคมีของดินเหล่านี้อาจพบว่ามีปัญหา เช่น ดินที่มีความเป็นกรดหรือด่างไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ดินที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ และปริมาณธาตุอาหารต่ำ (ปิยะ, 2533) ซึ่งในการจัดการปัญหาของดินเหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธี โดยการใช้สารปรับปรุงดินก็เป็นอีกวิธีในการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน สามารถใช้สารที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

การใช้วัสดุปรับปรุงดินรูปอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ Nurhidayati and Mariati (2014) ได้ประเมินอิทธิพลของถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดและถ่านแกลบ เมื่อเทียบกับปูนขาวทั่วไป เพื่อปรับปรุงค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ความพร้อมของธาตุอาหารในดิน และการผลิตข้าวโพด พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้นตามสารปรับปรุงดินแต่ละชนิด โดยการใช้ปูนทำความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น 23% ถ่านแกลบ 20% และถ่านชีวภาพ 23% เมื่อเทียบกับการควบคุม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดด่างของดินสามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ N, P และ K ในดิน และ Whalen et al. (2000) ทำการศึกษาผลของปุ๋ยคอกต่อความเป็นกรดและความพร้อมของธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ดินที่เป็นกรดสองชนิดจาก Beaverlodge และ Fort Vermillion ใน

ภูมิภาค Peace River ของ Alberta ประเทศแคนาดา พบว่าการใช้ปุ๋ยคอกต่อความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้นจากการบ่มนาน 8 สัปดาห์ ของดิน Beaverlodge จาก 4.8 เป็น 6.0 และ Fort Vermillion จาก 5.5 เป็น 6.3 ซึ่งเป็นผลมาจากการเป็นบัฟเฟอร์ของไบคาร์บอเนตและกรดอินทรีย์ในปุ๋ยคอก อีกทั้งไนโตรเจน (NH_4^+-N และ NO_3^--N) ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เพิ่มขึ้นทันทีหลังจากที่ใส่ปุ๋ยคอก ส่วนเหล็กลดลงเล็กน้อย ส่วนการแลกเปลี่ยนแคตไอออนไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากระยะเวลาในการบ่มที่น้อย Zaller and Köpke (2004) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการใช้ปุ๋ยหมักแบบดั้งเดิม (FYM) และปุ๋ยหมักชีวภาพสองประเภท ที่หมักนานระยะเวลา 9 ปี ต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน การทดลองทำในกรุงบอนน์ ประเทศเยอรมนี ของกลุ่มดิน Fluvisol พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม และชีวมวลของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ทั้งทำให้ประชากรไส้เดือนดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีเมื่อเทียบกับการไม่ใช่ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ส่วนงานของ Farrell et al. (2010) ทำการศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์ในการลดความเป็นพิษของดินกรดสูง ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนักพวก As, Cu, Pb และ Zn โดยทำการประเมินนาน 112 วัน ในการทดลอง mesocosm พบว่าปุ๋ยหมักสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและความยาวราก ลดการดูดโลหะหนักของพืช ยกระดับความเป็นกรดของดิน และสถานะของธาตุอาหารในดินได้ ซึ่งปุ๋ยหมักมีประสิทธิภาพในการลดความเป็นพิษของแคดเมียม (Cd) โดยลดการดูดแคดเมียมมากกว่า 50% ของเนื้อเยื่อข้าวสาลี และเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวสาลี ซึ่งการลดความเป็นพิษของแคดเมียม เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดด่างของดิน และ Chan et al. (2007) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพต่อการผลิตหัวไชเท้า และคุณภาพของดิน Alfisols ที่มีการปลูกพืชเป็นเวลานาน พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพที่อัตรา 100 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ช่วยให้น้ำหนักแห้งของหัวไชเท้าเพิ่มขึ้น และที่อัตรา 50 ตันต่อเฮกตาร์ ช่วยเพิ่มความเป็นกรดด่างของดิน อินทรีย์คาร์บอน และความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน Zhanga et al. (2010) ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพต่อการผลิตข้าว และการปล่อยก๊าซ CH_4 กับ N_2O บนที่ราบทะเลสาบไทของประเทศจีน พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพที่อัตรา 10 และ 40 ตันต่อเฮกตาร์ ช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวเป็น 12 และ 14% ในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 8.8 และ 12.1% ในดินที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน การปล่อยก๊าซมีเทนในดินเพิ่มขึ้น 34 และ 41% ที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ 40 ตันต่อเฮกตาร์ และช่วยลดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ ส่วนการศึกษาของ (พัชรี และคณะ, 2558) ทำการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพจากยูคาลิปตัสและฟางข้าวในการผลิตข้าว การปล่อยก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตข้าว และการกักเก็บคาร์บอนในดิน พบว่าการไถกลบตอซังร่วมกับการใช้ถ่านชีวภาพช่วยให้การกักเก็บคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น และยังสามารถลดคาร์บอนฟุต พริ้นท์ต่อหน่วยผลผลิตข้าว ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และ Ghezzehei et al. (2014) ทำศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพในการลดการปลดปล่อยธาตุอาหารส่วนเกินจากการไหลบ่า

ทางการเกษตร เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของดินและการสะสมคาร์บอนในระยะยาว พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพสามารถดูดซับแอมโมเนียมได้ถึง 20-43% และฟอสฟอรัส 19-65% ใน 24 ชั่วโมง และชี้ให้เห็นศักยภาพของถ่านชีวภาพในการดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นและปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับของแอมโมเนียมและฟอสเฟต 2.86 และ 0.23 มก. ตามลำดับ ต่อกรัมของถ่านชีวภาพ และการใช้ประโยชน์จากชีวมวลส่วนเกิน 10-50% ในรัฐแคลิฟอร์เนีย (สหรัฐอเมริกา) เพียงอย่างเดียว สามารถดูดซับแอมโมเนียม 11,440-57,200 ตัน และฟอสเฟต 920-4,600 ตัน ในแต่ละปีใน ขณะเดียวกันก็สามารถกำจัดชีวมวลส่วนเกินได้ถึง 8-40 ล้านตัน

การใช้วัสดุปรับปรุงรูปอนินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ Latifah et al. (2011) ใช้ clinoptilolite zeolite ในการชะล้างดินและการดูดซับแอมโมเนียมและการชะล้างเพื่อศึกษาความสามารถในการใช้ประโยชน์ไนโตรเจนในดินโดยรวมแอมโมเนียมแลกเปลี่ยนและไนเตรทที่มีอยู่ และอัตราที่แตกต่างกันของยูเรีย พบว่าการใช้แร่ซีโอไลต์ช่วยเพิ่มความคงตัวของไนโตรเจนในดิน แอมโมเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ และไนเตรตที่เป็นประโยชน์ เนื่องจากความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงของแร่ซีโอไลต์เพื่อดูดซับแอมโมเนียม และ Latifaha et al. (2011) ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจสอบผลของการผสมยูเรียกับซีโอไลต์และน้ำเสียสาคูต่อการระเหยของแอมโมเนีย แอมโมเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และปริมาณไนเตรทที่มีอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับยูเรีย ซึ่งดินที่ใช้ในการทดลองคือ Bekenu series พบว่าการใช้แร่ซีโอไลต์และตะกอนน้ำเสียสามารถช่วยลดการสูญเสียแอมโมเนียลงได้ 22-41% เมื่อเทียบกับการใส่ยูเรียอย่างเดียว ซึ่งสารผสมของซีโอไลต์และตะกอนน้ำเสียที่มียูเรียช่วยเพิ่มปริมาณแอมโมเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากถึง 39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไนเตรตที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่ 0.23-2.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งช่วยลดความเป็นกรดของดินลงชั่วคราว การลดลงของความเป็นกรดในดินชั่วคราวอาจทำให้เกิดการย่อยสลายของยูเรียที่ชะลอลง ส่วนการศึกษาของ นุจรินทร์ (2554) กล่าวว่า ยิปซัมสารที่ใช้ปรับสภาพดินกรดและดินเค็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นการช่วยลดระดับความเป็นกรดและความเค็มในดิน ลดความหนาแน่นของดิน ทำให้ดินมีความเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมากขึ้น อีกทั้งแคลเซียมและกำมะถันจากยิปซัมยังเป็นธาตุอาหารเสริมที่สำคัญของพืช ซึ่งช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และเป็นการอนุรักษ์ดิน Worku et al. (2016) ศึกษาการใช้ยิปซัมและกรดซัลฟิวริกต่อผลผลิตฝ้ายภายใต้สภาพดินเกลือโซดิก พบว่า การใช้ยิปซัม 50% และกรดซัลฟิวริก 50% ทำให้ผลผลิตฝ้ายดีขึ้น สามารถลดค่าความเป็นกรดด่างได้ถึง 9.4% และค่าการนำไฟฟ้าลดลง 60.3% และ กำชัย และคณะ (2540) ศึกษาชนิดและอัตราปูนทางการเกษตรต่อการปรับสภาพดินกรดในระบบปลูกข้าวโพด พบว่า การใช้ปูนช่วยยกระดับปฏิกิริยาดิน ลดปริมาณเหล็กได้ชัดเจน เพิ่มประโยชน์ความเป็นฟอสฟอรัส ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน การใช้ปูนขาวอัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ มี

ประสิทธิภาพในการปรับสภาพความเป็นกรดของดินได้สูงสุด ตลอด 3 ปี สำหรับการใช้หินฝุ่นและโดโลไมท์อัตรา 300 และ 400 กิโลกรัมต่อไร่ ในปีแรก ๆ จะยกระดับปฏิกิริยาดินได้น้อยกว่าปูนขาว และค่อย ๆ เพิ่มประสิทธิภาพสูงขึ้นใกล้เคียงกับปูนขาวในปีที่ 3 ส่วนมวลชีวภาพของข้าวโพด พบว่าการใช้ชนิดและอัตราปูนในแต่ละปีให้มวลชีวภาพไม่แตกต่างกัน แต่การใช้ปูนขาวมีแนวโน้มทำให้มวลชีวภาพข้าวโพดสูงที่สุด รองลงมาคือโดโลไมท์ และต่ำสุดคือหินฝุ่น ทั้งนี้ โสภิตา (2546) กล่าวว่า ปูนขาวเป็นแหล่งแคลเซียมที่เหมาะสมในการผลผลิตถั่วลิสง เนื่องจากปูนขาวช่วยเพิ่มธาตุแคลเซียม และเพิ่มค่าความเป็นกรดด่างของดินให้สูงขึ้น Moreira and Fageria (2010) พบว่า น้ำหนักแห้งของถั่ว Alfalfa เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณปูน และน้ำหนักแห้งของรากกับปมดีขึ้น เนื่องจากความเป็นกรดของดินลดลง ขณะที่ Liu et al. (2010) ทำการทดลองภาคสนามตั้งแต่ปี 2008-2009 เพื่อสำรวจความเป็นไปได้ในการใช้ทรายเพื่อฟื้นฟูดินเค็ม-โซดิก เพื่อแยกแยะผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพันธุ์ข้าวของจีนสองสายพันธุ์ (Dongdao 2 และ Changbai 9) ที่ Da'an สถานีทดลองดิน Sodic ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน พบว่าเมื่อใช้ทรายร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสยิปซัม หรือปุ๋ยในฟาร์มช่วยเพิ่มความทนทานต่อเกลือและการเจริญเติบโตของข้าว ส่งผลให้องค์ประกอบผลผลิตในเชิงบวกและผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น

การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน

สมบัติทางชีวภาพของดิน เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ในดินที่มีความสัมพันธ์ต่อสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชในดิน หรือส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (ธงชัย, 2550) ซึ่งสารปรับปรุงดินหลายชนิดที่มีสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้ปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน

การวัสดุปรับปรุงรูปอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ Crecchio et al. (2004) พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินจาก 13.3 เป็น 15.0 กรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจาก 1.55 เป็น 1.65 กรัมต่อกิโลกรัม และช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ ได้แก่ dehydrogenase (9.6%), B-glucosidase (13.5%), urease (15.4%), ไนเตรตreductase (21.4%) และ phosphatase (9.7%) แต่ไม่มีผลต่อประชากรของจุลินทรีย์ในดิน

การใช้วัสดุปรับปรุงรูปอนินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ Chander and Joergensen (2002) พบว่า ชีวมวลของจุลินทรีย์ในดินและการรวมตัวของสาร ^{14}C ในสารชีวมวลของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นหลังจากใส่สารปรับปรุงดินซีโอไลต์ อีกทั้งการตอบสนองของประชากรของจุลินทรีย์แตกต่างกันตามระดับของสารปรับปรุงซีโอไลต์ ส่วน Nayak et al. (2011) พบว่าเมื่อใส่ฟอสโฟยิปซัมในอัตรา 15% มีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ 55.98% และที่อัตรา 10% การสูญเสีย

คาร์บอนไดออกไซด์ 55.28% จำนวนแบคทีเรียสูงสุด คือ 47.4 CFU g^{-1} soil จำนวนเชื้อรา 17.8 CFU g^{-1} soil กิจกรรมอะไมเลสสูงสุด 38.4 µg g^{-1} soil hr^{-1} และกิจกรรมเซลลูเลส 38.37 µg g^{-1} soil hr^{-1}

ดินที่เหมาะสมต่อการเกษตร

ดินเป็นวัตถุธรรมชาติที่ประกอบด้วยแร่และวัสดุอินทรีย์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในดิน หรือดินเป็นวัสดุธรรมชาติที่เป็นที่อยู่อาศัยของพืชและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ (อรวรรณ, 2551) โดยสมบัติของดินที่เกิดขึ้นเป็นผลจากอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศและสิ่งมีชีวิต ที่กระทำต่อวัตถุต้นกำเนิดของดินชนิดต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่ยาวนานจนกลายเป็นดิน ซึ่งลักษณะของดินที่ถือว่าเป็นดินที่เหมาะสมต่อการเกษตรนั้น ต้องมีความสามารถในการทำให้ผลผลิตพืชดีขึ้น เมื่อปลูกพืชภายใต้ปัจจัยการผลิตที่กำหนด (ยงยุทธ และคณะ, 2551) โดยดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชจะต้องประกอบด้วยสารอนินทรีย์หรือหินและแร่ธาตุ 45% อินทรียวัตถุ 5% น้ำ 25% และอากาศหรือแก๊ส 25% ซึ่งน้ำและอากาศอาจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของการให้น้ำหรือการตกของฝน และความสามารถในการระบายน้ำและอุ้มน้ำของดิน (จีราภรณ์, 2557) รวมทั้งดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เพื่อให้เหมาะกับการปลูกพืชที่จะทำให้ผลผลิตของพืชสูงขึ้น (ปิยะ, 2533) นอกจากนั้นดินประกอบด้วย 3 คุณสมบัติหลัก ๆ คือ

สมบัติทางกายภาพของดิน (soil physical) เป็นสมบัติของดินที่เป็นสิ่งซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยการมองเห็นและการสัมผัส เช่น เนื้อดิน โครงสร้างดิน ความหนาแน่น ความพรุน และความชื้นในดิน เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติของดินมีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลิตของพืชพรรณต่าง ๆ

เนื้อดิน (Soil texture) องค์ประกอบเชิงกายภาพของดิน เราจะสังเกตได้ว่า ดินในแต่ละสถานที่มีลักษณะแตกต่างกัน เนื่องจากดินประกอบขึ้นจากของอนุภาคตะกอนหลายขนาด ได้แก่

อนุภาคทราย (Sand) เป็นเม็ดเล็ก ๆ ของแร่ quartz และ feldspar ที่สลายตัวผุพังจากหินต้นกำเนิด มีขนาดโต มองเห็นด้วยตาเปล่า ร่วนไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน การระบายน้ำและอากาศดี แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ มีพื้นผิวสำหรับดูดซับสารต่าง ๆ น้อย ซึ่งมีขนาด 2.00-0.20 มิลลิเมตร

อนุภาคทรายแป้ง (Silt) เป็นกลุ่มอนุภาคขนาดปานกลาง มีองค์ประกอบทางแร่เหมือนกลุ่มขนาดทราย ร่วนไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน ทรายแป้งเมื่อเรียงตัวกันเป็นก้อนดินจะเกิดช่องขนาดเหมาะสมที่จะอุ้มน้ำไว้ และพืชสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำในช่องว่างได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีขนาด 0.02-0.002 มิลลิเมตร

อนุภาคดินเหนียว (Clay) เป็นกลุ่มอนุภาคขนาดเล็กที่สุด อนุภาคมีลักษณะเป็นแผ่นของสารประกอบ Aluminosilicates ที่เรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ซึ่งอนุภาคดินเหนียวเมื่อเรียงตัวกันเป็น

ก้อนดินจะเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดเล็ก และมีปริมาตรรวมของช่องมาก มีความพรุนสูง จึงอุ้มน้ำได้มาก แต่รากพืชดูดน้ำจากช่องเหล่านั้นได้น้อย เนื่องจากมีแรงดึงน้ำสูง ดินเหนียวมีการระบายน้ำและอากาศเลว อีกทั้งดินเหนียวมีเนื้อที่ผิวสูงและไม่เป็นกลาง อนุภาคดินเหนียวจึงดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี เช่น น้ำและธาตุอาหารพืช ดินเหนียวส่วนมากจึงมีความอุดมสมบูรณ์ มีขนาด <0.002 มิลลิเมตร

โครงสร้างดิน (Soil structure) เป็นรูปแบบของการยึดและการเรียงตัวของอนุภาคเดี่ยวของดินเป็นเม็ดดินในหน้าตัดดิน เม็ดดินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งด้านขนาดและรูปร่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 แบบ ดังนี้

แบบก้อนกลม (Granular) มีรูปร่างคล้ายทรงกลม เม็ดดินมีขนาดเล็กประมาณ 1-10 มิลลิเมตร มักพบในดินชั้น A มีรากพืชปนอยู่มาก เนื้อดินมีความพรุนมาก จึงระบายน้ำและอากาศได้ดี

แบบก้อนเหลี่ยม (Blocky) มีรูปร่างคล้ายกล่อง เม็ดดินมีขนาดประมาณ 1-5 เซนติเมตร มักพบในดินชั้น B มีการกระจายของรากพืชปานกลาง น้ำและอากาศซึมผ่านได้

แบบแผ่น (Platy) ก้อนดินแบนวางตัวในแนวราบ และซ้อนเหลื่อมกันเป็นชั้น ขัดขวากรากพืช น้ำและอากาศซึมผ่านได้ยาก มักเป็นดินชั้น A ที่ถูกบีบอัดจากการบดไถของเครื่องจักรกลการเกษตร

แบบแท่งหัวเหลี่ยม (Prismatic) ก้อนดินแต่ละก้อนมีผิวหน้าแบบและเรียบ เกาะตัวกันเป็นแท่งหัวเหลี่ยมคล้ายปริซึม ก้อนดินมีลักษณะยาวในแนวดิ่ง ส่วนบนของปลายแท่งมักมีรูปร่างแบนเม็ดดินมีขนาด 1-10 เซนติเมตร มักพบในดินชั้น B น้ำและอากาศซึมได้ปานกลาง

แบบแท่งหัวมน (Columnar) มีการจับตัวคล้ายคลึงกับแบบแท่งหัวเหลี่ยม แต่ส่วนบนของปลายแท่งมีลักษณะกลมมน ปกคลุมด้วยเกลือ เม็ดดินมีขนาด 1-10 เซนติเมตร มักพบในดินชั้น B และเกิดในเขตแห้งแล้ง น้ำและอากาศซึมผ่านได้น้อย และมีการสะสมของโซเดียมสูง

แบบก้อนทึบ (Massive) เป็นดินเนื้อละเอียดยึดตัวติดกันเป็นก้อนใหญ่ ขนาณประมาณ 30 เซนติเมตร ดินไม่แตกตัวเป็นเม็ด จึงทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ยาก

แบบอนุภาคเดี่ยว (Single Grained) ไม่มีการยึดตัวติดกันเป็นก้อน มักพบในดินทราย ซึ่งน้ำและอากาศซึมผ่านได้ดี

ความหนาแน่นของดินและความพรุนของดิน (soil density and soil porosity)

ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (partial density, Ds) หมายถึงมวลของดินแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็งของดิน ซึ่งความหนาแน่นอนุภาคของดินอาจใช้บ่งชี้ถึงองค์ประกอบทางแร่ของดินได้คร่าว ๆ หากแร่ที่ให้กำเนิดดินส่วนใหญ่เป็นแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะสูงก็จะมีค่าความหนาแน่นอนุภาคสูง หรือดินมีอินทรียวัตถุสูง ค่าความหนาแน่อนุภาคย่อมมีค่าต่ำ เพราะอินทรียวัตถุมีความถ่วงจำเพาะต่ำ ค่าความหนาแน่นอนุภาคของดินทั่วไปมีค่าประมาณ 2.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density, Db) หมายถึงมวลของดินแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรรวมของส่วนที่เป็นของแข็งของดิน ซึ่งความหนาแน่นรวมของดินเป็นดัชนีชี้ถึงการอัดแน่นของดิน มีค่าผันแปรระหว่าง 1.1-1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับดินไร่ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกทั่ว ๆ ไป มีค่าประมาณ 1.3-1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสำหรับดินดานใต้ชั้นไถพรวนในดินนา มีค่าประมาณ 1.6-1.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นรวมอาจผันแปรตามระดับความชื้นของดิน ดังนั้นจึงนิยมวัดเมื่อระดับความชื้นของดินอยู่ที่ช่วงความจุความชื้นในสนาม

ความพรุนของดิน (soil porosity) หมายถึงปริมาณของช่องว่างในดินใน 1 หน่วยปริมาตร หรือ 100 หน่วยปริมาตรของดิน เป็นสัดส่วนโดยปริมาตรช่องว่างทั้งหมดในดินต่อหนึ่งร้อยหน่วยปริมาตรของดิน ซึ่งค่าความพรุนของดินทั้งหมดย่อมผันแปรตามความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นอนุภาคของดิน โดยทั่วไปจะผันแปรระหว่างร้อยละ 30-60 โดยประมาณสำหรับดินไร่ชั้นไถพรวน

ความชื้นในดินและความจุความชื้นในสนาม (soil water content)

ความชื้นในดิน (soil water content) เป็นปริมาณน้ำในดินขณะใดขณะหนึ่งเป็นดัชนีบอกถึงความมากน้อยของน้ำในดินหรือของเหลวในดินขณะนั้น ๆ ซึ่งแสดงเป็นปริมาณน้ำที่มีอยู่ในช่องว่างของดิน คิดเป็นร้อยละหรือสัดส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแข็งของดิน หรือหน่วยโดยปริมาตรรวมของดิน หรือระดับความอิ่มตัวในช่องว่างในดิน นอกจากนี้หน่วยความชื้นในดินที่นิยมใช้อีกหน่วยหนึ่งเรียกว่า ความลึกสมมูลย์

ความจุความชื้นในสนาม (field capacity, FC) เป็นคุณสมบัติที่บ่งชี้ถึงระดับความชื้นในดินที่ดินสามารถดูดยึดน้ำไว้ได้สูงสุดในสภาวะธรรมชาติ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อดินถูกทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำแล้วปล่อยให้น้ำที่เกินอำนาจการดูดยึดของดินระบายออกจนหมดภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก โดยถือว่าไม่มีการระเหยน้ำจากผิวดิน (มัตติกา, 2549)

สมบัติทางเคมี (soil chemical) เป็นสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในดิน เป็นปริมาณของความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยจะบอกปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชในดินว่ามีปริมาณที่มากน้อยที่จะเพียงพอ หรือขาดแคลน ที่พืชจะสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีที่บอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน เช่น ปฏิกิริยาของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณธาตุอาหารพืช เป็นต้น ซึ่งดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ควรเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง

ปฏิกิริยาของดิน (soil reaction) หมายถึงความเป็นกรด-ด่างของดิน ซึ่งความเป็นกรด-ด่างของดินจะควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดิน โดยความเป็นประโยชน์ของาตุอาหารพืชจะขึ้นอยู่กับค่า pH ของดิน ค่า pH ของดินที่เหมาะสมต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช

อยู่ที่ประมาณ 6-7 เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างของดินมีผลต่อการละลายของธาตุอาหารพืชหรือสารอื่น ๆ ในดิน โดยดินที่มีความเป็นกรดรุนแรงมักจะขาดธาตุอาหารบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เนื่องจากฟอสฟอรัสถูกตึงด้วยเหล็กและอะลูมินัมให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำยาก เป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ยาก และการถูกชะล้างของโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ให้สูญเสียไปจากดิน ส่วนดินที่มีความเป็นด่างสูงเกินไป ฟอสฟอรัสจะถูกตึงด้วยแคลเซียม แมกนีเซียม และเกลือคาร์บอเนต ทำให้พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ขณะที่ดินที่มีความเป็นกรดสูงจะมีจุลธาตุละลายออกมาได้มาก เช่น เหล็กและแมงกานีสที่อยู่ในรูปละลายน้ำได้ง่าย และอาจเกิดการขาดธาตุเหล็กและแมงกานีส

ความเป็นกรดของดิน (acid soil) เป็นการเกิดจากการชะล้างหรือปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ หรือเกิดจากแหล่งวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นกรด ซึ่งดินที่เป็นที่เป็นกรดอาจเกิดได้หลายปัจจัย เช่น อนินทรีย์คอลลอยด์ เกลือที่ละลายน้ำได้ และอินทรียวัตถุ หรือเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ ในดิน ทำให้เกิดไฮโดรเจนไอออนขึ้นได้ ดังปฏิกิริยาเหล่านี้

1. การรวมตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุและการหายใจของรากพืช รวมตัวกับน้ำเกิดเป็นสารคาร์บอนิค

2. การสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน เกิดจากการเน่าเปื่อยของอินทรียสารที่ทับถมอยู่ ทำให้เกิดกรดหลายชนิด เช่น กรดซัลฟูริก กรดไนตริก รวมทั้งกรดอินทรีย์ต่าง ๆ

3. การใช้ปุ๋ยเคมีลงในดิน เมื่อใส่ปุ๋ยบางชนิดลงในดินจะทำให้ดินเป็นกรด เช่น แอมโมเนียม เมื่อใส่ลงในดินจะถูกออกซิไดซ์ให้ไฮเจนไอออน

4. เกิดจากกระบวนการไฮโดไลซิส (hydrolysis) ของเหล็กและอะลูมินัม

5. การดูดใช้ธาตุอาหารของพืชพวกเบส เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม จากดิน แล้วธาตุเหล่านี้ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไอออน

6. ความเป็นกรดเกิดจากฝนกรดและการชะล้าง เกิดจากการรวมตัวของซัลเฟอร์ออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์กับน้ำฝนจะกลายเป็นกรดกำมะถันและกรดไนตริก เมื่อตกลงสู่พื้นดินจะทำให้เพิ่มความเป็นกรดให้กับดิน

สภาพความเป็นกรดของดินมีอยู่ 2 ชนิด คือ ความเป็นกรดจริง (active acidity) และความเป็นกรดแฝง (potential acidity) ความเป็นกรดจริง หมายถึง ปริมาณไฮโดรเจนไอออนในสารละลายดิน ส่วนความเป็นกรดแฝง หมายถึง ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่ถูกดูดซับไว้ที่ผิวของอนุภาคดิน สารละลายดินจะเกิดสภาพสมดุลระหว่างความเป็นกรดจริงและกรดแฝง เนื่องจากดินมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) เมื่อปริมาณไฮโดรเจนไอออนในสารละลายดินหายไป อาจเนื่องมาจากการเติมปูนลงไป ไฮโดรเจนไอออนที่อยู่ในสภาพกรดแฝงจะถูกปลดปล่อยออกมาทดแทนในปริมาณที่ไฮโดรเจนไอออนในสารละลายหายไป (จีราภรณ์, 2557)

ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) หรือเรียกอีกอย่างว่า ฮิวมัส (humus) เป็นองค์ประกอบสำคัญของดินที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่าง ๆ ของดิน ทั้งสมบัติทางเคมี กายภาพ ชีวภาพ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน และการพัฒนาระบบนิเวศของแต่ละสภาพแวดล้อมโดยตรง ซึ่งอินทรียวัตถุครอบคลุมตั้งแต่ส่วนของซากพืชซากสัตว์ที่กำลังสลายตัว รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายหรือสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ อินทรียวัตถุในดินประกอบไปด้วยสารอินทรีย์แทบทุกชนิดที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ โดยทั่วไปอินทรียวัตถุในดินประกอบด้วย สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรท ประมาณ 10-20% สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดอะมิโนและน้ำตาลอะมิโน ประมาณ 20% สารประกอบ aliphatic fatty acid, alkene ประมาณ 10-20% และที่เหลือเป็นสารประกอบพวก aromatic compound

สมบัติทั่วไปและบทบาทของอินทรียวัตถุในดิน

1. สี อินทรียวัตถุในดินมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมักมีสีคล้ำ และอาจทำให้ดินมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากดินสีคล้ำดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าดินสีจาง

2. การดูดซับน้ำ อินทรียวัตถุในดินมีความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ได้ปริมาณมาก ประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก เนื่องจากมีอนุภาคขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ และมีช่องว่างขนาดเล็กอยู่มาก จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำได้มากเป็นพิเศษ ดังนั้นการใส่อินทรียวัตถุลงไปในดินจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินทรายหรือดินเนื้อหยาบ

3. การเป็นสารเชื่อมอนุภาคดิน อินทรียวัตถุในดินเป็นสารประกอบที่มีประสิทธิภาพสูงในการเกาะยึดหรือรวมตัวกับอนุภาคต่าง ๆ ในดิน โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียวหรือเซลล์จุลินทรีย์ได้อย่างดี การจับตัวกันบางส่วนเกิดจากประจุที่แตกต่างกันระหว่างอินทรียวัตถุกับดินเหนียว หรือระหว่างประจุลบของอนุภาคทั้งสองโดยมี multivalent cation ต่าง ๆ เป็นสารเชื่อม นอกจากนี้การสร้างสารเชื่อมโดยจุลินทรีย์ทำให้ดินเหนียวเกาะยึดกันเป็นเม็ดดิน ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโครงสร้างดิน ขณะเดียวกันก็ทำให้ดินมีสภาพร่วนซุย มีการซึมน้ำและระบายอากาศได้ดี

4. การละลายน้ำ ปกติส่วนที่ละลายน้ำได้ของอินทรียวัตถุในดินนั้นมีอยู่น้อยมาก ปริมาณที่พบมักจะต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ อินทรียวัตถุส่วนใหญ่เป็นพวกไม่ละลายน้ำ เช่น เซลล์ของจุลินทรีย์ เซลลูโลส ลิกนิน สารฮิวมิก ไคติน และสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่เกาะยึดกับอนุภาคดินเหนียวหรือทำปฏิกิริยากับ multivalent cation ทำให้อยู่ในสภาพไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการสูญเสียอินทรียวัตถุในดินโดยการละลายสูญหายไปกับการชะล้างของน้ำนั้นมีเพียงส่วนน้อย เมื่อเทียบกับการสูญเสียโดยการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

5. ความสามารถในการดูดซับแคตไอออนและแอนไอออน โดยทั่วไปการดูดซับไอออนของอินทรียวัตถุจะสูงกว่าคอลลอยด์ชนิดอื่น ๆ ตั้งแต่ 2-30 เท่า ซึ่งปริมาณแคตไอออนที่ถูกดูดซับโดย

อินทรียวัตถุในดินอยู่ในช่วงประมาณ 30-90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่ดินที่ดูดซับได้ทั้งหมด ความสามารถในการดูดซับแคตไอออนหรือแอนไอออนของอินทรียวัตถุในดินมีความสำคัญมากในการป้องกันไม่ให้ธาตุอาหารพืชถูกชะล้างสูญหายไปกับน้ำได้ง่าย

6. ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน อินทรียวัตถุในดินมีประจุลบเป็นจำนวนมาก และมีความสามารถดูดซับแคตไอออนได้สูง จึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดินได้ดี หรือมี buffering capacity สูงขึ้น

7. แหล่งธาตุอาหารพืช การย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ ทำให้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์เหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมาให้พืชสามารถนำไปใช้ได้อีก โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ซึ่งอินทรียวัตถุในดินจัดว่าเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญมากของธาตุเหล่านี้ การสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินยังมีผลโดยอ้อมต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชอีกด้วย เพราะกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอนิกที่เกิดขึ้นจากคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลาย ยังสามารถช่วยละลายสารประกอบของธาตุอาหารบางชนิดให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ และการเกิดสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารคีเลต จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุที่รวมตัวกับไอออนของจุลธาตุซึ่งเป็นโลหะหนักกลายเป็นคีเลต ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น

8. แหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารหรือแหล่งพลังงานสำคัญที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในดิน ซึ่งเป็นพวก heterotroph ดังนั้นปริมาณหรือคุณภาพของสารอินทรีย์ จึงมีผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์เหล่านี้โดยตรง เช่น การตรึงไนโตรเจน กระบวนการ denitrification การเกิดแก๊สมีเทน โดยปกติดินที่ใช้ในการเพาะปลูกโดยทั่วไปมีอินทรียวัตถุที่จะเป็นอาหารหรือให้พลังงานแก่จุลินทรีย์อยู่จำกัดไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ การใส่อินทรียวัตถุลงไปจึงทำให้ประชากรและกิจกรรมของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีผลกระทบต่อเนื่องไปถึงการแปรสภาพของธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์, 2544)

ปริมาณธาตุอาหารพืช หมายถึง ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเติบโตของพืช ซึ่งสามารถถูกจัดได้จากเกณฑ์คือ 1) ถ้าเกิดพืชขาดสารอาหารนี้แล้ว ทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตวงจรชีวิตได้ตามปกติ และ 2) สารนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพืชหรือส่วนประกอบของสารตัวกลางในกระบวนการสร้างและสลายของสารนั้น ๆ แหล่งที่มาของสารอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชสามารถแบ่งได้ 2 แหล่งหลัก คือ แหล่งแรกเป็นธาตุอาหารของพืชที่ได้จากน้ำและอากาศ ได้แก่ คาร์บอน (C) ซึ่งพืชได้รับจากอากาศโดยตรงในรูปของ CO_2 ทางปากใบ ส่วนออกซิเจน (O) เข้าสู่พืชในรูป O_2 ทั้งทางปากใบและทางผิวรากของรากพืช และไฮโดรเจน (H) พืชได้รับมาจากการสลายตัวของโมเลกุลของน้ำในดินทางรากและไอน้ำในอากาศทางปากใบ และแหล่งที่สองเป็นธาตุอาหารที่พืชได้รับจากดิน

สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้ดังนี้ คือ ธาตุอาหารหลัก (primary macronutrients) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นอันดับแรก ๆ จากดินและต้องการในปริมาณมากเพื่อการเจริญเติบโตและมีชีวิตรอด ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ส่วนธาตุอาหารรอง (secondary macronutrients) โดยปกติมักมีปริมาณที่เพียงพอในดินจึงไม่ต้องใส่ปุ๋ยเพิ่ม ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) และธาตุอาหารเสริม (micronutrients) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง แต่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นเดียวกัน ซึ่งพืชจะขาดไม่ได้ ได้แก่ แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) คลอรีน (Cl) เหล็ก (Fe), โบรอน (B) สังกะสี (Zn) โมลิบดินัม (Mo) และนิกเกิล (Ni) (จีราภรณ์, 2557)

สมบัติทางชีวภาพ

ดินถือว่าเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในดินมากมายหลายชนิดทั้งพืชและสัตว์ต่าง ๆ มีตั้งแต่ขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ได้แก่ พวกจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีท ส่วนสัตว์ขนาดเล็กต่าง ๆ เช่น หนอน ปลวก หอย ทาก กิ้งกือ มด เป็นต้น การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เหล่านี้มี บทบาทสำคัญในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน สามารถทำให้เกิดกิจกรรมากมายที่มีผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ในดิน เช่น กระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหารในดินให้แก่พืช การสูญเสียธาตุอาหารบางธาตุจากดิน สร้างวัฏจักรของอินทรียวัตถุ และปรับปรุงโครงสร้างของดิน สิ่งมีชีวิตบางพวกช่วยในการย่อยสลายและไถพรวนดิน เช่น หนอน ไส้เดือนฝอย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพของดิน แต่บางพวกก็เป็นศัตรูพืชและสัตว์ เช่น รา ทำให้รากพืชเน่า ไส้เดือนฝอยกัดกินรากพืชทำให้ผลผลิตลดลง โดยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดิน ตลอดจนสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม

จุลินทรีย์ในดิน เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีรูปร่างและขนาดเล็ก ลักษณะเป็นเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนจนถึงขนาดเป็นเซนติเมตร มีคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิตทั้งด้านสรีระวิทยา ชีวเคมี และพันธุศาสตร์ซึ่งเป็นพื้นฐานของชีวิต และมีกระบวนการเมตาโบลิซึมเป็นแบบแผนเดียวกับสิ่งมีชีวิตชั้นสูง สามารถเกิดกระบวนการต่าง ๆ ของชีวิตได้ภายในเซลล์เพียงเซลล์เดียว นอกจากนี้จุลินทรีย์ในดินสามารถขยายพันธุ์ด้วยการแยกตัวจาก 1 เป็น 2 จาก 2 เป็น 4 ต่อเนื่องไปตลอด โดยแบ่งจุลินทรีย์ดินตามการได้รับพลังงานจากแหล่งต่าง ๆ ได้เป็น 2 พวก คือ Heterothoph และ Autotroph ซึ่งพวก Heterotroph เป็นกลุ่มที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน เป็นกลุ่มที่มีปริมาณมากที่สุดในดิน มีบทบาทในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินให้มีโมเลกุลเล็กลงให้อยู่ในรูปสารประกอบฮิวมิก กรดอะมิโน และธาตุอาหารในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และกิจกรรมเกี่ยวกับการใช้อินทรียวัตถุเป็นอาหาร ส่วนพวก Autotroph ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งอาหาร

เพื่อสังเคราะห์สารอินทรีย์มาสร้างองค์ประกอบเซลล์ จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่วนมากไม่สามารถใช้สารอนินทรีย์มาสร้างเป็นอาหาร จะได้พลังงานจากแสงหรือการออกซิเดชันของสารอนินทรีย์มาใช้ในกระบวนการเมตาบอริซึม เป็นกลุ่มที่มีบทบาทเกี่ยวกับการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินและการออกซิเดชันของสารอนินทรีย์มากกว่า (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์, 2544)

แบคทีเรีย เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มีขนาดเล็ก ประมาณ 0.001-0.005 มิลลิเมตร หรือ 1-5 ไมครอน และมีปริมาณมากที่สุดในดิน ซึ่งดินแห้ง 1 กรัม จะมีแบคทีเรียประมาณ 10^8-10^9 เซลล์ จึงจัดเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงมาก มีทั้งพวกที่เคลื่อนไม่ที่และพวกที่เคลื่อนที่ได้โดยอาศัย flagella โดยส่วนใหญ่แบคทีเรียมักจะเกาะติดกับอนุภาคต่าง ๆ ของดิน ส่วนการเคลื่อนที่หรืออาศัยในดินก็ต้องอาศัยในน้ำ ซึ่งมักเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบอยู่บนผิวอนุภาคหรือในช่องว่างของดิน แบคทีเรียมีการขยายพันธุ์โดยวิธี binary fission แบคทีเรียทั่วไปเจริญได้ดีในสภาพ pH ที่ค่อนข้างเป็นกลางประมาณ 6-8 และไม่ชอบสภาพ pH ต่ำกว่า 5.5 ยกเว้นแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถทนในสภาพ pH ต่ำกว่า 3 ดังนั้นจึงเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในกิจกรรมต่าง ๆ ในทุกสภาพแวดล้อม โดยแบคทีเรียสามารถจำแนกได้เป็นประเภทต่าง ๆ ได้หลายประเภท ดังนี้ คือ 1) จำแนกตามความต้องการออกซิเจนเป็นหลัก ได้แก่ Aerobic bactetria, Anaerobic bactetria, Facultative anaerobic bactetria 2) จำแนกตามรูปร่างเซลล์เป็นหลัก ได้แก่ Spherical shape, Rod shape, Spiral shape 3) จำแนกตามระดับอุณหภูมิเป็นหลัก ได้แก่ Psychrophillic bacteria, Mesophillic bacteria, Thermophillic bacteria 4) จำแนกตามประเภทสารประกอบที่ใช้เป็นคาร์บอนและพลังงานเป็นหลัก ได้แก่ Autotrophic bacteria, Heterotrophic bacteria และ 5) จำแนกตามความสามารถในการสร้างสปอร์เป็นหลัก ได้แก่ Spore forming bacteria, Non-spore forming bacteria (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์, 2544)

แอคติโนมัยซีท เป็นจุลินทรีย์เซลล์เดียวที่มีปริมาณมากในดินรองจากแบคทีเรีย ซึ่งดินแห้ง 1 กรัม มีปริมาณแอคติโนมัยซีทประมาณ 10^7-10^8 เซลล์ แอคติโนมัยซีทมีลักษณะเป็นเส้นใย มีผนังเซลล์ และองค์ประกอบของเซลล์เท่ากับแบคทีเรีย ประมาณ 0.05-2 ไมครอน รูปร่างยืดยาวเป็นเส้นใยคล้ายเชื้อราแต่มีขนาดเล็กและสั้นกว่ามาก เพียงประมาณ 10-15 ไมครอน และสามารถสร้างสปอร์เพื่อขยายพันธุ์ได้คล้ายเชื้อราแต่สปอร์ไม่ทนต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งต่างจาก endospore ของแบคทีเรีย นอกจากนี้แอคติโนมัยซีทการเจริญเติบโตทางด้านปลายของเส้นใยและแตกแขนงแบบเชื้อราทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าแบคทีเรียมาก โดยแอคติโนมัยซีททุกชนิดเป็นพวก Aerobic ต้องการออกซิเจนในการหายใจจึงไม่ทนต่อสภาพน้ำขัง และเป็นพวก Heteratroph ใช้อินทรียวัตถุเป็นอาหาร นอกจากนี้แอคติโนมัยซีททนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี ชอบอาศัยในดินที่มี pH เป็นกลางหรือเป็นด่างอ่อน หาก pH ของดินต่ำกว่า 5 แทบจะไม่พบแอคติโนมัยซีท เนื่องจากลักษณะการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าแบคทีเรียและเชื้อราส่วนใหญ่ในดิน ซึ่งแอคติโนมัยซีทสามารถย่อยสารอินทรีย์ที่

มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น ไคตินและเซลลูโลส สามารถผลิต Antibiotics ขึ้นมาเพื่อยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์อื่นที่มาแก่งแย่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ขาดแคลนในดิน รวมทั้งการควบคุมและแก้ไขอาการโรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับคน สัตว์ และพืชได้ นอกจากนี้แอคติโนมัยซีทบางชนิดสามารถทำให้เกิดปมรากของพืชแล้วตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้

เชื้อรา เป็นจุลินทรีย์ที่มีประมาณรองจากแบคทีเรียและแอคติโนมัยซีท ดินแห้ง 1 กรัม มีประมาณ 10^4-10^6 เซลล์ เชื้อรามีรูปร่างเป็นเส้นใยซึ่งอาจจะมีผนังกั้นหรือไม่มีก็ได้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 ไมครอน บางชนิดมีเซลล์เดียว เช่น yeast เชื้อราทุกชนิดเป็นพวก Aerobes และ Heterotroph โดยใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและต้องการออกซิเจนในการหายใจ ซึ่งมีเชื้อราบางชนิดที่ก่อโรคกับพืชและสัตว์ บางชนิดอาศัยร่วมกันกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น Mycorrhiza และ Lichan เป็นต้น เชื้อรามักเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH เป็นกลาง แต่ก็สามารถเจริญเติบโตและทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดได้ดีกว่าจุลินทรีย์อื่น ๆ เชื้อรา ส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ในช่วง pH 4-8 จึงมีบทบาทมากในดินกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง pH ต่ำกว่า 5 อีกทั้งเชื้อราสามารถเจริญได้ดีในดินที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณ 95-100 เปอร์เซ็นต์ และจะลดลงเมื่อความชื้นต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เชื้อราในดินส่วนใหญ่สามารถย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์พวกลิกนินและสารฮิวมิกในดินได้ดี อีกทั้งส่งเสริมการเกิดโครงสร้างของดิน (จีราภรณ์, 2557)

ดินที่เป็นปัญหาทางการเกษตร

ดินที่เป็นปัญหาสำหรับการเพาะปลูกทางการเกษตร มักเป็นดินที่มีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ซึ่งเมื่อปลูกพืชลงไปแล้วจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของพืชที่ต่ำลง ซึ่งดินที่มีปัญหาในการเกษตรมักเป็นดินที่เกิดขึ้นตามสภาพธรรมชาติ จากวัตถุต้นกำเนิด สภาพภูมิอากาศ พืชที่ขึ้นปกคลุมในพื้นที่ และระยะเวลาของการกำเนิดดิน (ปิยะ, 2533) นอกจากการเกิดตามสภาพธรรมชาติแล้วการกระทำของมนุษย์เองก็ส่งผลให้ดินมีความไม่เหมาะสมต่อการเกษตร อาจเกิดขึ้นจากการตัดไม้ทำลายป่า การใช้ประโยชน์พื้นที่ลาดชัน ทำให้เกิดการกัดกร่อนของหน้าดินและทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง การสร้างแหล่งน้ำในพื้นที่ดินเค็ม และการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มากเกินความจำเป็น ทำให้เกิดการตกค้างของสารเหล่านั้นในดิน ส่งผลให้ดินมีความเค็มมากขึ้น หรือแม้กระทั้งการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการเตรียมดินเพาะปลูก ก็ส่งผลให้ดินมีความแน่นทึบมากขึ้น การระบายน้ำที่เลวลง และการถ่ายเทอากาศในดินลดลง (มัตติกา, 2549) โดยทั่วไปดินที่มีปัญหาทางการเกษตรได้แก่ ดินเค็ม ดินกรด ดินทรายจัด ดินตื้น และดินในพื้นที่ลาดชัน (พิพัฒน์ และคณะ, 2553)

ดินเค็ม (Saline soil) เป็นดินมีที่เกลือที่ละลายได้ในสารละลายดิน ปริมาณมากจนกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ซึ่งดินเค็มจำแนกได้เป็น ดินเค็มน้อย เค็มปานกลาง และเค็ม

มาก ดินเค็มน้อยมีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่อิ่มตัว 2-4 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณเกลือ 0.1-0.15% ดินเค็มปานกลางมีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่อิ่มตัว 4-8 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณเกลือ 0.15-0.34% ดินเค็มมากมีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่อิ่มตัว 8-16 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณเกลือ 0.5-1.0% โดยเกิดจากธรรมชาติ จากวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นหินและแร่ที่มีองค์ประกอบของเกลือ และน้ำทะเลที่ท่วมถึงพื้นที่ปลูกพืช หรือการกระทำของมนุษย์ จากการทำนาเกลือ การสร้างอ่างเก็บน้ำในแหล่งที่มีเกลือ การใช้น้ำชลประทานที่มีคุณภาพต่ำ และการตัดไม้ทำลายป่า เป็นต้น (รังสรรค์, 2547; ปานใจ และคณะ, 2556)

ดินกรด (Acid soil) เป็นดินที่มีการปลดปล่อย H^+ ออกมาในสารละลายดิน โดยจะมีการปล่อย H^+ เพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่ง H^+ ส่วน ใหญ่จะถูกดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดิน โดย H^+ ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลายเรียกว่า กรดจริง (active acidity) ส่วน H^+ ที่ดูดยึดอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเรียกว่า กรดแฝง (potential acidity) ซึ่งดินกรดโดยทั่วไปจะเป็นดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชถูกจำกัด จากความเป็นพิษของอะลูมินัม (Al) แมงกานีส (Mn) และเหล็ก (Fe) ทั้งยังส่งผลทำให้ดินขาดธาตุแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) ฟอสฟอรัส (P) และโมลิดินัม (Mo) (Harter, 2007) สาเหตุของการเกิดดินกรด โดยเกิดจากการชะล้างพังทลายของดินเป็นเวลานาน การย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินทำให้เกิดกรดคาร์บอนิก และการใช้ปุ๋ยเคมีเกินความจำเป็นหรือใช้ไม่ถูกต้อง (จีราภรณ์, 2557)

ดินทรายจัด (Sandy soil) ดินที่มีเนื้อดินบนเป็นดินทราย หรือ ดินทรายร่วน และมีความหนามากกว่า 50 เซนติเมตร มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ควอตซ์ (quartz) แบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ 1) ดินทรายที่มีเนื้อเป็นทราย หรือทรายร่วนหนากว่า 50 เซนติเมตร 2) ดินทรายที่มีเนื้อเป็นทราย หรือทรายร่วนหนากว่า 1 เมตร 3) ดินทรายที่มีเนื้อเป็นทราย หรือทรายร่วนมากกว่า 2 เมตร (พิพัฒน์ และคณะ, 2553) จึงทำให้ดินไม่มีการจับตัวเป็นเม็ดดิน ไม่มีโครงสร้าง มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ความชื้นที่เป็นประโยชน์จึงต่ำ มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ เนื่องจากดินมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำมาก จึงไม่มีความเหมาะสมต่อการเกษตร (ชาลี, 2541)

ดินตื้น (Shallow soils) เป็นดินที่มีชั้นลูกรัง ก้อนกรวด และเศษหิน ปะปนกันในเนื้อดินหรือพบชั้นหินพื้นอยู่ตื้นกว่า 50 เซนติเมตรจากผิวดิน และมีกรวดหรือลูกรังปนอยู่มากกว่า 35% ซึ่งดินตื้นเป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตร เนื่องจากมีเนื้อดินน้อย ปริมาณธาตุอาหารต่ำ ชั้นดินล่างแน่นทึบอุ้มน้ำได้น้อย และรากพืชชอนไชได้ยาก จึงส่งผลให้พืชขาดน้ำในช่วงฤดูแล้ง ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้าและผลผลิตต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550c)

ดินพื้นที่ลาดชัน (Sloping highland) เป็นดินบนพื้นที่สูงชัน หรือพื้นที่ภูเขา หรือเทือกเขาที่มีความลาดชันมากกว่า 35% ขึ้นไป ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการเกษตร ถ้ามีการใช้พื้นลาดชัน

เป็นพื้นที่การเกษตรอย่างไม่ถูกต้อง จะก่อเกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน การไหลบ่าของน้ำหน้าดิน และการเสื่อมโทรมของที่ดินอย่างรวดเร็ว ส่งผลความเสียหายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (พิสิษฐ์, 2557)

ดินดาน (Hardpan Layers) เป็นชั้นดินซึ่งรวมถึงอินทรียวัตถุต่าง ๆ ในดินที่เกิดการสะสมตัวจนอัดแน่น เนื่องจากการบดทับอัดแน่นเป็นระยะเวลานานหลาย ๆ ปี ทำให้ความโปร่งพรุนของดินลดน้อยลงจนเกิดเป็นชั้นดินดาน หรือเป็นชั้นดินที่มีอนุภาคของดินมาจับตัวกันแน่นทึบและแข็ง ส่งผลต่อการชอนไชของรากพืช การไหลผ่านของน้ำและอากาศสู่ดิน จนเกิดเป็นปัญหาทางการเกษตร ซึ่งทำให้น้ำซึมลงไปในดินชั้นล่างได้น้อยลง ในทางกลับกันช่วงฤดูแล้งดินดานจะกั้นไม่ให้ความชื้นที่มีในดินชั้นล่างผ่านขึ้นมาให้รากพืชดูดใช้ ทำให้พืชขาดน้ำและอากาศ จนตายในที่สุด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550b)

ดินอินทรีย์ หรือดินพรุ (Peat soil) เป็นดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และมีชั้นอินทรียวัตถุลึกกว่า 40 เซนติเมตร ซึ่งมักพบในพื้นที่ที่มีน้ำขังเกือบตลอดทั้งปี หรือตลอดปี เนื้อดินมีความหนาแน่นต่ำในช่วง 0.03-0.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้รากพืนยึดเกาะได้ยาก ยุบตัวเร็ว และติดไฟได้ง่ายในฤดูแล้ง (Agus et al., 2011)

ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมะม่วง

มะม่วงเป็นไม้ผลเขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย มีการเพาะปลูกมากกว่า 100 สายพันธุ์ มะม่วงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้ดีและปลูกได้เกือบทั้งประเทศ เนื่องจากมะม่วงเป็นไม้ที่ชอบอากาศร้อนและทนต่อความแห้งแล้งได้ดี แต่ไม่ทนต่อสภาวะที่มีอากาศเย็นจัด ซึ่งอาจทำให้มะม่วงตายได้ ดังนั้นมะม่วงจึงเป็นไม้ผลที่มีนิยมปลูกและรับประทานมากชนิดหนึ่งของประเทศไทย แต่การเลือกพื้นที่ปลูกให้เหมาะสมนั้น ลักษณะของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมะม่วงให้ได้ผลผลิตดี ความลึกของหน้าดินไม้น้อยกว่า 1.5 เมตร และสูงจากระดับน้ำทะเล 10-300 เมตร เป็นได้ทั้งพื้นที่ดอนและที่ลุ่ม เนื้อดินควรเป็นดินร่วนปนทรายที่มีระบายน้ำดี ที่ไม่มีน้ำท่วมขัง มีอินทรียวัตถุสูง ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินอยู่ในระหว่าง 5.5-7.5 โดยทั่วไปมะม่วงสามารถเจริญได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างกว้าง นอกจากนี้ปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 700-1,500 มิลลิเมตรต่อปี (กลุ่มงานศึกษาและพัฒนาการปลูกพืช, 2552) มีปริมาณธาตุอาหารที่มากพอและครบถ้วนสำหรับการเจริญเติบโต โดยไม้ผลต้องการกลุ่มธาตุอาหารหลักต้องการประมาณ 1,000 ไมโครกรัม หรือมากกว่าต่อน้ำหนักแห้งของไม้ผล 1 กรัม ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เป็นต้น ส่วนกลุ่มของธาตุอาหารเสริมต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของไม้ผล 1 กรัม ได้แก่ เหล็ก (Fe) โบรอน (B) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม

(Mo) และคลอรีน (Cl) เป็นต้น และมีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง และควรมีประจุบวกที่เป็นด่างไม่ต่ำกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}) (อนุชา, 2554)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

พื้นที่และระยะเวลาการศึกษา

พื้นที่ที่ศึกษาเป็นพื้นที่ของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี ระยะเวลาทำการทดลองในช่วงเดือนกรกฎาคม 2560 – กรกฎาคม 2561 เป็นระยะเวลา 1 ปี

สภาพภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝน

พื้นที่อำเภอเฉลิมระเกียรติเป็นเมืองร้อน คือ จะมีอากาศแห้งแล้งในฤดูหนาว อุณหภูมิค่อนข้างร้อน อุณหภูมิเฉลี่ย 33.2 องศาเซลเซียส และค่อนข้างหนาว มีฝนตกชุกเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนกันยายน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในช่วงปี 2561 ประมาณ 1,595.5 มิลลิเมตร/ปี (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2561)

แผนการทดลอง

ศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มลงในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) ประกอบด้วย 6 ตำรับ จำนวน 4 ซ้ำ โดยใช้ต้นมะม่วงทั้งหมด 24 ต้น พื้นรอบทรงพุ่มมะม่วงขนาด 3 เมตร ได้แก่

ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน)
ตำรับที่ 2 ถ่านชีวภาพ (Biochar) อัตรา 10 กิโลกรัมต่อต้น
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 10 กิโลกรัมต่อต้น
ตำรับที่ 4 ปุ๋ยมูลวัว อัตรา 10 กิโลกรัมต่อต้น
ตำรับที่ 5 Pumice อัตรา 10 กิโลกรัมต่อต้น
ตำรับที่ 6 ทรายหยาบ อัตรา 10 กิโลกรัมต่อต้น

วิธีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน

ทำการใส่วัสดุปรับปรุงดินบริเวณรอบ ๆ ต้นมะม่วงเป็นลักษณะวงกลม โดยตามขนาดของทรงพุ่มที่ใช้ในการทดลอง

การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ คือ เก็บดินก่อนใส่วัสดุปรับปรุงดิน และเก็บดินที่ระยะเวลา 3, 6, 9 และ 12 เดือน หลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน ที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร โดยเก็บตัวอย่างดินรอบใต้ทรงพุ่ม 3 จุด ใน 1 ซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลอง จากนั้นนำดินมาทำให้แห้งในที่ร่ม (Air dried) แล้วนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร เพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ส่วนคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดินมาแช่เย็น เพื่อป้องกันการสายชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างดิน

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

การวิเคราะห์ความชื้นโดยปริมาตร และความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) โดยวิธีใช้กระบอกเก็บดินโดยไม่ทำลายโครงสร้าง (core method) นำกระบอกเก็บดินเจาะบริเวณที่ต้องการ จากนั้นวางกระบอกเก็บตัวอย่างบนดินโดยค่อยๆ ตอกกระบอกลงไป แล้วเอากระบอกออก ตกแต่งผิวด้านหน้าและด้านล่างด้วยมีดให้สม่ำเสมอกัน จากนั้นนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก (ดินชื้น) แล้วนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (ดินแห้ง) นำไปคำนวณหาความหนาแน่นรวม (ถนอม, 2528)

การวิเคราะห์เนื้อดิน (soil texture) โดย Hydrometer method ชั่งดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร 50 กรัม สำหรับดินเนื้อละเอียด 100 กรัม สำหรับดินเนื้อหยาบ เติมสารละลายแคลกอน 5% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น นาน 5 นาที จากนั้นเทลงในกระบอกตวง 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปจนครบ 1,000 มิลลิลิตร และเติมสารละลายแคลกอน 100 มิลลิลิตรใส่กระบอกตวงอีกใบ ปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นคนสารแขวนลอยแล้ววัดค่าที่ 40 วินาที และ 7 ชั่วโมง และวัดอุณหภูมิ บันทึกค่า นำไปคำนวณหาเนื้อดิน (Beretta et al., 2014)

การวิเคราะห์ความคงทนของเม็ดดิน (soil aggregate) ทุบตัวอย่างดินเบา ๆ พอให้ดินแตกเป็นเม็ด ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1.00 และ 2.00 มิลลิเมตร เพื่อแยกเอาเฉพาะเม็ดดินขนาด 1.00-2.00 มิลลิเมตร ตัวอย่างละ 100 กรัม ชั่งตัวอย่างดินประมาณ 10 กรัม ใส่ตัวอย่างดินลงในตะแกรงขนาด 1.00 มิลลิเมตร นำตะแกรงใส่ในเครื่องเขย่า โดยมีถาด (ปิ่นโต) รองอยู่ หมุนสายพานให้ตะแกรงอยู่ที่ระดับสูงสุด เติมน้ำกลั่นลงในถาด ให้สูงพอที่เม็ดดินทั้งหมดจมอยู่ใต้น้ำประมาณ 0.5 เซนติเมตร เปิดเครื่องเขย่าเป็นเวลา 180 วินาที ถ่ายน้ำที่มีตะกอนดินจากถาดลงในถ้วยใบที่1 (ที่ชั่งน้ำหนักแล้ว, m1) เติมสารละลาย NaOH (2.00 กรัม NaOH ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร) ลงในถาดเขย่าดินจนกว่าจะเหลือแต่เม็ดทรายค้างอยู่บนตะแกรง ถ้าเม็ดดินแข็งแรงมาก ไม่แตกเอง ให้ปิด

เครื่องแล้วใช้นิ้วมือถูเม็ดดินให้แตก แล้วเขย่าใหม่ ถ่ายน้ำที่มีตะกอนดินจากถาดลงในถ้วยใบที่ 2 (ที่ชั่งน้ำหนักแล้ว, m2) นำถ้วยทั้งสองไปอบที่ 105 °C 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยทั้งสองที่มีตะกอนดินแห้ง (ใบที่ 1= m3, ใบที่ 2=m4) คำนวณเสถียรภาพของเม็ดดิน (Nichols, 2011)

$$\text{เสถียรภาพของเม็ดดิน} = \frac{\text{น้ำหนักดินที่เขย่ากับ } NaOH}{\text{น้ำหนักดินที่เขย่ากับน้ำ} + \text{น้ำหนักดินที่เขย่ากับ } NaOH} \times 100$$

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

การวัดความเป็นกรดด่างของดิน ทำการชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร 10 กรัม ต่อน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร (1:1) คนให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 5 นาที ทำ 2 ครั้ง ส่วนครั้งที่ 3 คนให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าความเป็นกรดด่างของดิน โดยใช้เครื่องวัด pH meter (Wayne, 1980)

การหาปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) โดยนำดินผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรง 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ จำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และเติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที ในตู้ดูดควัน จากนั้นเติมน้ำกลั่น จำนวน 100 มิลลิลิตร หยดน้ำยา O-phenantholine indicator 3-4 หยด แล้วไตเตรทด้วย 0.5 N ferrous sulphate ($FeSO_4$) จนเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง จากนั้นบันทึกค่าปริมาณของ $FeSO_4$ ที่ใช้ในการไตเตรท เพื่อนำไปคำนวณหาค่าที่แท้จริง (FAO, 2008)

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน (extractable phosphorus) โดยใช้วิธี Bray II ชั่งดิน 2.5 กรัม ที่ร่อนผ่านตะแกร่งขนาด 2 มิลลิเมตร ใส่ในหลอด centrifuge สกัดด้วยน้ำยา Bray II จำนวน 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่านาน 1 นาที แล้วนำไปปั่นเหวียงด้วยเครื่อง centrifuge ให้ดินตกตะกอน กรองสารละลาย แล้วนำสารละลายที่ได้ไปพัฒนาสีด้วย ascorbic acid นำไปอ่านปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer (Watanabe and Olsen, 1962)

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่สกัดได้ (Extractable potassium, calcium and magnesium) สกัดตัวอย่างดินดิน 5 กรัม สกัดด้วยน้ำยา ammonium actate pH 7 (NH_4OAc pH 7) จำนวน 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่านาน 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปอ่านด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) สำหรับวิเคราะห์แคลเซียมและแมกนีเซียม เติม Lanthanum oxide แล้วนำไปอ่านด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) เช่นเดียวกัน (Wayne, 1980)

การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ที่สกัดได้ (Extractable iron, manganese, zinc and copper) สกัดตัวอย่างดิน 10 กรัม ที่ร่อนผ่านตะแกร่งขนาด 2 มิลลิเมตร ใส่หลอด centrifuge สกัดด้วยน้ำสกัด DTPA (diethylene triamine pentaacetic acid) จำนวน 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่านาน 2 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวียงด้วยเครื่อง centrifuge ให้ดินตกตะกอน กรองสารละลายที่สกัดได้ นำไปอ่านด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) (Wayne, 1980)

การวิเคราะห์สมบัติทางชีวภาพของดิน

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดิน โดยวิธีการแยกเชื้อแบบ Soil dilution plate ซึ่งเป็นวิธีการหาปริมาณและแยกเชื้อบริสุทธิ์ของแบคทีเรียกับเชื้อราในดิน โดยชั่งดิน 10 กรัม (ใช้ Forceps ลนไฟคีบกระดาษและช้อนตักที่ฆ่าเชื้อแล้ว) นำดินที่ชั่งได้ใส่ในขวดน้ำที่สเตอไรด์ และนำไปใส่เครื่องเขย่านาน 20 นาที เพื่อให้ดินอยู่ในสภาพ Suspension อย่างสมบูรณ์ จากนั้นทำการเจือจางโดยดูดสารละลายมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด ที่ความเข้มข้นเจือจาง 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5} และ 10^{-6} แล้วดูดจากหลอดที่ความเข้มข้นเจือจาง 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5} และ 10^{-6} ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Egg albumin สำหรับแบคทีเรีย และ Rose Bengal streptomycin agar ทำแต่ละความเข้มข้น 3 ซ้ำ จากนั้นบ่มจานเลี้ยงเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7-14 วัน แล้วทำการนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียกับเชื้อราในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ เมื่อครบ 7 วัน และนับอีกครั้งเมื่อครบ 14 วัน (สมศักดิ์, 2511)

คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดิน

คุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพ มูลไก่ มูลวัว พัมมิซ และทรายหยาบ ดังตาราง (ตารางที่ 1)

Table 1 The contents of biochar, chicken manure, cow manure, pumice and sand

Materials	Contents
Biochar	pH-10.15, 0.32 %N, 0.38 %P, 2.62 %K, 1.23 %CaO, 2.67 %MgO, 176 mg kg^{-1} Fe, 99 mg kg^{-1} Mn, 10 mg kg^{-1} Cu, 46 mg kg^{-1} Zn
Chicken manure	pH-7.89, 1.89 %N, 0.36 %P, 1.15 %K, 3.43 %CaO, 2.78 %MgO, 253 mg kg^{-1} Fe, 227 mg kg^{-1} Mn, 218 mg kg^{-1} Cu, 216 mg kg^{-1} Zn
Cow manure	pH-8.24, 1.26 %N, 0.51 %P, 1.12 %K, 2.43 %CaO, 2.00 %MgO, 239 mg kg^{-1} Fe, 249 mg kg^{-1} Mn, 38 mg kg^{-1} Cu, 119 mg kg^{-1} Zn
Pumice	pH-7.33, 0.07 %N, 0.02 %P, 0.35 %K, 3.91 %CaO, 1.13 %MgO, 59.4 mg kg^{-1} Fe, 27.5 mg kg^{-1} Mn, 6.1 mg kg^{-1} Cu, 14.4 mg kg^{-1} Zn
Sand	pH-4.14, 0.04 %OM, 1.54 mg kg^{-1} P, 28.9 mg kg^{-1} K, 1,555 mg kg^{-1} CaO, 259 mg kg^{-1} MgO, 29 mg kg^{-1} Fe, 7 mg kg^{-1} Mn, 0.26 mg kg^{-1} Cu, 0.35 mg kg^{-1} Zn

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มลงในบล็อกอย่างสมบูรณ์ เมื่อพบความแตกต่างกันในทางสถิติจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธีจัดกลุ่มของสิ่งทดลอง (Least Significant Difference; LSD)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

สมบัติของดิน

ศึกษาคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง โดยทำการศึกษาคุณสมบัติของดิน 3 ประการ คือ 1) คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอาหารเสริมที่สกัดได้ในดิน 2) คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวม ความชื้น ความคงทนของเดิน และลักษณะเนื้อดิน และ 3) คุณสมบัติทางชีวภาพของดิน ได้แก่ ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อแอคติโนมัยซีท

สมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีของดินก่อนทดลอง

สมบัติของทางเคมีดินก่อนทำการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างดินจากใต้ทรงพุ่มมะม่วงที่ทำการทดลอง เพื่อทดสอบผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน ที่ความลึก 0-15 cm พบว่าดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง คือ 8.00 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินคือ 1.41% ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 22.8 และ 76 mg kg^{-1} ปริมาณธาตุอาหารรองในดิน ได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 7,824 และ 491 mg kg^{-1} ส่วนปริมาณธาตุอาหารเสริมในดิน ได้แก่ ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีที่สกัดได้ในดินคือ 5.5, 7.5, 3.75 และ 0.98 mg kg^{-1} ตามลำดับ

ส่วนดินที่ความลึก 15-30 cm พบว่าดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างคือ 8.07 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินคือ 0.75% ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 6.18 และ 39 mg kg^{-1} ปริมาณธาตุอาหารรองในดิน ได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 7,540 และ 317 mg kg^{-1} ขณะที่ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีที่สกัดได้ คือ 5.7, 8.4, 3.38 และ 0.54 mg kg^{-1} ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Soil chemical properties before soil amendment application

Soil depth (cm)	pH	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
			(---------- mg kg^{-1} ----------)							
0-15	8.00	1.41	22.8	76	7,824	491	5.5	7.5	3.75	0.98
15-30	8.07	0.75	6.18	39	7,540	317	5.7	8.4	3.38	0.54

สมบัติทางเคมีของดินหลังทำการทดลอง

สมบัติทางเคมีของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3 เดือน

การศึกษาสมบัติทางเคมีของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3 เดือน ที่ระดับความลึก 0-15 cm พบว่าดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยอยู่ที่ 8.08 ซึ่งจากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงที่สุด โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุดคือ 8.21 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม มูลไก่ มูลวัว และทรายหยาบ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 8.15, 8.14, 8.12 และ 8.18 ($P<0.01$) ยกเว้นตำรับที่ใส่พัมมิซที่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำที่สุดคือ 7.68 ตามลำดับ

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.35% ซึ่งมีปริมาณลดลงจากดินก่อนใส่วัสดุปรับปรุงดิน (1.41%) โดยจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดคือ 1.49% รองลงมาคือตำรับที่ใส่มูลวัวและพัมมิซที่ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ที่ 1.43 และ 1.44% ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือ 1.14% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 14.8 mgP kg^{-1} ซึ่งจากการใส่วัสดุปรับปรุงดิน จะสังเกตได้ว่าตำรับที่มีการใส่มูลไก่ส่งผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด คือ 30.8 mgP kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลวัวและพัมมิซ ที่ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินคือ 18.7 และ 18.0 mgP kg^{-1} ขณะเดียวกันตำรับที่ใส่มูลไก่และพัมมิซก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและถ่านชีวภาพ ส่วนตำรับที่มีการใส่ทรายหยาบ มีผลทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 5.3 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม ($P<0.01$) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยอยู่ที่ 83 mgK kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองจะสังเกตเห็นว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 102 mgK kg^{-1} และรองลงมาตำรับมูลวัวมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 91 mgK kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ ที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 85 และ 88 mgK kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซมีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 65 mgK kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและตำรับที่ใส่ทรายหยาบ ($P<0.05$)

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้เฉลี่ยคือ 11,108 mgCa kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากดินก่อนใส่วัสดุปรับปรุงดิน (7,824 mgCa kg^{-1}) จะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่พัมมิซปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงกว่าทุกตำรับการทดลองคือ 16,693 mgCa kg^{-1}

รองลงมาคือตำรับควบคุม ตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ และตำรับที่ใส่มูลวัว ที่มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 10,648, 10,257 และ 10,134 mgCa kg^{-1} ตามลำดับ ขณะที่ตำรับที่ใส่มูลไก่และทรายหยาบส่งผลให้มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำกว่าตำรับอื่นคือ 9,608 และ 9,305 mgCa kg^{-1} ตามลำดับ อย่างก็ตามในการใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 397 mgMg kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณลดลงจากดินก่อนใส่วัสดุปรับปรุงดิน (491 mgMg kg^{-1}) จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่ส่งผลให้มีปริมาณแมกนีเซียมสูงที่สุด รองลงมาเป็นตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ โดยทั้งสองตำรับมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่ที่ 502 และ 438 mgMg kg^{-1} ส่วนตำรับควบคุม มูลวัว พัมมิซ และทรายหยาบอยู่ในช่วง 352-382 mgMg kg^{-1} แต่การใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณธาตุอาหารเสริมในดิน พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.13 mgFe kg^{-1} ซึ่งการใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 7.0 mgFe kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ 4.3 mgFe kg^{-1} ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 5.87 mgMn kg^{-1} ซึ่งตำรับที่มีการใส่มูลไก่มีปริมาณแมงกานีสสูงกว่าทุกตำรับการทดลอง คือ 9.1 mgMn kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ 4.1 mgMn kg^{-1} ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณทองแดงที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 3.51 mgCu kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยตำรับที่ใส่ควบคุมมีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณทองแดงที่สกัดได้สูงกว่าตำรับที่ใส่การใส่วัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินอยู่ที่ 3.9 mgCu kg^{-1} ส่วนทุกตำรับที่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดินมีปริมาณทองแดงอยู่ในช่วง 3.22-3.72 mgCu kg^{-1} ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณสังกะสี ที่สกัดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.05 mgZn kg^{-1} จากการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 1.55 mgZn kg^{-1} ส่วนตำรับควบคุม ถ่านชีวภาพ มูลวัว พัมมิซ และทรายหยาบ มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้อยู่ในช่วง 0.76-1.21 mgZn kg^{-1}

ที่ระดับความลึก 15-30 cm พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน มีเฉลี่ยอยู่ที่ 8.13 ซึ่งจากการใส่วัสดุปรับปรุงดินจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของสูงที่สุดคือ 8.25 แต่อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซที่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำที่สุดคือ 7.85 ($P<0.01$)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยอยู่ที่ 0.93% เพิ่มขึ้นจากดินก่อนทำการใส่วัสดุปรับปรุงดิน (0.75%) จากการทดลองสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดคือ 1.08% รองลงมาคือตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและพัมมิซที่มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากันคือ 0.98% ส่วนตำรับควบคุม มูลวัว และทรายหยาบ มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่าตำรับก่อนหน้านี้ที่กล่าวมาคือ 0.87, 0.86 และ 0.81% ตามลำดับ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้อยู่ที่ 3.1 mgP kg^{-1} ลดลงจากดินก่อนการทดลอง (6.18 mgP kg^{-1}) จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่พัมมิซส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 4.5 mgP kg^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ใส่มูลไก่ที่ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินคือ 3.7 mgP kg^{-1} ขณะที่ตำรับควบคุม ถ่านชีวภาพ มูลวัว และทรายหยาบ ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินอยู่ในช่วง 2.1-2.9 mgP kg^{-1} แต่อย่างไรก็ตามทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 51 mgK kg^{-1} จากการทดลองตำรับที่ใส่พัมมิซมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงกว่าตำรับอื่นๆ โดยมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้คือ 59 mgK kg^{-1} ส่วนตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 44 mgK kg^{-1}

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 10,207 mgCa kg^{-1} จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับควบคุมมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 11,123 mgCa kg^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ใส่พัมมิซ ถ่านชีวภาพ และมูลวัว มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 10,756, 10,277 และ 10,030 mgCa kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 9,393 mgCa kg^{-1} ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 219 mgMg kg^{-1} ซึ่งตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงกว่าทุกตำรับการทดลองคือ 310 mgMg kg^{-1} ส่วนตำรับที่รองลงมาตามลำดับคือ ตำรับที่ใส่มูลวัว ทรายหยาบ และพัมมิซ มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้คือ 242, 216 และ 206 mgMg kg^{-1} ขณะที่ตำรับถ่านชีวภาพมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 168 mgMg kg^{-1} ตามลำดับ แต่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณธาตุอาหารเสริมในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 6.13 mgFe kg^{-1} จากการทดลองจะเห็นได้ว่าตำรับทรายหยาบมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 7.1 mgFe kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับตำรับควบคุม

ที่มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้คือ 7.0 mgFe kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลไก่ มูลวัว และพัมมิซ มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้อยู่ในช่วง 5.2-6.2 mgFe kg^{-1} ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 11.07 mgMn kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้สูงกว่าตำรับอื่นคือ 11.7 mgMn kg^{-1} ตำรับที่มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินรองลงมาคือ ตำรับที่ใส่มูลไก่และมูลวัว มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินคือ 11.3 และ 10.8 mgMn kg^{-1} ขณะที่ตำรับควบคุม ถ่านชีวภาพ และพัมมิซ มีปริมาณแมงกานีสต่ำกว่าตำรับอื่น คือมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ 9.6, 8.6 และ 8.4 mgMn kg^{-1} ตามลำดับ ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณทองแดงที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 3.49 mgCu kg^{-1} โดยตำรับควบคุมมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 3.83 mgCu kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 2.84 mgCu kg^{-1} แต่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 1.17 mgZn kg^{-1} จากการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้สูงใกล้เคียงกับตำรับควบคุม โดยตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้สูงสุดคือ 1.46 mgZn kg^{-1} ส่วนตำรับควบคุมมีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้คือ 1.44 mgZn kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลวัว พัมมิซ และทรายหยาบ มีสังกะสีที่สกัดได้อยู่ในช่วง 0.96-1.12 mgZn kg^{-1} (ตารางที่ 3)

Table 3 Soil chemical properties after soil amendment applied at 3 months

Treatment	pH	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
			(---------- mg kg^{-1} ----------)							
Top soil (0-15)										
Control	8.15 a	1.31	6.3 bc	85 abc	10,648	352	6.5	5.5 b	3.9	1.21
Biochar	8.21 a	1.29	9.9 b	88 ab	10,257	438	5.8	4.8 b	3.43	0.84
CKM	8.14 a	1.49	30.8 a	102 a	9,608	502	6.5	9.1 a	3.27	1.55
CM	8.12 a	1.43	18.7 ab	91 a	10,134	382	7.0	6.4 b	3.57	1.13
Pumice	7.68 b	1.44	18.0 ab	65 c	16,693	354	4.3	4.1 b	3.72	0.79
Sand	8.18 a	1.14	5.3 c	67 bc	9,305	354	6.7	5.3 b	3.22	0.76
mean	8.08	1.35	14.8	83	11,108	397	6.13	5.87	3.51	1.05
%CV	1.68	20.58	36.90	18.40	37.85	29.23	23.32	30.34	23.85	51.18
F-test	**	ns	**	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
Subsoil (15-30 cm)										
Control	8.16 a	0.87	2.7	44	11,123	168	7.0	9.6	3.83	1.44
Biochar	8.25 a	0.98	2.7	55	10,277	174	5.2	8.6	2.84	1.06
CKM	8.15 a	1.08	3.7	52	9,665	310	6.2	11.3	3.78	1.46
CM	8.15 a	0.86	2.9	50	10,030	242	5.5	10.8	3.45	0.98
Pumice	7.85 b	0.98	4.5	59	10,756	206	5.8	8.4	3.72	1.12
Sand	8.22 a	0.81	2.1	46	9,393	216	7.1	11.7	3.29	0.96
mean	8.13	0.93	3.1	51	10,207	219	6.13	11.07	3.49	1.17
%CV	1.51	30.73	35.24	21.97	9.47	34.14	24.83	25.25	19.29	31.14
F-test	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, **=0.01, *=0.05 and ns=non-significant. Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

สมบัติทางเคมีของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 6 เดือน

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 6 เดือน ที่ความลึก 0-15 cm พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเฉลี่ยอยู่ที่ 7.98 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงจากดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3 เดือน เพียงเล็กน้อย (8.08) โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุดคือ 8.13 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม มูลวัว และทรายหยาบ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 8.05, 8.00 และ 8.09 ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดคือ 7.73 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลไก่ ($P<0.05$)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่าอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจากเดิมหลังจากที่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3 เดือน โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยอยู่ที่ 1.35% เพิ่มเป็น 4.03% ในดินหลังทำการทดลอง 6 เดือน จากการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดคือ 2.49% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับที่ใส่ถ่านชีวภาพ ขณะที่ตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือ 1.43% ($P<0.05$)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพิ่มสูงขึ้นจากดินที่ทำการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3 เดือน จากปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ย 14.8 mgP kg^{-1} เป็น 56 mgP kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดของทุกตำรับการทดลอง โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 129 mgP kg^{-1} ส่วนตำรับที่ตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ 32 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม ถ่านชีวภาพ มูลไก่ และทรายหยาบ ($P<0.01$) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าดินหลังการทดลองมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 103 mgK kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มจากเดิมที่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3 เดือน (83 mgK kg^{-1}) โดยตำรับที่ใสถ่านชีวภาพทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 172 mgK kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลไก่ที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ที่ 154 mgK kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ 56 mgK kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลวัวและพัมมิซ ($P<0.05$)

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 13,126 mgCa kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากการทดลองที่ 3 เดือน (11,108 mgCa kg^{-1}) จากการทดลองตำรับที่ใส่พัมมิซมีแนวโน้มทำให้มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 14,741 mgCa kg^{-1} อย่างไรก็ตามทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 215 mgMg kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากการทดลอง 3 เดือน (199 mgMg kg^{-1}) โดยตำรับที่มีการใส่ถ่านชีวภาพทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด

คือ 293 mgMg kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม มูลไก่ และมูลวัว ที่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่ที่ 260, 266 และ 177 mgMg kg^{-1} ($P<0.01$) ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 146 mgMg kg^{-1}

ปริมาธาตุอาหารเสริมในดิน พบว่ามีปริมาณเหล็กที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 8.6 mgFe kg^{-1} โดยตำรับควบคุมมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 9.7 mgFe kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่มูลไก่และมูลวัวมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินรองจากตำรับควบคุม คือ 9.1 mgFe kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและพัมมิซทำให้มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินต่ำกว่าตำรับอื่นคือ 7.5 และ 7.7 mgFe kg^{-1} ตามลำดับ ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 10.1 mgMn kg^{-1} ซึ่งตำรับที่ใส่มูลวัวมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 12.3 mgMn kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ 8.2 mgMn kg^{-1} ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.87 mgCu kg^{-1} จากการทดลองตำรับที่ใส่ทรายหยาบมีปริมาณสูงที่สุดคือ 5.43 mgCu kg^{-1} รองลงมาคือตำรับควบคุมมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้คือ 5.00 mgCu kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่มูลวัวมีปริมาณทองแดงต่ำที่สุดคือ 4.15 mgCu kg^{-1} ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 3.38 mgZn kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่มีผลทำให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 9.43 mgZn kg^{-1} มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกตำรับการทดลอง ส่วนตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ 1.50 mgZn kg^{-1} ($P<0.01$)

ที่ระดับความลึก 15-30 cm พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเฉลี่ยอยู่ที่ 8.03 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจากดินหลังทดลอง 3 เดือน (8.13) โดยตำรับที่มีการใส่ถ่านชีวภาพทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงที่สุดคือ 8.17 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกตำรับการทดลอง ($P<0.05$) ยกเว้นตำรับที่ใส่พัมมิซทีทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำที่สุดคือ 7.80

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจากดินหลังทำการทดลอง 3 เดือน คือมีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยอยู่ที่ 0.93% เพิ่มขึ้นเป็น 1.24% ซึ่งจาการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดคือ 1.64% มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือ 0.94% ($P<0.05$) ทั้งสี่ตำรับดังกล่าวมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 1.08-1.27% ตามลำดับ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 26 mgP kg^{-1} ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นจากดินหลังทำการทดลอง 3 เดือน (3.1 mgP kg^{-1}) จากการทดลองตำรับที่ใส่

มูลไก่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 68 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ทรายหยาบที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินอยู่ที่ 31 mgP kg^{-1} อย่างไรก็ตามตำรับที่ใส่ทรายหยาบก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม ถ่านชีวภาพ มูลวัว และพัมมิซ ขณะที่ตำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 9 mgP kg^{-1} ($P<0.01$) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 68 mgK kg^{-1} เพิ่มขึ้นจากดินหลังทดลอง 3 เดือน (51 mgK kg^{-1}) ซึ่งตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 97 mgK kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลไก่และควบคุม ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 43 mgK kg^{-1} ($P<0.01$)

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 13,030 mgCa kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากดินหลังทำการทดลอง 3 เดือน (10,207 mgCa kg^{-1}) จากการทดลองตำรับควบคุมมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดคือ 14,150 mgCa kg^{-1} รองลงมาตำรับที่ใส่พัมมิซที่ทำให้มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ที่ 13,924 mgCa kg^{-1} ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จากดินหลังทดลอง 3 เดือน คือเพิ่มขึ้นจาก 110 mgK kg^{-1} เป็น 119 mgK kg^{-1} โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงเทียบเท่ากับตำรับควบคุมและมูลไก่ โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้ปริมาณแมกนีเซียมสูงที่สุดคือ 149 mgMg kg^{-1} ขณะที่ตำรับควบคุมและมูลไก่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 141 และ 149 mgMg kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 73 mgMg kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลวัวและพัมมิซ ($P<0.05$) ตามลำดับ

ปริมาณธาตุอาหารเสริมในดิน พบว่ามีปริมาณเหล็กที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 9.2 mgFe kg^{-1} โดยตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 9.8 mgFe kg^{-1} รองลงมาคือตำรับควบคุมและทรายหยาบที่มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินคือ 9.7 และ 9.6 mgFe kg^{-1} สำหรับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลวัว และพัมมิซ มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินในช่วงที่ใกล้เคียงกันคือ 8.5-8.9 mgFe kg^{-1} แต่อย่างไรก็ตามทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 11.6 mgMn kg^{-1} ซึ่งตำรับที่ใส่มูลวัวมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 13.5 mgMn kg^{-1} และรองลงมาคือตำรับที่ใส่มูลไก่ที่มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินอยู่ที่ 13.4 mgMn kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 8.9 mgMn kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณ

ทองแดงที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.80 mgCu kg^{-1} ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน พบว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 4.78 mgZn kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับการทดลอง ส่วนตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 1.20 mgZn kg^{-1} (ตารางที่ 4)

Table 4 Soil chemical properties after soil amendment applied at 6 months

Treatment	pH	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
			(---------- mg kg^{-1} ----------)							
Top soil (0-15)										
Control	8.05 ab	1.47 b	40 b	95 b	13,165	260 ab	9.7	8.3	5.00	1.50 b
Biochar	8.13 a	2.07 ab	51 b	172 a	12,848	293 a	7.5	9.4	4.93	2.18 b
CKM	7.88 bc	2.49 a	129 a	154 a	12,285	266 ab	9.1	11.9	4.85	9.43 a
CM	8.00 ab	1.43 b	39 b	82 bc	13,020	177 ab	9.1	12.3	4.15	3.08 b
Pumice	7.73 c	1.63 b	32 b	58 c	14,741	148 b	7.7	10.6	4.85	2.08 b
Sand	8.09 ab	1.71 b	44 b	56 c	12,698	146 b	8.4	8.2	5.43	2.03 b
mean	7.98	1.80	56	103	13,126	215	8.6	10.1	4.87	3.38
%CV	1.77	24.71	26.48	21.72	13.13	27.37	23.81	34.67	39.50	28.64
F-test	*	*	**	*	ns	**	ns	ns	ns	**
Subsoil (15-30 cm)										
Control	8.06 a	0.94 b	9 b	72 ab	14,150	141 a	9.7	9.3	5.10	1.20 b
Biochar	8.17 a	1.25 b	16 b	97 a	12,826	149 a	8.7	11.9	5.35	1.72 b
CKM	8.01 a	1.64 a	68 a	92 a	12,552	148 a	9.8	13.4	5.58	4.78 a
CM	8.09 a	1.08 b	16 b	55 b	12,151	101 ab	8.5	13.5	3.20	1.83 b
Pumice	7.80 b	1.27 b	14 b	49 b	13,924	104 ab	8.9	12.8	5.13	1.80 b
Sand	8.07 a	1.24 b	31 ab	43 b	12,580	73 b	9.6	8.9	4.45	1.65 b
mean	8.03	1.24	26	68	13,030	119	9.2	11.6	4.80	2.16
%CV	1.52	18.67	46.75	24.26	7.88	31.69	17.50	24.32	32.78	25.60
F-test	*	*	**	**	ns	*	ns	ns	ns	**

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, **=0.01, *=0.05 and ns=non-significant. Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

สมบัติทางเคมีของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 9 เดือน

หลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 9 เดือน ที่ความลึก 0-15 cm พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเฉลี่ยอยู่ที่ 7.96 ซึ่งลดลงจากการทดลอง 3 และ 6 เดือน โดยตำรับควบคุมทำให้ความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุดคือ 8.12 แต่ไม่มีความความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกตำรับการทดลอง ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซที่ทำให้ความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดคือ 7.64 ($P<0.05$)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยอยู่ที่ 1.58% ซึ่งลดลงจากดินหลังทดลอง 6 เดือน (1.80%) จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีแนวโน้มที่ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด 1.66% รองลงมาคือตำรับควบคุมและพัมมิซที่มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ที่ 1.59% ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกตำรับการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุที่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ 1.54-1.66% แต่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน พบมีปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยอยู่ที่ 29 mgP kg^{-1} จากการทดลองพบว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีผลทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 70 mgP kg^{-1} มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกตำรับการทดลอง ส่วนตำรับที่ใส่มูลวัวมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินรองจากตำรับที่ใส่มูลไก่คือ 32 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่พัมมิซ ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 14 mgP kg^{-1} ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดในดิน พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นจากการทดลอง 6 เดือน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 103 mgK kg^{-1} เพิ่มเป็น 113 mgK kg^{-1} ซึ่งตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 184 mgK kg^{-1} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกตำรับทดลองยกเว้นตำรับถ่านชีวภาพที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 127 mgK kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 78 mgK kg^{-1} ($P<0.01$)

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 11,903 mgCa kg^{-1} ซึ่งลดลงจากดินหลังทดลอง 6 เดือน (13,126 mgCa kg^{-1}) โดยตำรับที่ใส่พัมมิซมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 14,476 mgCa kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 10,804 mgCa kg^{-1} อย่างไรก็ตามทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 670 mgMg kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากการทดลอง 6 เดือน จะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพจะทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มสูงที่สุดคือ 928 mgMg kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่มูลไก่และมูลวัวมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินรองลงมาตำรับถ่านชีวภาพ คือมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ที่

707 และ 773 mgMg kg^{-1} สำหรับตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 433 mgMg kg^{-1} แต่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณธาตุอาหารเสริมในดิน พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 9.7 mgFe kg^{-1} โดยตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 10.5 mgFe kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 8.8 mgFe kg^{-1} ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 15.0 mgMn kg^{-1} ซึ่งตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด 17.2 mgMn kg^{-1} รองลงมาคือ ตำรับควบคุม พัมมิซ และมูลวัว ที่มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินอยู่ที่ 16.6, 15.6 และ 15.1 mgMn kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและทรายหยาบมีผลทำให้มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 13.3 และ 12.5 mgMn kg^{-1} ตามลำดับ ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.48 mgCu kg^{-1} ตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 5.21 mgCu kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 3.83 mgCu kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 1.38 mgZn kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 2.41 mgZn kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 0.94 mgZn kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระดับความลึก 15-30 cm พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเฉลี่ยอยู่ที่ 7.98 ซึ่งลดลงจากการทดลอง 6 เดือน (8.03) โดยตำรับควบคุมทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินสูงที่สุดคือ 8.16 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลไก่ มูลวัว และทรายหยาบ ($P<0.05$) ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำที่สุดคือ 7.67

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยอยู่ที่ 1.42% ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากการทดลอง 6 เดือน (1.24%) จากการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดคือ 1.82% แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับถ่านชีวภาพที่มีปริมาณอินทรียวัตถุรองลงมาคือ 1.73% ส่วนตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือ 1.14% ($P<0.01$)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 28 mgP kg^{-1} ซึ่งในการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงกว่าทุกตำรับการทดลอง โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 47 mgP kg^{-1} ซึ่งมีความ

แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับทดลองอื่นๆ ขณะที่ตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 5 mgP kg^{-1} ($P<0.01$) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 88 mgK kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการทดลอง 6 เดือน (68 mgK kg^{-1}) โดยตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 115 mgK kg^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 89 mgK kg^{-1} สำหรับตำรับควบคุม มูลวัว และทรายหยาบ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเท่ากันคือ 71 mgK kg^{-1} ส่วนตำรับพัมมิซมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 74 mgK kg^{-1} อย่างไรก็ตามทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 11,585 mgCa kg^{-1} จากการทดลองเห็นได้ว่าตำรับที่ใส่พัมมิซมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 12,731 mgCa kg^{-1} รองลงมาเป็นตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพที่ทำให้มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 12,016 mgCa kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 10,871 mgCa kg^{-1} ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 481 mgMg kg^{-1} โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงกว่าทุกตำรับการทดลอง โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 815 mgMg kg^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 609 mgMg kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบมีปริมารแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 302 mgMg kg^{-1}

ปริมาณธาตุอาหารเสริมในดิน พบว่ามีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินเฉลี่ย 11.1 mgFe kg^{-1} โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 12.5 mgFe kg^{-1} ตำรับรองจากถ่านชีวภาพคือตำรับควบคุมมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินคือ 12.1 mgFe kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 9.6 mgFe kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 16.4 mgMn kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองตำรับที่ใส่มูลวัวมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 18.8 mgMn kg^{-1} ตามด้วยตำรับควบคุมที่มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินคือ 17.6 mgMn kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 14.1 mgMn kg^{-1} ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.65 mgCu kg^{-1} จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 5.71 mgCu kg^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินคือ 5.06 mgCu

kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 4.02 mgCu kg^{-1} ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 0.97 mgZn kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 1.36 mgZn kg^{-1} ส่วนตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 0.82 mgZn kg^{-1} (ตารางที่ 5)

Table 5 Soil chemical properties after soil amendment applied at 9 months

Treatment	pH	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
			(---------- mg kg^{-1} ----------)							
Top soil (0-15)										
Control	8.12 a	1.59	16 c	99 b	11,599	605	9.9	16.6	5.21	1.25
Biochar	8.05 a	1.54	17 c	127 ab	11,642	928	9.4	13.3	4.26	1.29
CKM	7.96 a	1.66	70 a	184 a	10,804	707	10.5	17.2	4.40	2.41
CM	7.97 a	1.55	32 b	101 b	11,441	773	9.9	15.1	4.10	1.26
Pumice	7.64 b	1.59	22 bc	78 b	14,476	575	9.9	15.6	5.06	1.11
Sand	8.01 a	1.56	14 c	90 b	11,458	433	8.8	12.5	3.83	0.94
mean	7.96	1.58	29	113	11,903	670	9.7	15.0	4.48	1.38
%CV	2.00	21.43	25.02	25.18	15.67	46.53	26.87	23.62	32.14	59.34
F-test	*	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Subsoil (15-30 cm)										
Control	8.16 a	1.14 b	5 c	71	10,910	493	12.1	17.6	5.71	0.82
Biochar	8.03 a	1.73 a	8 c	89	12,016	815	12.5	14.1	5.06	1.06
CKM	7.99 a	1.82 a	47 a	115	11,433	609	10.1	16.4	4.02	1.36
CM	7.98 a	1.22 b	12 bc	71	11,551	308	11.1	18.8	4.40	0.86
Pumice	7.67 b	1.30 b	15 b	74	12,731	362	9.6	15.1	4.32	0.88
Sand	8.06 a	1.29 b	9 bc	71	10,871	302	11.3	16.6	4.37	0.83
mean	7.98	1.42	16	88	11,585	481	11.1	16.4	4.65	0.97
%CV	2.03	11.64	27.98	53.26	9.17	58.23	17.70	18.50	30.36	50.75
F-test	*	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, **=0.01, *=0.05 and ns=non-significant. Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

สมบัติทางเคมีของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 12 เดือน

หลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 12 เดือน ที่ความลึก 0-15 cm พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเฉลี่ยอยู่ที่ 7.94 ซึ่งลดลงจากการทดลอง 9 เดือนเล็กน้อย (7.96) โดยตำรับที่ใส่มูลไก่มีแนวโน้มทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินสูงที่สุดคือ 8.05 ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำที่สุดคือ 7.86 ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยอยู่ที่ 1.77% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการทดลองที่ 9 เดือน (1.58%) จากการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดคือ 2.04% รองลงมาคือตำรับที่ใส่มูลวัวที่มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ที่ 1.94% ส่วนตำรับควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือ 1.53%

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 29 mgP kg^{-1} ซึ่งจะเห็นได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ โดยตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 49 mgP kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกตำรับการทดลอง ส่วนตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 20 mgP kg^{-1} ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 136 mgK kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 171 mgK kg^{-1} รองลงมาเป็นตำรับมูลไก่และมูลวัวที่ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 153 และ 142 mgK kg^{-1} ส่วนตำรับควบคุมมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 109 mgK kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 8,885 mgCa kg^{-1} ซึ่งปริมาณลดลงจากการทดลอง 9 เดือน (11,903 mgCa kg^{-1}) โดยตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 9,434 mgCa kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่พัมมิซที่มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 9,033 mgCa kg^{-1} แต่ตำรับพัมมิซก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลไก่ มูลวัว และทรายหยาบ ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 8,558 mgCa kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลไก่ มูลวัว และพัมมิซ ($P<0.05$) ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 628 mgMg kg^{-1} โดยตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 677 mgMg kg^{-1} ขณะที่ตำรับควบคุมมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 585 mgMg kg^{-1}

ปริมาณธาตุอาหารเสริมในดิน พบว่ามีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 7.5 mgFe kg^{-1} โดยตำรับควบคุมมีแนวโน้มทำให้ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 8.2 mgFe kg^{-1} ส่วนตำรับที่

ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 6.4 mgFe kg^{-1} แต่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามลำดับ ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 13.5 mgMn kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 15.6 mgMn kg^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินคือ 14.3 mgMn kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 10.7 mgMn kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.29 mgCu kg^{-1} ซึ่งตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 4.83 mgCu kg^{-1} ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 3.69 mgCu kg^{-1} ตามลำดับ ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 1.15 mgZn kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 1.27 mgZn kg^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ใส่มูลไก่มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินคือ 1.23 mgZn kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 0.96 mgZn kg^{-1} แต่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระดับความลึก 15-30 cm พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเฉลี่ยอยู่ที่ 8.02 โดยตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินสูงที่สุดคือ 8.19 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและมูลวัว ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำที่สุดคือ 7.83 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและทรายหยาบ ($P<0.05$)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินพบว่ามีปริมาณเฉลี่ยอยู่ที่ 1.16% ซึ่งลดลงจากการทดลองที่ 9 เดือน (1.42%) โดยตำรับที่มีการใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดคือ 1.38% แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับถ่านชีวภาพ พัมมิซ และทรายหยาบ ซึ่งตำรับที่ใส่พัมมิซมีปริมาณอินทรียวัตถุรองจากตำรับถ่านชีวภาพคือ 1.26% ส่วนตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและทรายหยาบก็ไม่มีความแตกต่างกับตำรับควบคุมและมูลวัว ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือ 1.01% แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม ถ่านชีวภาพ และมูลวัว ($P<0.05$)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 10 mgP kg^{-1} ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 16 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ ขณะที่ตำรับถ่านชีวภาพก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับทรายหยาบ ส่วนตำรับที่ใส่มูลวัวและพัมมิซทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 7 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและทรายหยาบ ($P<0.01$) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 66 mgK

kg^{-1} โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 94 mgK kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลไก่และพัมมิซ สำหรับตำรับควบคุมทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 41 mgK kg^{-1} ($P<0.05$)

ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่ามีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 9,068 mgCa kg^{-1} ซึ่งตำรับที่ควบคุมมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 9,724 mgCa kg^{-1} รองลงมาคือตำรับที่ใส่พัมมิซมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินคือ 9,128 mgCa kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลไก่ มูลวัว และทรายหยาบ มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่ในช่วง 8,746-8,933 mgCa kg^{-1} แต่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 513 mgMg kg^{-1} ซึ่งตำรับที่มูลไก่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 547 mgMg kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 470 mgMg kg^{-1}

ปริมาณธาตุอาหารเสริมในดิน พบว่ามีปริมาณเหล็กที่สกัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 9.1 mgFe kg^{-1} โดยตำรับที่ใส่พัมมิซมีแนวโน้มทำให้ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 10.1 mgFe kg^{-1} รองลงมาคือตำรับควบคุมและถ่านชีวภาพที่มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินคือ 9.5 mgFe kg^{-1} ส่วนตำรับมูลไก่ มูลวัว และทรายหยาบ มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินในช่วง 8.3-8.8 mgFe kg^{-1} แต่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 16.8 mgMn kg^{-1} ซึ่งตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 22.2 mgMn kg^{-1} ส่วนตำรับควบคุมมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 14.1 mgMn kg^{-1} ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.92 mgCu kg^{-1} ซึ่งตำรับที่ใส่พัมมิซมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 5.62 mgCu kg^{-1} ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินทุกตำรับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ พบว่ามีปริมาณสังกะสีเฉลี่ยอยู่ที่ 0.67 mgZn kg^{-1} โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 0.79 mgZn kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซมีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 0.55 mgZn kg^{-1} (ตารางที่ 6)

Table 6 Soil chemical properties after soil amendment applied at 12 months

Treatment	pH	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
			(---------- mg kg^{-1} ----------)							
Top soil (0-15)										
Control	7.91	1.53	20 b	109	9,434 a	585	8.2	12.8	4.83	1.13
Biochar	7.91	1.78	25 b	171	8,854 b	677	7.7	13.8	4.51	1.13
CKM	8.05	2.04	49 a	153	8,588 b	597	7.8	14.3	4.04	1.23
CM	7.99	1.94	29 b	142	8,844 b	650	7.9	15.6	4.59	1.18
Pumice	7.90	1.76	23 b	129	9,033 ab	600	7.5	13.8	4.10	0.96
Sand	7.86	1.57	26 b	112	8,558 b	658	6.4	10.7	3.69	1.27
mean	7.94	1.77	29	136	8,885	628	7.5	13.5	4.29	1.15
%CV	2.95	25.73	39.17	42.07	3.95	23.39	25.80	25.66	26.81	34.91
F-test	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Subsoil (15-30 cm)										
Control	7.93 bc	0.97 b	8 c	41 c	9,724	496	9.5	14.1	5.34	0.76
Biochar	8.05 ab	1.15 ab	13 ab	94 a	8,901	547	9.5	15.9	5.28	0.79
CKM	8.19 a	1.38 a	16 a	70 abc	8,981	470	8.8	16.2	4.25	0.57
CM	8.15 a	1.19 ab	7 c	61 bc	8,933	509	8.6	17.5	4.43	0.61
Pumice	7.83 c	1.26 a	7 c	72 ab	9,128	512	10.1	22.2	5.62	0.55
Sand	7.94 bc	1.01 b	10 bc	54 bc	8,746	546	8.3	15.1	4.57	0.74
mean	8.02	1.16	10	66	9,068	513	9.1	16.8	4.92	0.67
%CV	1.67	13.42	20.53	24.64	5.97	35.57	27.80	27.20	43.28	22.76
F-test	*	*	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, *=0.05 and ns=non significant. Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

สมบัติทางกายภาพของดิน

สมบัติทางกายภาพของดินก่อนทดลอง

สมบัติทางกายภาพของดินก่อนทดลอง เพื่อทดสอบผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ที่ระดับความลึก 0-15 cm พบว่า ดินมีความหนาแน่นรวม 1.50 g cm^{-3} ส่วนความหนาแน่นอนุภาค 2.43 กรัม/ลบ.ซม ความพรุน 34.3% ความชื้นของดิน 35% ความคงทนของเม็ดดิน 44.8% และเนื้อดินเป็นดินเหนียว ส่วนที่ระดับความลึก 15-30 cm พบว่า ดินมีความหนาแน่นรวม 1.59 g cm^{-3} และความหนาแน่นอนุภาค 2.49 กรัม/ลบ.ซม ความพรุน 30.1% ความชื้นของดิน 37.1% ความคงทนของเม็ดดิน 46.5% และเนื้อดินเป็นดินเหนียว (ตารางที่ 7)

Table 7 Soil physicals properties before soil amendment application

Soil depth. (cm)	Bulk density (g/cm^3)	Soil moisture (%)	Soil aggregate stability (%)	Soil texture
Topsoil (0-15)	1.50	35.0	44.8	Clay
Subsoil (15-30)	1.59	37.1	46.5	Clay

สมบัติทางกายภาพของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน

สมบัติทางกายภาพของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3 เดือน

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3 เดือน ที่ระดับความลึก 0-15 cm พบว่าความหนาแน่นรวมของดิน ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.48 g cm^{-3} โดยตำรับที่มูลไก่ทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงที่สุดคือ 1.54 g cm^{-3} รองลงมาคือตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีความหนาแน่นรวมคือ 1.52 g cm^{-3} ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้ความหนาแน่นรวมของดินต่ำที่สุดคือ 1.44 g cm^{-3} ปริมาณความชื้นในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 37.4% ซึ่งจากการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้ดินมีความชื้นสูงที่สุดคือ 39.8% ส่วนตำรับควบคุมมีปริมาณความชื้นของดินรองจากตำรับมูลไก่คือ 38.1% ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้ดินมีความชื้นต่ำที่สุดคือ 35.4% ความคงทนของเม็ดดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความคงทนของเม็ดดินเฉลี่ยอยู่ที่ 28.7% ซึ่งตำรับควบคุมทำให้ความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดคือ 34.6% รองจากตำรับควบคุมคือตำรับที่ใส่พัมมิซและทรายหยาบทำให้ความคงทนของดินอยู่ที่ 31.6 และ 29.7% ขณะที่ตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้ดินมีความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดคือ 23.7% ส่วนการใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิด

ที่ระดับความลึก 15-30 cm พบว่า ความหนาแน่นรวมของดิน ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.59 g cm^{-3} ซึ่งตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้

ดินมีความหนาแน่นรวมสูงที่สุดคือ 1.68 g cm^{-3} ส่วนตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลวัว และทรายหยาบ มีความหนาแน่นรวมของดินรองจากตำรับมูลไก่คือ 1.64, 1.62 และ 1.61 g cm^{-3} ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมต่ำที่สุดคือ 1.48 g cm^{-3} ปริมาณความชื้นในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 34.8% จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับมูลไก่ทำให้ดินมีความชื้นสูงที่สุดคือ 37.6% รองจากตำรับมูลไก่คือตำรับทรายหยาบและพัมมิซที่ทำให้ดินมีความชื้นอยู่ที่ 36.1 และ 35.8% ส่วนตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้ดินมีความชื้นต่ำที่สุดคือ 33.1% ความคงทนของเม็ดดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความคงทนของเม็ดดินเฉลี่ยอยู่ที่ 27.7% ซึ่งตำรับควบคุมทำให้ดินมีความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดคือ 34.8% รองลงมาคือตำรับที่ใส่พัมมิซที่ทำให้ดินมีความคงทนของเม็ดดินคือ 29.4% ขณะที่ตำรับที่ใส่มูลวัวมีความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดคือ 23.3% ส่วนตำรับถ่านชีวภาพ มูลไก่ และทรายหยาบ มีความคงทนของเม็ดดินอยู่ในช่วง 25.2-27.8% ขณะที่การใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดิน ซึ่งดินที่ความลึก 0-15 และ 15-30 cm เป็นดินเหนียว (ตารางที่ 8)

Table 8 Soil physical properties after soil amendment applied at 3 months

Treatment	Bulk density (g/cm^3)	Soil moisture (%)	Soil aggregate stability (%)	Soil texture
		Top soil (0-15 cm)		
Control	1.47	38.1	34.6	Clay
Biochar	1.46	37.8	28.0	Clay
CKM	1.54	39.8	23.7	Clay
CM	1.48	36.2	24.9	Clay
Pumice	1.44	37.5	31.6	Clay
Sand	1.52	35.4	29.7	Clay
Grand mean	1.48	37.4	28.7	
C.V. (%)	8.88	12.36	20.77	
F-test	ns	ns	ns	
		Sub soil (15-30 cm)		
Control	1.55	34.9	34.8	Clay
Biochar	1.64	31.4	27.8	Clay
CKM	1.68	37.6	26.2	Clay
CM	1.62	33.1	23.3	Clay
Pumice	1.48	35.8	29.4	Clay
Sand	1.61	36.1	25.2	Clay
Grand mean	1.59	34.8	27.7	
C.V. (%)	6.78	15.52	20.19	
F-test	ns	ns	ns	

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, ns=non-significant, Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

สมบัติทางกายภาพของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 6 เดือน

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 6 เดือน ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ โดยมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.55 g cm^{-3} ซึ่งตำรับใส่มูลวัว พัมมิซ และทรายหยาบ มีความ

หนาแน่นรวมสูงที่สุดคือ 1.57 g cm^{-3} รองลงมาคือตำรับถ่านชีวภาพและควบคุมทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมอยู่ที่ 1.53 และ 1.50 g cm^{-3} ตามลำดับ ส่วนตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมต่ำที่สุดคือ 1.49 g cm^{-3} ความชื้นของดิน พบว่ามีความชื้นของดินเฉลี่ยอยู่ที่ 23% โดยตำรับที่ใส่มูลไก่มีความชื้นสูงที่สุดคือ 24.5% ส่วนตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและพัมมิซทำให้ดินมีความชื้นรองจากตำรับมูลไก่คือ 24.3 และ 24.4% สำหรับตำรับควบคุม มูลวัว และทรายหยาบ มีปริมาณความชื้นของดินอยู่ในช่วง 21.1-22.2% แต่อย่างไรก็ตามทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ความคงทนของเม็ดดิน พบว่ามีความคงทนของเม็ดดินเฉลี่ยอยู่ที่ 33.5% โดยการใส่ถ่านชีวภาพทำให้ความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุด เท่ากับ 46.7% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม มูลไก่และมูลวัว ส่วนการใส่ทรายหยาบทำให้ความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดคือ 30.1% แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลไก่ มูลวัว และพัมมิซ ($P>0.01$) และการใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้เนื้อดินมีความแตกต่างกัน

ส่วนที่ระดับความลึก 15-30 cm พบว่าความหนาแน่นรวมของดินทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ โดยมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.63 g cm^{-3} ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าตำรับที่ใส่มูลวัวและทรายหยาบทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมสูงที่สุดคือ 1.65 g cm^{-3} ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมต่ำที่สุดคือ 1.52 g cm^{-3} ปริมาณความชื้นในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความชื้นของดินเฉลี่ยอยู่ที่ 23.6% ซึ่งตำรับที่ใส่มูลไก่มีความชื้นสูงที่สุดคือ 25.1% รองลงมาคือตำรับที่ใส่มูลวัวและถ่านชีวภาพที่ทำให้ดินมีความชื้นอยู่ที่ 24.8 และ 24.5% ตามลำดับ ส่วนตำรับควบคุม พัมมิซ และทรายหยาบ มีปริมาณความชื้นของดินอยู่ที่ 21.8-23.1% ความคงทนของเม็ดดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความคงทนของเม็ดดินเฉลี่ยอยู่ที่ 35.7% ซึ่งตำรับควบคุมทำให้ความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดคือ 40.5% รองจากตำรับควบคุมคือตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและทรายหยาบที่ทำให้ดินมีความคงทนของเม็ดดินอยู่ที่ 37.3 และ 37.7% ขณะที่ตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้ความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดคือ 30.4% สำหรับการใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดิน ซึ่งดินทั้งระดับความลึก 0-15 และ 15-30 cm เป็นดินเหนียว (ตารางที่ 9)

Table 9 Soil physical properties after soil amendment applied at 6 months

Treatment	Bulk density (g/cm^3)	Soil moisture (%)	Soil aggregate stability (%)	Soil texture
		Top soil (0-15 cm)		
Control	1.50	21.6	44.3 a	Clay
Biochar	1.53	24.3	46.7 a	Clay
CKM	1.49	24.5	35.9 ab	Clay
CM	1.57	22.2	34.4 ab	Clay
Pumice	1.57	24.4	31.3 b	Clay
Sand	1.57	21.1	30.1 b	Clay
Grand mean	1.55	23.0	37.1	
C.V. (%)	9.52	16.74	16.03	
F-test	ns	ns	**	
		Sub soil (15-30 cm)		
Control	1.59	22.1	40.5	Clay
Biochar	1.60	24.5	37.3	Clay
CKM	1.61	25.1	33.7	Clay
CM	1.65	24.8	30.4	Clay
Pumice	1.52	23.1	34.6	Clay
Sand	1.65	21.8	37.7	Clay
Grand mean	1.63	23.6	35.7	
C.V. (%)	7.64	18.81	26.22	
F-test	ns	ns	ns	

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, **=0.01 and ns=non-significant, Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

สมบัติทางกายภาพของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 9 เดือน

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 9 เดือน ที่ระดับความลึก 0-15 cm พบว่าความหนาแน่นรวมของดิน ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.48 g cm^{-3} ซึ่งจากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับมูลไก่ทำให้มีความ

หนาแน่นรวมของดินสูงที่สุดคือ 1.57 g cm^{-3} รองลงมาคือตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมอยู่ที่ 1.54 g cm^{-3} ขณะที่ตำรับควบคุมทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมต่ำที่สุดคือ 1.41 g cm^{-3} ปริมาณความชื้นในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 28.7% ซึ่งตำรับที่ใส่มูลไก่มีความชื้นของดินสูงที่สุดคือ 30.2% เทียบท่ากับตำรับที่ใส่ทรายหยาบที่ทำให้ดินมีความชื้นอยู่ที่ 30.1% ขณะที่ตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้ดินมีความชื้นต่ำที่สุดคือ 25.9% ความคงทนของเม็ดดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความคงทนของเม็ดดินเฉลี่ยอยู่ที่ 53.5% ซึ่งตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้ความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดคือ 58.3% รองจากตำรับพัมมิซคือตำรับควบคุมที่ทำให้มีความคงทนของเม็ดดินอยู่ที่ 56.1% ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้ความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดคือ 49.2% สำหรับตำรับถ่านชีวภาพ มูลไก่ และมูลวัว มีความคงทนของเม็ดดินอยู่ในช่วง 51.5-53.2% ส่วนการใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดิน

ที่ระดับความลึก 15-30 cm พบว่าความหนาแน่นรวมของดิน ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.64 g cm^{-3} ซึ่งตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมสูงที่สุดคือ 1.74 g cm^{-3} รองลงมาคือตำรับที่ใส่พัมมิซที่ทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมคือ 1.72 g cm^{-3} ปริมาณความชื้นในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 31.6% ซึ่งจะเห็นได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีความชื้นสูงที่สุดคือ 34.4% ส่วนตำรับที่รองจากตำรับมูลไก่คือตำรับควบคุมและถ่านชีวภาพที่ทำให้ดินมีความชื้นอยู่ที่ 33.0 และ 32.9% ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้ดินมีความชื้นต่ำที่สุดคือ 29.2% ความคงทนของเม็ดดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความคงทนของเม็ดดินเฉลี่ยอยู่ที่ 54.9% จากการทดลองจะเห็นว่าตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้ความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดคือ 57.5% ส่วนตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้ความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดคือ 50.2% ขณะที่ตำรับควบคุม ทรายหยาบ และมูลไก่ มีความคงทนของเม็ดดินรองจากตำรับถ่านชีวภาพคือ 57.1, 56.8 และ 55.8% ตามลำดับ แต่การใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดิน ซึ่งดินที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 cm เป็นดินเหนียว (ตารางที่ 10)

Table 10 Soil physical properties after soil amendment applied at 9 months

Treatment	Bulk density (g/cm^3)	Soil moisture (%)	Soil aggregate stability (%)	Soil texture
		Top soil (0-15 cm)		
Control	1.41	28.4	56.1	Clay
Biochar	1.47	29.6	53.2	Clay
CKM	1.57	30.2	52.9	Clay
CM	1.46	28.1	51.5	Clay
Pumice	1.47	25.9	58.3	Clay
Sand	1.54	30.1	49.2	Clay
Grand mean	1.48	28.7	53.5	
C.V. (%)	7.56	6.86	10.70	
F-test	ns	ns	ns	
		Sub soil (15-30 cm)		
Control	1.60	33.0	57.1	Clay
Biochar	1.57	32.9	57.5	Clay
CKM	1.66	34.4	55.8	Clay
CM	1.55	29.5	50.2	Clay
Pumice	1.72	30.6	52.5	Clay
Sand	1.74	29.2	56.8	Clay
Grand mean	1.64	31.6	54.9	
C.V. (%)	8.78	12.39	11.25	
F-test	ns	ns	ns	

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, ns=non-significant, Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

สมบัติทางกายภาพของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 12 เดือน

จากการศึกษาหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 12 เดือน ที่ระดับความลึก 0-15 cm พบว่าความหนาแน่นรวมของดิน ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.53 g cm^{-3} ซึ่งตำรับที่มีการใส่ทรายหยาบทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมสูงที่สุดคือ 1.57 g cm^{-3} รองลงมา

คือตำรับควบคุมที่ทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมอยู่ที่ 1.55 g cm^{-3} ส่วนตำรับที่ใส่มูลไก่และมูลวัวทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมต่ำที่สุดคือ 1.50 g cm^{-3} ปริมาณความชื้นในดิน พบว่ามีปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 24.7% ซึ่งตำรับที่มีการใส่มูลไก่ทำให้ดินมีความชื้นสูงที่สุดคือ 27.8% แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพที่ทำให้ดินมีความชื้นอยู่ที่ 25.3% ส่วนการใส่ทรายทำให้ดินมีความชื้นต่ำที่สุดคือ 23.1% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม มูลไก่ และพัมมิซ ($P<0.05$) ความคงทนของเม็ดดิน พบว่ามีความคงทนของเม็ดดินเฉลี่ยอยู่ที่ 36.2% โดยตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพทำให้ความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดคือ 41.8% แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและพัมมิซ ซึ่งตำรับควบคุมทำให้มีความคงทนของเม็ดดินรองจากตำรับถ่านชีวภาพคือ 40.2% ส่วนตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้ความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดคือ 30.8% แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับที่ใส่มูลไก่และทราย ขณะที่การใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับการทดลองไม่ทำให้เนื้อดินมีการเปลี่ยน

ส่วนที่ระดับความลึก 15-30 cm พบว่าความหนาแน่นรวมของดิน ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.58 g cm^{-3} จากการทดลองตำรับควบคุมและทรายหยาบมีแนวโน้มทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมสูงที่สุดคือ 1.64 g cm^{-3} ส่วนตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลไก่ มูลวัว และพัมมิซ มีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 1.54-1.57 g cm^{-3} ปริมาณความชื้นในดินพบว่ามีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 27.2% จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีความชื้นสูงที่สุดคือ 29.4% รองลงมาคือตำรับที่ใส่พัมมิซที่ทำให้ดินมีความชื้นอยู่ที่ 29.1% ขณะที่ตำรับควบคุมทำให้ดินมีความชื้นต่ำที่สุดคือ 24.2% อย่างไรก็ตามทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ความคงทนของเม็ดดิน พบว่าทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความคงทนของเม็ดดินเฉลี่ยอยู่ที่ 35.7% ซึ่งจะเห็นได้ว่าตำรับควบคุมมีความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดคือ 40.4% รองจากตำรับควบคุมคือตำรับที่ใส่ทรายหยาบและถ่านชีวภาพที่ทำให้มีความคงทนของเม็ดดินอยู่ที่ 37.7 และ 37.2% ขณะที่ตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้มีความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดคือ 30.4% ขณะที่การใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับไม่ทำให้เนื้อดินมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม โดยดินที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 cm เป็นดินเหนียว (ตารางที่ 11)

Table 11 Soil physical properties after soil amendment applied at 12 months

Treatment	Bulk density (g/cm^3)	Soil moisture (%)	Soil aggregate stability (%)	Soil texture
		Top soil (0-15 cm)		
Control	1.55	23.5 b	40.2 a	Clay
Biochar	1.53	25.3 a	41.8 a	Clay
CKM	1.50	27.8 a	32.9 bc	Clay
CM	1.50	23.5 b	30.8 c	Clay
Pumice	1.52	24.8 b	39.5 ab	Clay
Sand	1.57	23.1 b	32.7 bc	Clay
Grand mean	1.53	24.7	36.2	
C.V. (%)	5.85	7.99	13.02	
F-test	ns	*	*	
		Sub soil (15-30 cm)		
Control	1.64	24.2	40.4	Clay
Biochar	1.54	26.8	37.2	Clay
CKM	1.56	29.4	33.7	Clay
CM	1.55	27.5	30.4	Clay
Pumice	1.57	29.1	34.5	Clay
Sand	1.64	26.2	37.7	Clay
Grand mean	1.58	27.2	35.7	
C.V. (%)	5.03	11.02	26.22	
F-test	ns	ns	ns	

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, *=0.05 and ns=non-significant, Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

สมบัติทางชีวภาพของดิน

ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีทในดินก่อนทำการทดลอง

สมบัติทางชีวภาพของดินก่อนทำการทดลอง เพื่อทดสอบผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีทในดิน พบว่ามีปริมาณแบคทีเรีย 0.33×10^{6} CFU g^{-1} soil ส่วนปริมาณเชื้อรา 3.67×10^{3} CFU g^{-1} soil และปริมาณแอคติโนมัยซีท 0.67×10^{6} CFU g^{-1} soil (ตารางที่ 12)

Table 12 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete before soil amendment application

Soil depth	Bacteria	Fungi	Actinomysite
	(---------- CFU g^{-1} ----------)		
0-10 cm	0.33×10^{6}	3.67×10^{3}	0.67×10^{6}

ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีทในดิน หลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 3 เดือน

จากการศึกษาการใช้วัสดุปรับปรุงดินต่อปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีท ช่วง 3 เดือนแรก พบว่ามีปริมาณเชื้อแบคทีเรียเฉลี่ยอยู่ที่ 1.19×10^{6} CFU g^{-1} soil จากการทดลองจะเห็นได้ว่าตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียในดินสูงที่สุดคือ 1.83×10^{6} CFU g^{-1} soil ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม ถ่านชีวภาพ และมูลไก่ ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียในดินต่ำที่สุดคือ 0.48×10^{6} CFU g^{-1} soil ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและทรายหยาบ ($P<0.01$) ปริมาณเชื้อราในดิน พบว่ามีปริมาณเชื้อราเฉลี่ยอยู่ที่ 2.83×10^{3} CFU g^{-1} soil ซึ่งในการทดลองใส่วัสดุปรับปรุงดินจะพบว่าตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณเชื้อราในดินสูงที่สุดคือ 4.91×10^{3} CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพที่มีปริมาณเชื้อราอยู่ที่ 4.66×10^{3} CFU g^{-1} soil ขณะที่ตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณเชื้อราในดินต่ำที่สุดคือ 1.11×10^{3} CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม มูลวัว และพัมมิซ ($P<0.01$) ปริมาณแอคติโนมัยซีทในดิน พบว่ามีปริมาณแอคติโนมัยซีทเฉลี่ย 1.39×10^{5} CFU g^{-1} soil จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่ทรายหยาบมีปริมาณแอคติโนมัยซีทสูงที่สุดคือ 1.66×10^{5} CFU g^{-1} soil รองลงมาคือตำรับที่ใส่มูลวัวและมูลไก่ที่มีปริมาณแอคติโนมัยสิทอยู่ที่ 1.47×10^{5} และ 1.46×10^{5} CFU g^{-1} soil ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณแอคติโนมัยซีทต่ำที่สุดคือ 1.00×10^{5} CFU g^{-1} soil แต่อย่างไรก็ตามทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 13)

Table 13 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete after soil amendment applied at 3 months

Treatment	Bacteria	Fungi	Actinomycete
		(CFU g^{-1} soil)	
Control	1.33×10^{6} ab	2.58×10^{3} b	1.41×10^{5}
Biochar	1.49×10^{6} a	4.66×10^{3} a	1.33×10^{5}
CKM	1.50×10^{6} a	4.91×10^{3} a	1.46×10^{5}
CM	1.83×10^{6} a	1.53×10^{3} b	1.47×10^{5}
Pumice	0.48×10^{6} b	2.20×10^{3} b	1.00×10^{5}
Sand	0.50×10^{6} b	1.11×10^{3} b	1.66×10^{5}
Mean	1.19×10^{6}	2.83×10^{3}	1.39×10^{5}
%CV	37.06	31.06	27.77
F-test	**	**	ns

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, **=0.01 and ns=non-significant, Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีทในดิน หลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 6 เดือน

หลังทำการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 6 เดือน พบว่ามีปริมาณเชื้อแบคทีเรียเฉลี่ยอยู่ที่ 2.19×10^{6} CFU g^{-1} soil จากการทดลองจะเห็นได้ว่าตำรับที่ใส่มูลวัวมีปริมาณแบคทีเรียในดินสูงที่สุดคือ 3.91×10^{6} CFU g^{-1} soil ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและมูลไก่ ซึ่งตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและมูลไก่มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียอยู่ที่ 2.83×10^{6} CFU g^{-1} soil แต่ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณแบคทีเรียต่ำที่สุดคือ 0.76×10^{6} CFU g^{-1} soil ($P<0.01$) ปริมาณเชื้อราในดิน พบว่ามีปริมาณเชื้อราเฉลี่ยอยู่ที่ 1.42×10^{4} CFU g^{-1} soil ซึ่งตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณเชื้อราในดินสูงที่สุดคือ 2.20×10^{4} CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพ มูลวัว และพัมมิซ ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณเชื้อราในดินต่ำที่สุดคือ 0.75×10^{4} CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม มูลวัว และพัมมิซ สำหรับตำรับควบคุม มูลไก่ มูลวัว และพัมมิซ มีปริมาณเชื้อราอยู่ในช่วง $1.00\text{-}1.93\times10^{4}$ CFU g^{-1} soil ($P<0.01$) ปริมาณแอคติโนมัยซีทในดิน พบว่ามีปริมาณแอคติโนมัยซีทเฉลี่ยอยู่ที่ 1.94×10^{5} CFU g^{-1} soil ซึ่งจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่มูลไก่มีผลทำให้มีปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินสูงที่สุดคือ 2.73×10^{5} CFU g^{-1} soil ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตำรับควบคุมและมูลวัวที่มี

ปริมาณแอคติโนมัยสิทอยู่ที่ 2.16×10^5 CFU และ 2.30×10^5 CFU g^{-1} soil ส่วนตำรับที่ใส่พัมมิซทำให้มีปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินต่ำที่สุดคือ 1.41×10^5 CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม ถ่านชีวภาพ และทรายหยาบ ($P<0.05$) (ตารางที่ 14)

Table 14 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete after soil amendment applied at 6 months

Treatment	Bacteria	Fungi	Actinomycete
		(CFU g^{-1} soil)	
Control	2.00×10^6 bc	1.00×10^4 bc	2.16×10^5 abc
Biochar	2.83×10^6 ab	1.93×10^4 ab	1.66×10^5 bc
CKM	2.83×10^6 ab	2.20×10^4 a	2.73×10^5 a
CM	3.91×10^6 a	1.32×10^4 abc	2.30×10^5 ab
Pumice	0.76×10^6 c	1.33×10^4 abc	1.41×10^5 c
Sand	0.83×10^6 c	0.75×10^4 c	1.59×10^5 bc
Mean	2.19×10^6	1.42×10^4	1.94×10^5
%CV	33.49	35.22	28.70
F-test	**	**	*

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, **=0.01 and *=0.05, Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีทในดิน หลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 9 เดือน

หลังทำการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 9 เดือน พบว่ามีปริมาณเชื้อราเฉลี่ยอยู่ที่ 2.92×10^6 CFU g^{-1} soil จากการทดลองจะเห็นว่าตำรับที่ใส่มูลวัวทำให้มีปริมาณแบคทีเรียในดินสูงที่สุดคือ 5.16×10^6 CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลไก่ที่มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียอยู่ที่ 4.33×10^6 CFU g^{-1} soil ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียต่ำที่สุดคือ 0.92×10^6 CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่พัมมิซ ($P<0.01$) ปริมาณเชื้อราในดินพบว่ามีปริมาณเชื้อราเฉลี่ยอยู่ที่ 2.84×10^4 CFU g^{-1} soil โดยการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณเชื้อราในดินสูงที่สุดคือ 4.69×10^4 CFU g^{-1} soil ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและมูลวัว ซึ่งตำรับที่ใส่มูลไก่และมูลวัวมีปริมาณเชื้อราอยู่ที่ 3.83×10^4 CFU และ 3.25×10^4 CFU g^{-1} soil ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณเชื้อราในดินต่ำที่สุดคือ 1.01×10^4

CFU g^{-1} soil ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและพัมมิซที่มีปริมาณเชื้อราอยู่ที่ 2.29×10^4 CFU และ 2.01×10^4 CFU g^{-1} soil ($P<0.01$) ตามลำดับ ปริมาณแอคติโนมัยสิทในดิน พบว่ามีปริมาณแอคติโนมัยสิทเฉลี่ยอยู่ที่ 2.13×10^6 CFU g^{-1} soil จากการทดลองจะเห็นว่าตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณแอคติโนมัยสิทในดินสูงที่สุดคือ 3.08×10^6 CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและมูลวัวที่มีปริมาณแอคติโนมัยสิทอยู่ที่ 2.59×10^6 CFU และ 3.07×10^6 CFU g^{-1} soil ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณแอคติโนมัยสิทในดินต่ำที่สุดคือ 0.96×10^6 CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและพัมมิซ ($P<0.01$) (ตารางที่ 15)

Table 15 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete after soil amendment applied at 9 months

Treatment	Bacteria	Fungi	Actinomycete
	(CFU g^{-1} soil)		
Control	2.77×10^6 b	2.29×10^4 bcd	1.91×10^6 bc
Biochar	3.00×10^6 b	3.83×10^4 ab	2.59×10^6 ab
CKM	4.33×10^6 a	4.69×10^4 a	3.08×10^6 a
CM	5.16×10^6 a	3.19×10^4 abc	3.07×10^6 a
Pumice	1.32×10^6 c	2.01×10^4 cd	1.16×10^6 c
Sand	0.92×10^6 c	1.01×10^4 d	0.96×10^6 c
Mean	2.92×10^6	2.84×10^4	2.13×10^6
%CV	20.91	28.69	21.59
F-test	**	**	**

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, **=0.01, Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีทในดิน หลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 12 เดือน

หลังทำการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 12 เดือน พบว่ามีปริมาณเชื้อแบคทีเรียเฉลี่ยอยู่ที่ 3.15×10^6 CFU g^{-1} soil ซึ่งการทดลองจะสังเกตได้ว่าตำรับที่ใส่มูลวัวมีปริมาณเชื้อแบคทีเรียในดินสูงที่สุดคือ 5.49×10^6 CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่มูลไก่ที่มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียอยู่ที่ 4.33×10^6 CFU g^{-1} soil ขณะที่ตำรับมูลไก่ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและ

ถ่านชีวภาพ ซึ่งตำรับควบคุมและถ่านชีวภาพมีปริมาณเชื้อแบคทีเรียอยู่ที่ 3.17×10^{6} CFU และ 3.25×10^{6} CFU g^{-1} soil ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณแบคทีเรียต่ำที่สุดคือ 1.08×10^{6} CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่พัมมิซ ($P<0.01$) ปริมาณเชื้อราในดิน พบว่ามีปริมาณเชื้อราเฉลี่ยอยู่ที่ 2.96×10^{5} CFU g^{-1} soil โดยตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณเชื้อราในดินสูงที่สุดคือ 4.74×10^{5} CFU g^{-1} soil ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและมูลวัวที่มีปริมาณเชื้อราอยู่ที่ 3.91×10^{5} CFU และ 3.25×10^{5} CFU g^{-1} soil ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณเชื้อราในดินต่ำที่สุดคือ 1.12×10^{5} CFU g^{-1} soil ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมและพัมมิซ ($P<0.01$) ปริมาณแอคติโนมัยซีทในดิน พบว่ามีปริมาณแอคติโนมัยซีทเฉลี่ยอยู่ที่ 2.36×10^{6} CFU g^{-1} soil ซึ่งจากการทดลองตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินสูงที่สุดคือ 3.40×10^{6} CFU g^{-1} soil ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตำรับที่ใส่ถ่านชีวภาพและมูลวัวที่มีปริมาณแอคติโนมัยสิทอยู่ที่ 2.91×10^{6} CFU และ 3.07×10^{6} CFU g^{-1} soil ส่วนตำรับที่ใส่ทรายหยาบทำให้มีปริมาณ แอคติโนมัยซีทในดินต่ำที่สุดคือ 1.07×10^{6} CFU g^{-1} soil แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับพัมมิซ ($P<0.01$) (ตารางที่ 16)

Table 16 Quantity of bacteria, fungi and actinomycete after add soil amendment applied at 12 months

Treatment	Bacteria	Fungi	Actinomycete
		(CFU g^{-1} soil)	
Control	3.17×10^{6} b	2.55×10^{5} bcd	2.18×10^{6} bc
Biochar	3.25×10^{6} b	3.91×10^{5} ab	2.91×10^{6} ab
CKM	4.33×10^{6} ab	4.74×10^{5} a	3.40×10^{6} a
CM	5.49×10^{6} a	3.25×10^{5} abc	3.07×10^{6} ab
Pumice	1.58×10^{6} c	2.16×10^{5} cd	1.50×10^{6} cd
Sand	1.08×10^{6} c	1.12×10^{5} d	1.07×10^{6} d
Mean	3.15×10^{6}	2.96×10^{5}	2.36×10^{6}
%CV	18.95	26.48	21.77
F-test	**	**	**

Note: Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD, **=0.01, Control, Biochar, Chicken manure (CKM), Cow manure (CM), Pumice and Sand

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อสมบัติของดินบางประการใต้ทรงพุ่มมะม่วง พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงทั้งดินระดับบนและดินระดับล่างจากดินก่อนการทดลอง หลังใส่พัมมิซลงในดินนาน 12 เดือน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่าเฉลี่ยของดินระดับบนอยู่ในช่วง 7.64-7.90 และระดับล่างอยู่ในช่วง 7.67-7.85 ลดลงจากดินก่อนทำการใส่วัสดุปรับปรุงดินคือ 8.00 ที่ดินระดับบน และ 8.07 ที่ดินระดับล่าง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ ผจงจิตต์ และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาการใช้ภูไมท์ซัลเฟตร่วมกันวัสดุอินทรีย์ท้องถิ่นในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินเนื้อปูนที่มีความเป็นด่างสูง พบว่าเมื่อใส่พัมมิซเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินให้เหมาะสม ช่วยทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง (7.0-7.1) นอกจากการใส่พัมมิซจะทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงแล้ว การใส่มูลวัวสามารถช่วยลดความเป็นกรด-ด่างของดินได้เช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Yadav and Thakare (2013) ที่ทำการใช้มูลวัวในการปรับปรุงดิน Alkaline โดยใส่มูลวัวเป็นเวลา 15 และ 40 วัน พบว่าการใส่มูลวัวสามารถช่วยลดความเป็นด่างของดินลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อใส่มูลวัวในอัตรา 200 g ต่อกระถาง จากการวิเคราะห์ดินของการทดลองจะเห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชถึงด่างปานกลาง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการปลูกมะม่วงควรอยู่ในช่วง 6.0-7.5 (กลุ่มงานศึกษาและพัฒนาการปลูกพืช, 2552)

สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญมากที่สุดของดิน ซึ่งอินทรียวัตถุเป็นสมบัติทางเคมีที่นำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์, 2544) ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุในดินตลอดระยะการทดลอง การใส่มูลไก่มีผลทำให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในดินทั้งสองระดับ ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุในดินอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) โดยดินระดับบนมีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยอยู่ที่ 1.89% และดินระดับล่างมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 1.48% ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ayeni and Adetunji (2010) ซึ่งทำการศึกษาเมื่อปี 2005 และ 2006 ในเขตป่าฝนทางตะวันออกเฉียงใต้ของไนจีเรีย พบว่าการใส่มูลไก่ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กในดินเพิ่มขึ้น และ Ewulo et al. (2008) ศึกษาผลของการเติมมูลสัตว์ปีกต่อความมีอยู่ของธาตุอาหารทางเคมีของดินและผลผลิตของมะเขือเทศ ในเขตอากูเรของไนจีเรียตะวันตกเฉียงใต้ พบว่าการใส่มูลไก่มีผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น ขณะที่ Agbede et al. (2017) ศึกษาผลของมูลสัตว์ต่อสมบัติทางเคมีของดินในป่าสะวันนา เขตตะวันตกเฉียงใต้ของไนจีเรีย พบว่าการใส่มูลสัตว์ปีกช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณธาตุอาหารในดินอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งการใส่วัสดุปรับปรุงดินในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์ช่วยทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลักและเสริมในดินเพิ่มขึ้น

ส่วนความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสามารถพิจารณาได้จากความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จากการทดลองการใช้วัสดุปรับปรุงดินทั้ง 12 เดือน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นจากดินก่อนทำการทดลองทั้งสองระดับความลึก ซึ่งทั้ง 12 เดือนของการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ การใส่มูลไก่ส่งผลทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงกว่าตำรับการทดลองอื่น โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้เพิ่มขึ้นจากดินก่อนการทดลอง โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ที่ดินระดับบนเฉลี่ยอยู่ที่ 69.5 mgP kg^{-1} และที่ดินระดับล่างเฉลี่ยอยู่ที่ 33.7 mgP kg^{-1} เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Nwite and Alu (2018) ทำการศึกษาการประเมินอัตรามูลไก่ที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติของดินและผลิตเม็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในเขตอบาคาลิคิของไนจีเรียตะวันออกเฉียงใต้ โดยใช้มูลไก่ 5 อัตรา คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 t ha^{-1} พบว่าเมื่อมีการใส่มูลไก่ในอัตรา 40 t ha^{-1} สามารถช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณไนโตรเจนได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม และจากการศึกษาของ วนิดา (2558) ได้ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยคอกมูลไก่และปุ๋ยน้ำหมักมูลสุกร ในการผลิตข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ โดยศึกษาในแปลงทดลองสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ และแปลงนาเกษตรกร ตำบลเมืองแฝก จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยคอกมูลไก่ในอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงที่สุด ส่วน Jamal et al. (2016) ทำการทดลองที่ฟาร์มทดลองของภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรของมหาวิทยาลัยโอมาร์เอล มุขตาร์ในเอลไบดา ลิเบีย เพื่อศึกษาผลของมูลไก่ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และการเจริญเติบโตของข้าวโพด พบว่าการใช้ปุ๋ยคอกมูลไก่ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินและการดูดธาตุอาหารของพืชข้าวโพด เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินดีขึ้น

สำหรับปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าเมื่อทำการใส่ถ่านชีวภาพครบ 12 เดือน สามารถช่วยให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นจากดินก่อนการทดลอง โดยดินที่ระดับบนมีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยอยู่ที่ 108 mgK kg^{-1} และที่ดินระดับล่างมีโพแทสเซียมเฉลี่ยอยู่ที่ 68 mgK kg^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับ Ullah et al. (2018) ทำการศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมีของดินที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพ 10 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น 10.7% หลังใส่ 120 วัน และ 10.3% หลังใส่ 60 วัน และ Yunilasari et al. (2020) ทำการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพและมูลวัวต่อคุณสมบัติทางเคมีและผลผลิตของถั่วลิสงในดิน Entisols พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพและมูลวัวสามารถเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจนทั้งหมด และเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ส่วน Yu et al. (2018) ใช้ถ่านชีวภาพจากมูลสัตว์ไก่ต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของผักโขม พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้า ความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ที่สกัดได้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อใส่ถ่านชีวภาพ 0.5 และ

1% แต่ขัดแย้งกับการศึกษาของ จาวภา และคณะ (2560) ที่ทำการศึกษาถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวนาหว่านน้ำตม (ในสภาพกระถาง) พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพมีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง

ส่วนปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน โดยภาพรวมแล้วพบว่าการใส่พัมมิซและมูลไก่ส่งผลทำให้มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับอื่น ๆ โดยหลังการใส่พัมมิซครบ 12 เดือน มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นทั้งดินระดับบน โดยมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยอยู่ที่ 13,735 mgCa kg^{-1} ซึ่งแคลเซียมจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของระบบรากและยอด และยังช่วยให้พืชมีลำต้นที่แข็งแรง เป็นตัวต้านฤทธิ์ของสารออกซิน ซึ่งเป็นฮอร์โมนเร่งการขยายตัวของเซลล์ อีกทั้งเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ในพืช และแคลเซียมในสภาพ Ca^{2+} จะไปทำลายความเป็นพิษของ Cu^{2+} ในพืช หากมากเกินไป (จีราภรณ์, 2557) สำหรับปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 12 เดือน ส่งผลทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการใส่ถ่านชีวภาพทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มสูงที่สุดทั้งดินระดับบนและดินระดับล่าง ในช่วงเดือนที่ 9 ที่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ที่ระดับดินบนและดินล่าง คือ 928 mgMg kg^{-1} และ 815 mgMg kg^{-1} แต่ปริมาณลดลงเล็กน้อยในเดือนที่ 12 ซึ่งมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ที่ระดับดินบนและดินล่าง คือ 677 mgMg kg^{-1} และ 547 mgMg kg^{-1} แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่ในระดับสูง (2,000-4,000 mgCa kg^{-1} และ 360-960 mgMg kg^{-1}) อยู่ในช่วงที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (นงลักษณ์, 2548) ซึ่ง Adekiya et al. (2020) ทำการศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพ มูลสัตว์ปีก และปุ๋ย NPK ต่อคุณสมบัติของดินและประสิทธิภาพของขิงในดินเขตร้อน Alfisol พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพรวมกับมูลสัตว์ปีกทำให้ปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงกว่าตำรับอื่น และการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลสัตว์ปีกยังช่วยลดความหนาแน่นของดินลง เพิ่มความพรุนและความชื้นในดินอีกด้วย

ปริมาณธาตุอาหารเสริมในดินซึ่งประกอบด้วย เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินตลอดช่วงการทดลอง ที่ดินระดับบนมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 7.98 mgFe kg^{-1} และที่ดินระดับล่างมีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินเฉลี่ย 8.88 mgFe kg^{-1} ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากดินก่อนการทดลอง ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน พบว่าหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 12 เดือน มีปริมาณแมงกานีสเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากดินก่อนทำการทดลอง โดยมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินระดับเฉลี่ยอยู่ที่ 11.12 mgMn kg^{-1} และดินระดับล่างเฉลี่ยอยู่ที่ 13.98 mgMn kg^{-1} ซึ่งในการทดลองจะเห็นว่าเมื่อทำการใส่มูลไก่ส่งผลทำให้มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด ส่วนปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยภาพรวมแล้วมีค่าเฉลี่ยของปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินตลอดช่วงการทดลอง ที่ดินระดับบนอยู่ที่ 4.29 mgCu kg^{-1} และดินระดับล่างเฉลี่ยอยู่ที่ 4.47 mgCu kg^{-1}

ขณะที่ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน พบว่าเมื่อมีการใส่วัสดุปรับปรุงดินในช่วง 6 เดือนแรก ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นสูงที่สุด แต่กลับลดลงตั้งแต่เดือนที่ 9 จนถึง เดือนที่ 12 ลดลงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินตลอดการทดลองของระดับบนและดินระดับล่างอยู่ที่ 1.85 mgZn kg^{-1} และ 1.33 mgZn kg^{-1} อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุอาหารเสริมในดินทุกธาตุอยู่ในเกณฑ์ที่สูง (นงลักษณ์, 2548) จากการทดลองครั้งนี้พบว่าการใส่มูลไก่สามารถช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาการเสริมให้แก่ดินได้ ซึ่งจากการศึกษาของ Kobierski et al. (2017) ทำการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ปีกต่อคุณสมบัติทางเคมีและชีวเคมีของดิน พบว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ปีกช่วยให้ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ปีก

สำหรับสมบัติทางกายภาพของหลังทำการใส่วัสดุปรับปรุงดินนาน 12 เดือน พบว่าความหนาแน่นของดินมีค่าเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลอง ที่ดินระดับบนมีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.51 g cm^{-3} และดินระดับล่างอยู่ที่ 1.61 g cm^{-3} ซึ่งการใส่มูลไก่ทำให้ความหนาแน่นของดินลดลงที่ดินระดับบนและดินระดับล่างหลังการทดลองผ่านไป 12 เดือน สอดคล้องกับการศึกษาของ Ewulo et al. (2008) ทำการศึกษาผลของมูลไก่ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ที่เมืองอากูเร ในเขตป่าฝนทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศไนจีเรีย ช่วงเดือนพฤษภาคมและสิงหาคม พบว่ามูลไก่ช่วยให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงและเพิ่มความชื้นของดิน นอกจากนั้น Boyraz and Nalbant (2015) ศึกษาการเปรียบเทียบการใช้ซีโอไลต์ โดโลไมท์ และพัมมิซเป็นตัวควบคุมสภาพของดินในการเกษตร พบว่าการใช้พัมมิซลดความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นอนุภาคของดินได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับซีโอไลต์และโดโลไมท์ และเพิ่มความพรุนของดิน รวมทั้งเพิ่มความชื้นความจุสนามระหว่าง 2.2% และ 30.1% ส่วน Agbede et al. (2017) ยังทำการทดลองเกี่ยวกับผลกระทบของมูลไก่และปุ๋ย NPK ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดินและการเจริญเติบโตและผลผลิตของแครอท พบว่ามูลไก่ทุกระดับช่วยลดความหนาแน่นรวมและอุณหภูมิของดิน และปรับปรุงความพรุนและความชื้นโดยรวมให้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ย NPK และการควบคุม ส่วนที่ดินระดับล่าง อีกทั้งตำรับที่ใส่พัมมิซสามารถช่วยให้ความหนาแน่นของดินลดลงทั้งสองระดับความลึก สอดคล้องกับการทดลองของ Sahin and Anapali (2006) ได้ทำการศึกษาการพัมมิซที่มีขนาดกับปริมาณของพัมมิซที่แตกต่างกันต่อความพรุนและความหนาแน่นรวมของดิน พบว่าความพรุนเพิ่มขึ้นตามปริมาณและขนาดของพัมมิซที่เพิ่มขึ้น ส่วนความหนาแน่นรวมของดินลดลงตามการเพิ่มปริมาณพัมมิซลงในดิน โดยการใช้พัมมิซ 50% ทำให้ช่องว่างขนาดเล็กในดินเพิ่มขึ้น 98.2% และ 70.3% และความหนาแน่นรวมลดลง 24.8% และ 21.0% ของดิน Erzurum-Turkey และ Rize-Turkey นอกจากนี้ Glab et al. (2016) ทำการทดสอบการใช้ประโยชน์ถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางอุทกวิทยาของดินและคุณภาพทางกายภาพของดินปนทราย พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพในปริมาณที่สูงสุดสามารถช่วยให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ความชื้นความจุสนามเพิ่มขึ้น และ Rasoulzadeh and Yaghoubi (2010) ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยคอกต่อ

คุณสมบัติทางกายภาพของดินร่วนเหนียวปนทรายในอิหร่านตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นของอนุภาคของดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ความพรุน ปริมาณอินทรียวัตถุ และการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำเพิ่มขึ้น ด้วยการใช้ปุ๋ยคอก 30 และ 60 Mg ha^{-1}

ส่วนปริมาณความชื้นในดิน พบว่ามีปริมาณความชื้นเฉลี่ยตลอดการทดลองทั้งดินระดับบนและดินระดับล่างอยู่ที่ 28.5 และ 29.3% หลังจากทำการใส่มูลไก่ครบ 12 เดือน ทำให้ทั้งดินระดับบนและระดับล่าง มีปริมาณความชื้นของดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับอื่น ๆ สอดคล้องกับ Nwite and Alu (2018) พบว่าการใส่มูลไก่สด 40 t ha^{-1} ดินมีความชื้นโดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับควบคุม และ Awal et al. (2018) ศึกษาความชื้นในดินและพลวัตของสารอาหารในโซนรากของกะหล่ำปลีสีเขียวต่อประเภทและอัตราของวัสดุปรับปรุงดินอินทรีย์ต่าง ๆ พบว่าตำรับที่ใส่มูลไก่ทำให้ดินมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในฤดูกาลต่าง ๆ ขณะที่ Peake et al. (2014) ทำการทดสอบอิทธิพลของถ่านชีวภาพต่อคุณบัติทางกายของดินและอุทกวิทยาของดินที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มปริมาณถ่านชีวภาพ 2.5% ช่วยเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวม ความชื้นความจุสนาม และปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยเปลี่ยนแปลงจาก -4.2% ถึง -19.2%, 1.3% ถึง 42.2% และ 0.3% ถึง 48.4% ตามลำดับ และยังชี้ให้เห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพปานกลาง 20 t ha^{-1} และสูง 100 t ha^{-1} สามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด 22% และดินที่มี silt ต่ำจะมีปฏิกิริยาตอบสนองทางอุทกวิทยาต่อการใช่ถ่านชีวภาพ และ Tammeorg et al. (2014) ทำการศึกษาผลของถ่านชีวภาพในระยะสั้นต่อคุณสมบัติของดินและผลผลิตของข้าวสาลีร่วมกับกระดูกป่นและปุ๋ยอนินทรีย์ในดินทรายร่วน พบว่าถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มปริมาณน้ำในดินชั้นบนสุดในปีแรกและลดความหนาแน่นรวมของดินในที่สอง นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ง่าย อินทรียวัตถุในดินชั้นบนที่ความลึก 20 เซนติเมตร และเพิ่มปริมาณไนเตรทในปีที่สอง แต่ไม่มีผลต่อธาตุอาหารตัวอื่นและค่า pH

ความคงทนของเม็ดดิน พบว่าจากการทดลองการวัสดุปรับปรุงดินจะเห็นได้ว่าการใส่ถ่านชีวภาพส่งผลทำให้ความคงทนของเม็ดดินเพิ่มมากขึ้นที่ดินระดับบน หลังใส่ถ่านชีวภาพครบ 12 เดือน โดยมีค่าเฉลี่ยของความคงทนของเม็ดดินที่ดินระดับบนอยู่ที่ 38.9% ซึ่งสอดคล้องกับ Blanco-Canqui (2017) รายงานว่าการใส่ถ่านชีวภาพเพิ่มความคงทนของเม็ดดินเมื่อดินเปียกและแห้ง 3-226% ลดความหนาแน่นรวมของดินลง 3-31% และเพิ่มความพรุน 14-64% ตามลำดับ ขณะที่ Obia et al. (2016) ทำการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพต่อความคงทนของเม็ดดิน การกักเก็บน้ำ และความพรุนในดินเขตร้อน พบว่าความคงทนของเม็ดดินเพิ่มขึ้น 7-9% และ 17-20% ตามปริมาณของถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในดินที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลือง เพิ่มความพรุนและความสามารถในการใช้น้ำในดินของพืช 2 และ 3% ขณะที่ความหนาแน่นรวมของดินลดลง 3-5% ตามปริมาณของถ่านชีวภาพ นอกจากนี้ Herath et al. (2013) ทำการศึกษาการใช้ซางข้าวโพดและถ่านชีวภาพจากซางข้าวโพดที่

ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 350 กับ 550 ºC ต่อดินสองชนิดคือ Typic Fragiaqualf (TK) และ Typic Hapludand (EG) พบว่าหลังจากบ่มตัวอย่างดิน 295 วัน ถ่านชีวภาพที่ผ่านกระบวนการเผา 550 ºC ช่วยให้ความคงทนของเม็ดดินของดินทั้งสองชนิดดีขึ้น โดยเฉพาะในดิน Typic Fragiaqualf และยังเพิ่มช่องขนาดเล็กในดินของดินทั้งสองชนิด ส่วนถ่านชีวภาพที่ผ่านการเผา 350 ºC ช่วยเพิ่มสภาพการนำน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และ Ouyang et al. (2013) ทำการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพต่อความคงทนของเม็ดดินและชลศาสตร์ของดิน ในดินสองชนิดคือ ดินเหนียวปนทรายแป้งและดินร่วนปนทราย พบว่าหลังทำการบ่มดินนาน 90 วัน จะเห็นผลได้ชัดในดินร่วนปนทราย โดยการใส่ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มความคงทนของเม็ดดินขนาดใหญ่และเพิ่มความสามารถของดินในการให้น้ำซึมผ่านได้ ส่วน Aslam et al. (2014) กล่าวว่าการใส่ถ่านชีวภาพ 1-2% สามารถลดความหนาแน่นของดิน เพิ่มความพรุนของดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และเพิ่มอัตราการแทรกซึมของน้ำในดินตามความพรุนที่เพิ่มขึ้น แต่จะแตกต่างไปตามลักษณะของเนื้อดิน อีกทั้งความพรุนของถ่านชีวภาพยังเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ดิน และเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนให้แก่ดิน อย่างไรก็ตามในงานทดลองครั้งนี้พบว่า การใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับการทดลองยังไม่เห็นผลการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดิน แม้จะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนานถึง 12 เดือน ซึ่งอาจจะต้องใช้เวลาในการศึกษาเพิ่มมากกว่านี้ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพโดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดิน

การศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อปริมาณจุลินทรีย์ใต้ทรงพุ่มมะม่วงในระยะเวลา 3, 6, 9 และ 12 เดือน พบว่าปริมาณแบคทีเรียเพิ่มจำนวนมากที่สุดในระยะ 6 และ 12 เดือนเมื่อใส่ถ่านชีวภาพและมูลวัว คือ 1.83×10^{6} CFU g^{-1} soil และ 3.91×10^{6} CFU g^{-1} soil ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณแตกต่างจากงานทดลองของ Calbrix et al. (2007) ทำการศึกษาผลกระทบของสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ดินและชุมชนแบคทีเรียในพื้นที่เพาะปลูก พบว่าการปรับปรุงแบบอินทรีย์มีผลกระทบน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลหรือปัจจัยอื่น ๆ เช่นการจัดการเชิงกลของดิน และจากการทดลองของ Das and Dkhar (2012) ทำการศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินประเภทสารอินทรีย์ต่อปริมาณจุลินทรีย์และคาร์บอนชีวมวลจุลินทรีย์ในบริเวณรอบ ๆ รากของถั่วเหลือง ในระยะเวลา 12 เดือนนั้น พบว่าปริมาณแบคทีเรียและปริมาณเชื้อรามีจำนวนเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนคือ 55.19×10^{5} และ 25.23×10^{3} CFU g^{-1} dry soil ส่วนการทดลองของวิไลลักษณ์ และสุรชัย (2560) ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีทในดินปลูกกล้วยไข่ ในพื้นที่ตำบลสระแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร พบว่าระยะตกเคลือมีปริมาณแบคทีเรียประมาณ 41-81 CFU g^{-1} dry soil ปริมาณเชื้อรา 34-71 CFU g^{-1} dry soil และแอคติโนมัยซีท 60-169 CFU g^{-1} dry soil ส่วนระยะหลังการเก็บเกี่ยวมีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มจำนวนมากขึ้นเป็น 31-97 CFU g^{-1} dry soil ปริมาณเชื้อรา 39-97 CFU g^{-1} dry soil และแอคติโนมัยซีท 44-95 CFU g^{-1} dry soil ตามลำดับ และจากการศึกษาของ Yang et al. (2016) ทำการ

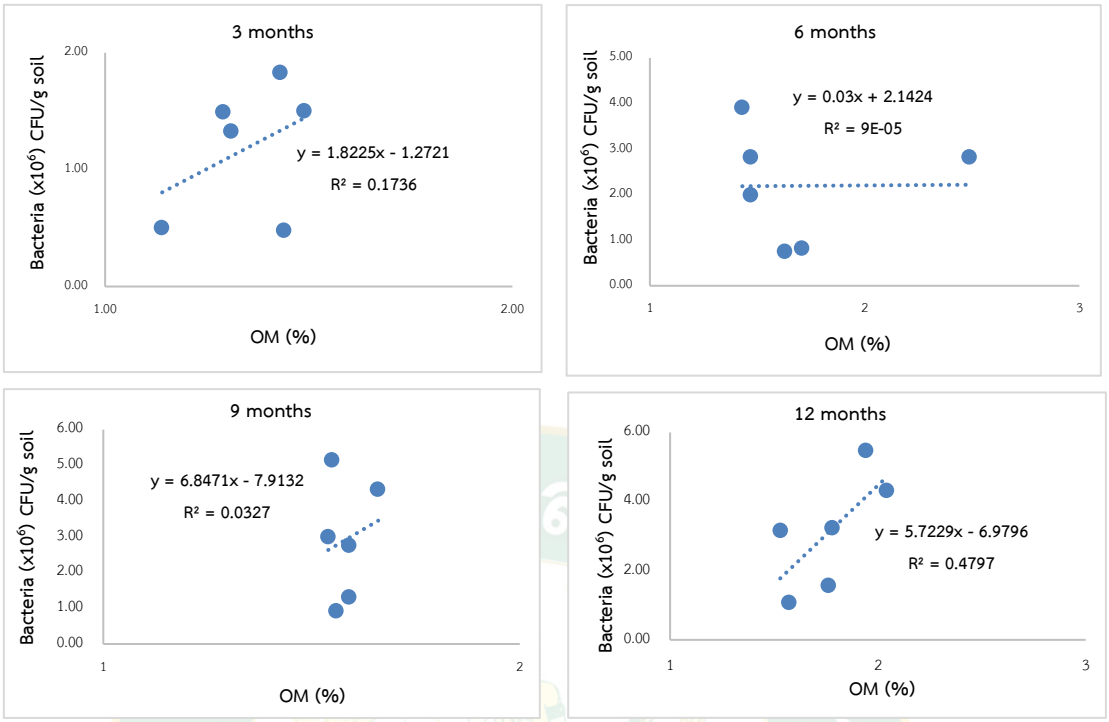
ทดลองการใช้ปุ๋ยคอกและการปลูกกระเทียมหมุนเวียนต่อการปลูกแตงโมง ทำให้จำนวนประชากรของแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีทในดิน และอัตราส่วนของแบคทีเรียต่อเชื้อราเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเพิ่มปริมาณธาตุอาหารกับอินทรียวัตถุในดิน รวมถึงช่วยลดการเกิดโรค และ Liang et al. (2018) ศึกษาการใช้วัสดุปรับปรุงดินเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของดินและโครงสร้างของชุมชนแบคทีเรียของการปลูกแอปเปิ้ลทดแทน พบว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่เป็นปุ๋ยหมักสามารถช่วยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแบคทีเรียในระดับความลึกที่ 0-20 และ 20-40 cm เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของ Proteobacteria (20.2%), Bacteroidetes (2.5%) และ Cyanobacteria (1.0%) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ Chloroflexi (5.5%), Acidobacteria (5.2%), Nitrospirae (4.5%), Gemmatimonadetes (3.8%) และ Actinobacteria (1.8%) ลดลง นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน อินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อใส่มูลไก่ พบว่ามีปริมาณเชื้อราเพิ่มมากที่สุดในระยะเวลา 12 เดือน คือ 4.74×10^{5} CFU g^{-1} soil สอดคล้องกับการศึกษาของ Riegel and Noe (2000) ทำการศึกษาผลของมูลไก่ต่อเชื้อจุลินทรีย์ในดินและ Meloidogyne incognita ต่อต้นฝ้าย พบว่าต้นฝ้ายมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น รวมทั้งปริมาณแบคทีเรียและเชื้อในดินเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณมูลไก่ลงในดิน และจุณจะราและขัตติยา (2559) ได้ศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในดินของระบบนิเวศป่ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ พบว่า ในดินป่ามีปริมาณเชื้อราทั้งหมดเฉลี่ย $1.45\text{x}10^{5}$-$7.72\text{x}10^{5}$ CFU g^{-1} และเมื่อมีการวิเคราะห์จุลินทรีย์ท้องถิ่น (Indigenous Micro Organisms) และอินทรียวัตถุในป่าบว่ามีปริมาณเชื้อราทั้งหมดเพิ่มขึ้นถึง $1.35\text{x}10^{12}$ CFU g^{-1} ตามลำดับ ส่วน Priyadi et al. (2005) ทำการศึกษาผลของชนิดของดิน การใช้ปุ๋ยมูลไก่ จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพต่อผลผลิตข้าวโพด และสมบัติทางจุลินทรีย์ของดินพื้นที่ชุ่มน้ำที่เป็นกรดในอินโดนีเซีย พบว่าชนิดของดินและการใช้ปุ๋ยมูลไก่มีผลต่อผลผลิตของข้าวโพด คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งขัดแย้งกับ El-Sharouny (2015) ทำการศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินต่าง ๆ ต่อจำนวนจุลินทรีย์ที่มีความสัมพันธ์กับความต้านทานของแอปเปิ้ลต่อการเกิดโรค Rhizoctonia solani AG-5 ในดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ พบว่าในดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อการใส่ปุ๋ยหมักทำให้มีปริมาณเชื้อราสูงกว่าวัสดุอื่น รองลงมาเป็นมูลวัวและมูลไก่ ส่วนในดินที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อการใส่ *Brassica juncea* มีปริมาณเชื้อราสูงกว่าวัสดุปรับปรุงดินอื่น ๆ

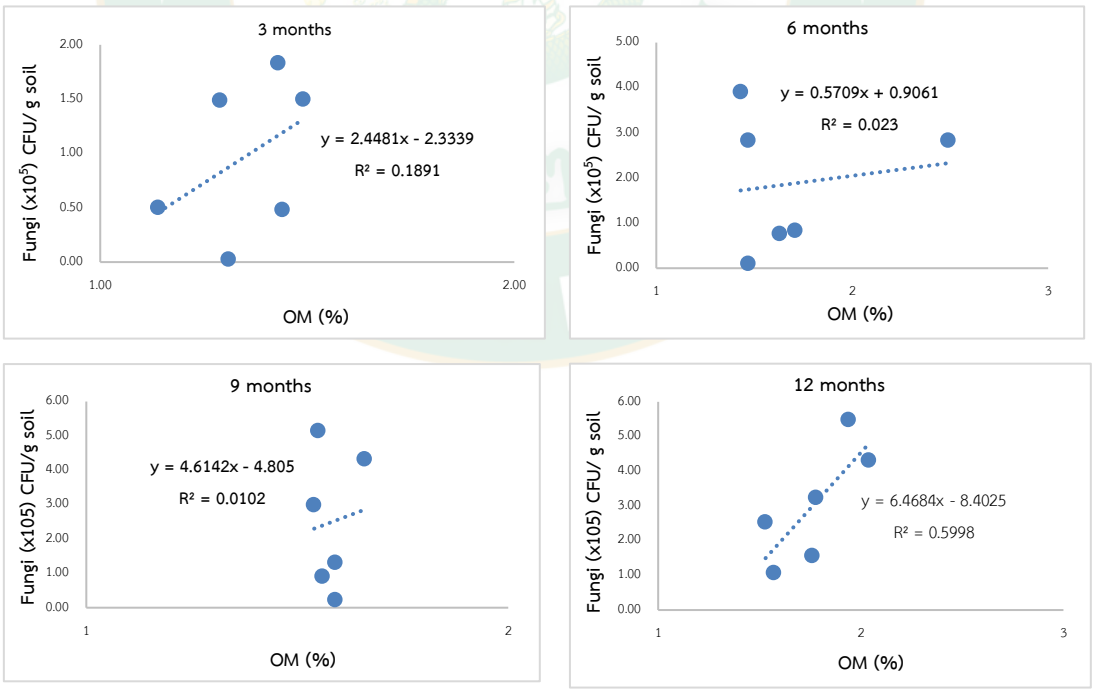
ปริมาณแอคติโนมัยซีทเพิ่มมากขึ้นจากตำรับควบคุมและในช่วง 3 เดือนแรก เมื่อมีการใส่มูลไก่ที่ 6, 9 และ 12 เดือน ซึ่งเพิ่มขึ้นมากที่สุดในระยะเวลา 12 เดือน คือ 3.40×10^{6} CFU g^{-1} soil ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Lin et al. (2010) ทำการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ดินและผลผลิตถั่วลิสง พบว่าการใส่มูลไก่ทำให้มีปริมาณแบคทีเรียและแอคติโนมัยซีทสูงที่สุด ซึ่งแตกต่างกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี และการทดลองของไพรัตน์ และคณะ (2559) ได้

ศึกษาการตรวจหาจุลินทรีย์ในดินปลูกผักระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่าดินที่ปลูกผักระบบอินทรีย์พบปริมาณของแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท เชื้อรา และสาหร่าย มากกว่าดินที่ปลูกผักระบบเคมี ขณะที่งานทดลองของ Naher et al. (2013) ทำการศึกษาจุลินทรีย์ทั้งหมดที่สามารถเพาะเลี้ยงได้และเป็นประโยชน์ในระยะยาวต่อการขาดธาตุอาหารในพื้นที่ชุ่มน้ำดินนาข้าว พบว่าปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีสรวมมีปริมาณสูงที่สุดในตำรับที่ใส่ปุ๋ยแบบสมบูรณ์ คือ ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และมีปริมาณต่ำที่สุดในตำรับไม่ใส่ปุ๋ย ดังนั้นกล่าวได้ว่าการขาดธาตุอาหารหลักส่งผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์มีจำนวนลดลง ดังนั้นจากการทดลองการใช้วัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน พบว่าการเลือกใช้มูลไก่เป็นวัสดุในการปรับปรุงดิน ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ภายในดิน โดยเฉพาะปริมาณเชื้อรา และแอคติโนมัยซีทเพิ่มขึ้นสูงกว่าวัสดุปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ และการใส่มูลวัวที่มีผลทำให้แบคทีเรียเพิ่มจำนวนมากขึ้น รองลงมาเป็นตำรับที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ เมื่อเทียบในดินที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดินจะมีแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีทในปริมาณที่น้อย

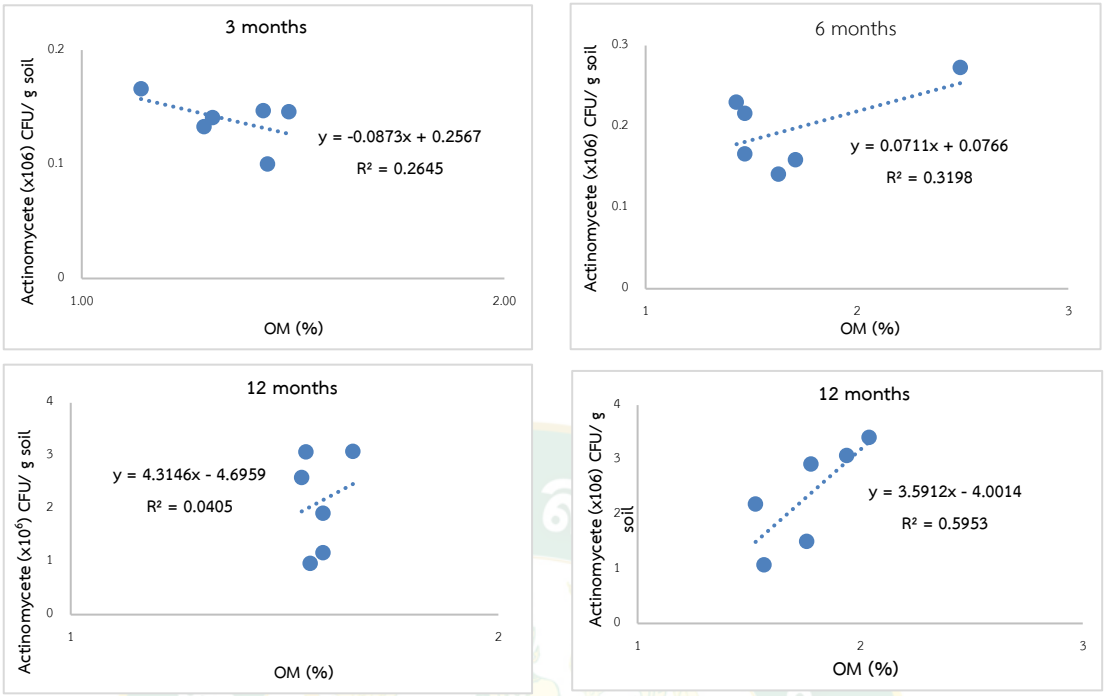
ความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุในดินกับปริมาณจุลินทรีย์ในดิน โดยการใส่วัสดุปรับปรุงดินต่อปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในดิน เมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ 12 เดือน พบว่าดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นส่งผลให้ดินมีปริมาณเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นตาม โดยปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณเชื้อแบคทีเรียมีความสัมพันธ์ปานกลาง ซึ่งมีค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) เท่ากับ 0.4797 ส่วนการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ 3 และ 9 เดือน ปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณเชื้อแบคทีเรียในดินมีความสัมพันธ์ต่ำ ส่วนการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ 6 เดือน ปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณเชื้อแบคทีเรียไม่มีความสัมพันธ์กัน (ภาพที่ 1) และความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณเชื้อราในดิน เมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ 12 เดือน พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณเชื้อราในดินมีความสัมพันธ์ปานกลาง โดยมีค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) เท่ากับ 0.5998 ส่วนการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ 3, 6 และ 9 เดือน ปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณเชื้อราในดินมีความสัมพันธ์ต่ำ (ภาพที่ 2) ส่วนความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีทในดินมีความสัมพันธ์ปานกลาง เมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ 12 เดือน ซึ่งมีค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) เท่ากับ 0.5953 และการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ 3, 6 และ 9 เดือน มีความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีทต่ำ ซึ่งบัญชา (2552) กล่าวว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินในรูปอินทรีย์ลงดินเป็นการเพิ่มอาหารให้แก่จุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จุลินทรีย์ พวกเฮทเทอร์โรโทรพ ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุกับปริมาณแบคทีเรียในดิน



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุกับปริมาณเชื้อราในดิน



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรียวัตถุกับปริมาณแอคติโนมัยซีทในดิน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี โดยทำการศึกษาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560-เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 สรุปผลการทดลองดังนี้

สมบัติทางเคมีของดิน

จากใช้วัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน การใส่พัมมิซส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงทั้งดินระดับบนและระดับล่าง ขณะที่การใส่มูลไก่มีผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพิ่มสูงขึ้น ส่วนการใส่ถ่านชีวภาพช่วยทำให้ปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ทั้งในดินระดับบนและดินระดับล่าง และปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินหลังจากทำการใส่พัมมิซในเดือนที่ 3, 6 และ 9 มีปริมาณสูงที่สุดที่ดินระดับบน ส่วนปริมาณธาตุอาหารเสริมพบว่าการใส่มูลวัวในช่วง 9 เดือน ทำให้มีปริมาณเหล็กสูงที่สุด ที่ระดับดินบนและการใส่ถ่านชีวภาพทำให้ปริมาณเหล็กสูงที่สุดในระดับดินล่าง การใส่มูลไก่และมูลวัวมีผลทำให้ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเพิ่มสูงที่สุดในดินทั้งสองระดับ ขณะที่การใส่วัสดุปรับปรุงดินไม่มีผลต่อปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดิน ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินระดับบนและดินระดับล่างสูงที่สุดเมื่อมีการใส่มูลไก่

สมบัติทางกายภาพของดิน

การใส่มูลไก่และมูลวัวทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงที่ระดับบน ส่วนในดินระดับล่างพบว่าการใส่พัมมิซสามารถลดความหนาแน่นรวมของดิน นอกจากนี้มูลวัวและพัมมิซยังทำให้ความชื้นของดินเพิ่มสูงขึ้น ทั้งในดินบนและดินล่างอย่างมีนัยสำคัญ และการใส่ถ่านชีวภาพและพัมมิซมีผลทำให้ความคงทนของเม็ดดินเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเนื้อดินทั้ง 2 ระดับ

สมบัติทางชีวภาพของดิน

การใส่มูลวัวทำให้ปริมาณแบคทีเรียในดินเพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มสูงที่สุดที่ 12 เดือน ส่วนการใส่มูลไก่ในช่วง 3 และ 6 แรกทำให้ปริมาณเชื้อราในดินเพิ่มขึ้น ขณะที่ช่วง 9 และ 12 เดือน เมื่อมีการใส่ถ่านชีวภาพทำให้ปริมาณเชื้อราในดินเพิ่มขึ้น ขณะที่การใส่มูลไก่มีผลทำให้ปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินเพิ่มสูงขึ้นที่ช่วง 6, 9 และ 12 เดือน

คำแนะนำการใช้วัสดุปรับปรุงดิน

ใช้มูลไก่ เพราะโดยรวมเมื่อมีการใส่มูลไก่ สามารถทำให้คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดินให้ดีขึ้น โดยการใช้มูลไก่ต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน ช่วยเพิ่มปริมาณ OM, P, K ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพ ช่วยเพิ่มความชื้นในดิน และความคงทนของเม็ดดิน และคุณสมบัติทางชีวภาพ เพิ่มปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อแอคติโนมัยซีท หรือใช้มูลไก่รวมกับถ่านชีวภาพ สามารถช่วยให้คุณสมบัติของดินทั้งสามประการดีขึ้น

บรรณานุกรม

Adekiya, A. O., T.M. Agbede, W.S. Ejue, C.M. Aboyeji, O. Dunsin, C.O. Aremu, A.O. Owolabi, B.O. Ajiboye, O.F. Okunlola and O.O. Adesola. 2020. Biochar, poultry manure and NPK fertilizer: sole and combine application effects on soil properties and ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) performance in a tropical Alfisol. **Open Agriculture**. 5 (1)*:* 30-39.

Agbede, T. M., A.O. Adekiya and E.K. Eifediyi. 2017. Impact of poultry manure and NPK fertilizer on soil physical properties and growth and yield of carrot. **Journal of Horticultural Research**. 25 (1)*:* 81-88.

Agus, F., K. Hairiah and A. Mulyani. (2011). Measuring carbon stock in peat soils: practical guidelines. In **Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program, Indonesian Centre for Agricultural Land Resources Research and Development**. pp. 60.

Angelova, V.R., V.I. Akova, N.S. Artinova and K.I. Ivanov. 2013. The Effect of Organic Amendments on Soil Chemical Characteristics. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**. 19 (5)*:* 985-971.

Arriaga, F. J. and B. Lowery. 2003. Soil physical properties and crop productivity of an eroded soil amended with cattle manure. **Soil Science**. 168(12)*:* 888-899.

Aslam, Z., M. Khalid and M. Aon. 2014. Impact of Biochar on Soil Physical Properties. **Scholarly Journal of Agricultural Science**. 4 (5)*:* 280-284.

Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald and N.A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant Soil**. 337 (1-2)*:* 1-18.

Awal, R., A. Fares, S. Woldesenbet, P. Ampim, R. Griffin, H. Habibi, A.A. ElHassan, R.L. Ray and E. Risch. 2018. Soil Moisture and Nutrient Dynamics in the Root Zone of Collard Greens in Different Organic Amendment Types and Rates. **Conference: 2018 Irrigation Show & Education Conference At: Long Beach, CA**. 10 p.

Ayeni, L.S. and M.T. Adetunji. 2010. Integrated Application of Poultry Manure and Mineral Fertilizer on Soil Chemical Properties, Nutrient Uptake, Yield and growth

components of maize. **Nature and Science**. 8 (1)*:* 60-67.

Beretta, A.N., A.V. Silbermann, L. Paladino, D. Torres, D. Bassahun, R. Musselli and Garcia-Lamohte, A. 2014. Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. **Ciencia e Investigación Agraria**. 41 (2)*:* 263-271.

Blanco-Canqui, H. 2017. Biochar and Soil Physical Properties. **Soil Science Society America Journal**. 81 (4)*:* 687-711.

Bouajila, K. and M. Sanaa. 2011. Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological. **J. Mater. Environ. Sci.** 2 (1)*:* 485-490.

Boyraz, D. and H. Nalbant. 2015. Comparison of zeolite (clinoptilolite) with diatomite and pumice as soil conditioners in agricultural soils. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**. 52 (4)*:* 923-929.

Calbrix, R., S. Barray, O. Chabrerie, L. Fourrié and Laval, K. 2007. Impact of organic amendments on the dynamics of soil microbial biomass and bacterial communities in cultivated land. **Applied Soil Ecology**. 35 (3)*:* 511-522.

Chan, K. Y., L.V. Zwieten, I. Meszaros, A. Downie and S. Joseph. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**. 45 (8)*:* 629-634.

Chander, K. and R.G. Joergensen. 2002. Decomposition of 14C labelled glucose in a Pb-contaminated soil remediated with synthetic zeolite and other amendments. **Soil Biology and Biochemistry**. 34 (5)*:* 643-649.

Civeira, G. 2010. Influence of municipal solid waste compost on soil properties and plant reestablishment in peri-urban environments. **Chilean journal of agricultural research**. 70 (3)*:* 446-453.

Cooperband, L. 2002. Building Soil Organic Matter with Organic Amendments: A resource for urban and rural gardeners, small farmers, turfgrass managers and large-scale producers. **Center for Integrated Agricultural Systems**. 16 p.

Crecchio, C., M. Curci, M.D.R. Pizzigallo, P. Ricciuti and P. Ruggiero. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. **Soil Biology & Biochemistry**. 36 (10)*:* 1595-1605.

Das, B.B. and M.S. Dkhar. 2012. Organic Amendment Effects on Microbial Population and Microbial Biomass Carbon in the Rhizosphere Soil of Soybean.

Communications in Soil Science and Plant Analysis. 43 (14): 1938-1948.

Delate, K. and R. Arora. 2003. Effect of Gypsum Applications on Organic Crop Production and Postharvest Quality. **Research Report Soil Solutions, LLC**. p 1-14.

Eche, N.M., E.N.O. Iwuafor, I. Yo'ila Amapui and M.V. Bruns. 2013. Effect of application of organic and mineral soil amendments in a continuous cropping system for 10 years on chemical and physical properties of an Alfisol in Northern Guinea Savanna zone. **International Journal of Agricultural Policy and Research**. 1 (4): 116-123.

El-Sharouny, E. E. 2015. Effect of different soil amendments on the microbial count correlated with resistance of apple plants towards pathogenic Rhizoctonia solani AG-5. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**. 29 (3): 463-469.

Ewulo, B.S., S.O. Ojeniyi and D.A. Akanni. 2008. Effect of poultry manure on selected soil physical and chemical properties, growth, yield and nutrient status of tomato. **African Journal of Agricultural Research**. 3 (9): 6.

FAO. 2008. **FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin**. Rome, Italy: FAO.

Farrell, M., W.T. Perkins, P.J. Hobbs, G.W. Griffith and D.L. Jones. 2010. Migration of heavy metals in soil as influenced by compost amendments. **Environmental Pollution**. 158 (1): 55-64.

Fascella, G. 2015. Growing Substrates Alternative to Peat for Ornamental Plants. **ResearchGate**. p 48-67.

Gana, A.K. 2009. Evaluation of the Residual Effect of Cattle Manure Combinations with Inorganic Fertilizer and Chemical Weed Control on the Sustainability of Chewing Sugarcane Production at Badeggi Southern Guinea Savanna of Nigeria. **Middle-East Journal of Scientific Research**. 4 (4): 282-287.

Geitgey, R. P. 1992. **Pumice in oregon**. State of oregon department of geology and mineral industries. 28 p.

Ghezzehei, T.A., D.V. Sarkhot and A.A. Berhe. 2014. Biochar can be used to capture essential nutrients from dairy wastewater and improve soil physico-chemical properties. **Solid Earth**. 5: 953-962.

Glab, T., J. Palmowska, T. Zaleski and K. Gondek. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. **Geoderma**. 281:

11-20.

Gronthal, P. 1998. Tired Soil: Using Inorganic Soil Amendments to Perk up Your Root Zone. **Reprinted from Landscape Trades**. 20 (3): 8-11.

Harter, R.D. 2007. Acid soils of the tropics. **ECHO community**. 11 p.

Herath, H.M.S.K., M. Camps-Arbestain and M. Hedley. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. **Geoderma**. 209–210: 188-197.

Hunt, J., M. DuPonte, D. Sato and A. Kawabata. 2010. The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment. **Soil and Crop Management**. 30 (7): 1-6.

Jamal, S. A. D., A.A.K. Kamal and B.A. Hasan. 2016. Effect of Poultry Manure on Soil Phosphorus Availability and Vegetative Growth of Maize Plant. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science**. 9: 12-18.

Jindo, K., H. Mizumoto, Y. Sawada, M.A. Sanchez-Monedero and T. Sonoki. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. **Biogeosciences**. 11: 6613-6621.

Kamarudin, K.S., Hamdan H. and Mat H. 2003. Methane adsorption characteristic dependency on zeolite structures and properties. **Proceedings of the Symposium of Malaysian Chemical Engineers**. 6 p.

Kobierski, M., A. Bartkowiak, J. Lemanowicz and M. Piekarczyk. 2017. Impact of poultry manure fertilization on chemical and biochemical properties of soils. **Plant Soil Environ**. 63 (12): 558-563.

Latifah, O., O.H. Ahmed and A.M.N. Muhamad. 2011. Reducing ammonia loss from urea and improving soil exchangeable ammonium and available nitrate in non waterlogged soils through mixing zeolite and sago (*Metroxylon sagu*) waste water. **International Journal of the Physical Sciences**. 6 (4): 866-870.

Latifaha, O., O.H. Ahmeda and N.M.A. Majidc. 2011. Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. **Geoderma**. 306: 152-159.

Lazarovits, G. 2001. Management of soil-borne plant pathogens with organic soil amendments: a disease control strategy salvaged from the past. **The Canadian Journal of Plant Pathology**. 23 (1): 1-7.

Li, X., X. Wang, Z.J. Ren, Y. Zhang, N. Li and Q. Zhou. 2015. Sand amendment

enhances bioelectrochemical remediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil. **Chemosphere**. 141: 62-70.

Liang, B., C. Ma, L. Fan, Y. Wang and Y. Yuan. 2018. Soil amendment alters soil physicochemical properties and bacterial community structure of a replanted apple orchard. **Microbiological Research**. 216: 1-11.

Lin, X. J., F. Wang, H.S. Cai, R.B. Lin, C.M. He, Q.H. Li and Y. Li. 2010. Effects of different organic fertilizers on soil microbial biomass and peanut yield. **19 th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World**. 72: 72-75.

Liu, M., Z. Liang, F. Yang, H. Ma, L. Huang and M. Wang. 2010. Impacts of sand amendment on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield in saline-sodic soils of North-East China. **Journal of Food, Agriculture & Environment**. 8 (2): 412-418.

Malandrino, M., O. Abollino, S. Buoso, A. Giacomino, C.L. Gioia and E. Mentasti. 2011. Accumulation of heavy metals from contaminated soil to plants and evaluation of soil remediation by vermiculite. **Journal chemosphere**. 82 (2): 169-178.

Malekian, A., E. Valizadeh, M. Dastoori, S. Samadi and V. Bayat. 2012. Soil water retention and maize (*Zea mays* L.) growth as effected by different amounts of Pumice. **Australian journal of crop science**. 6 (3): 450-454.

McCauley, A., C. Jones and J. Jacobsen. 2009. Commercial Fertilizers and Soil Amendments. In **Nutrient Management - A self-study course from MSU extension continuing education series**. pp. 449-510.

Mofidpoor, M. 2007. **Quality of peat moss as a component of growing model.** Master of science. The University of British Columbia.

Moreira, A. and N.K. Fageria. 2010. Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. **Revista Brasileia de Ciencia do solo**. 34 (4): 1231-1239.

Mukherjee, A. and R. Lal. 2013. Biochar Impacts on Soil Physical Properties and Greenhouse Gas Emissions. **Agronomy**. 3 (2): 313-339.

Naher, U.A., R. Othman and Q.A. Panhwar. 2013. Culturable total and beneficial microbial occurrences in long-term nutrient deficit wetland rice soil. **Australian Journal of Crop Science**. 7 (12): 1848-1853.

Nayak, S., C.S.K. Mishra, B.C. Guru and M. Rath. 2011. Effect of phosphogypsum

amendment on soil physico-chemical properties, microbial load and enzyme activities. **Journal of Environmental Biology**. 32 (5): 613-617.

Nichols, K.A. 2011. Building sustainable soil trunk water stable aggregate. **USDA-ARS-Northern Great Plains Research Laboratory**. 33 p.

Nurhidayati and Mariati. 2014. Utilization of maize cob biochar and rice husk charcoal as soil amendments for improving acid soil fertility and productivity. **Journal of degraded and mining lands management**. 2 (1): 223-230.

Nwite, J.N. and M.O. Alu. 2018. Evaluation of different rates of poultry manure on soil properties and grain yield of maize (*Zea mays* L.) In a typic haplustult in abakaliki, southeastern Nigeria. **Global journal of agricultural research**. 6 (4): 24-35.

Obia, A., J. Muldera, V. Martinsena, G. Cornelissena and T. Børresen. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. **Soil & Tillage Research**. 155: 35-44.

Ouyang, L., F. Wang, J. Tang, L. Yu and R. Zhang. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. 13 (4): 991-1002.

Peake, L.R., B.J. Reid and X. Tang. 2014. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. **Geoderma**. 235–236: 182–190.

Priyadi, K., A. Hadi, T.H. Siagian, C. Nisa, A. Azizah, N. Raihani and K. Inubushi. 2005. Effect of Soil Type, Applications of Chicken Manure and Effective Microorganisms on Corn Yield and Microbial Properties of Acidic Wetland Soils in Indonesia. **Soil Science & Plant Nutrition**. 51 (5): 689-691.

Ramesh, K. and D.D. Reddy. 2011. Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture. **Advances in Agronomy**. 113: 219-241.

Ramesh, V., J. George, J.S. Jyothi and S.M.A, Shibli. 2015. Effect of Zeolites on Soil Quality, Plant Growth and Nutrient Uptake Efficiency in Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.). **Journal of Root Crops**. 41 (1): 25-31.

Rana, S.S. 2018. Soil improvement and amendments – soil amendments and drainage. **ResearchGat**. p 1-13.

Rasnake, M. 2002. **The Agronomics of Manure Use for Crop Production**. University of Kentucky Cooperative Extension Service. 4 p.

Rasoulzadeh, A. and A. Yaghoubi. 2010. Effect of cattle manure on soil physical properties on a sandy clay loam soil in North-West Iran. **Journal of Food, Agriculture & Environment**. 8 (2): 976-979.

Rastija, D., V. Zebec and M. Rastija. 2014. Impacts of liming with dolomite on soil pH and phosphorus and potassium availabilities. 13 **th Alps-Adria Scientific Workshop, Villach, Ossiacher See, Austria**. 63: 193-196.

Riegel, C. and J.P. Noe. 2000. Chicken litter soil amendment effects on soilborne microbes and Meloidogyne incognita on cotton. **Plant Disease**. 84 (12): 1275-1281.

Sahin, U. and O. Anapali. 2006. Addition of Pumice Affects Physical Properties of Soil Used for Container Grown Plants. **Agriculturae Conspectus Scientificus**. 71 (2): 59-64.

Saliga, R. and J. Skelly. 2013. **Using Chicken Manure Safely in Home Gardens and Landscapes**. University of Nevada Cooperative Extension. p 13-23.

Santillan, Y.M., F.P. Moreno, F.P. Garcia and O.A.A. Sandoval. 2014. Effect of the Application of Manure of Cattle on the Properties Chemistry of Soil in Tizayuca, Hidalgo, Mexico. **International Journal of Applied Science and Technology**. 4 (3): 67-72.

Tammeorg, P., A. Simojoki, P. Mäkelä, F.L. Stoddard, L. Alakukku and J. Helenius. 2014.Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yieldformation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a borealloamy sand. **Agriculture Ecosystems and Environment**. 191 (9): 108-116.

Torkashvand, A.M. 2010. Improvement of compost quality by addition of some amendments. **Australian journal of crop science (AJCS)**. 4 (4): 252-257.

Traunfeld, J. and E. Nibali. 2013. Soil Amendments and Fertilizers Fertilizing Guidelines Included by Plant Group. **Home and Garden Information Center**. 8 p.

Uchimiya, M., I.M. Lima, K.T. Klasson and L.H. Wartelle. 2010. Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: Roles of natural organic matter. **Chemosphere**. 80 (8): 935-940.

Ullah, Z., A.Z. Jamali, M. Ali, B. Khan, S. Yousaf and T. Ziad. 2018. Effects of biochar on soil chemical properties in relation at different intervals. **Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)**. 12 (5)*:* 272-277.

Verheijen, F., S. Jeffery, A.C. Bastos, M. van der Velde and I., D. 2010. **Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions**. European Commission. 162 p.

Warren, J. 2000. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. **Earth-Science Reviews**. 52: 1-81.

Warren J. 2000. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. **Earth-Science Reviews**. 52 (1-3)*:* 1-81.

Watanabe F.S. and S.R. Olsen. 1962. Calorimetric determination of phosphorus in water extracts of soil. **Soil Science**. 93 (3)*:* 183-188.

Wayne E.S. 1980. **Handbook on reference method for soil testing.** Athens: University of Georgia. 101 p.

Whalen, J.K., C. Chang, G.M. Clayton and J.P. Carefoot. 2000. Cattle Manure Amendments Can Increase the pH of Acid Soils. **Soil Science Society of America Journal**. 64 (3)*:* 962-966.

Whiting, D., C. Wilson and A. Card. (2005). Estimating Soil Texture Sandy, Loamy, or Clayey. In **Colorado Master Gardener Program Colorado Gardener Certificate Training**. pp. 723.

Worku, A., M. Minaleshewa and H.G. Kidan. 2016. Impact of Gypsum and Sulfuric Acid Application on Cotton Yield under Saline Sodic Soil Condition in Melka Sadi Irrigated Farm. **Academia Journal of Agricultural Research**. 4 (2)*:* 91-95.

Yadav, S.J. and S.B. Thakare, 2013. Cow Dung for Improving the pH of Highly Alkaline Soil and Indian Cow Importance from Vedic Scriptures. **International Journal of Science and Research**. 4 (5)*:* 1559-1562.

Yang, R., Y. Mo, C. Liu, Y. Wang, J. Ma, Y. Zhang, H. Lis. and X. Zhang. 2016. The Effects of Cattle Manure and Garlic Rotation on Soil under Continuous Cropping of Watermelon (*Citrullus lanatus* L.). **PloS one**. 11 (6)*:* 1-15.

Yu, C.H., S.L. Wang, P. Tongsiri, M.P. Cheng and H.Y. Lai. 2018. Effects of Poultry-Litter

Biochar on Soil Properties and Growth of Water Spinach (Ipomoea aquatica Forsk.). **Sustainability**. 10 (7)*:* 1-17.

Yunilasari, M., Sufardi and Zaitun. 2020. Effects of biochar and cow manure on soil chemical properties and peanut (*Arachis hypogaea* L.) yields in entisol. **Earth and Environmental Science**. 425*:* 9.

Zaller, J. G. and U. Köpke. 2004. Effects of traditional and biodynamic farmyard manure amendment on yields, soil chemical, biochemical and biological properties in a long-term field experiment. **Biol Fertil Soils**. 40 (4)*:* 222-229.

Zhanga, A., L. Cui, G. Pana, L. Li, Q. Hussaina, X. Zhanga, J. Zhenga and D. Crowley. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. **Agriculture Ecosystems and Environment**. 139 (4)*:* 469-475.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2550a. **การใช้สารปรับปรุงดินในพื้นที่เกษตรกรรม**. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2 หน้า.

---. 2550b. **การเพิ่มผลผลิตพืชที่ปลูกในดินที่มีชั้นดาน**. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2 หน้า.

---. 2550c. **ปัญหาทรัพยากรดิน จังหวัดฉะเชิงเทรา**. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 19 หน้า.

---. 2553. **คู่มือปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี**. กรมพัฒนาที่ดิน. 51 หน้า.

กลุ่มงานศึกษาและพัฒนาการปลูกพืช. 2552. **การปลูกและขยายพันธุ์ไม้ผล**. จังหวัดเชียงใหม่: ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่. 24 หน้า.

กำชัย กาญจนธนเศรษฐ, เมธิน ศิริวงศ์, เรวัต จิระสถาวร และ เจริญ เจริญจำรัสชีพ. 2540. **การศึกษาชนิดและอัตราของปูนทางการเกษตรต่อการปรับสภาพความเป็นกรดที่มีต่อระบบการปลูกข้าวโพดตามด้วยถั่ว ดำในชุดดินสันป่าตอง**. กรุงเทพฯ: การอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน. 45 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 241.

จาวภา มะนาวนอก, สันติไมตรี ก้อนคำดี, เกษสุดา เดชภิมล, วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์ และ ดรุณี โชติษฐยางกูร. 2560. ถ่านชีวภาพ: ผลต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวนาหว่านน้ำตม (การทดสอบในสภาพกระถาง). **แก่นเกษตร**. 45(2)*:* 209-220.

จีราภรณ์ อินทสาร. 2557. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. หน้า 81-83.

จุณจะรา ทุยไธสง และ ขัตติยา มูลไชยสุข. 2559. ความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในดินของระบบนิเวศป่า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. **การประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการอพ.สธ.** หน้า 664-671.

ฉลอง นามทิพย์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, ศุภิฌา ธนะจิตต์ และ สราวุฒิ รุ่งเมฆารัตน์. 2557. ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความชื้นและการเจริญเติบโตของหญ้านวลน้อยบนแฟร์เวย์สนามกอล์ฟบางปูคันทรีคลับ. **แก่นเกษตร**. 42(1)*:* 25-38.

ชาลี นาวานุเคราะห์. 2541. การแพร่กระจายของดินทรายจัดในประเทศไทย. **วารสารนิเวศวิทยา** 25(2)*:* 59-67.

ถนอม คลอดเพ็ง. 2528. **วิธีการของปฐพีฟิสิกส์วิเคราะห์**. ศูนย์ส่งเสริมตำราและเอกสารวิชาการ มหาวิทยาเชียงใหม่. หน้า 16.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์. 2537. บทบาทของสารปรับปรุงดิน. **สารปรับปรุงดินทางการเกษตร**. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งชาติ. หน้า 1-10.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2547. **ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีเกษตรธรรมชาติ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 21.

ธงชัย มาลา. 2550. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ**: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 300 หน้า.

นงลักษณ์ ปูระณะพงษ์. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. เชียงใหม่: ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 248 หน้า.

นุจรินทร์ ศิริวาลย์. 2554. การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้ยิปซัมเพื่อความยั่งยืนทางการเกษตร. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร**. 5(1)*:* 118-126.

บัญชา รัตนีทู. 2552. **ปุ๋ยอินทรีย์ฟื้นฟูสภาพดิน**. วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 16 หน้า.

ปานใจ สารพันโชติวิทยา, เอกชัย แก้วมาตย์, ทวีวงศ์ พูลทอง และ รัตนา ปรีดาสามารถ. 2556. **การศึกษาวิจัย พัฒนาพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ระยะที่ 2: ขยายผล) จังหวัดร้อยเอ็ด**. กรุงเทพฯ: สำนักทรัพยากรแร่กรมทรัพยากรธรณี. 94 หน้า.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2533. **สารปรับปรุงดิน**. กรุงเทพฯ.: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 256 หน้า.

ผจงจิตต์ ศรีสุข, สมบูรณ์ มั่นความดี, สุภัทตรา นุชนารถ และ ศรีสมร สุทธิกาญจนกุล. 2556. **การใช้ภูไมท์ซัลเฟตร่วมกับวัสดุอินทรีย์ท้องถิ่นในการปรับปรุงคุณภาพดินปูนที่มีความเป็นด่างสูง**

เพื่อรักษาและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับพื้นที่การเกษตรในเขตชลประทาน. กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน. 10 หน้า.

พจนีย์ ไพศาลตันติวงศ์. 2546. **แร่ยิปซัมและยิปซัมสังเคราะห์ สำหรับอุตสาหกรรม**. กองวิเคราะห์และตรวจสองทรัพยาธรณี กรมทรัพยากรธรณี. 64 หน้า.

พัชรี แสนจันทร์, นิภา ธรรมโสม, C. Phy และ ดวงสมร ตุลาพิทักษ. 2558. การใช้ถ่านชีวภาพยูคาลิปตัสและฟางข้าวเพื่อการผลิตข้าว และลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. **แก่นเกษตร**. 43 (1)*:* 373-379.

พินิจภณ ปิตุยะ. 2557. **เอกสารองค์ความรู้ เรื่องถ่านชีวภาพ**. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 25 หน้า.

พิพัฒน์ ไทยกล้า, สถาพร ใจอารย์, อโนชา เทพสุภรณ์กุล และ บังอร ทองท้วม. 2553. **ความเสื่อมโทรมของที่ดินและการจัดการแก้ไข**. สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 4 หน้า.

พิสิษฐ์ สินธุวนิช. 2557. **แนวทางการวางระบบการพัฒนาที่ดินที่มีปัญหาทางการเกษตรของภาคตะวันออกของประเทศไทย**. สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 2 กรมพัฒนาที่ดิน. 87 หน้า.

ไพรัตน์ พิมพ์สิริกุล, กรรณ จินดาประเสริฐ, สมเกียรติ สีสนอง และ ศักดิ์ โพธิ์ปั้น. 2559. การตรวจหาจุลินทรีย์ในดินปลูกผักระบบเกษตรอินทรีย์. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**. หน้า 77-84.

มัตติกา พนมธรนิจกุล. 2549. **การจัดการดินและน้ำเพื่อระบบการเกษตรที่ยั่งยืน**. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 482 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีดรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ. 512 หน้า.

รังสรรค์ อิ่มเอิบ. 2547. **การศึกษาวิเคราะห์แนวทางการจัดการดินเค็มในประเทศไทย**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 88 หน้า.

วนิดา วัฒนพายัพกุล, สุชดา สานุสันต์ และ ประยงค์ ธรรมสุภา. 2558. **ผลของการใช้ปุ๋ยคอกมูลไก่และปุ๋ยน้ำหมักมูลสุกร ในระบบการผลิตข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่**. สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. 70 p.

วิไลลักษณ์ สวนมะลิ และ สุรชัย มูลมวล. 2560. การศึกษาปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีสในดิน ปลูกกล้วยไข่ ในพื้นที่ตำบลสระแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท)**. หน้า 71-77.

สมศักดิ์ วังใน. 2511. คู่มือปฏิบัติการจุลชีพวิทยาทางดิน. กรุงเทพมหานคร: แผนกวิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 136 หน้า.

สุวศรี เตชะภาส. 2546. **ประโยชน์ของปูนไลม์**. สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2 หน้า.

โสภิตา คำหาญ. 2546. **แหล่งแคลเซียมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถั่วลิสงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการเกษตรวิชาเอกพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 11 หน้า.

อนุชา จันทรบูรณ์. 2554. **การทำสวนผลไม้**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาน่าน: กระทรวงศึกษาธิการ. หน้า 60.

อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง. 2551. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 252 หน้า.

ภาคผนวก

ภาพภาคผนวก 1 ลักษณะพื้นที่ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ

ภาพภาคผนวก 2 การเตรียมวัสดุปรับปรุงดิน

ภาพภาคผนวก 3 การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

ภาพภาคผนวก 4 การเก็บตัวอย่างดิน

ภาพภาคผนวก 5 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)

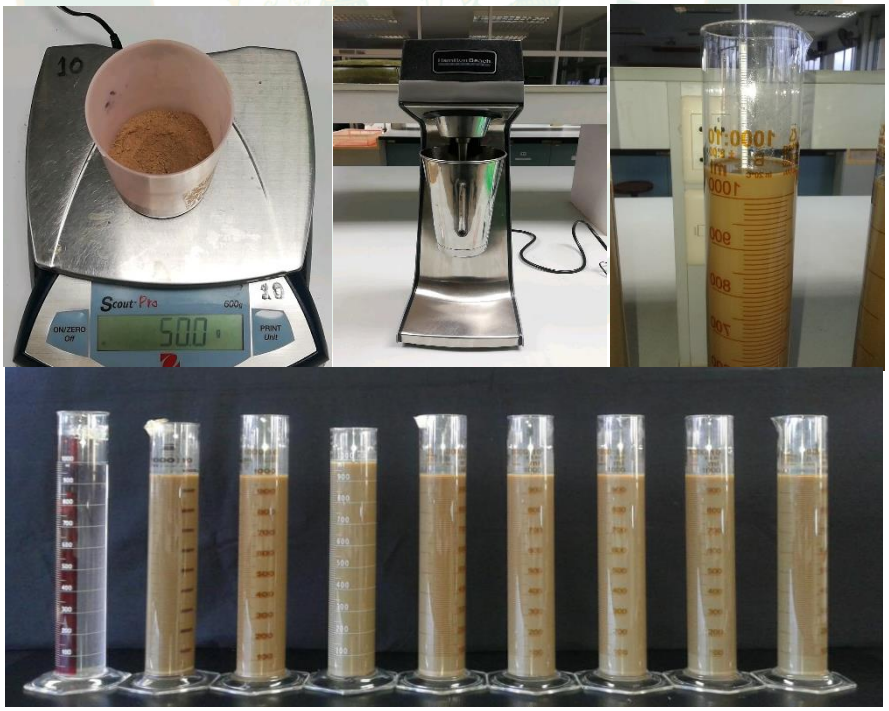
ภาพภาคผนวก 6 การวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ

ภาพภาคผนวก 7 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน

ภาพภาคผนวก 8 การวิเคราะปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอาหารเสริม

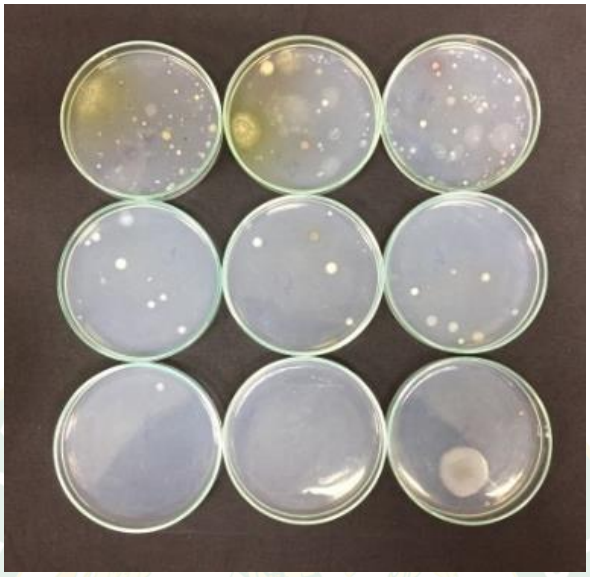
ภาพภาคผนวก 9 การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมและความชื้นของดิน

ภาพภาคผนวก 10 การวิเคราะห์ความคงทนของเม็ดดิน

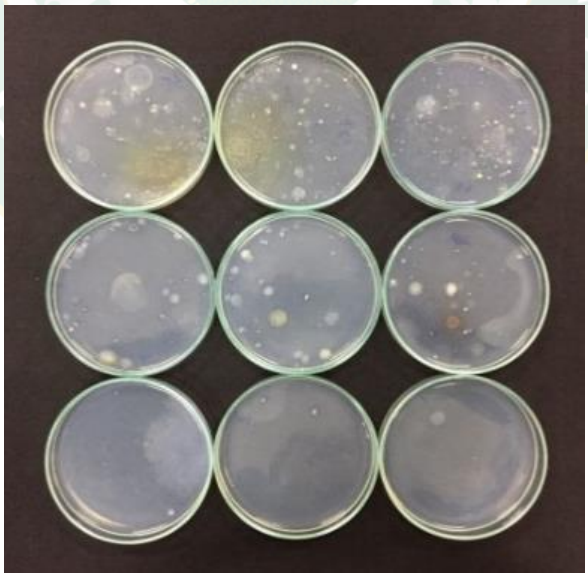


ภาพภาคผนวก 11 การวิเคราะห์เนื้อดิน

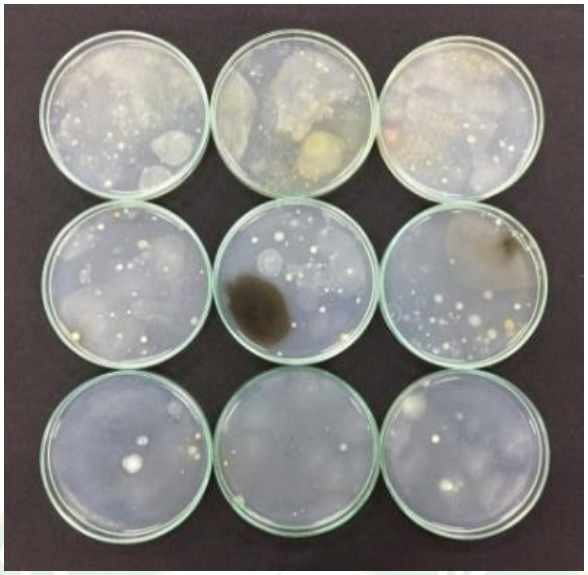
เชื้อแอคติโนมัยซีท (Actinomyces)



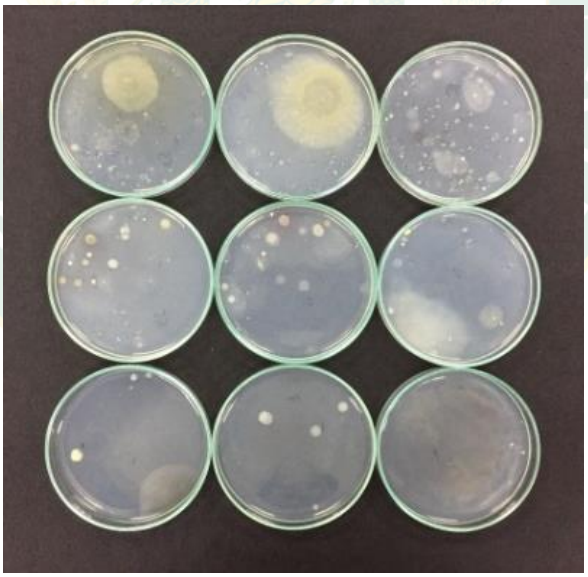
ภาพภาคผนวก 12 ตำรับควบคุม ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน



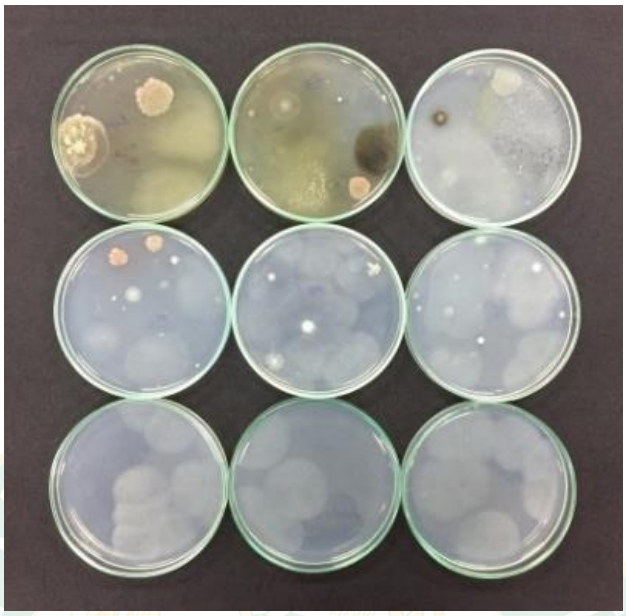
ภาพภาคผนวก 13 ตำรับถ่านชีวภาพ ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีทที่ 12 เดือน



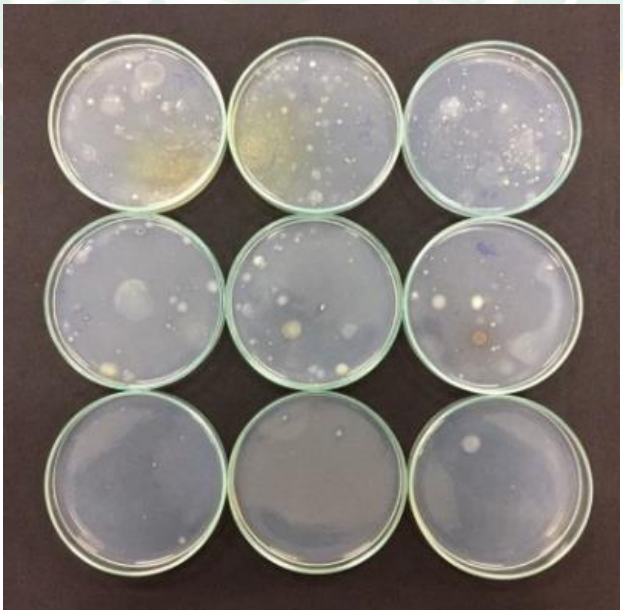
ภาพภาคผนวก 14 ตำรับมูลไก่ ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน



ภาพภาคผนวก 15 ตำรับมูลวัว ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน

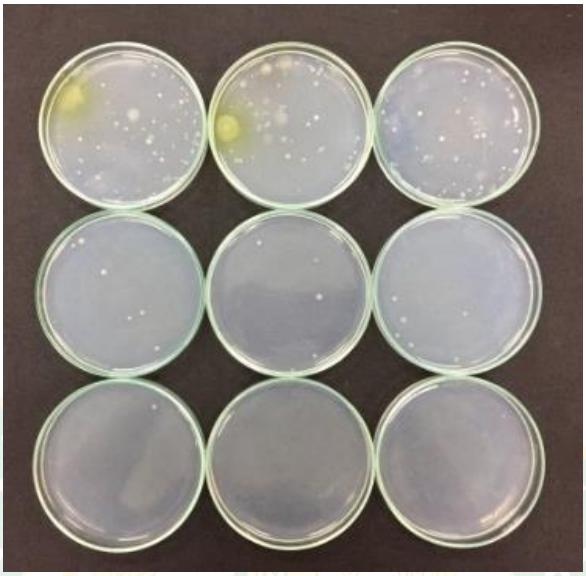


ภาพภาคผนวก 16 ตำรับพัมมิซ ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน

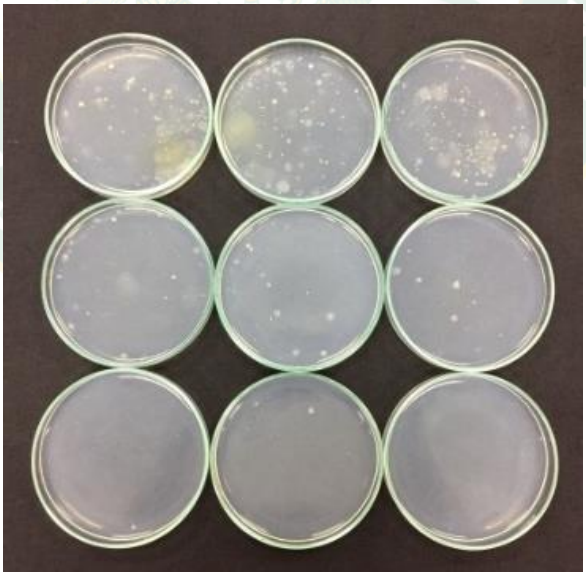


ภาพภาคผนวก 17 ตำรับทราย ทำการ Pour plate เชื้อแอคติโนมัยซีท ที่ 12 เดือน

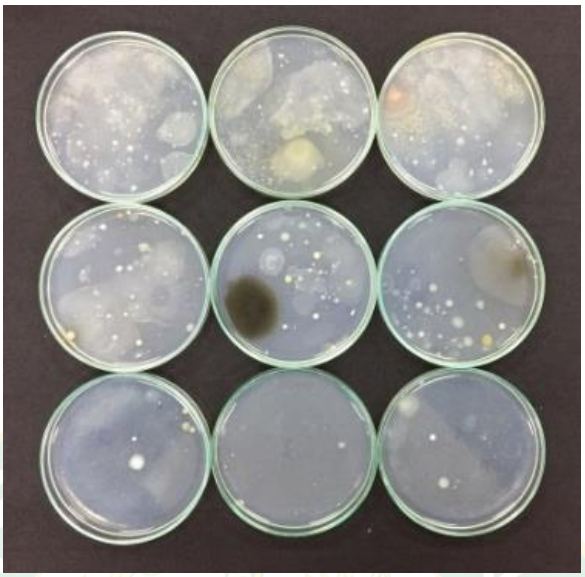
เชื้อแบคทีเรีย (Bacteria)



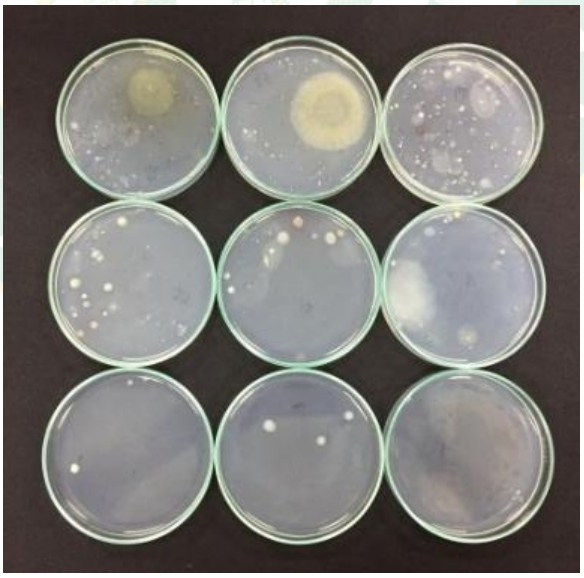
ภาพภาคผนวก 18 ตำรับควบคุม ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน



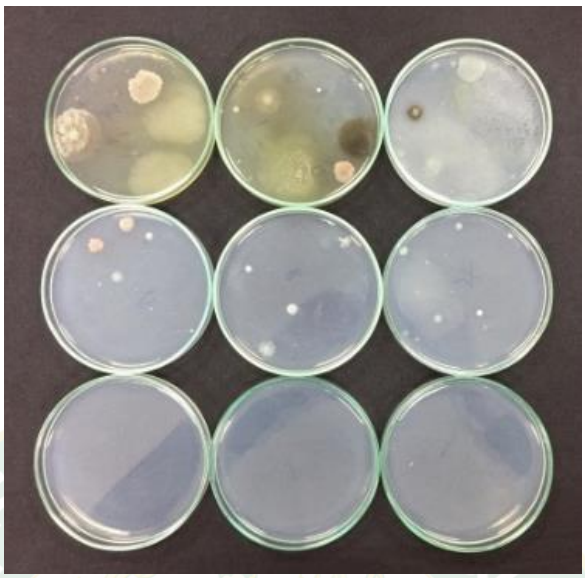
ภาพภาคผนวก 19 ตำรับถ่านชีวภาพ ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน



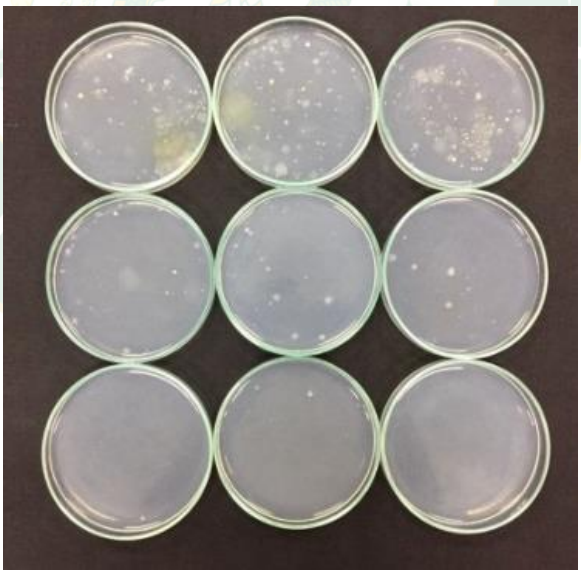
ภาพภาคผนวก 20 ตำรับมูลไก่ ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน



ภาพภาคผนวก 21 ตำรับมูลวัว ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน

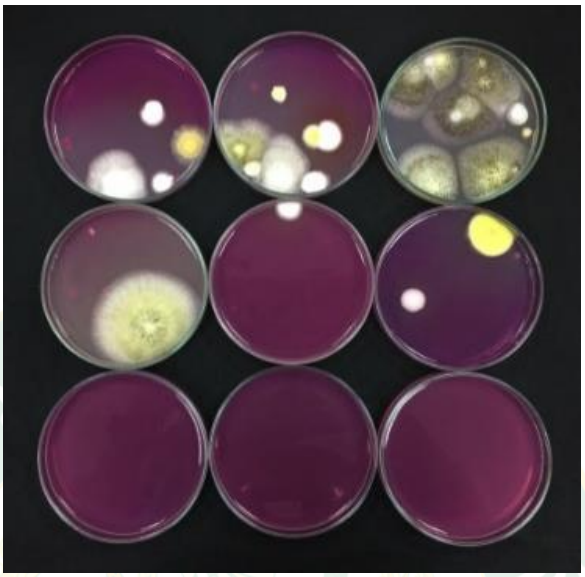


ภาพภาคผนวก 22 ตำรับพัมมิซ ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน

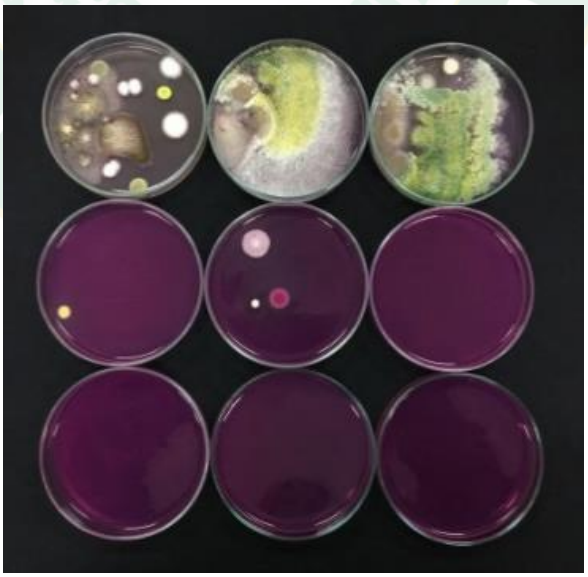


ภาพภาคผนวก 23 ตำรับทราย ทำการ Pour plate เชื้อแบคทีเรีย ที่ 12 เดือน

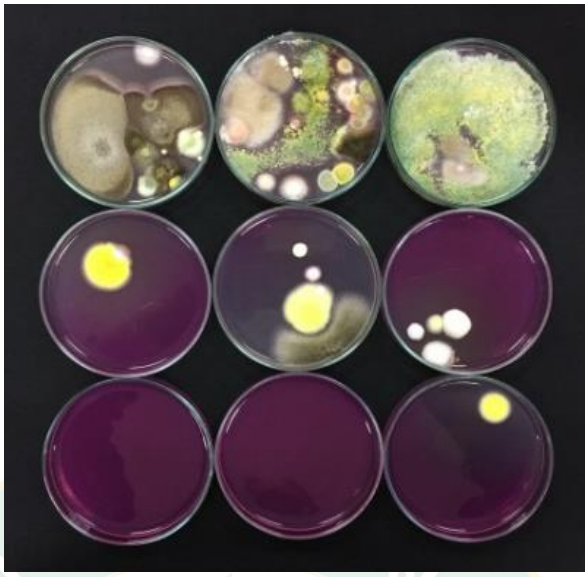
เชื้อรา (Fungi)



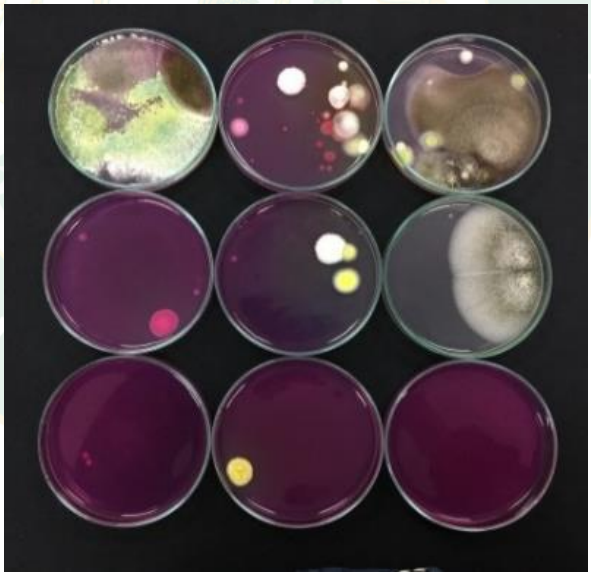
ภาพภาคผนวก 24 ตำรับควบคุม ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน



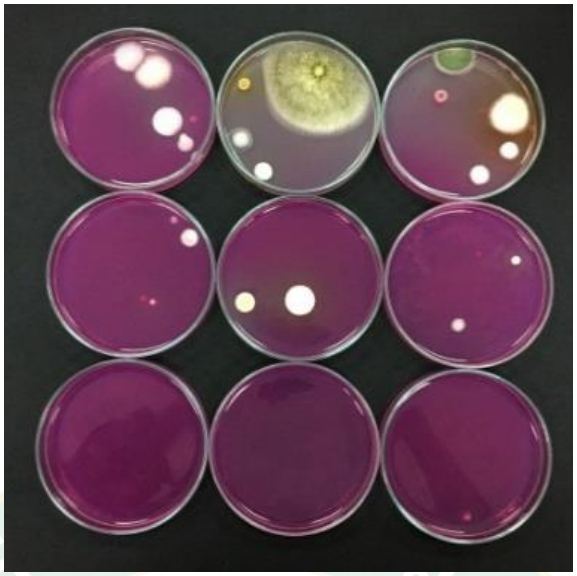
ภาพภาคผนวก 25 ตำรับถ่าน ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน



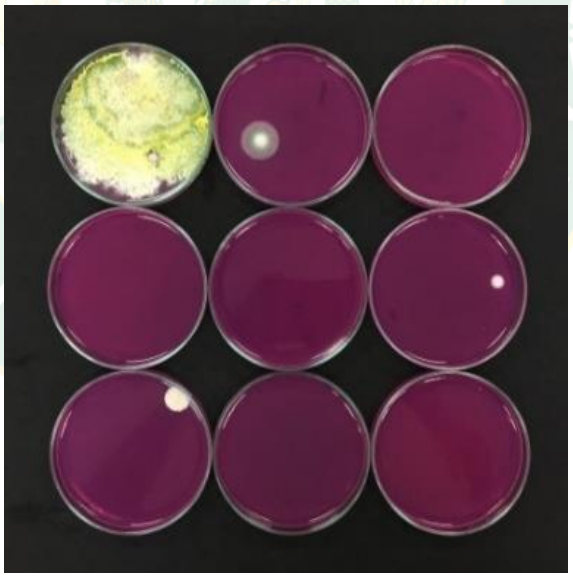
ภาพภาคผนวก 26 ตำรับมูลไก่ ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน



ภาพภาคผนวก 27 ตำรับมูลวัว ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน



ภาพภาคผนวก 28 ตำรับพัมมิซ ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน



ภาพภาคผนวก 29 ตำรับทราย ทำการ Pour plate เชื้อรา ที่ 12 เดือน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายสุทธิภัทร แซ่ย่าง

เกิดเมื่อ 15 สิงหาคม 2533

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2553 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนาโบสถ์พิทยา จังหวัดตาก

พ.ศ. 2558 ปริญญาตรี สาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่