รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

The management of organic fertilizers combined with arbuscular mycorrhizal fungi for organic farming

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การจัดการดินและธาตุอาหารพืชในระยะปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

โดย

ดร.ผานิตย์ นาขยัน และคณะ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2560

มจ.1-59-052.3

รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

The management of organic fertilizers combined with arbuscular mycorrhizal fungi for organic farming

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การจัดการดินและธาตุอาหารพืชในระยะปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

งบประมาณวิจัยที่ได้รับ จำนวน 249,400 บาท

หัวหน้าโครงการ ดร.ผานิตย์ นาขยัน

ผู้ร่วมโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภธิดา อ่ำทอง

นางสาววราภรณ์ ภูมิ์พิพัฒน์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

31 สิงหาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
บทนำ	4
วัตถุประสงค์	5
ขอบเขตของงานวิจัย	5
ทฤษฎีสมมติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	6
ตรวจเอกสาร	7
การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราไมคอร์ไรซา	7
ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้าสู่รากพืช การงอกของสปอร์ และการเจริญเติบโตของเชื้อรา อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	8
ประโยชน์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อพืชอาศัย	11
แนวทางการนำไปใช้สำหรับการเกษตรอินทรีย์	13
การผลิตสารโกลมาลิน (Glomalin) จากเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า (Arbuscular mycorrhizal fungi)	15
การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์	16
การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว	16
ระบบเกษตรอินทรีย์กับโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน	17
ผลของโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน : สมบัติทางสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน	18
ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหาร	20
ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆต่อความเป็นประโยชน์ของ Zn และ Cu	22
วิธีการวิจัย	23
ผลการวิจัย	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุปผลการวิจัย	53
เอกสารอ้างอิง	55

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ชื่อปุ๋ยอินทรีย์ที่หมักร่วมกับเชื้อไมโครไรซ่า 5 ชนิด 23

ตารางที่ 2 ชนิดเชื้อราไมคอร์ไรซาที่ใช้ในการทดลอง 24

ตารางที่ 3 วิธีวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ 25

ตารางที่ 4 การเก็บข้อมูลสมบัติของดินก่อนปลูกและหลังปลูก 26

ตารางที่ 5 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพดกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด 39

ตารางที่ 6 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างพืชในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพดกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด 42

ตารางที่ 7 ข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด 44

ตารางที่ 8 ข้อมูลความสูงของต้นข้าวโพดที่วัดได้ 45

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ดิน 48

ตารางที่ 10 ผลความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ดิน 50

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์พืช 52

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 6

ภาพที่ 2 Relationship between easily , total glomalin and stability of 1-2 mm-size aggregates in 0-15 cm soil samples of paddy soil in Chiang Mai province , Northern Thailand. 19

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมต้นกล้าข้าวโพดพร้อมปลูก 28

ภาพที่ 4 ปุ๋ยชนิดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทดลอง 28

ภาพที่ 5 การใส่ปุ๋ยแปลงปลูกข้าวโพด 28

ภาพที่ 6 การเก็บตัวอย่างต้นข้าวโพด 29

ภาพที่ 7 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างรากข้าวโพดสำหรับการวิเคราะห์ 30

ภาพที่ 8 แสดงค่า pH ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8 32

ภาพที่ 9 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8 33

ภาพที่ 10 แสดงค่าโพแทสเซียม ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8 33

ภาพที่ 11 แสดงค่า ฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8 34

ภาพที่ 12 แสดงค่า Organic Matter ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8 34

ภาพที่ 13 แสดงค่า Total N ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8 35

ภาพที่ 14 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8 ตามลำดับ 35

การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปรับปรุงดินในระยะปรับเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

The management of organic fertilizers combined with arbuscular mycorrhizal fungi for organic farming

ผานิตย์ นาขยัน[1] ศุภธิดา อ่ำทอง[1] วราภรณ์ ภูมิ์พัฒน์[1]

Phanit Nakhayan[1] Suphathida Aumtong[1] Varaporn Poompipat[1]

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การปรับเปลี่ยนจากการทำเกษตรเคมีมาเป็นเกษตรอินทรีย์ โดยการใช้อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เป็นแนวทางที่มีศักยภาพที่สามารถนำไปสู่การปฏิบัติของเกษตรกรได้ ซึ่งจะทำให้สมบัติของดินต่างๆ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา ผลของการใช้ปุ๋ยหมักร่วมเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพด และการใช้พืชร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินที่ผ่านการทำเกษตรเคมี ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา โดยศึกษาสมบัติของปุ๋ยหมักมูลสัตว์หลังการหมักของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8 และนำไปวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยหมักร่วมเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพด โดยดำเนินการในแปลงเกษตรกร วางแผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block Design (RCBD) กำหนดทรีตเม้นท์ชนิดปุ๋ยอินทรีย์ จำนวน 4 ซ้ำ และศึกษาการใช้พืชร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินที่ผ่านการทำเกษตรเคมี โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD กำหนดทรีตเม้นท์การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวและปุ๋ยกากถั่วเหลืองร่วมกับหัวเชื้อไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ ในแปลงปลูกข้าวโพด จำนวน 3 ซ้ำ แล้วจึงวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ชีวเคมี และชีววิทยาของดินและพืช พบว่า ปุ๋ยมูลหมูมีคุณสมบัติทางปุ๋ยอินทรีย์สูงกว่าปุ๋ยมูลวัวอย่างมีนัยทางสถิติตลอดระยะเวลาการหมัก 56 วัน และเชื้อ *G.etunicatum* มีประสิทธิภาพต่อการเปลี่ยนแปลงปุ๋ยอินทรีย์มากที่สุด การวิเคราะห์ดินตามการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด พบว่า ในฤดูปลูกที่ 1 ค่า P และ Water Soluble Carbon (WSC) ใส่เชื้อ

G.mosseae (GM) มีค่าสูงสุด, ค่า NO_3^- และ NH_4^+ ที่ใส่เชื้อทุกชนิด มีค่าสูงสุด และในฤดูปลูกที่ 2 ค่า pH และ Zn ที่ใส่เชื้อ *G.geosporum* (GG) มีค่าสูงสุด ค่า K ที่ใส่เชื้อ *A.foveata* (AF) มีค่าสูงสุด ค่า Hot Water Soluble Carbon (HWSC) ที่ใส่เชื้อทุกชนิด มีค่าสูงสุด ค่า OM ที่ไม่มีการใส่เชื้อ (Control) มีค่าสูงสุด และการวิเคราะห์พืชตามการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด พบว่า ในฤดูปลูกที่ 1 ค่า %N ที่ใส่เชื้อ GM มีค่าสูงสุด, ค่า dw ที่ใส่เชื้อ GG, GM, *G.etunicatum* (GE) และ *G.geosporum*+ *G.etunicatum* (G+E) มีค่าสูงสุด ค่า root dw ที่ใส่เชื้อ G+E มีค่าสูงสุด และในฤดูปลูกที่ 2 ค่า %P, %K และ การเข้ารากา (%root) ที่ใส่เชื้อ GM มีค่าสูงสุด และการวิเคราะห์ดินตามความลึกที่ 1 และ 2 พบว่า ความลึกที่ 2 มีค่า pH, AP และ Bd สูงสุด ส่วนความลึกที่ 1 มีค่า NH_4^+, NO_3^-, Mg และ Cu สูงสุด และในตำรับที่ 9 มีค่า pH และ AP สูงสุด ค่า Soil Organic Carbon (SOC), WSC, HWSC และ Mg ในตำรับที่ 5 มีค่าสูงสุด ค่า NH_4^+ ในตำรับที่ 1 มีค่าสูงสุด ค่า NO_3^- ในตำรับที่ 10 มีค่าสูงสุด ค่า K ในตำรับที่ 7 มีค่าสูงสุด ค่า Ca ในตำรับที่ 1 มีค่าสูงสุด, ค่า Mg ในตำรับที่ 5 และ 3 มีค่าสูงสุด ค่า Zn ค่า Cu ในตำรับที่ 6 มีค่าสูงสุด ค่า Fe ในตำรับที่ 3 ถึง 8 และ 10 มีค่าสูงสุด ค่า Mn ในตำรับที่ 2 และ 3 มีค่าสูงสุด มีค่าสูงสุด ค่า POC ในตำรับที่ 2 มีค่าสูงสุด และค่า Bd ในตำรับที่ 1 มีค่าสูงสุด

คำสำคัญ: เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ เกษตรอินทรีย์ สมบัติของดิน

Abstract

In agriculture, the change from chemical farming to organic farming by using arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) together with organic fertilizer, is considered a high potential guideline for adoption by farmers where various soil properties are suitable for plant growth. This research was conducted in order to study the changes in the properties of animal manure fertilizer with mycorrhiza fungi as a result of using compost fertilizer combined with AMF on the growth of paddy rice and corn, and the effect on crops from combined use of organic fertilizer and AMF on the changes in chemical and physical properties of the soil previously used in chemical agriculture. The study on the change in the properties of animal manure fertilizer combined with mycorrhiza fungi was done by investigating the properties of animal manure fertilizer composted at week 1, 4 and 8, and then followed by the analysis of the properties of organic fertilizer. The study on the effect of using compost fertilizer combined with AMF on the growth of paddy rice and corn system in farmers' fields was done in a Randomized Complete Block Design (RCBD) with designated treatments comprising of different types of organic fertilizers in 4 replicates and the study of using crops with combined organic fertilizer and AMF on the chemical and physical changes of the soil after having

been used in chemical agriculture, was conducted similarly in RCBD with treatments consisting of compost fertilizer from soybean residue combined with AMF inoculums in corn field in 3 replicates and then followed by analysis of the chemical, physical, biochemical and biological properties of soil and crop. It was found that animal (swine) manure fertilizer contained significantly high organic fertilizer properties throughout the 56 days of composting with *G.etunicatum* inoculum found to be highly efficient in changing organic fertilizer properties. Soil analysis based on the use of each type of AMF inoculum showed that during the first season, P and Water Soluble Carbon (WSC) using *G. mosseae* (GM) inoculum were found in highest amount while NO_3^- and NH_4^+ that used each type of inoculum were also highest and in the second season, pH value and Zn with *G. geosporum* (GG) inoculum were also high. Similarly, K using *A.foveata* (AF) inoculum was also the highest while Hot Water Soluble Carbon (HWSC) with each type of inoculum were found highest but OM with no inoculum (control), was also highest. Finally, crop analysis based on the use of each type of inoculums, showed that in the first planting season, %N with GM inoculums was highest while dw value using inoculum of GG, GM, *G.etunicatum* (GE) and *G. geosporum* + *G. etunicatum* (G+E) were highest together with root dw value using G + E inoculum. During the second planting season, %K, %P and %rooting when GM inoculum was used, were also highest. Analysis of soil at 1st and 2nd depth, showed that at 2nd depth, values of pH, AP and Bd were highest while at the 1st depth, values for NH_4^+, NO_3^-, Mg and Cu were likewise highest. In Treatment 9, pH value and AP were highest. Meanwhile, highest values were found for Soil Organic Carbon (SOC),WSC, HWSC and Mg in Treatment 5; NH_4^+ in Treatment 1; NO_3^- in Treatment 10; K in Treatment 7; Ca in Treatment 1; Mg in Treatments 5 and 3; Zn and Cu in Treatment 6; Fe in Treatments 3 to 8 and 10; Mn in Treatments 2 and 3; POC in Treatment 2; and, Bd in Treatment 1.

Keywords: arbuscular mycorrhiza fungi, organic fertilizer, organic farming, soil properties

บทนำ

เกษตรอินทรีย์ (organic agriculture หรือ organic farming) ซึ่งเป็นวิธีการผลิตที่หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี หรือสารสังเคราะห์ต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยเคมี สารเร่งการเจริญเติบโต สารควบคุมและกำจัดวัชพืช สารป้องกันกำจัดโรคแมลงและสัตว์ศัตรูข้าว แต่เน้นการใช้สารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ในการปรับปรุงเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพื่อให้ต้นข้าวมีความอุดมสมบูรณ์ และแข็งแรงตามธรรมชาติ สามารถต้านทานต่อโรคและแมลงได้ดี ตลอดจนต้องมีระบบการผลิตที่มีความยั่งยืนทั้งทางสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ โดยเน้นหลักที่การปรับปรุงบำรุงดิน การเคารพต่อศักยภาพทางธรรมชาติของพืช สัตว์ และนิเวศการเกษตร (FAO,1995) จากการทำระบบเกษตรเคมีที่มีการจัดการต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องเช่น การใส่ปุ๋ย การไถ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น การกระทำเหล่านี้ส่งผลกระทบทางลบต่อสภาพธรรมชาติดั่งเดิมของดิน โดยทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมของการเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช และมีผลกระทบต่อธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช การหมุนเวียนของธาตุอาหารในดิน หรือความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม

จากการคำนิยามของระบบเกษตรอินทรีย์ที่กล่าวมาข้างต้นในประเด็นการใช้สารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ในการปรับปรุงเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และหนึ่งในนั้นก็คือปุ๋ยชีวภาพ เชื้อจุลินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (arbuscular mycchorizal fungi, AMF) ที่มีความสามารถหลาย ๆ ประการและประการหนึ่งคือการสร้างโกลมาลินเป็นสารประกอบจำพวกโปรตีน โดยองค์ประกอบของโกลมาลินนั้นจะมีไนโตรเจนที่จับอยู่กับพวกสายโพลีแซกคาร์ไลด์ และยังมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) ก็เหมือนกับสาร humic acid ที่พบได้ในดินทั่วไป และสารชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีของการแตกสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา นอกจากนี้ สำหรับการจัดการระบบเกษตรอินทรีย์ อาจเป็นระบบเกษตรแบบหนึ่งที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาซึ่งการจัดการในระบบเกษตรเคมีที่มีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชหรือการใส่ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสที่มีการสะสมอยู่สูง เพราะมีการใส่ปุ๋ยเคมี จะทำให้กิจกรรมที่เป็นประโยชน์ของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้รับผลกระทบทางลบ ดังนั้นประโยชน์ที่ได้จากการทำระบบเกษตรอินทรีย์ที่มีผลต่อการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่จะช่วยพืชในการดูดใช้ธาตุอาหาร โดยการใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ที่อาศัยอยู่ในรากพืชโดยเป็นระบบพึ่งพาซึ่งกันและกันกับพืชอาศัย โดยสามารถเพิ่มความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในพืช ซึ่งอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยพืชดูดและสะสมธาตุอาหารต่าง ๆ ไว้ เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และธาตุอื่นอีก ซึ่งธาตุเหล่านี้อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะดูดไว้และสะสมไว้ในราก โดยเพิ่มพื้นที่ของผิวรากที่สัมผัสกับดินทำให้เพิ่มเนื้อที่ ในการดูดอาหาร

ธาตุของรากมากขึ้น การนำอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับพืชได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีคุณสมบัติตรึงอาหารฟอสฟอรัสได้ดี หรือดินมีฟอสฟอรัสต่ำ ซึ่งพืชไม่สามารถดูดธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัสจากดินมาใช้ให้เป็นประโยชน์ทั้ง ๆ ที่ในดินก็ยังมีแร่ธาตุอาหารอยู่ แต่อยู่ในสภาพที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ (unavailable form) ซึ่งการใช้อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพที่สามารถนำไปสู่การปฏิบัติของเกษตรกรได้ ซึ่งจะทำให้สมบัติของดินต่าง ๆ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวตามมา

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยหมักร่วมเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพด
3. เพื่อศึกษาการใช้พืชร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินที่ผ่านการทำเกษตรเคมี

ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนจากการทำการเกษตรเคมีมาสู่เกษตรอินทรีย์เพื่อกษาสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และชีวเคมี โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุในดินส่วนต่างๆ และตลอดจนการศึกษาผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และ/หรือร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินปลูกพืชเคมี (อายุการใช้ที่ดินประมาณ 30 ปี) ซึ่งจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืช หลังการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และ/หรือร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยเป็นการศึกษาในระดับแปลง

ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

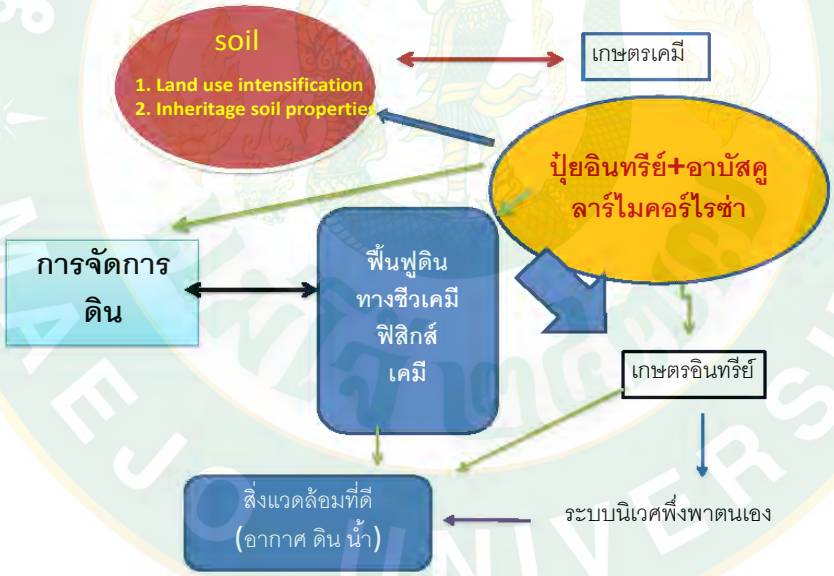
ในการดำเนินงานวิจัยนี้จึงมีสมมุติฐาน ดังนี้

1. สมบัติของดินถูกทำให้เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากระบบเกษตรแบบเข้มข้นและสมบัติบางประการของดิน ให้สมบัติทางชีวเคมี ฟิสิกส์ และเคมีของดินแตกต่างกันโดยเฉพาะในเรื่องปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

2. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อปรับปรุงดินได้ผลแตกต่างกัน เนื่องจากสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์และความสามารถของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

3. ปุ๋ยอินทรีย์มีความสามารถในการฟื้นฟูและบำรุงดินแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ และความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหาร

4. ผลของของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทำให้อินทรียวัตถุในดินเปลี่ยนแปลงไป และส่งต่อผลสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และชีวเคมีของดินที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ตรวจเอกสาร

การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราไมคอร์ไรซา

ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) หมายถึง ความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างเชื้อรากับรากพืช โดยต่างฝ่ายต่างได้ประโยชน์ร่วมกัน สามารถแบ่งชนิด เชื้อราไมคอร์ไรซาตามลักษณะการเข้าสู่รากพืช ได้ 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

1. เชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา (Ectotrophic mycorrhiza)

เชื้อรากลุ่มนี้จะเข้าสู่พืชโดยเริ่มจากสปอร์หรือเส้นใยในบริเวณเขตรากพืช (rhizoosphere) ได้รับอาหารจากสารอินทรีย์ต่างๆที่ขับจากรากพืช (root exudate) ต่อมาเจริญขึ้นเป็นเยื่อหุ้มรอบรากพืช (fungus mantle) เมื่อถึงระยะที่ใยราจะเจริญเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นคอร์เทกซ์ของรากพืช และสร้างเป็นเส้นใยสานกัน (harting net) รากจะมีลักษณะสั้นและแตกแขนงซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ออมทรัพย์, 2527) เอคโตไมคอร์ไรซามีบทบาทในการเพิ่มเนื้อที่ในการดูดธาตุอาหาร โดยจะเก็บธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ไว้ใน fungus mantle นอกจากนี้ยังช่วยย่อยสลายแร่ธาตุ และอินทรียวัตถุในดินที่ย่อยสลายยาก ช่วยเพิ่มความอดทนของพืชต่อความแห้งแล้ง อุณหภูมิสูง สารพิษในดิน ระดับพีเอชที่สูงหรือต่ำเกินไป และช่วยเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคพืชบางชนิดโดยเฉพาะโรคที่เกิดทางรากพืช (Pederson *et al.,* 1984) เข้าทำลายโรคพืชบางชนิด เช่น โรคที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium* sp. (Farquhar and Peterson, 1990)

2. เชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซา (Endotrophic mycorrhiza)

มักพบในพืชไร่ และไม้ผลทั่วๆไป เช่นข้าวโพด ถั่วเหลือง อ้อย ฝ้าย มะละกอ แอปเปิล โดยเส้นใยจะพันอย่างหลวมๆรอบๆรากพืช และมีเส้นใยบางส่วนเจริญเข้าไปในเซลล์รากพืช หรืออยู่ระหว่างเซลล์ชั้นคอร์เทกซ์ของรากพืช โดยไม่ทำให้ขนาดและรูปร่างของรากเปลี่ยนแปลงไป แต่บางครั้งทำให้รากมีสีเปลี่ยนไป โดยอาจมีสีเหลืองอ่อนหรือขาวขึ้น เช่นรากข้าวโพด หอมหัวใหญ่ มะเขือเทศ (Harley and Smith, เชื้อรากลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของใยรา (Mosse, 1973) ได้แก่ เชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซาชนิดเส้นใยมีผนังกั้น (septate hypha) ซึ่งเส้นใยจะเจริญเข้าไปอยู่ในเซลล์พืชเป็นช่วงเวลาสั้นๆ และเชื้อรา เอนโดไมคอร์ไรซาชนิดเส้นใยไม่มีผนังกั้น (non-septate hypha) จะสร้างสปอร์ผนังหนา ทั้งในบริเวณผิวรากและดินรอบๆรากพืช ซึ่งเส้นใยเหล่านี้จะเจริญเข้าไปอยู่ใน cortical cell สร้างอาร์บัสคูล (arbuscule) ซึ่งเป็นที่แลกเปลี่ยนอาหารระหว่างรากับพืช ทั้งยังสร้างเวสสิ

เคิล (vesicle) เพื่อสะสมอาหาร ซึ่งเชื้อรานี้จะขยายพันธุ์โดยใช้สปอร์ และแพร่กระจายไปได้โดยลม น้ำ แมลง

3. เชื้อราเอคเทนโดไมคอร์ไรซา (Ectendotrophic mycorrhiza)

เชื้อราเอคเทนโดไมคอร์ไรซาเป็นไมคอร์ไรซาที่มีลักษณะอยู่ระหว่าง เอคโตไมคอร์ไรซา และเอนโดไมคอร์ไรซา แต่มีลักษณะคล้ายราพวกแรกมากกว่า เส้นใยอยู่อย่างหลวมๆรอบรากพืช มีลักษณะเป็นเยื่อบางๆหรือเป็นแผ่นเนื้อเยื่อบางๆ พืชอาศัยจะพบมากในรากของไม้สน (conifer) (ธงชัย, 2550)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้าสู่รากพืช การงอกของสปอร์ และการเจริญเติบโตของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

1. อุณหภูมิของดิน

Raju *et al.* (1990) ศึกษาผลการเจริญเติบโตของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวฟ่างที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เชื้อ *G. macrocarpum* เข้าสู่รากพืชได้ดีที่สุด และทำให้พืชเจริญเติบโตและดูดอาหารได้มากที่สุด ที่อุณหภูมิ 20 และ 25 องศาเซลเซียส เชื้อ *G. fasiculatum* ทำให้พืชเจริญเติบโตทางด้านลำต้นได้ดีที่สุด แต่มีการดูดอาหารได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส่วนเชื้อ *G. intraradices* ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้ การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและการดูดธาตุอาหารต่ำลง

2. พีเอชของดิน (pH)

Wang *et al.* (1993) ศึกษาผลของพีเอชต่อการเข้าอาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาในข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศ พบว่า *G. caledonium, G. albidum, G. etunicatum, G. macrocarpum, G. fasciculatum, Acaulospora* spp. และ *S. calospora* มีการเข้าอาศัยในข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศในดินที่มีพีเอช 5.5-7.5 ส่วนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพวก *G. tenue* จะพบการเข้าอาศัยในรากข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศน้อยที่พีเอช 5.5-6.5 และไม่พบการเข้าอาศัยรากพืชทั้งสองชนิดเมื่อดินมีพีเอชเท่ากับ 7.5 สรุปได้ว่าพีเอช 5.5-7.5 พบการเข้าอาศัยในราก พีเอช 7.5 จะไม่พบการเข้าอาศัยในรากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

3. ความชื้นในดิน

Jasper *et al.* (1993) ศึกษาการอยู่รอดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่แห้งแล้งและความสัมพันธ์ในการสร้างสปอร์ พบว่าในดินที่แห้งแล้ง ใยราของ *S. calospora* และ *A. leavis* ไม่สามารถเข้าสู่รากพืชได้ Simpson and Daft (1990) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพเครียดของน้ำและเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชและการพัฒนาของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวโพด และข้าวฟ่าง พบว่า สภาพเครียดของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ไม่มีผลกระทบต่อการเข้าอาศัยในรากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเมื่ออยู่ภายใต้สภาพเครียดของน้ำสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีจำนวนลดลง

4. ธาตุอาหารพืช

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารและเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผู้ทำการศึกษาอย่างกว้างขวางและเป็นที่ยอมรับกันว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเข้าอาศัยในรากพืชได้ดีเมื่อมีปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำ เช่นจากการศึกษาของ Gryndler *et al.* (1990) พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม มีผลต่อปริมาณการเข้าอาศัยในรากพืชของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยเฉพาะฟอสฟอรัส ซึ่งพบว่าถ้าในดินมีฟอสฟอรัสในระดับปานกลางแต่มีการเพิ่มธาตุไนโตรเจนการเข้ารากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มขึ้น แต่หากมีฟอสฟอรัสสูงการเข้าอาศัยในรากจะลดลง

5. สารเคมี

Sreenivasa and Bagyaraj (1989) ศึกษาผลของยาปราบศัตรูพืช (ยาฆ่าเชื้อรา ยาฆ่าไส้เดือนฝอย และยาฆ่าแมลง) ต่อการสร้างเส้นใยในรากและจำนวนสปอร์ของเชื้อรา *G. fasciculatum* พบว่าแคพแทน (Captan) และคาโบฟูแรน (Carbofuran) ที่ระดับความเข้มข้น 0.12 ลิตร และ 0.14 ลิตรต่อส่วนผสมทั้งหมด 2.5 ลิตร ตามลำดับ สามารถเพิ่มปริมาณการสร้างเส้นใยในราก และจำนวนสปอร์ ทั้งแคพแทนและคาโบฟูแรนที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวช่วยยับยั้งการปนเปื้อนของเชื้อราชนิดอื่นและไส้เดือนฝอยในกระถางที่เพาะเลี้ยงเชื้อ *G. fasciculatum* สำหรับยาฆ่าแมลง ฟอร์โมไธออน (Formothion) และมาลาไธออน (Malathion) ที่ความเข้มข้น 0.001 ลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร พบว่าไม่เป็นอันตรายต่อเชื้อ *G. fasciculatum* ส่วน Habte *et al.* (1992) พบว่า เชื้อ *G. aggregatum* จะอ่อนแอมากต่อสารกำจัดเชื้อราพวกคลอโรธาโรนิล (Chlorothalonil) ที่ตกค้างในดินนาน 12.5 สัปดาห์

6. ชนิดของพืชอาศัย

Boyetchko and Tewari (1990) ศึกษาการเข้าสู่รากพืชชนิดต่างๆ ของเชื้อ *G. dimorphicum* พบว่าจีโนมของพืชอาศัยช่วยชักนำให้เชื้อ *G. dimorphicum* เข้าสู่รากพืชและลักษณะทางสัณฐานของเชื้อในรากพืชก็มีความแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช โดยพบว่าการเข้าสู่รากข้าวบาร์เลย์ในระดับต่ำ แต่ในพืชตระกูลถั่วอัลฟัลฟา และหอมจะมีการเข้าสู่รากพืชในระดับสูง และการเข้าสู่รากพืชนี้จะสูงที่สุดใน red clover และข้าวโพด ส่วนเส้นใยที่พบในราก พบว่าในรากข้าวโพด อัลฟัลฟา และ red clover จะมีลักษณะม้วนเป็นวง และพบเวสสิเคิลใน red clover และพืชตระกูลถั่วเท่านั้น ในขณะที่อาบัสคูลพบในพืชทุกชนิดยกเว้นข้าวบาร์เลย์ ส่วนการศึกษาของ Vivekanadau and Fixen (1991) ศึกษาถึงระบบการปลูกพืชที่มีผลต่อการเข้าอาศัยของเชื้อรา อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวโพด พบว่าระดับการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวโพดจะมีค่าสูงสุดเมื่อพื้นที่นั้นเคยมีการปลูกถั่วเหลืองมาก่อน และระดับการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชนี้จะมีค่าต่ำสุด เมื่อมีการปลูกข้าวบาร์เลย์มาก่อน

7. จุลินทรีย์ชนิดอื่น

Singh *et al.* (1991) ศึกษาผลของการปลูกเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ที่เมล็ดพืชตระกูลถั่วโดยตรงต่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพบว่าในพืชตระกูลถั่วคือ กระถินไทย (*Leucaena leucocephala*) ถั่วเหลือง (*Glycine max*) ถั่วแระ (*Phaseolus aureus*) และ azuki bean (*Vigna unguiculata*) มีการเข้าสู่รากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาการเกิด เวสสิเคิล และปริมาณสปอร์เพิ่มขึ้น เมื่อมีการใส่เชื้อยีสต์ที่เมล็ดพืช

Carpenter-Boggs *et al.* (1995) ศึกษาการกระตุ้นการงอกของสปอร์ *Gi. magarita* โดยสารระเหยที่ผลิตโดยเชื้อแอคติโนมัยซีทที่แยกได้จากดินไร่จำนวน 19 ตัวอย่าง เพื่อนำมาผลิตสารระเหย (volatiles) เพื่อใช้กระตุ้นการงอกของสปอร์ *Gi. magarita* พบว่า เชื้อแอคติโนมัยซีทบางชนิดช่วยให้สปอร์ของเชื้อ *Gi. magarita* มีการงอกเพิ่มขึ้นถึง 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับในชุดที่ไม่มีการใส่แอคติโนมัยซีทที่มีการงอกเพียง 25 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าแอคติโนมัยซีทที่มีรูปร่างตรง (straight) จะสามารถกระตุ้นการงอกของเส้นใยได้มากกว่าแอคติโนมัยซีทที่มีรูปร่างเป็นเกลียว (spiral)

ประโยชน์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อพืชอาศัย

1. ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

พืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่จะมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซาโดยเฉพาะพืชที่มีรากอวบและรากขนอ่อนน้อย เช่นไม้ ยืนต้น ไม้ประดับ มันสำปะหลัง ปาล์ม องุ่น ส้ม ส่วนพืชตระกูลหญ้าและถั่วมีการตอบสนองต่อ เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาน้อยเพราะมีรากเล็กและรากหนาแน่น (นันทกร และคณะ, 2535) การที่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชเจริญเติบโตดีเนื่องจากช่วยดูดธาตุอาหารมากกว่าโดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสทำให้การสังเคราะห์แสงและการใช้คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพส่งผลให้มีสัดส่วนของลำต้นต่อรากสูงกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Harley and Smith, 1983)

2. เพิ่มความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสามารถดูดใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืช เช่นธาตุฟอสฟอรัส โดยเฉพาะเมื่อมีฟอสฟอรัสในดินต่ำ ซึ่งนับเป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างมากเนื่องจากการเจริญของเส้นใยที่หุ้มรากมีส่วนในการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างรากกับดินมากขึ้น และเป็นการลดระยะทางที่ฟอสฟอรัสจะเคลื่อนที่มายังรากทำให้พืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ในปริมาณมากและรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชที่มีเชื้อรา อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ซึ่งสูงกว่าพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซา (Mosse, 1973) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดใช้อาหารที่เคลื่อนที่ได้ช้าโดยใช้เส้นใยราในดารดูดธาตุอาหาร เช่น สังกะสี และทองแดง แต่จะมีอิทธิพลน้อยในธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น ไนเตรทและซัลเฟต (Powell, 1976)

3. ช่วยเพิ่มความต้านทานเชื้อสาเหตุโรคพืช

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชมีความต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อโรคพืช โดยเฉพาะเชื้อสาเหตุโรคที่เกี่ยวกับรากพืช เนื่องจากเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทำให้ลักษณะทางกายภาพ และสัณฐานวิทยาของพืชเปลี่ยนไป (Reid, 1990) เช่นเพิ่มเอนไซม์ chitinase ซึ่งเป็นสารต่อต้านเชื้อรา (Pfleger and Linderman, 1994)

Sharma *et al.* (1992) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับการเป็นโรคของพืช พบว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการซึมผ่านสารต่างๆ ออกมาภายนอกรากเพื่อเพิ่มกิจกรรมย่อยสลายไคติน (chitinolytic activity) และเปลี่ยนแปลงการ

สังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังพบว่าพืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีความต้านทานต่อเชื้อโรคที่อยู่ในดินและพืชได้ Norman *et al.* (1996) ศึกษาผลของเชื้อรา อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสตรอเบอรีที่มีต่อเชื้อ *Phytophthora fragiriae* ในสตรอเบอรี 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Elsanta, Cambridge favorite และRhapsody พบว่า สตรอเบอรี 2 สายพันธุ์คือ Cambridge favorite และ Elsanta เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยลดอาการแห้งตาย (necrosis) ของรากลงได้ 60 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีผลต่อสตรอเบอรีพันธุ์ Rhapsody เพียงเล็กน้อยเท่านั้น Trotta *et al.* (1996) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อ *Phytophthora nicotianae var. parasitica* กับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. mosseae* ในมะเขือเทศ พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อ *Phytophthora nicotianae* โดยในมะเขือเทศที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเจริญร่วมกับเชื้อ *Phytophthora nicotianae* จะมีอาการแห้งตายที่เนื้อเยื่อรากลดลง โดยสามารถลดอาการแห้งตายที่รากแขนงและที่ปลายรากลงได้มากถึง 63 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4. เพิ่มความสามารถในการทนแล้งของพืช

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชทนแล้งได้เนื่องจากมีผลต่อควบคุมการเปิดปิดปากใบรวมทั้งควบคุมการคายน้ำของพืช (Auge *et al.,* 1987) นอกจากนี้พบว่าในดินแห้งเส้นใยจะทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากดินไปสู่รากพืช โดยการดูดซับน้ำที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเม็ดดินและนำไปยังพืช และช่วยให้พืชฟื้นตัวจากสภาพเครียดของน้ำได้เร็วกว่าพืชไม่มีไมคอร์ไรซา (Sieverding, 1991) บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อความสามารถในการทนแล้งของพืช มีผู้ทำการศึกษาอย่างมากมาย อาทิ เช่น การศึกษาของ Subramanian *et al.* (2013) ศึกษาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความสัมพันธ์ของน้ำในข้าวโพดที่กำลังมีฝักอ่อนภายใต้สภาพเครียดของน้ำในเรือนกระจก และศึกษาอิทธิพลของเชื้อรา *G. intraradices* ต่อความทนทานสภาพแห้งแล้งของข้าวโพดในเขตร้อน พบว่า ข้าวโพดสามารถทนทานต่อความแห้งแล้งได้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ หลังจากที่ข้าวโพดออกฝักอ่อน และในข้าวโพดที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีอัตราการคายน้ำและปริมาณน้ำในใบ วัดในเวลาหลังเที่ยงสูงกว่าในข้าวโพดที่ไม่มีไมคอร์ไรซา แต่มีความต้านทานของปากใบต่ำกว่าข้าวโพดที่ไม่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่า ใบข้าวโพดที่ไม่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีพื้นที่สีเขียวมากกว่าในใบที่ไม่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ถึง 27.5 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาพเครียดของน้ำ จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเชื้อราไมคอร์ไรซาสามารถส่งเสริมให้พืชที่กำลังมีฝักอ่อนมีความต้านทานต่อสภาพแล้งอย่างมีนัยสำคัญ

5. ช่วยให้พืชทนต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก

Guo *et al.* (1996) ศึกษาความสามารถของเชื้อ *G. mosseae* ต่อการดูดซับธาตุแคดเมียม และนิกเกิล ในต้นถั่วและข้าวโพด พบว่า ในต้นถั่วเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุแคดเมียมในดิน โดยสามารถดูดซับได้ถึง 37 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแคดเมียมที่ดูดซับได้ทั้งหมด เช่นเดียวกับข้าวโพดที่สามารถดูดซับธาตุแคดเมียมได้เพิ่มขึ้น 41 เปอร์เซ็นต์ แต่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อการดูดซับธาตุนิกเกิลในพืชทั้งสองชนิด Diaz *et al.* (1996) ศึกษาอิทธิพลของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับธาตุสังกะสีและตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน และการเจริญเติบโตของ *Lygeum spartum* และ *Anthyllis cytisoides* ศึกษาโดยใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2 ชนิด คือ *G. mosseae* และ *G. macrocarpum* พบว่า ในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนพืชที่มีและไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนัก พบว่า *Anthyllis cytisoides* ที่มีเชื้อ *G. mosseae* มีการเจริญเติบโตสูงกว่า *G. macrocarpum* และไม่สามารถเจริญเติบโตได้หากไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอาศัยในราก นอกจากนี้พบว่า พืชทั้งสองชนิดที่มีการเข้าอาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักในเนื้อเยื่อต่ำกว่าในพืชที่ไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

แนวทางการนำไปใช้สำหรับการเกษตรอินทรีย์

1. การทำหัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM inoculum)

เนื่องจากไม่สามารถเพาะเลี้ยงในอาหารเทียมเลี้ยงเชื้อได้ ดังนั้นจึงนิยมขยายหัวเชื้อโดยเก็บสปอร์ไปขยายในถุงเพาะชำ หรือแปลงเพาะกล้าเพื่อขยายให้มีปริมาณมากขึ้นในต้นกล้าพวกถั่ว ข้าวโพด หรือพืชวงศ์หญ้า แล้วไม่ใช้ดินเชื้อและรากของพืชที่นำมาขยายเชื้อนั้นไปคลุกผสมกับต้นกล้าที่เราต้องการเพาะปลูกต่อไป (ธงชัย, 2550)

1.1 การใช้ดินเชื้อ (Soil inoculum)

นำดินเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ปริมาณห่างจากลำต้นไม้เกิน 50 เซนติเมตร โดยรอบและขุดลึกประมาณ 10 - 20 เซนติเมตรให้มีรากเดิมติดมาด้วย แล้วนำไปใช้ทันทีหรือเก็บไว้ในที่ร่มประมาณไม่เกิน 7 วัน เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ติดอยู่กับดินจะนำไปคลุกกับดินเพาะอัตรา 1:6 ถึง 1:10 ส่วน แล้วเพาะเมล็ดและต้นกล้า วิธีนี้ข้อดีคือประหยัด เสียค่าใช้จ่ายน้อย ไม่ต้องใช้วิธียุ่งยากซับซ้อนง่ายต่อการปฏิบัติ ข้อเสียคือ ดินมีน้ำหนักมากขนย้ายระยะทางไกล ๆ ไม่สะดวก เราไม่สามารถทราบชนิดเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมกับต้นกล้าได้ และดินอาจมีเชื้อโรคติดมา

ระบาดต้นกล้าได้ง่าย วิธีการแก้ไข ต้องเลือกดินรากต้นแม่ที่สมบูรณ์ปราศจากโรคและควรปัดกวาดซากพืชหน้าดินออกให้สะอาดก่อนขุดดินนำเอาไปใช้เพาะต้นกล้า

1.2 การใช้สปอร์ (Spore inoculum)

เราสามารถนำสปอร์ไปผสมน้ำหรือใช้สปอร์โดยตรงคลุกกับเมล็ดพันธุ์ก่อนเพาะกล้า หรือนำสปอร์ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1000 แล้วฉีดพ่นกับต้นกล้าหรือเมล็ดพันธุ์ในแปลงเพาะ ข้อดีวิธีการนี้คือ นำไปปฏิบัติได้ง่าย ทราบชื่อพันธุ์ได้ แต่มีข้อเสียคือ เราไม่สามารถเก็บสปอร์ในปริมาณมาก ๆ ได้ ไม่สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีมีประสิทธิภาพสูง และสปอร์มีระยะพักตัว มีการงอกที่ไม่สม่ำเสมอ สปอร์บางชนิดมีอัตราการงอกต่ำ ต้องใช้วิธีกระตุ้นเป็นพิเศษจึงจะสามารถงอกได้สปอร์สามารถทำเป็นเม็ดไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal tablelts) ได้

2. การทำปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาอัดเม็ด

การขยายเชื้อโดยใช้ vermiculite : peat moss อัตราส่วน 28:1 แล้วผสมกับอาหารเทียม MMW ที่ปราศจาก 50% agar จะให้ผลดีสามารถเลี้ยงเชื้อได้ภายใน 3-4 เดือน ก็นำเอาหัวเชื้อไปใช้คลุกดินเพาะกล้าได้ ในอัตราส่วน 1:8 ถึง 1:10 แล้วจึงเพาะเมล็ดกล้าไม้ วิธีการนี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้เทคนิคเครื่องมือและอุปกรณ์ค่อนข้างซับซ้อนและต้องการความรู้ และความชำนาญเป็นพิเศษจึงดำเนินการได้ แต่ข้อดีก็คือ หัวเชื้อที่ได้จะบริสุทธิ์ปราศจากเชื้อปนเปื้อน และได้สายพันธุ์ที่เป็นพันธุ์ดีที่ได้คัดเลือกสายพันธุ์เหมาะสมแล้วมาใช้และมีประสิทธิภาพสูง ในแง่วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่ (ธงชัย, 2550)

3. การใส่ผงเชื้อให้แก่พืชมีวิธีการดังนี้

1. การใส่ผงเชื้อโดยโรยผงเป็นแถบ เป็นวิธีการใส่ผงเชื้อโดยการโรยผงเชื้อเป็นแถบๆ ข้างแถวที่ปลูกพืช วิธีนี้ได้ผลดีในกรณีที่มีผงเชื้อในปริมาณที่จำกัด

2. การผสมผงเชื้อกับดิน เป็นวิธีการใส่ผงเชื้อราให้แก่รากพืชที่คล้ายกับการใส่ผงเชื้อแบบธรรมชาติมากที่สุด ในแปลงปลูกพืชจำเป็นต้องใช้ผงเชื้อเป็นปริมาณมากเพื่อให้เกิดการติดเชื้อได้เร็วและมีปริมาณการติดเชื้อสูง แต่ถ้าเป็นการปฏิบัติในเรือนกระจกหรือในเรือนเพาะชำแล้ว การผสมผงเชื้อกับดินแล้วหว่านไปบนผิวดินผสมคลุกเคล้าให้ดี

3. การพอกเมล็ด หลักการทั่วไปจะคล้ายกันกับการพอกเมล็ดถั่วด้วยเชื้อไรโซเบียม กล่าวคือ นำเอาสปอร์ หรือ รากที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในกระถางโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงแบบเปียก (Wet sieving and decanting) มาจำนวน 35 มิลลิลิตร ผสมเข้ากับสารละลาย 1 เปอร์เซ็นต์ (W/V) ของ 400-centipoise methyl-cellulose จำนวน 5 มิลลิลิตร แล้วผสมกับเมล็ดพืช (ธงชัย, 2550)

4. การเพาะเชื้อร่วมกับพืชก่อนย้ายกล้า (Pre-inoculation of transplanted seedlings) ในพืชที่มีการย้ายกล้า การเพาะเชื้อร่วมกับก่อนการทำการย้ายกล้าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด มักใช้กับพืชพวกไม้ยืนต้น เช่น กล้าไม้ผล และไม้ป่าเป็นต้น

การผลิตสารโกลมาลิน (Glomalin) จากเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า (Arbuscular mycorrhizal fungi)

สมบัติโดยทั่วไปของโกลมาลินนั้น เป็นสาร glycoprotienaceous ที่เพิ่งจะถูกค้นพบเมื่อเร็ว ๆ นี้ โดยยังไม่สามารถทราบลำดับของกรดอมิโนและโครงสร้างอย่างชัดเจน โดยเป็นสารที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในกลุ่ม AMF โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็น obligate biotrops (อยู่ใน phylum Glomermycota) เพราะจะต้องอาศัยร่วมกันแบบ symbosis กับรากพืชเท่านั้น โดย 2 ใน 3 ของพืชเหล่านี้จะเป็นไม้ยืนต้น

โกลมาลินก็สมบัติเช่นเดียวกับสาร humic acid ที่พบได้ในดินทั่วไป โดยพบว่าเป็นสารประกอบจำพวกโปรตีนที่สามารถทำปฏิกิริยากับ antibody ที่เรียกว่า monoclonal antibody (MAb32B11) โดย antibody ชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีของการแตกสปอร์ AMF โดยเฉพาะสปีชีส์ *Glomus intraradices* โกลมาลินที่ปรากฏอยู่ในดินมีปริมาณแตกต่างกันตามชนิดของดิน ซึ่งอาจจะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่สูงมากจนถึงต่ำสุดประมาณ 10 mg g^{-1} ในบางกรณีอาจจะรายงานข้อมูลในลักษณะการเก็บรักษาคาร์บอน (stock) มีประมาณ 60 mg cm^{-3} สำหรับการสลายตัวนั้นโกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่าส่วนของ hyphae ของ AMF โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของโกลมาลินเมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะถึงหลายสิบปี นอกจากนี้ การผลิตอาจทำได้ในสภาพห้องทอดลองหรืออาหารปลอดเชื้อ (sterile *in vitro*) ของเชื้อ AMF แต่ในนี้ขณะงานศึกษายังในสภาพกระถางหรือดินโดยตรง องค์ประกอบของโกลมาลินนั้นจะมีไนโตรเจนที่จับอยู่กับพวกสายโพลีแซกคาร์ไลด์ และสิ่งที่สกัดได้จะมีเหล็ก (Fe) รวมอยู่ด้วยในปริมาณที่แตกต่างกันไป ส่วนบทบาทของ Fe ยังไม่เป็นที่ทราบ และยังมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) โดยมีหลักฐานจาก NMR sprectrum แสดงให้เห็นโกลมาลินนี้มีลักษณะที่แตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสารฮิวมิก แอซิด (humic acid) สำหรับการปลดปล่อยสารโกลมาลินออกจากส่วน hyphea ของ AMF นั้น โดยโกลมาลินอาจจะการหลุดร่อน (sloughed of hyphae) ของส่วน hyphae หรือถูกขับออกมาจากในส่วน hyphae tip นอกจากนี้ สายพันธุ์ของ AMF เป็นส่วนสำคัญในอัตราการสร้างโกลมาลินที่แตกต่างกันด้วย โดยจะตอบสนองต่อการจัดการทางการเกษตรต่าง ๆ เช่น การหมุนเวียนพืชที่ปลูก การไถ เป็นต้น หรืออาจจะมีบทบาทในการลดการปลดปล่อย CO_2 อีกด้วย

การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์

การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยให้เพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ สุภธิดา และคณะ (2552) รายงานว่า การใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสปีชีส์ *G. etunicatum* และ *G. geosporum* มีผลทำให้ปริมาณสารสัมพันธ์โปรตีนในส่วนของ สารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายสูงกว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ไม่มีการใส่เชื้อ และในส่วนของสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดพบว่าปุ๋ยมูลสัตว์ที่มีการใส่เชื้อรา อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีแนวโน้มสูงกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในขณะเดียวกันการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสายพันธุ์ *G. etunicatum* มีผลทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน Water Soluble Carbon (WSC) มีแนวโน้มสูงกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ส่วนปริมาณ POC พบว่าการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สายพันธุ์ *G. geosporum* มีผลทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยในส่วนของ Permanganate Oxidizable Carbon (POC) สูงกว่าปุ๋ยหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อาจจะกล่าวได้ว่าสารอินทรีย์คาร์บอนและโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในการประเมินความสมบูรณ์ในการหมักของปุ๋ยหมัก ซึ่งการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยคอกช่วยให้ปุ๋ยคอกย่อยสลายเร็วขึ้น เกษตรกรสามารถนำไปใช้ได้ในระยะเวลาสั้นเนื่องจากปุ๋ยที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาภายในไซโตรพลาสซึม (cytoplasm) ของเชื้อ อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีแบคทีเรียที่อาศัยร่วมอยู่ ซึ่งพบในเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาหลายชนิด รวมทั้งแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนภายนอกของผนังเซลสปอร์ด้วย (Walley and Germida, 1996) แบคทีเรียเหล่านี้ยังคงดำเนินกิจกรรมอยู่ จึงส่งผลให้มีการปลดปล่อย CO_2 ออกมาสูงเมื่อเปรียบเทียบปุ๋ยหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และกิจกรรมจุลินทรีย์ที่อยู่ในมูลสัตว์จะดำเนินกิจกรรมย่อยการสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ Perner *et al.* (2007) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ช่วยเพิ่มธาตุอาหาร การเจริญเติบโตของพืชและเพิ่มการออกดอกของพืช สุกานดา และคณะ (2552) รายงานว่า การใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยในการเพิ่มผลผลิตของสบู่ดำพันธุ์อินเดียได้

การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อสังคมไทย ไม่เพียงแต่เป็นแหล่งอาหารที่ให้คาร์โบไฮเดรตเท่านั้น ในแต่ละปีข้าวที่เหลือจากการบริโภคถูกส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศเช่น จีน อินโดนีเซีย อิหร่าน ฮ่องกง มาเลเซีย ดังนั้นอนาคตข้าวไทยจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมุ่งเน้นไปที่การผลิตคุณภาพสูงเพื่อการส่งออก โดยอาศัยความได้เปรียบทางด้านชื่อเสียงว่าเป็นผู้ผลิตข้าวคุณภาพสูงและเป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดของโลกมานาน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542) Li

et al. (1991) รายงานว่า ข้าวนาดำพันธุ์ Guangyinzhan ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* และข้าวไร่พันธุ์ Handao 502 ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. geosporum* ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อสารหนู เพิ่มผลผลิตเมล็ด น้ำหนักพืช จำนวนเมล็ด ฟางข้าว และการดูดใช้ฟอสฟอรัสและสารหนูในราก ในขณะเดียวกัน ข้าวนาดำพันธุ์ Guangyinzhan ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. geosporum* และข้าวไร่พันธุ์ Handao 502 ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* ทำให้ผลผลิตลดลงและเพิ่มความเข้มข้นของสารหนูในเมล็ด ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของวิธีการปลูกข้าวและชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา Xiao *et al.* (2010) รายงานว่า การปลูกพืชผสมผสานระหว่างถั่วเขียวกับข้าวไร่โดยการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. caledonium* และ *A. laevis* ช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหาร การตรึงไนโตรเจนและ การเจริญเติบโตของถั่วเขียวเพิ่มมากขึ้น Ruiz-Sanchez *et al.* (2010) รายงานว่าการปลูกข้าวโดยใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* โดยรักษาระดับความชื้นที่ 60-70 เปอร์เซ็นต์ (water holding capacity) พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของต้นข้าวและเพิ่มการสังเคราะห์แสงของข้าว Gao *et al.* (2002) รายงานว่า การปลูกข้าวสภาพมีอากาศโดยใส่เชื้อ *G. mosseae* และ *G. etunigatum* พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวและช่วยดูดใช้สังกะสีได้สูงกว่าข้าวที่ไม่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ระบบเกษตรอินทรีย์กับโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

ระบบเกษตรเคมีที่มีการจัดการต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องเช่น การใส่ปุ๋ย การไถ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น การกระทำเหล่านี้ส่งผลกระทบทางลบต่อสภาพธรรมชาติดั่งเดิมของดิน โดยทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมของการเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช และมีผลกระทบต่อธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช การหมุนเวียนของธาตุอาหารในดิน หรือความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม แต่สำหรับระบบเกษตรอินทรีย์ ก็อาจเป็นระบบเกษตรแบบหนึ่งที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งการจัดการในระบบเกษตรเคมีที่มีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชหรือการใส่ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส จะทำให้กิจกรรมที่เป็นประโยชน์ของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้รับผลกระทบทางลบ ดังนั้นประโยชน์ที่ได้จากการทำระบบเกษตรอินทรีย์ที่มีผลต่อการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่จะสร้างกูลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินก็จะเกิดผลต่อเนื่องตามมา ซึ่งจะทำให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตามมา

สำหรับแนวทางปฏิบัติประการหนึ่งคือการผลิตหัวเชื้อและการใส่ลงแปลงเพาะปลูก ความสำคัญในการนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในระดับแปลงเกษตรกรได้นั้น แนวทางปฏิบัติอาจจะเป็นการใส่หัวเชื้อ (inoculation) ลงในแปลง แต่อย่างไรก็ตามจะต้องมีการพิจารณาในเรื่องชนิดของเชื้อและปริมาณที่จะใส่ลงไปซึ่งอยู่ในความหมายของความเหมาะสม นอกจากนี้ อำนาจ (2551) ได้เสนอแนะว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพเอไมคอร์ไรซา(AMF) จะได้ผลหรือไม่ หรือได้ผลมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณเชื้อราประเภทนี้ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในดินและความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน ยกเว้นธาตุฟอสฟอรัส ดังนั้น การใช้ AMF ที่มีอยู่ในธรรมชาติแล้วนั้น และอาจจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของต้นไม้ที่ไมคอร์ไรซ่าใช้เป็นพืชอาศัยเสียก่อน เพื่อผลการศึกษาที่ได้นำไปต่อยอดเพิ่มเติมต่อไป

ผลของโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน : สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

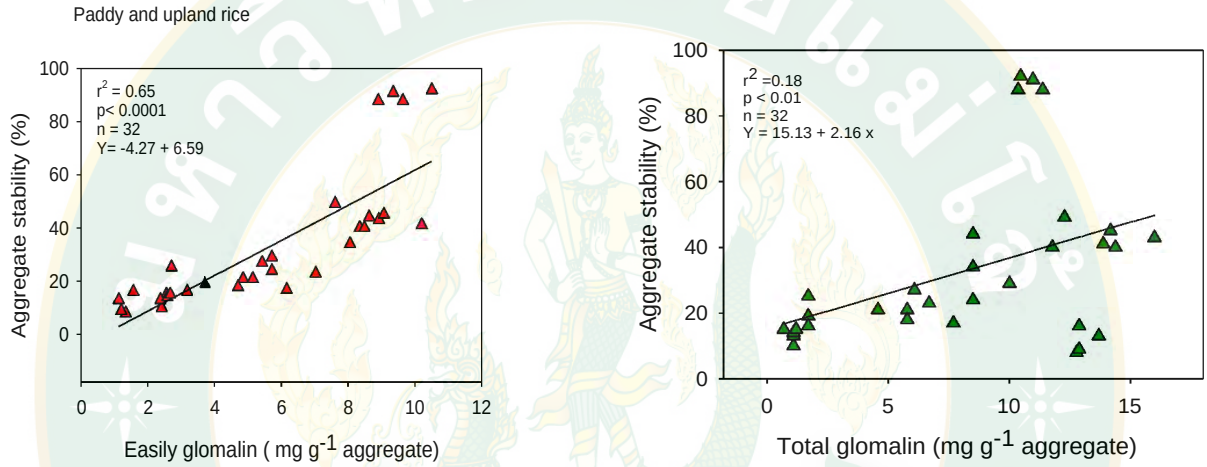
การดูดซับโลหะหนักและธาตุพิษ

จากการศึกษาของ Gonzalez_Chavez *et al.* (2002) ได้ศึกษาปริมาณ Cu^{2+} ในสารโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินที่ถูกสร้างมาจาก AMF และพบว่ามีปริมาณสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับทรายที่ไม่มีเส้นใยของ AMF และส่วนของเส้นใยที่อยู่รวมกับรากพืช จะเห็นได้ว่าสารกลูมีศักยภาพในการดูดซับ (Sequetration) สารโลหะหนักต่าง ๆ โดยอาจจะนำไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักอื่น ๆ เช่น Cu,Cd,Pb และ Mn เพื่อบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนโลหะ(Remediation) เหล่านี้ นอกจากนี้จากการที่ส่วนของผนังเซลของเส้นใย AMF มีกรดอะมิโน หมู่ไฮดรอกซิล คารบอกซิล และหมู่ฟังชั่นกรุ๊ปอื่น ๆ ซึ่งเป็นที่เหมาะสำหรับโลหะต่าง ๆ เช่น Cu^{2+} หรือโลหะอื่น ๆ เข้ามาจับ (Gonzalez_Chavez *et al,* 2002) สำหรับความสามารถประการนี้ อาจมีส่วนช่วยให้พืชมีความแข็งแรง ทนทานต่อความเป็นพิษของดิน และทนทานต่อความเป็นกรด-ด่างของดินได้

ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทนของเม็ดดินกับปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

จากการศึกษาของศุภธิดาและคณะ (2552) พบว่าค่าสหสัมสัมพันธ์ (r^2) ปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดินค่อนข้างสูง และมีค่าสูงกว่าค่าสหสัมสัมพันธ์ระหว่างโกลมาลินทั้งหมดกับความคงทนของเม็ดดิน ซึ่งสอดคล้องกับ Wright and Upadhyaya (1998)

จากภาพที่ 2 A) และ B) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคงทนของเม็ดดินและปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินที่สกัดได้ง่ายมีความสัมพันธ์ในทางบวกในดินที่ปลูกข้าวนาดำและข้าวไร่ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโกลมาลินทั้งหมด สามารถทำได้โดยโกลมาลินซึ่งมีบทบาทในการสร้างเม็ดดิน และทำให้เม็ดดินนั้นคงสภาพนั้นยาวนาน จึงถือว่าเป็นสารปรับสภาพดิน ส่งเสริมการแทรกของรากพืช การช่วยลดการพังทลายของดิน การแทรกซึมของอากาศ และการระบายน้ำ สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดผลโดยตรงที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของรากพืชและการดูดใช้ธาตุอาหารและน้ำได้ดีขึ้น



A) B)

ภาพที่ 2 Relationship between easily , total glomalin and stability of 1-2 mm-size aggregates in 0-15 cm soil samples of paddy soil in Chiang Mai province , Northern Thailand.
ที่มา: ศุภธิดา และคณะ (2551)

นอกจากนี้ การสลายตัวนั้นโกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่าส่วนของเส้นใย(hyphae) ของ AMF โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของโกลมาลิน เมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะถึงหลายสิบปี นอกจากนี้การผลิตอาจทำได้ในสภาพห้องทอดลองหรืออาหารปลอดเชื้อ (sterile *in vitro*) ของเชื้อ AMF ดังนั้นการเกิดโครงสร้างใหม่ของดิน (regeneration of soil structure) (Smith and Read, 1997; Miller and Justrow, 2000)

การเก็บรักษาคาร์บอนไว้ในดิน

จากความสามารถในการเสริมสร้างและความคงทนของเม็ดดินดังที่กล่าวข้างต้นผลที่ได้รับตามมาคือเม็ดดินขนาดเล็ก (microaggregate) ซึ่งผลมาจากสารโกลมาลิน และเม็ดดินขนาดเล็กนี้จะ

รวมตัวกันเกิดเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggreagate) โดยมีอิทธิพลของเส้นใยของ AMF รวมด้วย สำหรับการสลายตัวนั้นโกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่าส่วนของ hyphae ของ AMF โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของโกลมาลินเมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะถึงหลายสิบปี จากเหตุผลเหล่านี้ทำให้ดินสามารถที่เก็บกักคาร์บอน (carbon storage) และมีผลให้ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น CO_2 ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน (Lovelock *et al.,* 2004; Rillig *et al.,* 2001)

เพิ่มความสามารถของในการทนแล้งหรือขาดน้ำได้

ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำและแร่ธาตุอาหารให้แก่ต้นไม้ เช่น ฟอสฟอรัส (P) ไนโตรเจน (N) โปแตสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และธาตุอื่น ๆ ซึ่งธาตุเหล่านี้เชื้อราจะดูดซับไว้ และสะสมในรากและซึมซับขึ้นส่วนต่างๆของต้นไม้ ช่วยในการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืช เนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว ปริมาณของรากพืช และต้นไม้ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้แก่ระบบรากของต้นไม้ ช่วยให้ต้นไม้มีความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพพื้นที่ที่แห้งแล้ง

ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหาร

ปรากฏการณ์ Priming effect เป็นกระบวนการที่เป็นทั้งการส่งเสริมการปลดปล่อยคาร์บอนและเพิ่มความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนโดยผ่านกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (Carbon and Nitrogen Mineralization) ซึ่งจะเรียกว่า Positive priming effect แต่ถ้าการแปลงเปลี่ยนดังกล่าวลดลงหรือเกิดกระบวนการ Immobilization จะเรียกว่า Negative priming effect โดยปรากฏการณ์เหล่านี้ เกี่ยวข้องหรือเกิดขึ้นในการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน โดยเกิดในภายหลังจากมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี การปลดปล่อยสารอินทรีย์จากรากพืช (root exudate) ดินมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเครื่องจักร หรือดินที่อยู่ในสภาพแห้งสลับเปียก "Priming Effect" ได้ถูกโดย ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวนี้อาจจะมีคำว่า priming action ซึ่งมุ่งเน้นเพียงคาร์บอนและไนโตรเจน สำหรับการศึกษาคาร์บอนทั้งหมายนั้น Priming effect จึงหมายถึงการสลายตัวของอินทรีย์คาร์บอนที่เกิดขึ้นภายหลังการเติมสารอินทรีย์ที่มีการสลายตัวง่ายได้ให้กับดิน(Dalenberg and Jager, 1989) ดังนั้นการใช้หรือการใส่ปุ๋ยปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในระบบเกษตรอินทรีย์ ปรากฏการณ์นี้จึงมีความสำคัญในประเด็นของการปลดปล่อยธาตุอาหารให้เพียงพอและเหมาะสมต่อความต้องการของพืชหรือไหม

สำหรับอินทรียวัตถุในดินและในปุ๋ยอินทรีย์ถือว่าเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชที่สำคัญ การเสนอแนะของ Jenkinson (1971) ว่าอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย (labile pool of SOC) และเป็นส่วนที่ง่ายต่อการเกิด PE ดังนั้นดินที่มีอินทรีย์คาร์บอนส่วนนี้มากก็จะทำให้เกิด PE เพิ่มขึ้น สำหรับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายก็จะส่งเสริมการ

เกิด PE เช่นกัน ปรากฏการณ์ PE (Priming effect) มีความหมายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นในการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินเพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชหรือโทษ โดยมีสาเหตุมาจากมีการใส่สารต่างๆ (Kuzyakov *et al.,* 2000) สำหรับกลไกการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวนั้นยังไม่มีความเข้าใจอย่างแท้จริง เช่น การศึกษาของ Wu *et al.* (1993) ได้รายงานผลของการใส่กลูโคส (C14) (เป็นสารที่มีจุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ได้รวดเร็ว)ทำให้เกิด positive PE ในดิน สำหรับการศึกษาในครั้งนี้อาจจะเป็นเพราะ negative PE ในสภาพดินน้ำขัง (waterlogged soil) ซึ่งจะมีอินทรียวัตถุในดิน(ฮิวมิก แอซิด) เป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ นอกจากนี้ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์เช่น ผลของการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในปริมาณที่สูง (1.6 ตัน/ไร่) มีผลต่อกระบวนการมินเนอร์รอลไรเซชั่นอย่างชัดเจนในดินน้ำพอง ถ้าพิจารณาถึงปริมาณ DOC สามารถชักนำให้เกิด PE ได้โดยเกิดการในช่วงหลังการใส่ประมาณ 4 วันแรกของใส่สารอินทรีย์ต่าง ๆ ผลการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนในดินไม่เกิด PE หรือไม่เกิดการลายตัวของอินทรียวัตถุในดินนั้น อาจเป็นเพราะมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ ซึ่งเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนซ้ำลงไปอีกครั้งจึงชักนำให้เกิด PE นอกจากนี้ อัตราส่วน C/N ของปุ๋ย มีผลต่อกระบวนการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินและตัวปุ๋ยเอง (Hamer and Marchner, 2002)

อินทรียวัตถุในดินหรืออินทรีย์คาร์บอนที่ใช้เป็นดัชนีวัดคุณภาพดินที่สำคัญ โดยสามารถแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ได้สองกลุ่มตามคุณสมบัติ และอัตราการย่อยสลาย กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ยากต่อการเปลี่ยนแปลง (stable soil organic matter) แต่จากการที่วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดินนั้นทำได้ยาก เพราะปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีส่วนเป็นส่วนที่ค่อนข้างคงที่ และยังคงอยู่ในดินและมีปริมาณที่มากด้วย (Gregorich *et al.,*1991) โดยเฉพาะสำหรับอินทรียวัตถุในกลุ่มแรกนี้ได้แก่ humus และ inert organic matter (Skjemstad *et al.,*1996) เป็นส่วนถูกย่อยสลายได้ยาก และยังเป็นส่วนสำคัญที่ถูกเก็บรักษาคาร์บอนไว้ในดินโดยถูกป้องกันการย่อยสลายโดยดิน (mineral matrix) (Krull *et al.,*2003) เช่น ส่วนที่เป็น inert organic matter สามารถคงอยู่ในดินได้นานถึง 100 - 1,000 ปี ในขณะเดียวกันก็ยังมีอินทรียวัตถุอีกกลุ่มหนึ่งที่มีลักษณะตรงกันข้ามกับกลุ่มแรกเพราะจะถูกเปลี่ยนแปลงได้ง่ายหรือเร็วกว่าอันเนื่องจากการใช้ที่ดิน หรืออาจจะเรียกกลุ่มนี้ว่าอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่เป็นประโยชน์ (labile carbon fraction) อินทรียวัตถุกลุ่มนี้เป็นส่วนที่ง่ายต่อการย่อยสลาย และเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ดินโดยอาจอยู่ในรูปของ soil microbial biomass (SMB), light fraction หรือ easily extractable C pools (mineralizable) และ dissolved organic matter (DOM) โดยสามารถตอบสนองต่อการจัดการดินแบบต่างๆ หรือจะถูกเปลี่ยนแปลงเพียงเวลาสั้นคือประมาณ 1 - 5 ปีเท่านั้นเอง การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาคาร์บอนที่เป็นประโยชน์เช่น water soluble carbon (WSC), hot water soluble carbon (HWSC)(Ghani *et al.,* 2003), particulate organic matter (POM) (Dalal and Mayer, 1986),

permanganate oxidizable carbon (POC) (Weil *et al.*,2003) จะเห็นได้ว่าอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่เป็นประโยชน์เหล่านี้มีศักยภาพเป็นดัชนีสะท้อนการใช้ที่ดิน หรือการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินได้ (Dalal and Mayer,1986)

ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆต่อความเป็นประโยชน์ของ Zn และ Cu

จากการศึกษาของศุภธิดา และคณะ (2556) สำหรับในกรณีของ Zn พบว่าในส่วนของการดูดใช้ Zn ของข้าว มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนที่เป็น LPOM ,FPOM และ SOC (r = 0.5921,0.4353 และ 0.8755 ตามลำดับ) แต่อินทรีย์คาร์บอนส่วนที่เป็น HWSC มีความสัมพันธ์ทางลบกับการดูดใช้ Zn แต่ในทางกลับกัน ในส่วนของการดูดใช้ Cu ของข้าว มีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งเมื่อค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้นการดูดใช้ของ Cu ลดลง แต่ Cu ในดินเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้น Cu ในต้นข้าว (r = -0.7043) (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากบทบาทปริมาณอินทรียวัตถุในดินอาจจะมีผลต่อความเป็นประโยชน์หรือความเป็นพิษของ Cu ที่ลดลง ซึ่งอาจจะเกิดจากบทบาทของอินทรีย์คาร์บอนมีผลทั้งในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ Zn และ Cu ให้กับพืชจากกระบวนการปลดปล่อย (desorption) หรือลดความเป็นประโยชน์จากการกระบวนการดูดยึด (adsorption) หรือกรณีในของโครงการนี้คือศึกษาผลของอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่าง ๆ ต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดความเป็นพิษของโลหะหนักในพื้นที่ที่ทำการเกษตร

วิธีวิจัย

การศึกษาโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา

การเตรียมปุ๋ยมูลสัตว์หมักรวมกับสปอร์ไมโครไรซ่า สำหรับการศึกษาสมบัติของปุ๋ยหมักมูลสัตว์หลังการหมักของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8

นำปุ๋ยหมักมูลวัว และปุ๋ยหมักมูลหมูสดมาชั่งน้ำหนัก 50 กรัม ใส่ลงในแก้วพลาสติกที่ผ่านการเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ ทำการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรชนิดต่าง ๆ ตามทรีทเมนต์ ๆ ละ 5 สปอร์ นำแก้วพลาสติกที่มีปุ๋ยมูลสัตว์และเชื้อไมโครไรซ่าไปใส่โถพลาสติกขนาด 2 ลิตรที่มีปิดด้วยฝาเกลียว และใส่ขวดรูปชมพู่ที่บรรจุโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (1.0 N) ปริมาตร 10 ml สำหรับการป้องกัน NaOH ดูดความชื้นจากปุ๋ยนั้น ได้มีการนำน้ำต้มสุกใส่ลงในโถพลาสติกปริมาตร 20 ml ทำการเปลี่ยนสารละลาย NaOH ทุกๆ 7 วันจนครบ 56 วัน มูลสัตว์ดังกล่าวไม่มีการฆ่าเชื้อก่อนนำมาศึกษา และมูลสัตว์ต่าง ๆ ที่นำมาศึกษาครั้งนี้เป็นมูลสัตว์ที่เก็บโดยตรงจากคอกสัตว์หรือโรงเพาะเลี้ยง โดยไม่ผ่านการบ่มหรือเก็บรักษาไว้ก่อนการศึกษา

ตารางที่ 1 ชื่อปุ๋ยอินทรีย์ที่หมักร่วมกับเชื้อไมโครไรซ่า 5 ชนิด

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
PM0	ขี้หมู (ไม่ใส่เชื้อ)
PMG	ขี้หมู+*G.geosporum*
PMM	ขี้หมู+*G.mossac*
PME	ขี้หมู+*G.etunicatum*
PMC	ขี้หมู+*G.caledonium*
PMF	ขี้หมู+*A.foveata*
PMAl	ขี้หมู+5 เชื้อรวมกัน
CM0	ขี้วัว (ไม่ใส่เชื้อ)
CMG	ขี้วัว+*G.geosporum*
CMM	ขี้วัว+*G.mossac*

ตารางที่ 1 ชื่อปุ๋ยอินทรีย์ที่หมักร่วมกับเชื้อไมโครไรซ่า 5 ชนิด (ต่อ)

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
CME	ขี้วัว+*G.etunicatum*
CMC	ขี้วัว+*G.caledonium*
CMF	ขี้วัว+*A.foveata*
CMAL	ขี้วัว+5 เชื้อรวมกัน

ตารางที่ 2 ชนิดเชื้อราไมคอร์ไรซาที่ใช้ในการทดลอง

Pig Manure	**Cow Manure**
No inoculation	No inoculation
Glomus etunicatum	*Glomus etunicatum*
Glomus geosporum	*Glomus geosporum*
Glomus mossaac	*Glomus mossaac*
Glomus caledonium	*Glomus caledonium*
Glomus foveata	*Glomus foveata*

การเตรียมปุ๋ยหมักร่วมกับสปอร์ไมโครไรซ่าสำหรับการศึกษาสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

นำปุ๋ยหมักมูลหมูและปุ๋ยหมักวัว (ตารางที่ 3) ชั่งน้ำหนักปุ๋ยคอกทั้งสองชนิดๆ ละ 2 กิโลกรัม พร้อมกับใส่จำนวนสปอร์ตามสัดส่วนของปุ๋ยที่ใช้ แล้วนำไปบ่มและหมักไว้โถพลาสติกขนาด 20 ลิตร และปิดฝาในช่วงหมักประกอบด้วย 3 ซ้ำโดยเก็บตัวอย่างปุ๋ยเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและสมบัติของปุ๋ยหลังการบ่ม 7, 28, และ 56 วัน ตามลำดับ

การวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยและเตรียมตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างปุ๋ยมีตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ตากแห้งแล้วนำไปบดและผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ (0.5 และ 2.0 มม.) แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 วิธีวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

Methods	Reference
pH	กรมวิชาการเกษตร, 2541
EC	กรมวิชาการเกษตร, 2541
TOM	(Nelson and Sommers, 1996)
Total N	(Bremner, 1965)
Total P	(Jones et al., 1991)
Total K	(Walinga et al., 1989)
% การงอก	กรมวิชาการเกษตร, 2541

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลของเวลาของการหมัก ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ และผลของการใส่สปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยมูลหมู โดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (Randomized Complete Block Design) โดยมีปัจจัยในการศึกษาคือ ระยะเวลาของการหมัก (ในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8) และศึกษาชนิดของหัวเชื้อไมคอร์ไรซา 5 ชนิด

การศึกษาโครงการย่อยที่ 2 ผลของการใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพด

ดำเนินการในแปลงเกษตรกร โดยมีเงื่อนไขการศึกษา โดยใช้แผนการศึกษาแบบ RCBD โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระบบการเกษตร	ดิน	ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์	จำนวนซ้ำ
ข้าวไร่	ใช้พื้นที่ปลูกข้าวไร่ของเกษตรกร	1.ชุดควบคุม 2.ปุ๋ยหมักฟางข้าว 3.ปุ๋ยหมักฟางข้าว + AMF ชนิดที่ 1 4. ปุ๋ยหมักฟางข้าว + AMF ชนิดที่ 2	4

การเก็บข้อมูล

ตารางที่ 4 การเก็บข้อมูลสมบัติของดินก่อนปลูกและหลังปลูก

สมบัติของดิน	ก่อนปลูก	หลังปลูก 120 วัน
ฟิสิกส์		
เนื้อดิน ความหนาแน่นของดิน ความคงทนของเม็ดดิน ความชื้นที่เป็นประโยชน์ เป็นต้น	√	
เคมี		
ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ โลหะหนัก (Zn,Cu) อินทรีย์คาร์บอน ส่วนต่าง ๆ โกลมาลีนส่วนต่าง ๆ	√	√
ชีวเคมี		
กิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ C-N ในมวลชีวภาพ	√	√
ชีววิทยา		
ชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าและปริมาณ	√	√
การเจริญเติบโตของข้าว:		
ความสูง จำนวนหน่อต่อกอ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง		√

การศึกษาโครงการย่อยที่ 3 การใช้พืชร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินที่ผ่านการทำเกษตรเคมี

1. แผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีราละเอียด ดังต่อไปนี้

ตำรับการทดลอง	สัญญาลักษณ์	รายละเอียด
C1	Cno	ไม่ใส่ปุ๋ย
C2	Cs	ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง
C3	Crs	ปุ๋ยหมักฟางข้าว
C4	Cs+rs	ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ฟางข้าว
T1	Tsrsgg	ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus geosporum* (GG)
T2	Tsrsgm	ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus mosseae* (GM)
T3	Tsrsge	ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus etunicatum* (GE)
T4	Tsrsg+e	ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomusg eosporum*+ *Glomus etunicatum* (G+E)
T5	Tsrsaf	ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Acaulospora foveata* (AF)
T6	Tsrs5	ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อทั้ง 5 ชนิด

หมายเหตุ: อัตราการใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยหมักฟางข้าวผสมหัวเชื้อไมคอร์ไรซาคำนวณจากปุ๋ย 1000 kg/ไร่

ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง คำนวณจากปุ๋ย 1500 kg/ไร่

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมเมล็ดข้าวโพดและการปลูก

มีการขึ้นแปลงและตากดินไว้ 3-5 วัน ยกร่องพร้อมปลูกสูง 25-30 ซม. ระยะห่างระหว่างแปลง 30 ซม. ระยะห่างระหว่างหลุม 25 เซนติเมตร ขนาดแปลง 1m x 4m ในขณะเดียวกันมีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ โดยแช่เมล็ดข้าวโพดหวานสีเหลืองทิ้งไว้ 1 คืน นำมาห่อผ้าขาวบางทิ้งไว้ให้รากงอก นำมาเพาะลงในกระบะเพราะจนกระทั้งเมล็ดงอกและมีอาย 14 วัน จึงนำไปปลูกลงในแปลงที่เตรียมไว้ โดยปลูกเหลือหลุมละ 1 ต้น แล้วนำไป

2.2 การใส่ปุ๋ย(ตามทรีท์เมนต์) แบ่งใส่ 2 ครั้งคือ หลังถอนแยก 20 และ 40 วัน

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมต้นกล้าข้าวโพดพร้อมปลูก

การเตรียมปุ๋ยผสมเชื้อราไมคอร์ไรซา

หัวเชื้อดินไมคอร์ไรซาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

Glomus etunicatum, *Glomus geosporum, Glomus mossaac, Glomus foveata*

นำปุ๋ยหมักฟางข้าวที่หมักสมบูรณ์แล้ว 25 กรัม ผสมกับหัวเชื้อดินไมคอร์ไรซา 25 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำปุ๋ยคลุกเคล้ากับดินในแปลงทดลอง

ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยกากถั่วเหลือง หัวเชื้อไมคอร์ไรซา

ภาพที่ 4 ปุ๋ยชนิดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทดลอง

ภาพที่ 5 การใส่ปุ๋ยแปลงปลูกข้าวโพด

3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินและพืช

3.1 การตรวจหาเชื้อราอาบัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาในราก (Root colonization)

การตรวจหาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากด้วยการย้อมสีรากพืช ตามวิธีของ McGonigle และคณะ โดยนำตัวอย่างรากพืชมาล้างน้ำให้สะอาด ตัดเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร 10ชิ้น นำไปต้มในน้ำยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (10% KOH) อุณหภูมิประมาณ 121 องศาเซลเซียสนานประมาณ 4 นาที แล้วล้างด้วยน้ำจนไม่มีน้ำยา KOH ติดอยู่ จากนั้นซับพอหมาด นำไปย้อมด้วย 0.05% trypan blue ใน lactoglycerolที่อุณหภูมิไม่เกิน 121 องศาเซลเซียสนาน 4 นาที จากนั้นนำรากวางบนสไลด์แล้วส่องดูใต้กล้องจุลทรรศน์

3.2 การวิเคราะห์สมบัติของดิน

การวิเคราะห์ Carbon faction (TOC, POC, WSC, HWSC) ค่า pH ธาตุอาหารหลัก (Available P , K และ NH_4^+ , NO_3^-) ธาตุอาหารรอง (Ca , Mg) ธาตุอาหารเสริม (Zn , Cu) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm. (จำเป็น, 2545)

3.3 การบันทึกผลการศึกษา

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต: โดยจะวัดความสูงของต้นจากระดับพื้นดินจนถึงปลายใบ จำนวน 3 ครั้งคือ เมื่อต้นข้าวโพดมีอายุ 45 ,70 และ 90 วัน เมื่อต้นข้าวโพดมีอายุที่เหมาะสมที่จะเก็บเกี่ยวก็ทำการตัดส่วนเหนือดินและเก็บราก มาชั่งน้ำหนักแห้ง โดยนำส่วนเหนือดินไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงนำไปชั่งหาน้ำหนักแห้งแล้วนำส่วนเหนือดินของพืชไปวิเคราะห์

ภาพที่ 6 การเก็บตัวอย่างต้นข้าวโพด

ภาพที่ 7 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างรากข้าวโพดสำหรับการวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตำรับการทดลอง (ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์) ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การดูดใช้ธาตุอาหารของพืช และธาตุอาหารในดิน โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย One way ANOVA (analysis of variance by One Way ANOVA) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์โดยใช้วิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การคำนวณ

การคำนวณประสิทธิภาพของเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการตอบสนองฟอสฟอรัสการคำนวณ % Mycorrhizal responsiveness นั้น เป็นการนำเสนอเป็นค่าเปอร์เซ็นต์โดยใช้ค่าน้ำหนักแห้งที่มีการใส่เชื้อ (+AMF) สายพันธ์ต่าง ๆ ลบด้วยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่ไม่มีการใส่เชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (-AMF) หารด้วยน้ำหนักแห้งที่ไม่มีการใส่เชื้อ (-AMF) (ดังสมการที่ 1)

$$\text{Mycorrhizal responsiveness (MR)} = \frac{[\text{plant dw(+AMF)} - \text{plant dw(-AMF)} \times 100]}{\text{Plant dw(-AMF)}} \quad \text{(สมการที่ 1)}$$

การคำนวณ % Mycorrhizal P responsiveness (MPR) คำนวณได้จากนำค่าการดูดใช้ P ของข้าวที่มีการใส่เชื้อสายพันธุ์ต่างๆ (+AMF) ลบด้วยการดูดใช้ฟอสฟอรัสที่ไม่มีการใส่เชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า (-AMF) หารด้วยการดูดใช้ P ที่ไม่มีการใส่เชื้อ (-AMF) (ดังสมการที่ 2)

$$\text{Mycorrhizal P responsiveness (MPR)} = \frac{[\text{P uptake (+AMF)} - \text{P uptake (-AMF)} \times 100]}{\text{P uptake (-AMF)}} \quad \text{(สมการที่ 2)}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

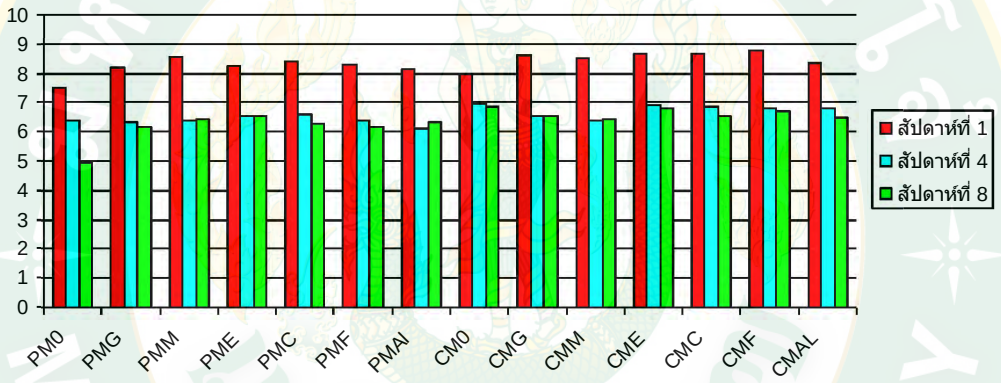
หาความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ MPR แล้วนำไปหาความสัมพันธ์กับค่า P uptake โดยคำนวณค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) และสมการถดถอย

ผลการวิจัย

การศึกษาโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาเปลี่ยนแปลงสมบัติของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา

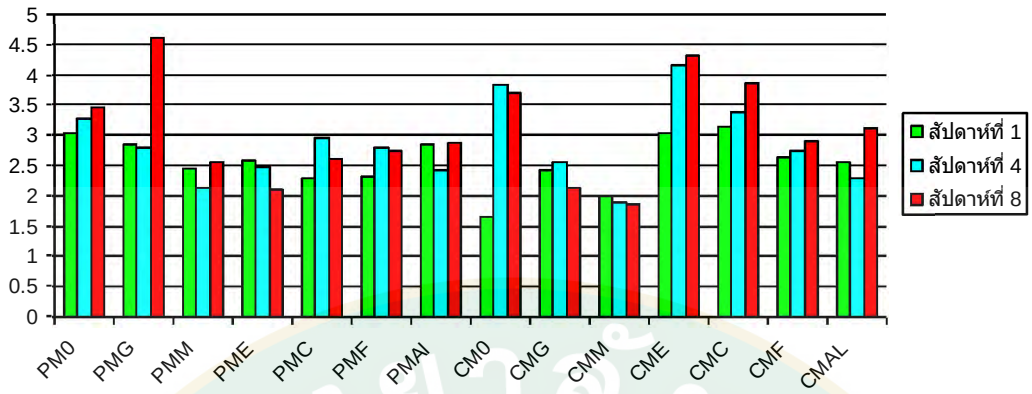
ผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาร่วมกับการหมักปุ๋ยคอกและปุ๋ยมูลหมู

จากการศึกษาพบว่า ระยะเวลาของการหมักปุ๋ยอินทรีย์ มีความแตกต่างกัน โดยการหมักปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับสปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซา ในสัปดาห์ที่ 1 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูงสุด และเมื่อกระบวนการหมักปุ๋ยลดต่ำลงและสิ้นสุดกระบวนการหมัก จะมีค่า pH ต่ำลง จะอยู่ในช่วงสัปดาห์ที่ 8 ของการหมัก ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ (ภาพที่ 8)



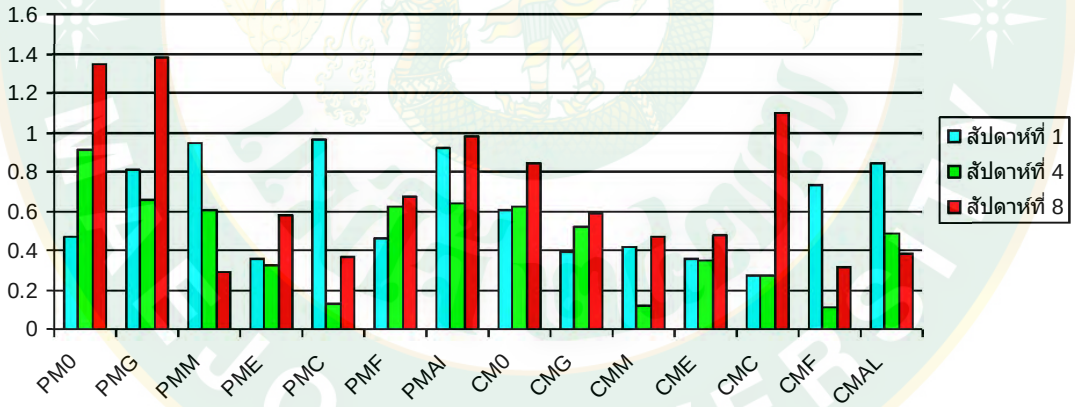
ภาพที่ 8 แสดงค่า pH ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8

จากการศึกษาพบว่า ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในปุ๋ยหมักมูลสัตว์ปุ๋ยหมักมูลหมูกับเชื้อ *G.geosporum* ในสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 4.6 (dS/m) เป็นค่าที่สูงสุด และปุ๋ยมูลวัวไม่ใส่เชื้อ ในสัปดาห์ที่ 1 มีค่า 1.6(dS/m) เป็นค่าที่ต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ (ภาพที่ 9)



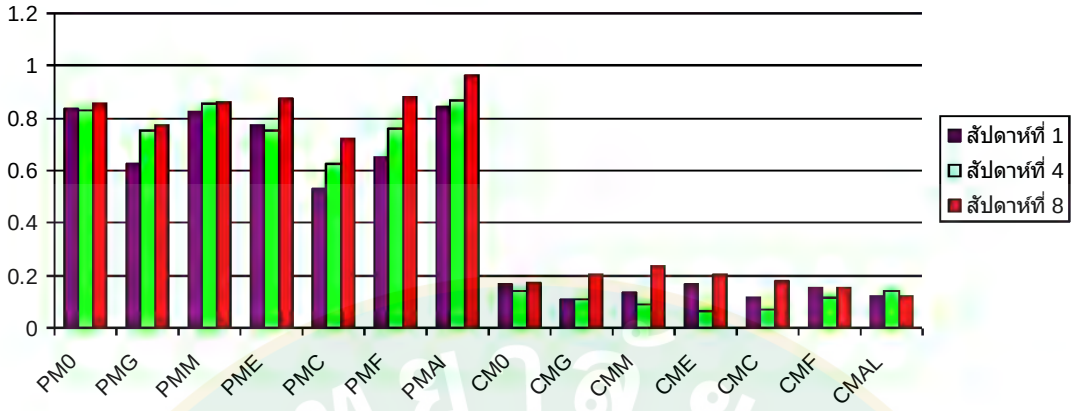
ภาพที่ 9 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8

จากการศึกษาพบว่าค่าโพแทสเซียม (K) ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ โดยปุ๋ยหมักมูลหมูกับเชื้อ *G.geosporum* ในสัปดาห์ที่ 8 สูงที่สุด คือ 1.4 % และปุ๋ยมูลวัวกับเชื้อ *A.foveata* ในสัปดาห์ที่ 4 ต่ำสุด เท่ากับ 0.1 % ซึ่งมูลหมูมีค่า K สูงกว่ามูลวัว แตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ (ภาพที่ 10)



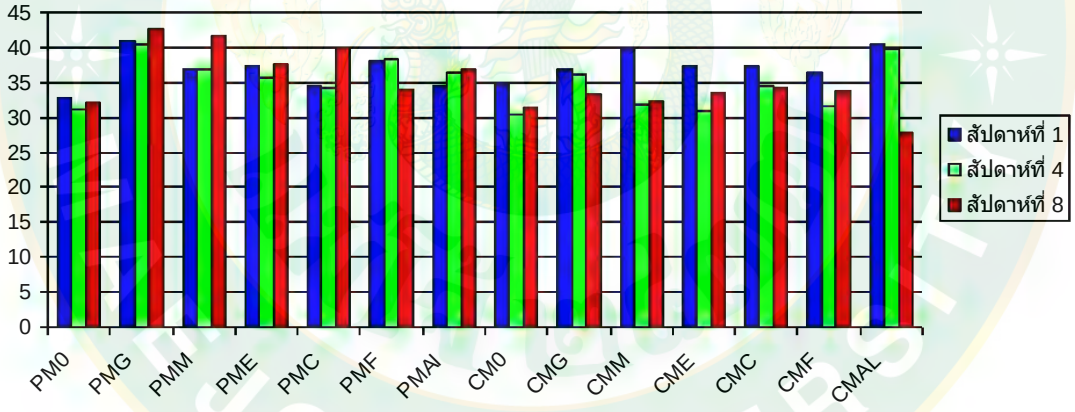
ภาพที่ 10 แสดงค่าโพแทสเซียม ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8

จากการศึกษาพบว่า ฟอสฟอรัส (P) ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ร่วมกับเชื้อสปอร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งผลแตกต่างกันระหว่างปุ๋ยมูลหมูและปุ๋ยมูลวัว โดยปุ๋ยมูลหมู มีค่า P สูงกว่า ปุ๋ยมูลวัว และค่า P ที่สูงสุด คือ ปุ๋ยมูลหมูรวมกัน 5 เชื้อ ในสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 0.95 % และปริมาณฟอสฟอรัส ที่ต่ำที่สุด คือ ปุ๋ยมูลวัวกับเชื้อ *G.etunicatum* ในสัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 0.06 % แตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ (ภาพที่ 11)



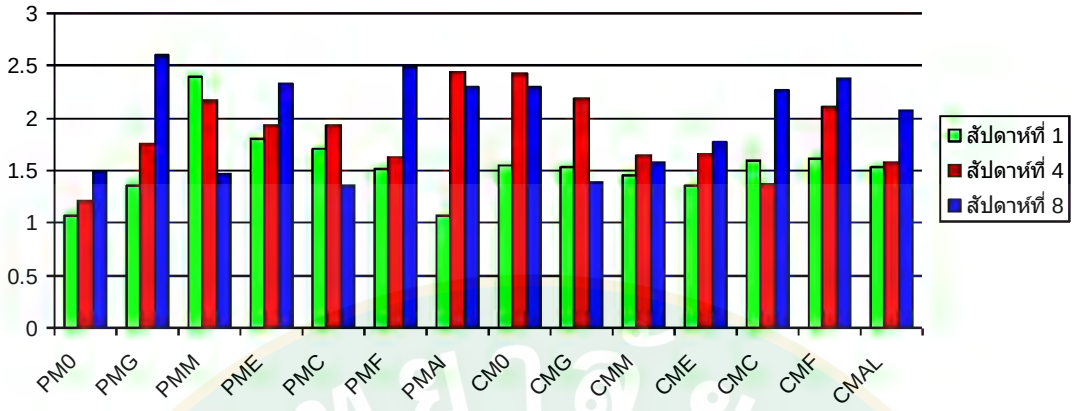
ภาพที่ 11 แสดงค่า ฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8

จากการศึกษาพบว่า ปุ๋ยหมักมูลหมูกับเชื้อ *G.geosporum* หมักในสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 42.68 % มีค่าสูงกว่าปุ๋ยมูลวัว และค่าที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 27.68 % ในปุ๋ยมูลวัวใส่รวมกัน 5 เชื้อ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12)



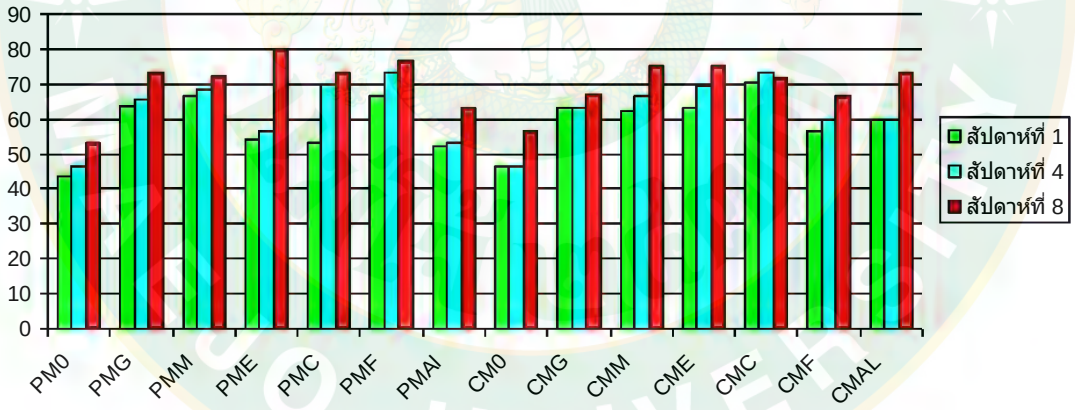
ภาพที่ 12 แสดงค่า Organic Matter ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8

จากการศึกษาพบว่า ไนโตรเจนจากกระบวนการหมักของปุ๋ยอินทรีย์ ในสัปดาห์ที่ 8 คือ ปุ๋ยมูลหมูกับเชื้อ *G.geosporum* เท่ากับ 2.59 % มีไนโตรเจนสูงสุด และมูลหมูไม่ใส่เชื้อ ในสัปดาห์ที่ 1 เท่ากับ 1.07 % มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 แสดงค่า Total N ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8

จากการศึกษาพบว่า ปุ๋ยมูลหมูกับเชื้อ *G.etunicatum* ในสัปดาห์ที่ 8 มีผลทำให้เมล็ดผักกวางตุ้งมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด เท่ากับ 80 % และ ปุ๋ยมูลหมูที่ไม่ใส่เชื้อ ในสัปดาห์ที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด ต่ำที่สุด เท่ากับ 43.6% ไม่มีความแตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ของสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 8 ตามลำดับ

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาสปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซา ที่หมักร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด และช่วงเวลาของการหมักปุ๋ย จากผลการศึกษา พบว่า ระยะเวลาของการหมักปุ๋ยอินทรีย์ มีความแตกต่างกัน โดยผลการทดลองพบว่า การหมักปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับสปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซา ในช่วง 7 วัน มีค่า pH สูงสุดและใน 28 วัน และ 56 วัน ตามลำดับ โดยปุ๋ยที่มีค่า pH สูงสุดคือ ปุ๋ยมูลวัวกับเชื้อ *A.foveata* ในช่วง 7 วัน และปุ๋ยมูลหมูไม่ใส่เชื้อ ในช่วง 56 วัน มีค่า pH ต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 11) Marschner *et al.* (1998) รายงานว่าช่วงแรกของการสลายตัวนี้จะเกิดขึ้นภายในช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 หลังการหมัก ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ จะมีการแข่งขันการใช้สารต่าง ๆ และเมื่อเวลาผ่านสารต่าง ๆ เหล่านี้จะลดลงก็จะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลง รวมทั้งผลจากผลการศึกษาค่า EC ในปุ๋ยหมักมูลสัตว์ จากผลการทดลองค่า EC ที่มีค่าสูงที่สุด คือ ปุ๋ยหมักมูลหมูกับเชื้อ *G.geosporum* ในช่วงการหมัก 56 วัน และที่มีค่าต่ำที่สุดคือ ปุ๋ยมูลวัวไม่ใส่เชื้อ ในช่วงการหมักที่ 7 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามนัยสถิติ (ภาพที่ 12) การหมักปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อ *G.geosporum* ในช่วงการหมักที่ 56 วัน ได้ค่า EC (เกิน 4 Ds/m) ก่อนนำไปใช้กับพืชต้องปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างให้เป็นกลางโดยเติมหินฟอสเฟต ปูนไดโลไมล์ ปูนขาว กระดูกป่น อย่างใดอย่างหนึ่งก่อน (กรมวิชาการเกษตร 2541)

จากผลการศึกษาค่า K ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ โดยปุ๋ยหมักมูลหมูกับเชื้อ *G.geosporum* ในช่วงการหมักที่ 56 วัน สูงที่สุด เมื่อเทียบกับปุ๋ยมูลวัวกับเชื้อ *A.foveata* ในช่วงการหมักที่ 7 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 13) ทั้งผลการศึกษาของ Phosphorus ของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ร่วมกับเชื้อสปอร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งผลแตกต่างกันระหว่างปุ๋ยมูลหมูและปุ๋ยมูลวัว โดยปุ๋ยมูลหมู มีค่า Phosphorus สูงกว่า ปุ๋ยมูลวัว และค่า P ที่สูงที่สุด คือปุ๋ยมูลรวมกัน 5 เชื้อ ในช่วงการหมักที่ 56 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับ ปุ๋ยมูลวัวกับเชื้อ *G.etunicatum* ที่มีค่าต่ำที่สุด ในช่วงการหมักที่ 28 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างตามนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 14) เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบ ในเรื่องของปุ๋ยหมักมูลสัตว์โดยการใส่สปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซา ในการหมัก ตามช่วงเวลาการหมักที่ 7 วัน, 28 วัน และ 56 วัน ปรากฏว่าปุ๋ยมูลสัตว์ที่ใส่เชื้อสปอร์ของไมคอร์ไรซา มีค่าสูงกว่าปุ๋ยมูลสัตว์ที่ไม่ใส่เชื้อทั้งอินทรียวัตถุ (Organic Matter, OM), ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) และเปอร์เซ็นการงอก ตลอดระยะเวลาการหมักที่ 56 วัน และค่าที่ได้ดังกล่าว ก็จัดอยู่ในมาตรฐาน (กรมวิชาการเกษตร, 2541) ระยะเวลาในการหมักของปุ๋ยหมักอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซา จะต้องศึกษาคุณภาพหลาย ๆ ประการของปุ๋ยหมักอินทรีย์จะต้องถูกนำมาพิจารณา ไม่ว่าจะเป็นปริมาณอินทรียวัตถุ ธาตุอาหาร ความชื้น เป็นต้น ในขณะเดียวกันความสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก (maturity) ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกสลายตัวอย่างสมบูรณ์และมีเสถียรภาพของปุ๋ยหมัก

นั้นควรจะนำมาร่วมพิจารณาด้วย เพราะถ้านำปุ๋ยที่ย่อยสลายไม่สมบูรณ์ไปใส่ให้กับพืช พืชอาจจะมีการขาดธาตุไนโตรเจน (N starvation) (Wilson and Dalmat, 1986) หรือการเป็นพิษต่อพืช (phytotoxic effects) (Keeling *et al.,* 1994) หรืออาจจะมีจุลินทรีย์ที่เป็นพิษและเมล็ดวัชพืชปะปนในปุ๋ยที่ย่อยสลายไม่สมบูรณ์ (Tompkins *et al.,* 1998) นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นด้วย อันเนื่องจากความร้อนจากการหมักนั้นไม่เพียงพอที่กำจัดเชื้อโรคหรือเมล็ดวัชพืชที่ปนอยู่ในปุ๋ยมูลหมัก ดังนั้น การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักผ่านการหมักให้เกิดความสมบูรณ์ เพื่อพร้อม ที่จะนำไปใช้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

จะเห็นได้ว่าปุ๋ยมูลหมูมีคุณสมบัติทางปุ๋ยอินทรีย์สูงกว่าปุ๋ยมูลวัวอย่างมีนัยทางสถิติตลอดระยะเวลาการหมัก 56 วัน และเชื้อ *G.etunicatum* มีประสิทธิภาพต่อการเปลี่ยนแปลงปุ๋ยอินทรีย์มากที่สุด โดยอัตราการเปลี่ยนแปลง นั้นสามารถแบ่งเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกปุ๋ยทั้งสองมีกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ เกิดกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่อยู่ในปุ๋ยหมัก และเมื่อเวลาผ่านไปกระบวนการเหล่านี้จะลดลงก็จะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์มีอัตราลดลงจนถึงที่ต่ำสุดและคงที่เมื่อสิ้นสุดการหมักปุ๋ย แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะนำไปใช้ในการประเมินความสมบูรณ์ในการหมักของปุ๋ยหมัก

การศึกษาโครงการย่อยที่ 2 ผลของการใช้ปุ๋ยหมักร่วมเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพด

จากการศึกษาการวิเคราะห์ดินตามการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด พบว่า ค่า pH เชื้อ GG ฤดูกาลที่ 2 (4.82) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ AF ทั้งฤดูกาลที่ 1 และ 2 (4.42) มีค่าต่ำสุด, ค่า OM ใน control ฤดูกาลที่ 2 (1.46%) มีค่าสูงสุด ส่วนเชื้อชนิดอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกัน, ค่า K เชื่อ AF ฤดูกาลที่ 2 (60.00 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ G+E ฤดูกาลที่ 1 (33.75) มีค่าต่ำสุด, ค่า P เชื้อ GM ฤดูกาลที่ 1 (109.15 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ control ฤดูกาลที่ 2 (39.19 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Water Soluble Carbon (WSC) เชื้อ GM ฤดูกาลที่ 1 (2.83 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ AF ฤดูกาลที่ 2 (1.33 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Hot Water Soluble Carbon (HWSC) เชื้อทุกชนิดในฤดูกาลที่ 2 (17.17-17.83 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ GM ฤดูกาลที่ 1 (6.67 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่าสังกะสี (Zn) เชื้อ GG ฤดูกาลที่ 2 (3.32 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ GM และ AF ฤดูกาลที่ 1 (2.33 และ 2.30 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่าทองแดง (Cu) เชื้อ GG ฤดูกาลที่ 2 (3.98 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ AF ฤดูกาลที่ 1 (2.6 mg/kg 7) มีค่าต่ำสุด, ค่าไนเตรท (NO_3^-) เชื้อทุกชนิดในฤดูกาลที่ 1 (50.00 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ GG และ GE ฤดูกาลที่ 2 (0.67 และ 0.77 mg/kg) มีค่าต่ำสุด และค่าแอมโมเนียม (NH_4^+) เชื้อทุกชนิดในฤดูกาลที่ 1 (102.42-103.70 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ control ฤดูกาลที่ 2 (22.75 mg/kg) มีค่าต่ำสุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) จะเห็นได้ว่า เชื้อแต่ละชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของดินที่แตกต่างกันไป เช่น เชื้อ GM ทำให้ต้นข้าวไร่และข้าวโพดมีปริมาณ P สูงสุด ซึ่งเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยพืชดูดและสะสมธาตุอาหารต่างๆไว้ เช่น เช่น ไนโตรเจน (N), P, K, แคลเซียม (Ca) และธาตุอื่นอีก ซึ่งธาตุเหล่านี้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะดูดไว้และสะสมไว้ในราก โดยเพิ่มพื้นที่ของผิวรากที่สัมผัสกับดินทำให้เพิ่มเนื้อที่ในการดูดธาตุอาหารของรากมากขึ้น การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับพืชได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีคุณสมบัติตรึงอาหาร P ได้ดี หรือดินมี P ต่ำ ซึ่งนับเป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างมาก เนื่องจากการเจริญของเส้นใยที่หุ้มรากมีส่วนในการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างรากกับดินมากขึ้น และเป็นการลดระยะทางที่ P จะเคลื่อนที่มายังรากทำให้พืชสามารถดูดซับ P ได้ในปริมาณมากและรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ P ในเนื้อเยื่อพืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ ซึ่งสูงกว่าพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซา (Mosse, 1973) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับอาหารที่เคลื่อนที่ได้ช้า เช่น Zn และ Cu แต่จะมีอิทธิพลน้อยในธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น NO_3^-และซัลเฟต (SO_4^{-2}) (Powell, 1976)

ตารางที่ 5 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพดกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด

	pH	OM	K	P	WSC	HWSC	Zn	Cu	NO3-	NH4+
ฤดูกาล		%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
1	4.5500 A	0.5472 B	39.186 B	100.74 A	2.2500 A	7.167 B	2.4611 B	3.0139 A	50.000 A	102.92 A
2	4.5056 A	0.9014 A	54.361 A	49.28 B	1.5417 B	17.639 A	2.7819 A	3.3139 A	1.453 B	25.12 B
ชนิดพืช										
Rice	4.5806 A	0.6750 A	51.722 A	72.809 A	1.5556 B	12.278 A	2.4667 B	2.9806 B	25.547 B	64.522 A
Corn	4.4750 B	0.7736 A	41.825 B	77.207 A	2.2361 A	12.528 A	2.7764 A	3.3472 A	25.906 A	63.517 B
ชนิดของเชื้ออาบัสคูลาไมคอร์ไรซา										
Control	4.5250 B	0.9458 A	46.375 A	69.811 A	1.7083 A	12.000 B	2.5292 B	3.0167 A	26.117 A	62.983 B
GG	4.6667 A	0.7583 A	45.750 A	76.636 A	2.0000 A	12.750 A	2.9167 A	3.3917 A	25.333 C	64.642 A
GM	4.5083 BC	0.6417 A	47.167 A	78.198 A	2.2500 A	12.083 AB	2.5167 B	3.1250 A	25.742 B	64.533 A
GE	4.5667 B	0.7417 A	48.725 A	73.933 A	1.7500 A	12.750 A	2.7083 AB	3.4833 A	25.383 C	64.608 A
G+E	4.4833 BC	0.6250 A	43.625 A	73.453 A	1.6667 A	12.250 AB	2.5250 B	2.9500 A	25.642 BC	63.667 AB
AF	4.4167 C	0.6333 A	49.000 A	78.016 A	2.0000 A	12.583 AB	2.5333 B	3.0167 A	26.142 A	63.683 AB

ตารางที่ 5 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพดกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด (ต่อ)

	pH	OM	K	P	WSC	HWSC	Zn	Cu	NO3-	NH4+
ฤดูกาล + ชนิดพืช		%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
1 + Rice	4.5389 B	0.5556 B	51.056 A	97.79 A	1.7778 B	6.889 C	2.2000 B	2.5389 B	50.000 A	102.47 A
1 + Corn	4.5611 AB	0.5389 B	27.317 B	103.68 A	2.7222 A	7.444 B	2.7222 A	3.4889 A	50.000 A	103.36 A
2 + Rice	4.6222 A	0.7944 AB	52.389 A	47.83 B	1.3333 B	17.667 A	2.7333 A	3.4222 A	1.094 C	26.57 B
2 + Corn	4.3889 C	1.0083 A	56.333 A	50.73 B	1.7500 B	17.611 A	2.8306 A	3.2056 A	1.811 B	23.67 C
ฤดูกาล + ชนิดของเชื้ออาบัสคูลาไมคอร์ไรซา										
1 + GG	4.5167 CDE	0.6333 B	43.167 BCDE	98.28 AB	2.3333 ABC	7.667 B	2.5167 BC	2.8000 BC	50.000 A	102.42 A
1 + GM	4.5667 BCD	0.5333 B	40.667 CDE	109.15 A	2.8333 A	6.667 C	2.3333 C	2.9667 BC	50.000 A	102.43 A
1 + GE	4.6667 B	0.6000 B	40.950 CDE	97.65 AB	2.0000 ABCD	7.667 B	2.6000 BC	3.3667 ABC	50.000 A	103.70 A
1 + G+E	4.5333 BCDE	0.5833 B	33.750 E	94.58 B	1.8333 BCD	6.833 BC	2.4833 BC	2.9333 BC	50.000 A	102.88 A
1 + AF	4.4167 E	0.5000 B	38.000 DE	104.32 AB	2.6667 AB	7.333 BC	2.3000 C	2.6667 C	50.000 A	102.85 A
2 + Control	4.4500 DE	1.4583 A	54.167 ABC	39.19 D	1.5833 CD	17.167 A	2.5250 BC	2.6833 BC	2.233 B	22.75 D
2 + GG	4.8167 A	0.8833 B	48.333 ABCD	54.99 C	1.6667 CD	17.833 A	3.3167 A	3.9833 A	0.667 D	26.87 B
2 + GM	4.4500 DE	0.7500 B	53.667 ABC	47.25 CD	1.6667 CD	17.500 A	2.7000 BC	3.2833 ABC	1.483 C	26.63 B
2 + GE	4.4667 CDE	0.8833 B	56.500 AB	50.22 CD	1.5000 CD	17.833 A	2.8167 B	3.6000 AB	0.767 D	25.52 BC
2 + G+E	4.4333 DE	0.6667 B	53.500 ABC	52.32 CD	1.5000 CD	17.667 A	2.5667 BC	2.9667 BC	1.283 C	24.45 CD
2 + AF	4.4167 E	0.7667 B	60.000 A	51.72 CD	1.3333 D	17.833 A	2.7667 B	3.3667 ABC	2.283 B	24.52 CD

ตารางที่ 5 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพดกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด (ต่อ)

	pH	OM	K	P	WSC	HWSC	Zn	Cu	NO3-	NH4+
		%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
ชนิดพืช + ชนิดของเชื้ออาบัสคูลาไมคอร์ไรซา										
Rice + Control	4.5500 BCD	0.5667 B		66.093 C	1.5833 BC	11.833 D	2.5833 BCD	3.2500 AB	25.833 BCD	63.767 BCDE
Rice + GG	4.9167 A	0.7667 AB		76.718 ABC	1.5833 BC	12.167 BCD	2.5500 BCD	2.8333 B	24.883 F	66.000 A
Rice + GM	4.5833 BC	0.6000 B		69.532 BC	1.7500 BC	12.000 CD	2.3000 D	2.8333 B	25.583 DE	64.333 ABCD
Rice + GE	4.6500 B	0.7667 AB		75.488 ABC	1.5833 BC	12.500 ABCD	2.4833 CD	3.0333 B	25.183 EF	65.267 AB
Rice + G+E	4.4333 DE	0.6500 B		69.107 BC	1.2500 C	12.333 BCD	2.3333 CD	2.8167 B	25.717 CD	63.017 CDE
Rice + AF	4.3500 E	0.7000 B		79.917 AB	1.5833 BC	12.833 ABC	2.5500 BCD	3.1167 AB	26.083 ABC	64.750 ABC
Corn + Control	4.5000 CD	1.3250 A		73.528 ABC	1.8333 BC	12.167 BCD	2.4750 CD	2.7833 B	26.400 A	62.200 E
Corn + GG	4.4167 DE	0.7500 B		76.553 ABC	2.4167 AB	13.333 A	3.2833 A	3.9500 A	25.783 BCD	63.283 CDE
Corn + GM	4.4333 DE	0.6833 B		86.865 A	2.7500 A	12.167 BCD	2.7333 BC	3.4167 AB	25.900 BCD	64.733 ABC
Corn + GE	4.4833 CDE	0.7167 B		72.378 BC	1.9167 ABC	13.000 AB	2.9333 AB	3.9333 A	25.583 DE	63.950 BCDE
Corn + G+E	4.5333 BCD	0.6000 B		77.800 ABC	2.0833 ABC	12.167 BCD	2.7167 BC	3.0833 AB	25.567 DE	64.317 ABCD
Corn + AF	4.4833 CDE	0.5667 B		76.115 ABC	2.4167 AB	12.333 BCD	2.5167 CD	2.9167 B	26.200 AB	62.617 DE

หมายเหตุ : Control = ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา, GG = หัวเชื้อ *Glomus geosporum,* GM = หัวเชื้อ *Glomus mosseae,* GE = หัวเชื้อ *Glomus etunicatum,* G+E = หัวเชื้อ *Glomusg eosporum+ Glomus etunicatum,* AF = *Acaulospora foveata,*

จากการวิเคราะห์พืชตามการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ พบว่า ค่า %N ในเชื้อ GM ฤดูกาลที่ 1 (1.09 %) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ GG, GM, GE, G+E และ AF (0.47-0.60%) มีค่าต่ำสุด, ค่า %P เชื้อ GM ฤดูกาลที่ 2 (0.33%) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อทุกชนิดในฤดูกาลที่ 1 (0.08-0.14%) มีค่าต่ำสุด, ค่า %K เชื้อ GM ฤดูกาลที่ 2 (2.98%) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อทุกชนิดในฤดูกาลที่ 1 (0.81-1.17%) มีค่าต่ำสุด,ค่า %root เชื้อ GM ฤดูกาลที่ 2 (93.33%) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ GE ฤดูกาลที่ 1 (56.50%) มีค่าต่ำสุด, ค่า dw เชื้อ GG, GM, GE และ G+E (10.24-0.24%) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อทุกชนิดในฤดูกาลที่ 2 (2.52-4.19%) มีค่าต่ำสุด และค่า root dw เชื้อ G+E ฤดูกาลที่ 1 (3.37%) มีค่าสูงสุด แต่เชื้อ control, GE และ G+E (1.60-1.64%) มีค่าต่ำสุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) จะเห็นได้ว่าเชื้อ GM มีประสิทธิภาพในการทำให้ข้าวไร่และข้าวโพด มี %P และ %K มีค่าสูงสุด ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชเพิ่มขึ้น และยังทำให้ % root มีค่าสูงสุด โดย Smith *et al.* (2003) พบว่า ถึงแม้ว่าเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะสามารถเข้าอยู่อาศัยในรากพืชได้โดยไม่เจาะจงกับชนิดของพืช แต่ประโยชน์ของราต่อพืชมักมีความแปรปรวน โดยเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดเดียวกันจะให้ประโยชน์ในการดูดซับธาตุอาหารให้กับพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน และเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่างชนิดกันที่ใส่ให้กับพืชชนิดเดียวกัน ก็อาจจะให้ประโยชน์ในการดูดซับธาตุอาหารแตกต่างกันไป ทั้งนี้เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากพืชแตกต่างกัน

ตารางที่ 6 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างพืชในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพดกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด

	%N	%P	%K	%root	dw	root dw
ฤดูกาล						
1	0.8944 A	0.1189 B	1.0236 B	68.672 B	10.131 A	2.9150 A
2	0.5427 B	0.2518 A	2.6622 A	80.139 A	3.715 B	1.8404 B
ชนิดพืช						
Rice	0.8426 A	0.2299 A	2.3569 A	70.694 A	3.8892 B	2.4931 A
Corn	0.5945 B	0.1408 B	1.3289 B	78.117 A	9.9574 A	2.2624 A
ชนิดของเชื้ออาบัสคูลาไมคอร์ไรซา						
Control	0.7897 A	0.1814 AB	1.9442 A	79.900 AB	5.4762 B	2.1837 A
GG	0.7278 AB	0.2032 A	1.9008 A	75.383 ABC	7.5275 A	2.5742 A
GM	0.8007 A	0.2077 A	1.9783 A	75.317 ABC	7.3042 A	2.3658 A
GE	0.5855 B	0.1967 AB	1.6887 A	62.417 C	7.3650 A	2.0692 A
G+E	0.6973 AB	0.1515 B	1.9121 A	67.500 BC	6.8983 A	2.4867 A
AF	0.7103 AB	0.1716 AB	1.6333 A	85.917 A	6.9683 A	2.5867 A
ฤดูกาล + ชนิดพืช						
1 + Rice	1.0078 A	0.1833 C	1.9706 B	63.611 B	5.687 B	2.9411 A
1 + Corn	0.7811 B	0.0544 D	0.0767 C	73.733 AB	14.576 A	2.8889 A

ตารางที่ 6 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างพืชในระบบปลูกข้าวไร่และข้าวโพดกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด (ต่อ)

	%N	%P	%K	%root	dw	root dw
ฤดูกาล + ชนิดพืช						
2 + Rice	0.6774 B	0.2765 A	2.7433 A	77.778 A	2.092 C	2.0450 B
2 + Corn	0.4079 C	0.2271 B	2.5811 A	82.500 A	5.339 B	1.6358 B
ฤดูกาล + ชนิดของเชื้ออาบัสคูลาไมคอร์ไรซา						
1 + Control	0.9367 AB	0.1383 D	1.1717 C	75.633 ABCD	8.430 B	2.7317 ABC
1 + GG	0.9867 AB	0.1300 D	1.1233 C	79.100 ABC	10.902 A	3.0883 AB
1 + GM	1.0950 A	0.0850 D	0.9817 C	57.300 CD	10.875 A	2.6467 ABC
1 + GE	0.6250 CD	0.1333 D	0.8067 C	56.500 D	10.595 A	2.5150 BC
1 + G+E	0.9000 AB	0.0950 D	1.0767 C	60.000 CD	10.242 A	3.3733 A
1 + AF	0.8233 BC	0.1317 D	0.9817 C	83.500 AB	9.745 AB	3.1350 AB
2 + Control	0.6428 CD	0.2245 BC	2.7167 AB	84.167 AB	2.523 C	1.6358 D
2 + GG	0.4690 D	0.2763 AB	2.6783 AB	71.667 ABCD	4.153 C	2.0600 CD
2 + GM	0.5063 D	0.3304 A	2.9750 A	93.333 A	3.733 C	2.0850 CD
2 + GE	0.5460 D	0.2600 BC	2.5708 AB	68.333 BCD	4.135 C	1.6233 D
2 + G+E	0.4947 D	0.2080 C	2.7475 AB	75.000 ABCD	3.555 C	1.6000 D
2 + AF	0.5973 D	0.2115 BC	2.2850 B	88.333 AB	4.192 C	2.0383 CD
ชนิดพืช + ชนิดของเชื้ออาบัสคูลาไมคอร์ไรซา						
Rice + Control	0.9210 A	0.2022 ABC	2.2950 AB	79.100 AB	3.337 D	2.4383 A
Rice + GG	0.8410 AB	0.2469 A	2.7667 A	59.817 BC	3.727 D	2.6800 A
Rice + GM	0.9803 A	0.2483 A	2.5767 A	73.967 AB	4.390 D	2.6217 A
Rice + GE	0.8110 ABC	0.2298 AB	1.8825 BCD	51.667 C	3.548 D	1.8883 A
Rice + G+E	0.6010 CD	0.1981 ABC	2.4408 AB	75.833 AB	4.270 D	2.7050 A
Rice + AF	0.9013 A	0.2540 A	2.1800 ABC	83.783 A	4.063 D	2.6250 A
Corn + Control	0.6585 BCD	0.1606 CD	1.5933 CDE	80.700 AB	7.616 C	1.9292 A
Corn + GG	0.6147 CD	0.1594 CD	1.0350 E	90.950 A	11.328 A	2.4683 A
Corn + GM	0.6210 CD	0.1670 BCD	1.3800 DE	76.667 AB	10.218 AB	2.1100 A
Corn + GE	0.3600 E	0.1635 CD	1.4950 DE	73.167 ABC	11.182 A	2.2500 A
Corn + G+E	0.7937 ABC	0.1049 DE	1.3833 DE	59.167 BC	9.527 B	2.2683 A
Corn + AF	0.5193 DE	0.0892 E	1.0867 E	88.050 A	9.873 AB	2.5483 A

หมายเหตุ : Control =ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา, GG = หัวเชื้อ *Glomus geosporum,* GM = หัวเชื้อ *Glomus mosseae,* GE = หัวเชื้อ *Glomus etunicatum,* G+E = หัวเชื้อ *Glomusg eosporum*+ *Glomus etunicatum,* AF = *Acaulospora foveata,*

การศึกษาโครงการย่อยที่ 3 การใช้พืชร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินที่ผ่านการทำเกษตรเคมี

จากข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งพบว่า T4 (ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าว ร่วมกับหัวเชื้อ G+E) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดเฉลี่ยสูงสุด และ C4 (ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ฟางข้าว) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดเฉลี่ยต่ำสุด (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด

		น้ำหนักสด (กรัม)			น้ำหนักแห้ง (กรัม)		
	ซ้ำ	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3
C1	1	34.93	33.85	41.55	30.04	30.68	31.94
	2	33.63	34.53	33.23	28.44	28.34	30.36
	3	43.64	50.53	38.80	34.79	38.19	31.94
C2	1	42.02	38.48	35.87	32.07	30.45	29.04
	2	41.10	32.46	38.83	34.70	29.68	34.14
	3	42.39	33.34	36.21	33.93	30.20	32.37
C3	1	79.97	38.72	42.77	41.14	29.13	30.12
	2	33.18	21.31	27.61	29.89	18.41	24.70
	3	29.11	22.05	28.32	24.96	19.71	25.31
C4	1	44.71	41.49	37.82	29.23	30.05	30.93
	2	35.86	31.69	23.51	30.50	15.26	19.59
	3	33.65	26.33	31.09	26.40	24.51	22.49
T1	1	80.00	56.93	148.03	41.92	35.02	61.92
	2	47.98	33.24	29.33	34.55	23.93	22.34
	3	27.94	25.19	28.38	21.46	19.74	21.58
T2	1	335.89	149.03	126.12	114.34	59.05	55.10
	2	47.79	47.53	44.18	36.05	35.40	34.04
	3	40.03	52.74	46.33	32.22	37.58	35.47
T3	1	110.36	173.61	172.94	63.96	51.63	69.83
	2	53.48	53.25	67.40	38.10	39.63	45.43
	3	56.31	89.79	69.05	39.79	56.56	46.64
T4	1	281.29	288.55	172.34	106.04	108.76	65.44
	2	59.35	80.65	58.84	42.96	52.33	43.14
	3	49.13	80.32	63.80	37.76	50.07	45.93

ตารางที่ 7 ข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด (ต่อ)

		น้ำหนักสด (กรัม)			น้ำหนักแห้ง (กรัม)		
	ซ้ำ	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3
	1	143.66	132.11	154.15	51.01	59.01	60.11
T5	2	37.38	55.76	52.63	32.14	38.87	38.61
	3	53.84	38.34	39.72	39.04	33.44	33.79
	1	137.52	172.34	148.63	58.89	63.11	51.31
T6	2	38.00	43.34	44.95	32.49	35.39	30.70
	3	68.44	66.87	74.87	47.90	47.26	48.95

หมายเหตุ : ตำรับทดลอง คือ C1 = ไม่ใส่ปุ๋ย, C2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง, C3 = ปุ๋ยหมักฟางข้าว, C4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ฟางข้าว, T1 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus geosporum* (GG), T2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus mosseae* (GM), T3 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus etunicatum* (GE), T4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomusg eosporum*+ *Glomus etunicatum* (G+E), T5 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Acaulospora foveata* (AF), T6 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อทั้ง 5 ชนิด

จากข้อมูลความสูงของต้นข้าวโพด พบว่า T2 (ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ GM) มีความสูงของต้นข้าวโพด อายุ 45, 70 และ90 วัน เฉลี่ยสูงสุด (56,62 และ 69 ซ.ม. ตามลำดับ) และ C1 (ไม่ใส่ปุ๋ย) มีความสูงของต้นข้าวโพด อายุ 45,70 และ90 วัน เฉลี่ยต่ำสุด (27,33 และ 37 ซ.ม. ตามลำดับ) (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ข้อมูลความสูงของต้นข้าวโพดที่วัดได้

		ครั้งที่ 1 (อายุ 45 วัน)			ครั้งที่ 2 (อายุ 70 วัน)			ครั้งที่ 3 (อายุ 90 วัน)		
	ซ้ำ	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3
	1	25	28	30	30	32	35	35	33	42
C1	2	23.5	24.6	28	30	31	34	35	37	35
	3	26	25	31	34	32	37	38	37	40
	1	40	30	28	45	35	30	46	38	35
C2	2	35	32	26	37	39	33	39	43	36
	3	29	34	31	35	37	34	41	43	41

ตารางที่ 8 ข้อมูลความสูงของต้นข้าวโพดที่วัดได้ (ต่อ)

		ครั้งที่ 1 (อายุ 45 วัน)			ครั้งที่ 2 (อายุ 70 วัน)			ครั้งที่ 3 (อายุ 90 วัน)		
	ซ้ำ	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3
C3	1	28	30	35	35	35	41	41	38	43
	2	27	28	32	32	34	36	39	37	40
	3	25	23	31	30	32	36	35	37	40
C4	1	40	35	38	45	40	41	47	41	43
	2	38	32	36	41	39	40	46	43	47
	3	31	29	34	34	31	26	37	35	34
T1	1	50	52	55	60	62	65	80	65	148
	2	43	39	47	46	41	49	51	53	55
	3	45	49	53	48	51	56	57	58	60
T2	1	60	61	50	68	65	60	72	74	73
	2	57	48	56	60	63	58	73	69	64
	3	55	61	54	59	64	57	63	68	66
T3	1	50	55	60	61	62	65	67	69	72
	2	45	51	53	48	53	59	51	57	64
	3	47	50	55	50	52	57	61	57	59
T4	1	61	63	57	63	65	59	72	72	67
	2	56	64	60	59	57	60	64	66	63
	3	56	64	60	59	57	60	64	66	63
T5	1	50	55	58	60	62	65	69	71	75
	2	52	46.7	59	56	49	61	60	56	66
	3	57	64	58	61	67	60	67	73	65
T6	1	70	60	62	78	70	71	80	78	74
	2	64	75	63	68	77	69	72	79	71
	3	54	67	61	58	72	65	63	77	67

หมายเหตุ : ตำรับทดลอง คือ C1 = ไม่ใส่ปุ๋ย, C2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง, C3 = ปุ๋ยหมักฟางข้าว, C4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ฟางข้าว, T1 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus geosporum* (GG), T2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus mosseae* (GM), T3 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus etunicatum* (GE), T4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomusg eosporum*+ *Glomus etunicatum* (G+E), T5 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Acaulospora foveata* (AF), T6 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อทั้ง 5 ชนิด

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์ดินตามระดับความลึกที่ 1 (de1) และ 2 (de2) พบว่า ความลึกที่ 2 มีค่า pH, AP และ Bd สูงสุด ส่วนความลึกที่ 1 มีค่า NH4+, NO3-, แมกนีเซียม (Mg) และ Cu สูงสุด ส่วนค่าการวิเคราะห์อื่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และการศึกษาผลการวิเคราะห์ดินตามตำรับการทดลองทั้ง 10 ตำรับ พบว่า ใน T5 มีค่า pH (6.16) และ P (6.66) สูงสุด แต่ C3 มีค่า pH (5.50) และ P (2.93) ต่ำสุด, ค่า Soil Organic Matter (SOC) ใน T1 (0.51%) มีค่าสูงสุด แต่ C1 และ C4 (0.35%) มีค่าต่ำสุด, ค่า NH_4^+ ใน C1 (89.83 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ T1 และ T2 มีค่าต่ำสุด, ค่า NO_3^- ใน T6 (40.50) มีค่าสูงสุด แต่ใน C3 (11.67 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า K ใน T3 (2790.0 mg/kg) มีค่าต่ำสุด แต่ใน C1, C2 และ C4 มีค่าต่ำสุด, ค่า Ca ใน C1 (1069.0 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ในตำรับที่ C4, T4 และ T5 มีค่าต่ำสุด, ค่า Mg ใน T1 (173.07 mg/kg) และ 3 (170.53 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ใน T5 (124.87 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Zn ใน T1 (30.96 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ในตำรับอื่น ๆ มีค่าต่ำ, ค่า Cu ใน T2 (3.24 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ใน C2 (1.89 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่าเหล็ก (Fe) ใน C3 ถึง T4 และ T6 (33.93-39.26 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ใน C1 (21.24 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่าแมงกานีส (Mn) ใน C2 (68.43 mg/kg) และ C3 (69.09 mg/kg) แต่ใน T3 ถึง T6 (36.10-39.67 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า WSC ใน T1 (223.33 mg/kg) แต่ในตำรับที่ 10 (90.00) มีค่าต่ำสุด, ค่า HWSC ในตำรับที่ 5 (88.00) แต่ในตำรับอื่น ๆ มีค่าต่ำ, ค่า Permanganate Oxidizable Carbon (POC) ใน C2 (0.50 mg/kg) มีค่าต่ำสุด แต่ใน T2 (0.42 mg/kg) มีค่าต่ำสุด และค่า Bd ใน C1 (1.26%) มีค่าสูงสุด แต่ใน T1 (0.97%) มีค่าต่ำสุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 9)จะเห็นได้ว่า ระดับความลึกมีผลต่อสมบัติของดินที่แตกต่างกัน และพบว่าตำรับที่ 5 (ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ GG) ทำให้ดินปลูกข้าวโพดมีปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตำรับอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามแต่ละตำรับทดลองยังส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกัน เนื่องจากเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่างชนิดกันที่ใส่ให้กับพืชชนิดเดียวกัน ก็อาจจะให้ประโยชน์ในการดูดซับธาตุอาหารแตกต่างกันไป (Smith *et al.,* 2003)

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ดิน

	pH	SOC	P	NH_4^+	NO_3^-	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	WSC	HWSC	POC	Bd
ความลึก		%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	%
de1	5.81^{B}	0.44^{A}	3.86^{B}	40.47^{A}	28.93^{A}	2158.6^{A}	952.13^{A}	163.93^{A}	6.88^{A}	2.77^{A}	31.60^{A}	49.55^{A}	153.33^{A}	59.33^{A}	0.45^{A}	1.06^{B}
de2	5.92^{A}	0.41^{A}	5.60^{A}	7.13^{B}	17.57^{B}	2103.3^{A}	932.39^{A}	145.24^{B}	0.76^{A}	2.38^{B}	35.08^{A}	52.52^{A}	143.33^{A}	54.00^{A}	0.46^{A}	1.17^{A}
ตำรับการทดลอง																
C1	5.86^{BC}	0.35^{C}	5.48^{ABC}	89.83^{A}	21.33^{BC}	1628.8^{D}	1069.0^{A}	146.40^{ABC}	1.27^{B}	1.89^{E}	21.24^{C}	49.50^{BC}	123.33^{AB}	53.00^{B}	0.43^{BC}	1.26^{A}
C2	5.84^{BC}	0.41^{ABC}	5.18^{ABC}	25.67^{BC}	19.17^{BC}	1766.5^{D}	925.2^{BC}	156.13^{AB}	0.95^{B}	2.45^{ABCDE}	24.10^{BC}	68.43^{A}	156.67^{AB}	51.33^{B}	0.50^{A}	1.18^{ABC}
C3	5.50^{D}	0.50^{AB}	2.93^{D}	50.83^{AB}	11.67^{C}	1921.2^{CD}	958.6^{BC}	170.53^{A}	1.17^{B}	2.93^{ABC}	33.93^{A}	69.09^{A}	140.00^{AB}	44.67^{B}	0.44^{ABC}	1.14^{ABCD}
C4	5.86^{BC}	0.35^{C}	4.22^{BCD}	60.00^{AB}	16.67^{BC}	1825.0^{D}	894.0^{C}	159.53^{AB}	0.89^{B}	3.03^{AB}	37.15^{A}	58.12^{AB}	123.33^{AB}	44.67^{B}	0.48^{AB}	1.02^{CDE}
T1	5.76^{C}	0.51^{A}	5.13^{ABC}	0^{C}	21.17^{BC}	1918.2^{CD}	1015.5^{AB}	173.07^{A}	30.96^{A}	2.85^{ABCD}	38.59^{A}	63.44^{AB}	223.33^{A}	88.00^{A}	0.44^{ABC}	0.97^{E}
T2	5.83^{BC}	0.45^{ABC}	3.81^{CD}	0^{C}	32.67^{AB}	2411.5^{ABC}	936.0^{BC}	163.73^{AB}	0.83^{B}	3.24^{A}	38.57^{A}	51.57^{BC}	123.33^{AB}	61.33^{B}	0.42^{C}	1.06^{BCDE}
T3	5.91^{BC}	0.43^{ABC}	4.53^{BCD}	11.00^{BC}	23.17^{BC}	2790.0^{A}	955.0^{BC}	165.73^{AB}	0.51^{B}	2.18^{CDE}	35.54^{A}	36.10^{C}	140.00^{AB}	49.67^{B}	0.47^{ABC}	1.22^{AB}
T4	5.88^{BC}	0.38^{BC}	5.60^{AB}	8.33^{BC}	24.00^{ABC}	2480.7^{AB}	875.9^{C}	143.00^{BC}	0.40^{B}	2.35^{BCDE}	34.07^{A}	37.85^{C}	156.67^{AB}	53.00^{B}	0.46^{ABC}	1.20^{AB}
T5	6.16^{A}	0.45^{ABC}	6.66^{A}	7.67^{BC}	22.17^{BC}	2465.3^{AB}	887.1^{C}	124.87^{C}	0.55^{B}	2.76^{ABCD}	30.96^{AB}	36.57^{C}	206.67^{AB}	61.33^{B}	0.48^{ABC}	1.08^{BCDE}
T6	6.02^{AB}	0.43^{ABC}	3.74^{CD}	6.83^{BC}	40.50^{A}	2102.3^{BCD}	906.3^{BC}	142.87^{BC}	0.66^{B}	2.08^{DE}	39.26^{A}	39.67^{C}	90.00^{B}	59.67^{B}	0.46^{ABC}	1.01^{DE}

หมายเหตุ : ความลึก คือ ระดับความลึกที่ 1 (de1), ระดับความลึกที่ 2 (de2), ตำรับทดลอง คือ C1 = ไม่ใส่ปุ๋ย, C2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง, C3 = ปุ๋ยหมักฟางข้าว, C4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ฟางข้าว, T1 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus geosporum* (GG), T2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus mosseae* (GM), T3 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus etunicatum* (GE), T4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomusg eosporum*+ *Glomus etunicatum* (G+E), T5 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Acaulospora foveata* (AF), T6 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อทั้ง 5 ชนิด

จากการศึกษาการวิเคราะห์ดินตามระดับความลึกที่ 1 และ 2 ร่วมกับตำรับการทดลองทั้ง 10 ตำรับ พบว่า ค่า pH ความลึกที่ 2 ตำรับ T5 (6.20) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ C3 (5.32) มีค่าต่ำสุด, ค่า SOC ความลึกที่ 2 ตำรับ T1 (0.53%) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ C1 (0.26%) มีค่าต่ำสุด , ค่า P ความลึกที่ 2 ตำรับ T5 (9.31 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ C3 (1.97 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า NH_4^+ ความลึกที่ 1 ตำรับ C1 (168.00 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ C2 และ T1 ถึง T6 และความลึกที่ 2 ตำรับที่ 1, 3 และ 5 ถึง 10 (-37.67-16.00 mg/kg) มีค่าต่ำสุด , ค่า NO_3^- ความลึกที่ 1 ตำรับที่ 10 (63.33 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ C3 ความลึกที่ 2 ตำรับ C2, C3, C4 และ T5 (8.33-15.00 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า K ความลึกที่ 1 ตำรับ T3 (2988.3 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ C1 (1579.3 mg/kg) และความลึกที่ 2 ตำรับ C1 (1678.3 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Ca ความลึกที่ 1 ตำรับ C1 (1160.5 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ T5 (698.0 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Mg ความลึกที่ 1 ตำรับ C3 (198.87 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ T5 (95.07 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Zn ความลึกที่ 1 ตำรับ T1 (61.13 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกและตำรับอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกัน, ค่า Cu ความลึกที่ 1 ตำรับ T2 (4.38 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ C1 และ 10 (1.60 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Fe ความลึกที่ 2 ตำรับ T6 (55.85 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 2 ตำรับ C2 (19.60 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Mn ความลึกที่ 1 ตำรับ C3 (71.95 mg/kg) และความลึกที่ 2 ตำรับ C2, C3 และT1 (76.70, 66.23 และ 65.95 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ T3 และ T5 (33.52 และ 33.31 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า WSC ความลึกที่ 1 ตำรับ T5 และความลึกที่ 2 ตำรับ T1 (290.00 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ T6 และความลึกที่ 2 ตำรับ C4 และ T6 (90.00 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า HWSC ความลึกที่ 1 ตำรับ T1 (103.00 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ C3 และความลึกที่ 2 ตำรับ C2 (36.33 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า POC ความลึกที่ 1 ตำรับ C2 (0.52 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ T2 (0.38 mg/kg) มีค่าต่ำสุด และค่า Bd ความลึกที่ 2 ตำรับ C1 (1.47%) มีค่าสูงสุด แต่ความลึกที่ 1 ตำรับ T1 (0.93%) มีค่าต่ำสุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 10) จะเห็นได้ว่า ระดับความลึกและตำรับทดลองมีผลต่อปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดในดินแตกต่างกัน โดยที่ระดับความลึกที่ 1 มีผลต่อการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระดับความลึกที่ 2 อาจเนื่องมาจากเป็นชั้นหน้าดินและมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง จึงทำให้มีปริมาณธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ สูง นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยในแต่ละตำรับการทดลองที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 10 ผลความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ดินหลังการปลูกข้าวโพด

	pH	SOC	P	NH_4^+	NO_3^-	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	WSC	HWSC	POC	Bd
		%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	%
de1 C1	5.80^{CD}	0.26^{C}	4.35^{BCDEF}	168.00^{A}	15.67^{BC}	1579.3^{F}	1160.5^{A}	159.60^{ABCDE}	0.63^{B}	1.60^{E}	21.40^{EF}	37.75^{EF}	123.33^{AB}	63.00^{BC}	0.42^{BCD}	1.06^{BCD}
de1 C2	5.71^{D}	0.40^{ABC}	4.80^{BCDE}	13.67^{D}	27.33^{BC}	1794.7^{CDEF}	1021.3^{ABCD}	172.93^{ABCD}	1.37^{B}	2.48^{CDE}	28.60^{DEF}	60.17^{ABCD}	123.33^{AB}	49.67^{BC}	0.52^{A}	1.21^{B}
de1 C3	5.32^{E}	0.50^{AB}	1.97^{F}	109.33^{AB}	15.00^{C}	2007.3^{BCDEF}	1050.5^{ABC}	193.87^{A}	1.66^{B}	3.28^{ABCD}	44.93^{ABC}	71.95^{A}	123.33^{AB}	53.00^{BC}	0.42^{BCD}	1.10^{BCD}
de1 C4	5.79^{CD}	0.36^{ABC}	3.77^{CDEF}	96.00^{ABC}	18.33^{BC}	1758.3^{DEF}	978.9^{BCDEF}	182.27^{AB}	1.12^{B}	3.85^{AB}	46.21^{AB}	60.47^{ABCD}	156.67^{AB}	36.33^{C}	0.46^{ABCD}	0.97^{CD}
de1 T1	5.71^{D}	0.50^{AB}	4.05^{CDEF}	3.33^{D}	25.67^{BC}	1879.7^{BCDEF}	999.2^{BCDE}	179.47^{ABC}	61.13^{A}	3.46^{ABC}	44.27^{ABC}	60.93^{ABC}	156.67^{AB}	103.00^{A}	0.41^{CD}	0.93^{D}
de1 T2	5.74^{D}	0.50^{AB}	3.63^{DEF}	4.33^{D}	39.33^{B}	2408.3^{ABCDE}	874.8^{DEFG}	164.67^{ABCDE}	1.07^{B}	4.38^{A}	38.17^{BCD}	62.32^{AB}	123.33^{AB}	63.00^{BC}	0.38^{D}	1.00^{BCD}
de1 T3	5.95^{ABCD}	0.46^{AB}	2.81^{EF}	2.00^{D}	27.33^{BC}	2988.3^{A}	943.5^{BCDEFG}	177.73^{ABC}	0.49^{B}	2.24^{DE}	24.99^{EF}	33.52^{F}	156.67^{AB}	53.00^{BC}	0.47^{ABC}	1.22^{B}
de1 T4	5.96^{ABCD}	0.40^{ABC}	5.01^{BCDE}	0.67^{D}	25.67^{BC}	2448.7^{ABCDE}	837.3^{FGH}	143.20^{CDEF}	0.39^{B}	2.49^{CDE}	21.05^{EF}	35.35^{EF}	190.00^{AB}	53.00^{BC}	0.45^{ABCD}	1.16^{BCD}
de1 T5	6.12^{AB}	0.50^{AB}	4.01^{CDEF}	1.67^{D}	31.67^{BC}	2477.0^{ABCD}	698.0^{H}	95.07^{G}	0.53^{B}	2.37^{CDE}	23.77^{EF}	33.31^{F}	290.00^{A}	63.00^{BC}	0.49^{AB}	0.97^{CD}
de1 T6	5.98^{ABCD}	0.50^{AB}	4.17^{BCDEF}	5.67^{D}	63.33^{A}	2244.7^{BCDEF}	957.2^{BCDEFG}	170.53^{ABCDE}	0.45^{B}	1.60^{E}	22.66^{EF}	39.73^{CDEF}	90.00^{B}	56.33^{BC}	0.46^{ABCD}	1.00^{BCD}
de2 C1	5.93^{ABCD}	0.43^{ABC}	6.60^{B}	11.67^{D}	27.00^{BC}	1678.3^{F}	977.5^{BCDEF}	133.20^{EFG}	1.91^{B}	2.19^{DE}	21.09^{EF}	61.25^{ABC}	123.33^{AB}	43.00^{BC}	0.44^{ABCD}	1.47^{A}
de2 C2	5.97^{ABCD}	0.43^{ABC}	5.55^{BCD}	37.67^{BCD}	11.00^{C}	1738.3^{EF}	829.1^{FGH}	139.33^{DEF}	0.53^{B}	2.42^{CDE}	19.60^{F}	76.70^{A}	190.00^{AB}	53.00^{BC}	0.47^{ABCD}	1.15^{BCD}
de2 C3	5.68^{D}	0.50^{AB}	3.90^{CDEF}	-7.67^{D}	8.33^{C}	1835.0^{CDEF}	866.7^{DEFG}	147.20^{BCDEF}	0.67^{B}	2.58^{CDE}	22.93^{EF}	66.23^{A}	156.67^{AB}	36.33^{C}	0.46^{ABCD}	1.18^{BC}
de2 C4	5.93^{ABCD}	0.33^{BC}	4.68^{BCDE}	24.00^{CD}	15.00^{C}	1891.7^{BCDEF}	d809.1^{GH}	136.80^{DEF}	0.66^{B}	2.21^{DE}	28.10^{DEF}	55.76^{ABCDE}	90.00^{B}	53.00^{BC}	0.50^{AB}	1.08^{BCD}
de2 T1	5.82^{BCD}	0.53^{A}	6.21^{BC}	-14.33^{D}	16.67^{BC}	1956.7^{BCDEF}	1031.7^{ABC}	166.67^{ABCDE}	0.78^{B}	2.24^{DE}	32.91^{CDE}	65.95^{A}	290.00^{A}	73.00^{AB}	0.47^{ABCD}	1.02^{BCD}
de2 T2	5.92^{ABCD}	0.40^{ABC}	3.99^{CDEF}	-37.67^{D}	26.00^{BC}	2414.7^{ABCDE}	997.2^{BCDE}	162.80^{ABCDE}	0.60^{B}	2.11^{DE}	38.96^{BCD}	40.82^{BCDEF}	123.33^{AB}	59.67^{BC}	0.45^{ABCD}	1.12^{BCD}
de2 T3	5.87^{BCD}	0.40^{ABC}	6.24^{BC}	20.00^{CD}	19.00^{BC}	2591.7^{AB}	966.6^{BCDEF}	153.73^{BCDE}	0.54^{B}	2.12^{DE}	46.09^{AB}	38.68^{DEF}	123.33^{AB}	46.33^{BC}	0.46^{ABCD}	1.23^{B}
de2 T4	5.81^{CD}	0.36^{ABC}	6.18^{BC}	16.00^{D}	22.33^{BC}	2512.7^{ABC}	914.5^{CDEFG}	142.80^{CDEF}	0.41^{B}	2.21^{DE}	47.08^{AB}	40.34^{BCDEF}	123.33^{AB}	53.00^{BC}	0.47^{ABCD}	1.23^{AB}
de2 T5	6.20^{A}	0.40^{ABC}	9.31^{A}	13.67^{D}	12.67^{C}	2453.7^{ABCDE}	1076.1^{AB}	154.67^{BCDE}	0.58^{B}	3.15^{BCD}	38.15^{BCD}	39.83^{CDEF}	123.33^{AB}	59.67^{BC}	0.46^{ABCD}	1.19^{BC}
de2 T6	6.07^{ABC}	0.36^{ABC}	3.32^{DEF}	8.00^{D}	17.67^{BC}	1960.0^{BCDEF}	855.5^{EFG}	115.20^{FG}	0.88^{B}	2.56^{CDE}	55.85^{A}	39.61^{CDEF}	90.00^{B}	63.00^{BC}	0.46^{ABCD}	1.01^{BCD}

หมายเหตุ : ความลึก คือ ระดับความลึกที่ 1 (de1), ระดับความลึกที่ 2 (de2), ตำรับทดลอง คือ C1 = ไม่ใส่ปุ๋ย, C2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง, C3 = ปุ๋ยหมักฟางข้าว, C4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ฟางข้าว, T1 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus geosporum* (GG), T2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus mosseae* (GM), T3 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus etunicatum* (GE), T4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomusg eosporum*+ *Glomus etunicatum* (G+E), T5 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Acaulospora foveata* (AF), T6 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อทั้ง 5 ชนิด

จากการศึกษาการวิเคราะห์พืชตามตำรับการทดลอง พบว่า ค่า Root colonization ในตำรับ C4 (92.22%) และ 8 (94.44%) มีค่าสูงสุด แต่ตำรับ C1 (76.67%), T1 (77.78%) และ T5 (75.56%) มีค่าต่ำสุด, ค่า %P ตำรับ C4 (0.18%) มีค่าสูงสุด แต่ตำรับ T6 (0.05) มีค่าต่ำสุด, ค่า Fe ตำรับ C1 (532.53 mg/kg) และ 5 (482.25 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ตำรับ T6 (138.89 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Mn ตำรับ C2 (45.39 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ตำรับ C4, T1 และ T5 (18.83-20.81 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Zn ตำรับ C1 (20.17 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ในตำรับ T2 (7.17 mg/kg) และ 7 (6.83 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า Cu ตำรับ T4 (8.64 mg/kg) มีค่าสูงสุด แต่ตำรับ C3 (5.47 mg/kg) และ T1 (4.67 mg/kg) มีค่าต่ำสุด, ค่า %N ตำรับ C1, C2 และ C3 (3.20-3.43%) มีค่าสูงสุด แต่ตำรับ T6 (2.24%) มีค่าต่ำสุด, ค่า %K ตำรับ C2 (3.11%) มีค่าสูงสุด แต่ตำรับ T2 (1.20%) มีค่าต่ำสุด, ค่า %Ca ตำรับ C1 (0.63%) และ 10 (0.64%) มีค่าสูงสุด แต่ตำรับ C2 ถึง T1 และ T5 (0.29-0.35%) มีค่าต่ำสุด และค่า %Mg ตำรับ T6 (0.19%) มีค่าสูงสุด แต่ตำรับที่ C4 มีค่าต่ำสุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 11) จะเห็นได้ว่า แต่ละตำรับทดลองมีผลต่อปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดในพืชแตกต่างกัน บางตำรับทดลองมีปริมาณธาตุอาหารชนิดเดียวกันสูงที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์พืช (ใบข้าวโพด)

	root colonization	%P	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	%N	%K	%Ca	%Mg
C1	76.67^{C}	0.13^{ABC}	532.53^{A}	42.00^{AB}	20.17^{A}	5.97^{AB}	3.41^{A}	2.19^{BC}	0.63^{A}	0.16^{AB}
C2	84.44^{ABC}	0.14^{ABC}	312.56^{B}	45.39^{A}	17.64^{AB}	6.11^{AB}	3.20^{A}	3.11^{A}	0.35^{B}	0.15^{AB}
C3	85.56^{ABC}	0.14^{AB}	298.11^{B}	32.52^{ABC}	12.75^{ABCD}	5.47^{B}	3.13^{AB}	2.28^{BC}	0.29^{B}	0.13^{AB}
C4	92.22^{A}	0.18^{A}	286.19^{BC}	20.31^{C}	16.44^{ABC}	5.75^{AB}	3.43^{A}	2.73^{AB}	0.29^{B}	0.0085^{C}
T1	77.78^{C}	0.10^{BCD}	482.25^{A}	18.83^{C}	15.44^{ABCD}	4.67^{B}	2.55^{BCD}	2.25^{BC}	0.33^{B}	0.08^{BC}
T2	78.89^{BC}	0.09^{CDE}	282.75^{BC}	28.22^{BC}	7.17^{D}	6.14^{AB}	2.28^{CD}	1.20^{D}	0.44^{AB}	0.14^{AB}
T3	88.89^{AB}	0.08^{DE}	258.19^{BC}	31.72^{ABC}	6.83^{D}	6.92^{AB}	2.49^{CD}	1.73^{CD}	0.46^{AB}	0.09^{ABC}
T4	94.44^{A}	0.10^{BCDE}	233.58^{BC}	31.42^{ABC}	10.50^{BCD}	8.64^{A}	2.88^{ABC}	1.93^{BCD}	0.48^{AB}	0.15^{AB}
T5	75.56^{C}	0.11^{BCD}	161.78^{BC}	20.81^{C}	8.08^{CD}	7.06^{AB}	2.26^{CD}	2.23^{BC}	0.35^{B}	0.06^{BC}
T6	84.44^{ABC}	0.05^{E}	138.89^{C}	38.19^{AB}	9.78^{BCD}	6.03^{AB}	2.24^{D}	1.74^{CD}	0.64^{A}	0.19^{A}

หมายเหตุ : ตำรับทดลอง คือ C1 = ไม่ใส่ปุ๋ย, C2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง, C3 = ปุ๋ยหมักฟางข้าว, C4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ฟางข้าว, T1 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus geosporum* (GG), T2 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus mosseae* (GM), T3 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomus etunicatum* (GE), T4 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Glomusg eosporum+ Glomus etunicatum* (G+E), T5 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ *Acaulospora foveata* (AF), T6 = ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อทั้ง 5 ชนิด

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเปลี่ยนแปลงสมบัติของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา พบว่าปุ๋ยมูลหมูมีคุณสมบัติทางปุ๋ยอินทรีย์สูงกว่าปุ๋ยมูลวัวอย่างมีนัยทางสถิติตลอดระยะเวลาการหมัก 56 วัน และเชื้อ *G.etunicatum* มีประสิทธิภาพต่อการเปลี่ยนแปลงปุ๋ยอินทรีย์มากที่สุด โดยอัตราการเปลี่ยนแปลง นั้นสามารถแบ่งเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกปุ๋ยทั้งสองมีกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ เกิดกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่อยู่ในปุ๋ยหมัก และเมื่อเวลาผ่านไป กระบวนการเหล่านี้จะลดลงก็จะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์มีอัตราลดลงจนถึงที่ต่ำสุดและคงที่เมื่อสิ้นสุดการหมักปุ๋ย แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะนำไปใช้ในการประเมินความสมบูรณ์ในการหมักของปุ๋ยหมัก

จากข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่า T4 (ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ G+E) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดเฉลี่ยสูงสุด และ C4 (ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ฟางข้าว) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดเฉลี่ยต่ำสุด ส่วนข้อมูลความสูงของต้นข้าวโพดพบว่า T2 (ปุ๋ยหมักกากถั่วเหลือง+ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อ GM) มีความสูงของต้นข้าวโพด อายุ 45, 70 และ90 วัน เฉลี่ยสูงสุด (56, 62 และ 69 cm.ตามลำดับ) และ C1 (ไม่ใส่ปุ๋ย) มีความสูงของต้นข้าวโพด อายุ 45,70 และ90 วัน เฉลี่ยต่ำสุด (27, 33 และ 37 ซ.ม. ตามลำดับ)

จากการศึกษาการวิเคราะห์ดินตามการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด พบว่า ในฤดูปลูกที่ 1 ค่า P (109.15 mg/kg) และ WSC (2.83 mg/kg) ที่ใส่เชื้อ GM มีค่าสูงสุด, ค่า NO_3^- (50.00 mg/kg) และ NH_4^+ (102.42-103.70 mg/kg) ที่ใส่เชื้อทุกชนิด มีค่าสูงสุด และในฤดูปลูกที่ 2 ค่า pH (4.82) และ Zn (3.32 mg/kg) ที่ใส่เชื้อ GG มีค่าสูงสุด ค่า K (60.00 mg/kg) ที่ใส่เชื้อ AF มีค่าสูงสุด ค่า HWSC (17.17-17.83 mg/kg) ที่ใส่เชื้อทุกชนิด มีค่าสูงสุด, ค่า OM (1.46%) ที่ไม่มีการใส่เชื้อ (Control) มีค่าสูงสุด และการวิเคราะห์พืชตามการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด พบว่า ในฤดูปลูกที่ 1 ค่า %N (1.09%) ที่ใส่เชื้อ GM มีค่าสูงสุด, ค่า dw (10.24-0.24%) ที่ใส่เชื้อ GG, GM, GE และ G+E มีค่าสูงสุด ค่า root dw (3.37%) ที่ใส่เชื้อ G+E มีค่าสูงสุด และในฤดูปลูกที่ 2 ค่า %P (0.33%), %K (2.98%) และ %root (93.33%) ที่ใส่เชื้อ GM มีค่าสูงสุด

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์ดินตามระดับความลึกที่ 1 (de1) และ 2 (de2) พบว่า ความลึกที่ 2 มีค่า pH, P และ Bd สูงสุด ส่วนความลึกที่ 1 มีค่า NH_4^+, NO_3^-, Mg และ Cu สูงสุด ส่วนค่าการวิเคราะห์อื่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และการศึกษาผลการวิเคราะห์ดินตามตำรับการทดลองทั้ง 10 ตำรับ พบว่า ใน T5 มีค่า pH (6.16) และ P (6.66) สูงสุด, ค่า SOC ใน T1 (0.51%) มีค่าสูงสุด ค่า NH_4^+ ใน C1 (89.83%) มีค่าสูงสุด ค่า NO_3^- ใน T6 (40.50 mg/kg) มีค่าสูงสุด ค่า K ใน T3 (2790.0 mg/kg) มีค่าสูงสุด ค่า Ca ใน C1 (1069.0) มีค่าสูงสุด, ค่า Mg ใน T1 (173.07 mg/kg) และ 3 (170.53 mg/kg) มีค่าสูงสุด ค่า

Zn ใน T1 (30.96 mg/kg) มีค่าสูงสุด ค่า Cu ใน T2 (3.24 mg/kg) มีค่าสูงสุด, ค่า Fe ใน C3 ถึง T4 และ T6 (33.93-39.26 mg/kg) มีค่าสูงสุด ค่า Mn ใน C2 (68.43 mg/kg) และ 3 (69.09 mg/kg) มีค่าสูงสุด ค่า WSC ใน T1 (223.33 mg/kg) มีค่าสูงสุด ค่า HWSC ใน T1 (88.00 mg/kg) มีค่าสูงสุด ค่า POC ใน C2 (0.50 mg/kg) มีค่าสูงสุด และค่า Bd ใน C1 (1.26%) มีค่าสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2541. **คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ย**. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย กองเกษตรเคมี กรมวิชาการ เกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2542. **พืชเศรษฐกิจเล่ม 1.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาไร่นา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธงชัย มาลา. 2550. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 300 หน้า.

นันทกร บุญเกิด, ประยูร สวัสดี และออมทรัพย์ นพอมรบดี. 2535. **การใช้จุลินทรีย์ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช: คู่มือการปรับปรุงดิน และการใช้ปุ๋ย.** กรุงเทพฯ: ศูนย์การพิมพ์พลชัย.

สุกานดา ศิลปชัย, ธงชัย มาลา และถวัลย์ศักดิ์ เผ่าสังข์. 2552. ผลของเชื้อรา Glomus aggregatum ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นสบู่ดำพันธุ์อินเดียในปีที่ 2. **วิทยาสารกำแพงแสน,** 7(1), 10-24.

ศุภธิดา อ่ำทอง, พงศ์สุดา ศิรินิกร, พิทวัส สุสิงสา และนงลักษณ์ เมืองใจ. 2552. **ความสัมพันธ์ของสารโกลมาลินกับความคงทนของเม็ดดินในดินที่มีการใช้แบบต่าง ๆ**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 11 หน้า.

ศุภธิดา อ่ำทอง, ณฐมล กันธิยะ และตวงสิต ปัญญา. 2556. **ผลของชนิดของดินและการจัดการน้ำความเป็นประโยชน์ของ Zn และ Cu ต่อการดูดใช้ของข้าว.** รอการตีพิมพ์

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2551. ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ น้ำหมักชีวภาพ และอีเอ็มแทนปุ๋ยเคมีได้จริงหรือ? มองในมุมเศรษฐศาสตร์และเทคโนโลยี. **วารสารดินปุ๋ย**, 30(2), 117-131.

ออมทรัพย์ นพอมรบดี. 2527. การใช้ไมคอร์ไรซาในระบบการปลูกพืช. น. 247-253. ใน **รายงานสัมมนาทางวิชาการเรื่องเทคโนโลยีทางชีวภาพ.** กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

Auge, R. M., Schekel, K. A. and Wample, R. L. 1987. Leaf water and carbohydrate status of VA mycorrhizal rose exposed to drought stress. **Plant and Soil**, 99, 291-302.

Boyetchko, S. M. and Tewari, J. P. 1990. Root colonization of differrent host by the vesicular arbusmycorrhiza fungus *Glomus dimorphicum*. **Plant and Soil**, 129(1), 131- 1,136.

Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. pp 1149-1178. *In* **Black CA. (ed.) Method of soil analysis part 2**. American Society of Agronomy. Madison. Wis.

Carpenter-Boggs, L., Loynacha, T.E. and Staht, P.D. 1995. Spor germination of Gigaspora margarita stimulated by volatiles of soil-isolated actinomycetes. **Soil Biology and Biochemistry**, 27, 1445-1451.

Carpenter-Boggs, L., Kennedy, A.C., Reganold, J.P. 2000a. Organic and biodynamic management: Effects on soil biology**. Soil Science Society of America Journal,** 64, 1651–1659.

Dalal, R.C. and R.T. Mayer. 1986. Long–term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density fractions. **Australian Journal Soil Research**, 24, 301-309.

Dalenberg, J.W. and Jager, G. 1989. Priming effects of some organic additions to ^{14}C-labelled soil. **Soil Biology and Biochemistry Soil**, 21, 43-48.

Diaz, R.J., Harbecke, R., Singer, J.B., Pignoni, F., Janning, W. and Lengyel, J.A. 1996. Graded effect of tailless on posterior gut development: molecular basis of an allelic series of a nuclear receptor gene**. Mech. Dev**, 54(1), 119--130.

Driver, J.C., Holben, W.E. and Rillig, M.C. 2005. Characteristic of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, 37, 101-106.

Fairchild, G.L. and Miller, M.H. 1990. Vesicular-arbucular mycorrhizae and soil disturbance induced reduction of nutrient absorption in maize: III. Influence of pamendments to soil. **New Phytologist**, 114, 641-650.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1995. **Integrated plant nutrition system. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin.** Rome. 426 pp.

D., Dexter, M. and Perrott, K.W. 2003. Hot water extractable carbon in soils: a sensitive measurement or determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, 35, 1231-1243.

Gimeno-García, E., Andreu, V. and Rubio, J.L. 2000. Changes in organic matter, nitrogen, phosphorous and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. European. **Journal of Soil Science,** 51, 201–210.

Gonzalez-Chavez, C., Haen, J.D., Vangronsveld, J. and Dodd, J.C. 2002. Copper sorption and accumulation by the extraradical mycelium of different Glomus spp. (arbuscular mycorrhizal fungi) isolated from the same polluted soil. **Plant and Soil**, 240, 287-297.

Gregorich, E.G., Beare, M.H , Stoklas, U. and St-George, P., 2003. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soil**. Geoderma**, 113, 237-252.

Gregorich, E.G., Carter, M.R , Angers, D.A. , Monreal, C.M. and Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science,** 74, 367-385.

Gregorich,E.G.,Voroney,R.P. and Kachnoski,R.G. 1991. Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different texture. **Soil Biology and Biochemistry**, 23, 799-805.

Gryndler, M., Hrselova H., Chvátalova I. and Jansa, J. 1998. The effect of selected plant hormones on in vitro proliferation of hyphae of *Glomus fistulosum*. **Biologia Plantarum**, 41, 255–263.

Guo, M., Jan, L.Y. and Jan, Y.N. 1996. Control of daughter cell fates during asymmetric division: Interaction of numb and Notch. **Neuron,** 17(1), 27-41.

Guo, Z. and Zhao, T. S. 2002. Lattice Boltzmann model for incompressible flows through porous media. **Physical Review E**, 66, 036-304.

Habte, M. and Manjunath, A. 1992. Initial and residual toxicity of soil-applied thiram on the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza, 2, 25-31.

Habte, M., Aziz, T. and Yuen, J. E. 1992. Residual toxicity of soil-applied chlorothalonil on mycorrhizal symbiosis in Leucaena leucocephala. **Plant Soil**, 140, 263-268.

Hamer,U. and Marchner, B. 2002. Priming effects on sugar, amino acids ,organic acids and catechol on the mineralization of lignin and peat. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science,** 165, 261-268.

Harley, J. L. and Smith, S. E. 1983. **Mycorrhizal Symbiosis**. London: Academic Press. 483 p.

Li, X-L, George, E. and Marschner, H. 1991. Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in calcareous soil. **Plant and Soil,** 136, 41-48.

Lovelock, C.E.,and Wright, S.F., Clark, D.A. and Ruess, R.W. 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape**. Journal of Ecology**, 92, 278-287.

Jasper, D. A., Abbott, L. K. and Robson, A. D. 1993. The survival of infective hyphae of vesicular – arbuscular mycorrhizal funge in dry soil : an interaction with sporulation. **New Phytologist**, 124, 473-479.

Jenkinson, D.S. 1971. Studies on the decomposition of 14C-labeled organic matter in soil. **Soil Science**, 111, 64–70.

Jones, J.B., Woft, B. and Mills, H.A. 1991. **Plant Analysis Handbook**. Georgia: Micro-Macro Publishing, Inc.

Keeling, A.A., Paton, I. K. and Mullet, J. A. 1994. Germination and growth of plants in media containing unstable refuse-derivcd compost. **Soil Biology and Biochemistry**, 26, 767-772.

Krull, E.S., Baldock, J.A. and Skjemstad, J.O. 2003. Importance of mechanisms and processes of the stabilization of soil organic matter for modeling carbon turnover. **Functional Plant Biology**, 30, 207-222.

Kuzyakov,Y., Friedel, J.K. and Stahr, K. 2000. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, 32, 1485-1498.

Mala, T. 1998. The bioassay of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculums on cassava plant in greenhouse. **Kasetsart Journal (Natural Science),** 32, 102-18.

Marschener, H. 1998. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. **Field Crops Research**, 56, 203-207.

Miller, R.M. and Jastrow, J.D. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In Kapulinik, Y., D.D.(Eds). **Arbuscular Mycorrhiza: Physiology and Function**. Kluwer Academic, Dordrecht, 3-18.

Mosse, B. 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. **Annual Review of Phytopathology**, 11, 171-196.

Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp 961-1010. *In* **Page. A.L. et al., (ed). Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd**. American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI.

Norman, M., Zurek, T., and Thanisch, P. 1996. Much Ado about Shared-Nothing. **SIGMOD Record**, 25(3), 16-21.

Pederson, R. L., Piche , Y. and Plenchette, C. 1984. Mycorrhizae and their potential use in the agricultural and forestry industries. **Boitechnol**, 2, 101-120.

Perner, H., Schwarz, D., Bruns, C. Mader, P. and Eckhard, G. 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal colonization and two levels of compost supply on nutrient uptake and flowering of pelargonium plants. **Mycorrhiza**, 17, 469–474

Pfleger, F. L. and Linderman, R. G. 1994. **Mycorrhizae and plant health the american phytopathological society.** St. Paul. USA: Minnesota. 344 p.

Powell, C. L. 1976. Mycorrhizas in hill country soils. II. Effect of several mycorrhizal fungi on clover growth in steriled soils. **New Zealand Journal of Agricultural**, 20, 59-63.

Raju, R., Rmu, U, Hacker, D., Garcin, D., Compans, R. and Kolakofsky, D. 1990. Non-templated bases at the 5" ends of Tacaribe virus mRNAs. **Virology,** 174, 53-59.

Rillig, M.C., Wright, S.F., Nichols, K.A., Schmidt, W.F. and Torn, M.S., 2001. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant Soil**, 233, 167-177.

Rillig, M.C. 2004. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem process. **Ecology Letter**, 7, 740-750.

Rillig, M.C. 2005. Polymer and Microorganisms. In **Cyclopedia of Soil Science**. London Elsevier, 287-294.

Reid, C. P. P. 1990. The Rhizosphere Mycorrhizas. pp. 281-308. In **The Rhizosphere**. J.M. Lynch Chichester: John Wiley and Son.

Rhoades, C.C., Eckert, G.E. and Coleman, D.C. 2000. Soil carbon differences among forest, agriculture and secondary vegetation in low montane Ecuador. **Journal of Ecology Applied**, 10, 497-505.

Rosier, C.L., Hoye, A.T. and Rillig, M.C. 2005. Glomalin-related soil protein: Assessment of current detection and quantification tools. **Soil Biology and Biochemistry**, 38, 2205-2211.

Ruiz-Sanchez, M.C., Domingo, R. and Castel, J R. 2010. Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. **Spanish Journal of Agricultural Research,** 8 (S2), S5-S20.

Sharma, A. K., Johri, B. N. and Gianinazzi, S. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in relation to plant disease. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 8, 559-563.

Sieverding, E. 1991. **Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystem**. Germany: GTZ GmbH. 371 p.

Simpson, D. and Daft, M.J. 1990. Spore production and mycorrhizal development in various tropical crop hosts infected with Glomus clarum. **Plant and Soil**, 121, 171-178.

Singh, A. P., Rekib, A. 1991. Feeding value of ammoniated tropical grass. **The Indian Journal of Animal Sciences**, 61(8), 864-868.

Smith, S.E. and Read, D.J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. London: Academic Press.

Smith, F.A., Smith, S.E. and Timonen, S. 2003. Mycorrhizas. pp. 257-295. *In* **de Karoon, H. and Visser E.J.W., Root Ecology**. Springer, Berlin.

Sreenivasa, M. N. and Bagyaraj, D. J. 1989. Use of pesticides for mass production of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculum. **Plant and Soil**, 119, 127-132.

Subramanian, K.S., Balakrishnan, N. and Senthil, N. 2013. Mycorrhizal symbiosis to increase the grain micronutrient content in maize. **Australian Journal of Crop Science AJCS**, 7(7), 900-910.

Tompkins, C. A., Lehman, M. T., Wyatt, A., and Schuiz, R. 1998. Functional outcome assessment of adults with right hemisphere brain damsgr. **Seminars in Speech and Languag**, 19, 303-321.

Trotta, A., Varese, G.C., Gnavi, E., Fusconi, A., Sampo, S. and Berta, G. 1996. Interactions between the soilborne root pathogen Phytophthora nicotianae var parasitica and the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus mosseae in tomato plants. **Plant and Soil**, 185, 199-209.

Van Noordicwijk, M., Cerri, C. P., Woomer, L., Nugroho, K. and Bernoux, M. 1997. Soil carbon dynamic in the humid tropical forest zone. **Geoderma**, 79, 187-225.

Vivekanadau, M. and Fixen, P. E. 1991. Cropping systems effects on mycorrhizal colonization, early growth, and phosphorus uptake of corn. Soil Science Society of America Journal, 55, 136-142.

Walley, F.L. and Germida, J.J. 1996. Failure to decontaminate Glomus clarum NT4 spores is due to spore wall-associated bacteria. **Mycorrhiza**, 6, 43-49.

Wang, G.M., Stribley, D.P., Tinker, P.B. and Walker, C. 1993. Effect of pH on arbuscular mycorrhiza: I. Field observations on the long-term liming experiments at Rothamsted and Wobum. **New Phytologist**, 124, 456-472.

Walinga, I., Vark, W.V., Houba, V.J.G. and Vander Lee, J.J. 1989. **Soil and plant analysis a Series of syllabi: part 7 plant analysis procedures**. Department of Soil Science and Plant Nutrition. Wageningen Agricultural University, Netherland. 263 p.

Weil, R., Islem, R.K.R., Stien, M.A., Gruver, J.J. and Samson-Liebig, S.E. 2003. Estimate active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture,** 18, 1-16.

Wright, S.F. and Upadhyaya, A. 1998. A survey of soil for aggregates stability and glomalin, a gylcoprotein produced by hyphea of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil,** 198, 97-107.

Wu, J., Brookes, P.C and Jenkinson, D.S. 1993. Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 25, 1435-1441.

Xiao, J., Zhuang, Q., Law, B.E., Chen, J., Baldocchi, D.D., Cook, D.R., Oren, R., Richardson, A.D., Wharton, S., Ma, S., Martin, T.A., Verma, S.B., Suyker, A.E., Scott, R.L., Monson, R.K., Litvak, M., Hollinger, D.Y., Sun, G., Davis, K.J., Bolstad, P.V., Burns, S.P., Curtis, P.S., Drake, B.G., Falk, M., Fischer, M.L., Foster, D.R., Gu, L., Hadley, J.L., Katul, G.G., Matamala, R., McNulty, S., Meyers, T.P., Munger, J.W., Noormets, A., Oechel, W.C., Paw, U.K.T., Schmid, H.P., Starr, G., Torn, M.S. and Wofsy, S.C. 2010. A continuous measure of gross primary production for the conterminous U.S. derived from MODIS and AmeriFlux data. **Remote Sensing of Environment**, 114, 576–591