



ผลของเชื้อราอับสตุลารีไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน
สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของพืชในระบบเกษตรอินทรีย์

ชฎาพร อุพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

ชื่อเรื่อง

ผลของเชื้อราอับสตุลารีไมคอร์ไรซาต่อไกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน
สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของพืชในระบบเกษตรอินทรีย์

โดย

ชฎาพร อุปันนท์

พิจารณาเห็นชอบโดย

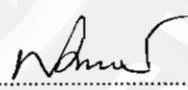
ประธานกรรมการที่ปรึกษา


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภริดา อ่างทอง)
วันที่ 4 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

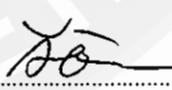
กรรมการที่ปรึกษา


(รองศาสตราจารย์ ดร.อานันฐ์ ต้นโช)
วันที่ 8 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

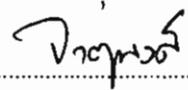
กรรมการที่ปรึกษา


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมจิตร อยู่เป็นสุข)
วันที่ 4 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร


(อาจารย์ ดร.จิราภรณ์ อินทสาร)
วันที่ 8 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพงษ์ วาฤทธิ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 8 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

ชื่อเรื่อง	ผลของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน - สาร สัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญ เติบโตของพืชในระบบเกษตรอินทรีย์
ชื่อผู้เขียน	นางสาวชฎาพร อุปันนท์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภจิตา อ้าทอง

บทคัดย่อ

การใช้สารเคมีในการเกษตรปริมาณมากทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเสื่อมโทรมลง การใช้ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยอินทรีย์ เป็นแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นไปอย่างยั่งยืนและลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นปุ๋ยชีวภาพชนิดหนึ่งซึ่งช่วยดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นคือฟอสฟอรัส และการผลิตสารโกลมาลิน การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการร่อนสปอร์เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดและความหลากหลายของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และศึกษาบทบาทของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินในระบบการปลูกพืชอินทรีย์ ประกอบด้วย 2 งานทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบวิธีการร่อนสปอร์เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และรูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดและความหลากหลายของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน โดยเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ต่างๆแล้วนำดินมาแยกและจำแนกสปอร์เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและวิเคราะห์สมบัติดิน พบว่าการใช้มีอคเคเม็คดินให้แตกมีจำนวนและชนิดของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงกว่าการใช้แห้งแก้วคนดิน และพื้นที่ป่ามีจำนวนออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และความคงทนของเม็ดดินที่สูงกว่าพื้นที่เกษตรอินทรีย์ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของคะน้า โดยการหมักปุ๋ยร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและนำมาทดสอบกับคะน้า พบว่าการใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารในพืชได้สูงกว่าไม่ใส่เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ส่วนศึกษาการใส่เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าดอง 1 โดยนำดินหัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาทดสอบกับข้าวที่มีระบบการจัดการน้ำ 2 ระบบพบว่าข้าวที่ปลูกใน

สภาพน้ำขังจะมีการเจริญเติบโต ธาตุอาหารบางธาตุ สูงกว่าไม่ขังน้ำ แต่การนำเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ในการปลูกข้าวในสภาพไม่ขังน้ำจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตของข้าวได้ เนื่องจากช่วยในการดูดใช้ธาตุอาหารให้กับข้าว นอกจากนี้ยังเพิ่มสาร โกลมาดินและความคงทนของเม็ดดินอีกด้วย



Title	Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Glomalin - Relate Soil Protein, Soil Properties and Crop Growth in Organic Farming
Author	Miss Chadaporn Uppanun
Degree of	Master of Science in Soil Science
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Suphathida Aumtong

ABSTRACT

The application of high doses of chemicals in agriculture decreases soil fertility. However, the use of biofertilizers and organic fertilizers is one way of increasing soil fertility sustainably as well as reducing the use of chemicals. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are one type of biofertilizer that can help the crops absorb the required nutrient for growth such as phosphorus and glomalin. This study aims to study the following: 1) development and recovery of AMF spore isolation, 2) effects of land use on AMF and glomalin-related protein, and soil aggregate stability and 3) the role of AMF and glomalin-related protein in organic farming. Two experiments are done. In experiment 1, methods of AMF spore isolation are compared and the effect of land use on AMF and glomalin-related protein and soil aggregate stability is investigated. Properties of soil samples collected from various land uses are analyzed and the AMF spores found in them are categorized. It is found that breaking the soil by hand enhances the number and species of AMF more than by using stirring rods. Soils in forest land have a higher quantity of AMF, glomalin-related protein and higher soil aggregate stability than soils collected from organic farms. In experiment 2, it shows that organic fertilizers combined with AMF enhances the nutrient uptake of Chinese kale more than without AMF. Concerning the experiment on the effect of AMF on the growth of rice in paddy field or waterlogged soil shows some nutrients are absorbed more than in aerobic soil. However, using AMF in aerobic soil is one alternative in increasing the yield of rice since AMF can increase nutrient uptake, glomalin and also soil aggregate stability.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภธิดา อ่ำทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมจิตร อยู่เป็นสุข กรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติ ปิ่นทอง ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไข จนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์อย่างสมบูรณ์ ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนกันต์ จิตมณีส และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แสงทอง พงษ์เจริญกิต ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน และ โครงการวิจัยและพัฒนาจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เครือข่ายภาคเหนือ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัย ภายใต้โครงการ ผลการวิจัยและพัฒนาภายใต้โครงการ ผลของนุ้ยชีวภาพ โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน ต่อการปรับปรุงดินระบบปลูกพืชอินทรีย์มา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ชฎาพร อุปันันท์

ตุลาคม 2555

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบัญ	(7)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
สารบัญภาพผนวก	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
นิยามศัพท์	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
การจำแนกชนิดของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	5
การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	5
ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้าสู่รากพืช การงอกของสปอร์ และการเจริญเติบโต ของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	6
ประโยชน์ของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อพืชอาศัย	9
การเพิ่มปริมาณเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	13
แนวทางการนำไปใช้สำหรับการเกษตร	15
โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน	16
ผลของโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินต่อสมบัติ ทางกายภาพและเคมีของดิน	19
การนำเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์	21
การนำเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว	22
การนำเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ในการปลูกคะน้า	23

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

25

การทดลองที่ 1 การพัฒนาและปรับปรุงวิธีการร่อนสปอร์เชื้อรา
ออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และศึกษารูปแบบการใช้ที่ดิน
แบบต่างๆต่อชนิดและความหลากหลายของเชื้อรา
ออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและ โกลมาลิน-สารสัมพันธ์
โปรตีนในดิน

26

การทดลองที่ 2 ศึกษาบทบาทของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
และ โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินในระบบ
การปลูกพืชอินทรีย์

30

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์

36

ผลการทดลองที่ 1 การพัฒนาและปรับปรุงวิธีการร่อนสปอร์เชื้อรา
ออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และศึกษารูปแบบการใช้ที่ดิน
แบบต่างๆต่อชนิดและความหลากหลายของเชื้อรา
ออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและ โกลมาลิน-สารสัมพันธ์
โปรตีนในดิน

36

รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อจำนวนสปอร์ของเชื้อราออบัส
คูลาร์ไมคอร์ไรซา

36

รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดของเชื้อราออบัสคูลาร์
ไมคอร์ไรซา

38

รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อสมบัติของดิน

41

ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาบทบาทของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
และ โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินในระบบ
การปลูกพืชอินทรีย์

54

การทดลองที่ 2.1 ผลการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
ต่อ โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการ
เจริญเติบโตของคะน้า

54

ผลการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อสมบัติ
ของปุ๋ยอินทรีย์

54

ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ต่อสมบัติของดิน	57
ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อธาตุ อาหารในคะน้า	64
ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการ ดูดใช้ธาตุอาหารในคะน้า	68
ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ต่อการเจริญเติบโตของคะน้า	75
การทดลองที่ 2.2 ผลการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ต่อไกลมาลิน- สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโต ของข้าวพันธุ์สันป่าดอง 1 ในระบบเกษตรอินทรีย์	80
ผลการใช้หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อสมบัติของดิน	80
ผลการใช้หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อธาตุอาหารพืช	94
ผลการใช้หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดใช้ ธาตุอาหารพืช	102
ผลการใช้หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโต ของข้าว	110
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	117
สรุป	117
ข้อเสนอแนะ	118
บรรณานุกรม	119
ภาคผนวก	131
ภาคผนวก ก ภาพแสดงสภาพพื้นที่ และการศึกษาปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ	132
ภาคผนวก ข ประวัติผู้วิจัย	143

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	การจัดหมวดหมู่ของเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซา	5
2	คำนิยามของโกลมาลินส่วนต่าง ๆ	17
3	ลักษณะการใช้ที่ดินของตัวอย่างดินที่ศึกษา (พื้นที่การศึกษาที่ 1)	27
4	ลักษณะการใช้ที่ดินของตัวอย่างดินที่ศึกษา (พื้นที่การศึกษาที่ 2)	27
5	แผนการทดลองโดยการใส่สปอร์เชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซา ร่วมกับปุ๋ยหมัก	30
6	แผนการทดลองโดยการใส่หัวเชื้อดินเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในสภาพ น้ำขัง และไม่ขังน้ำ	32
7	ชนิดและจำนวนสปอร์ของเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในพื้นที่การศึกษาที่ 1	39
8	ชนิดและจำนวนสปอร์ของเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในพื้นที่การศึกษาที่ 2	41
9	สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในสัปดาห์ที่ 1	56
10	สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในสัปดาห์ที่ 4	57
11	สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในสัปดาห์ที่ 8	57
12	สมบัติทั่วไปของหัวเชื้อดิน	80

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า	
1	กระบวนการทำงานวิจัยทั้งหมด	25
2	ลักษณะสปอร์ของ <i>G. etunicatum</i>	31
3	ลักษณะสปอร์ของ <i>G. geosporum</i>	31
4	ลักษณะสปอร์ของ <i>A. foveata</i>	32
5	จำนวนสปอร์ของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่แยกได้จากดินในพื้นที่ที่ 1	37
6	จำนวนสปอร์ของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่แยกได้จากดินในพื้นที่ที่ 2	38
7	ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total glomalin) ในดินจากพื้นที่ที่ 1	42
8	ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total glomalin) ในดินจากพื้นที่ที่ 2	43
9	ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily glomalin) ในดินจากพื้นที่ที่ 1	44
10	ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily glomalin) ในดินจากพื้นที่ที่ 2	45
11	ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability) ในดินจากพื้นที่ที่ 1	47
12	ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability) ในดินจากพื้นที่ที่ 2	48
13	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ในดินจากพื้นที่ที่ 1	49
14	สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา กับสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดินจากพื้นที่ต่างๆ	50
15	สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา กับสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่ายในดินจากพื้นที่ต่างๆ	51
16	สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด กับความคงทนของเม็ดดินในดินจากพื้นที่ต่างๆ	52
17	สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย กับความคงทนของเม็ดดินในดินจากพื้นที่ต่างๆ	53
18	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่ คลุกร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	58
19	ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Ca) จากการใส่ปุ๋ย อินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	60

ภาพ		หน้า
20	ปริมาณแมกนีเซียมในดิน (Exchangeable Mg)จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	61
21	ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily glomalin) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ชนิดต่างๆที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	62
22	ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิด ต่างๆที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	64
23	ปริมาณไนโตรเจน (Total N) ในใบค่น้ำจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุก ร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	65
24	ปริมาณฟอสฟอรัส (Total P) ในใบค่น้ำจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุก ร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	66
25	ปริมาณแมกนีเซียม (Total Mg) ในใบค่น้ำจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุก ร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	68
26	การดูดใช้ใน ไนโตรเจน (N uptake) ในใบค่น้ำจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	69
27	การดูดใช้ฟอสฟอรัส (P uptake) ในใบค่น้ำจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่ คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	71
28	การดูดใช้โพแทสเซียม (K uptake) ในใบค่น้ำจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	73
29	การดูดใช้แคลเซียม (Ca uptake) ในใบค่น้ำจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่ คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	74
30	การดูดใช้แมกนีเซียม (Mg uptake) ในใบค่น้ำจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	75
31	ความสูงของค่น้ำหลังจากปลูก 2 เดือนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุก ร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	76
32	น้ำหนักสดของค่น้ำหลังจากปลูก 2 เดือนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	78
33	น้ำหนักแห้งของค่น้ำหลังจากปลูก 2 เดือนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา	79

ภาพ	หน้า
34 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในดินจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	82
35 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ในดินจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	84
36 ปริมาณสังกะสี (Zn) ในดินจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	86
37 ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total glomalin) ในดินจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	88
38 ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily glomalin) ในดินจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	90
39 ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability) จากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	92
40 การเข้าอาศัยในรากข้าวของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal root colonization) จากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	94
41 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในพืชจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	96
42 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในพืชจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	98
43 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K) ในพืชจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	100
44 ปริมาณสังกะสี (Zn) ในพืชจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	102
45 การดูดใช้ใน ไตรเจน (N uptake) ในข้าวจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	104
46 การดูดใช้ฟอสฟอรัส (P uptake) ในข้าวจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	106
47 การดูดใช้โพแทสเซียม (K uptake) ในข้าวจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	108

ภาพ		หน้า
48	การดูดใช้สังกะสี (Zn uptake) ในข้าวจากการใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	110
49	ความสูงของข้าวหลังจากปลูกได้ 2 เดือนจากการใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	112
50	น้ำหนักสดของข้าวหลังจากปลูกได้ 2 เดือนจากการใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	114
51	น้ำหนักแห้งของข้าวหลังจากปลูกได้ 2 เดือนจากการใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ	116



สารบัญภาพผนวก

ภาพ		หน้า
1	ป่าใช้สอยอำเภอพร้าวมืดต้นพลวงและเหียงขึ้นปกคลุมทั่วพื้นที่ อายุประมาณ 15 ปี	133
2	ป่าใช้สอยบ้านโป่ง เป็นป่าเต็ง รัง อายุประมาณ 20 ปี	133
3	ป่าใช้สอยวิเวก เป็นป่าที่ต้นไม้อ่อนขึ้นปกคลุมไม่ทั่วพื้นที่จะพบต้นไม้อ่อนเล็กๆ ได้แก่ ไมขราบ มะรุม อายุประมาณ 2 ปี	134
4	พื้นที่เกษตรบ้านป่าไม้แดงมีการปลูกผักได้แก่ ฟักทอง แตงกวา อายุใช้พื้นที่ 5 ปี	134
5	พื้นที่เกษตรอินทรีย์บ้านสะลวง มีการปลูกผักได้แก่ มะเขือ กวางตุ้ง บวบเหลี่ยม กระเจี๊ยบเขียว อายุการใช้พื้นที่ 3-5 ปี	135
6	ป่าอนุรักษ์บ้านโป่ง มีต้นพลวงและต้นไม้อ่อนขนาดเล็กขึ้นปกคลุมอายุประมาณ 15 ปี	135
7	พื้นที่เกษตรอินทรีย์คอกยสะเค็ดมีการปลูกผักได้แก่ ผักบุ้ง อายุการใช้พื้นที่ 20 ปี	136
8	พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง เป็นป่าเบญจพรรณ อายุประมาณ 20 ปี	136
9	พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ อายุประมาณ 10 ปี	137
10	พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่ใจ มีการปลูกไม้ผลได้แก่ มะม่วง ลำไย อายุการใช้พื้นที่ 30 ปี	137
11	ลักษณะสปอร์ของ <i>Glomus</i> sp. ที่แยกได้จากพื้นที่ต่างๆ	138
12	ลักษณะสปอร์ของ <i>Acaulospora</i> sp. ที่แยกได้จากพื้นที่ต่างๆ	138
13	ลักษณะสปอร์ของ <i>Scutellospora</i> sp. ที่แยกได้จากพื้นที่ต่างๆ	139
14	สารไกลมาลินที่สกัดได้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไปโดย เครื่อง Microplate reader	139
15	สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์สารไกลมาลินโดยเครื่อง Microplate reader	140
16	การร่อนสปอร์เชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาผ่านตะแกรงร่อน	140
17	การหาความคงทนของเม็ดดิน	141
18	การเพาะขยายพันธุ์หัวเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในกระถาง	141
19	การใส่หัวเชื้อดินในการปลูกข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1	142

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้สารเคมีในการเกษตรปริมาณมากทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเสื่อมโทรมลงจากการปลูกพืชต่อเนื่องกันมาตลอดเป็นเวลาหลายสิบปี การใช้ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ ก็เป็นทิศทางหนึ่งที่จะเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นไปอย่างยั่งยืนและลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ (ออมทรัพย์, 2542) ซึ่งปุ๋ยชีวภาพเป็นปุ๋ยที่ได้จากจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและในกลุ่มจุลินทรีย์นี้ก็มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประโยชน์หลายประการ เช่น ดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชเช่น ฟอสฟอรัส (Mosse, 1973) และการสร้างไกลมาลิน (Wright and Upadhyaya, 1998) เป็นต้น

ไกลมาลิน (Glomalin) โปรตีนในดินที่เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุที่ถูกค้นพบเมื่อปี 1996 (Wright, 2002) สารนี้ผลิตจากเชื้อราในกลุ่มอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) (Rillig, 2005) พบในดินปริมาณแตกต่างกันตามชนิดของดิน ซึ่งอาจจะมีค่าอยู่ในช่วงสูงมากจนถึงต่ำสุดประมาณ 10-60 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การปลดปล่อยไกลมาลินออกจากส่วนเส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซานั้นอาจจะเกิดจากหลุดร่อนของส่วนเส้นใย หรือถูกขับออกมาจากในสัปดาห์ปลายเส้นใย ซึ่งขณะนี้ยังไม่ทราบกลไกการสร้างไกลมาลินอย่างชัดเจน นอกจากนี้สปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีส่วนสำคัญในอัตราการสร้างไกลมาลินที่แตกต่างกันด้วย โดยจะตอบสนองต่อการจัดการทางการเกษตรต่าง ๆ เช่น การหมุนเวียนพืชที่ปลูก การไถ การใส่ปุ๋ยเคมี เป็นต้น บทบาทที่สำคัญของไกลมาลินมีผลต่อความคงทนของเม็ดดิน (Wright and Upadhyaya, 1998) โดยทำหน้าที่เหมือนสารเชื่อมอนุภาคดินต่างๆ ชิดเข้าด้วยกันและอนุภาคดินอาจถูกยึดภายในกลุ่มของเส้นใยของเชื้อรา ทำให้เกิดเม็ดดินที่เสถียรขึ้นมาได้ (Rillig et al., 2003) ความคงทนของเม็ดดินมีความสำคัญต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเม็ดดินควรมีความทนทานต่อแรงเสียดสีหรือแรงปะทะต่างๆ ได้ โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรนั้นหากอนุภาคดินแตกก็จะอุดตันในช่องว่างทำให้น้ำซึมลงสู่ดินได้ยากและพัดพาเอาหน้าดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ออกไปจากพื้นที่ ทำให้พื้นที่ดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกเนื่องจากขาดธาตุอาหาร และมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (มัดติกา, 2530) สารไกลมาลินเป็นแนวทางหนึ่งในการนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินและระบบการผลิตทางการเกษตร มีบทบาทในการสร้างเม็ดดิน และทำให้เม็ดดินนั้นคงสภาพยาวนาน จึงถือว่าเป็นสารปรับสภาพดิน ส่งเสริมการแทรกของรากพืช การช่วยลดการพังทลายของดิน การแทรกซึมของอากาศ และการระบายน้ำ

สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดผล โดยตรงที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของรากพืชและการดูดใช้ธาตุอาหาร และน้ำได้ดีขึ้น (สุภรติดา และคณะ, 2552)

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการร่อนสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดและความหลากหลายของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน
2. ศึกษาการเพาะและขยายสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพกระถาง
3. ศึกษาสมบัติของปุ๋ยมูลไส้เดือนและมูลหมูหมักที่ใส่ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติดิน และการเจริญเติบโตของคะน้า
4. ศึกษาบทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าดอง 1 ในการจัดการน้ำ 2 ระบบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทราบถึงรูปแบบการใช้ที่ดินที่มีผลต่อชนิดและความหลากหลายของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และบทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการเจริญเติบโตของพืชในระบบการปลูกพืชอินทรีย์

นิยามศัพท์

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังต่อไปนี้

โกลมาลิน (Glomalin) คือสารสัมพันธ์โปรตีนในดินที่เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุเพิ่งถูกค้นพบเมื่อปี 1996 (Wright, 2002) สารนี้ผลิตจากจุลินทรีย์กลุ่มอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) (Rillig, 2005) บทบาทที่สำคัญของ

โกลมาลินคือมีผลต่อความคงทนของเมล็ดดิน (Wright and Upadhyaya, 1998) โดยโกลมาลินทำหน้าที่เหมือนสารเชื่อมอนุภาคดินต่างๆ ยึดเข้าด้วยกันและอนุภาคดินอาจถูกยึดภายในกลุ่มของเส้นใยของเชื้อรา ทำให้เกิดเมล็ดดินที่เสถียรขึ้นมาได้ (Rillig et al., 2003)

ไมคอร์ไรซา (Mycorrhiza) หมายถึง ความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างเชื้อรากับรากพืช โดยต่างฝ่ายต่างได้ประโยชน์ร่วมกัน (Sieverding, 1991)



บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) หมายถึง ความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างเชื้อรา กับรากพืช โดยต่างฝ่ายต่างได้ประโยชน์ร่วมกัน (Sieverding, 1991) สามารถแบ่งชนิดเชื้อราไมคอร์ไรซาตามลักษณะการเข้าสู่รากพืชได้ 3 ชนิดใหญ่ๆดังนี้

1. เชื้อราเอกโตไมคอร์ไรซา (Ectotrophic mycorrhiza)

เชื้อรากลุ่มนี้จะเข้าสู่พืช โดยเริ่มจากสปอร์หรือเส้นใยในบริเวณเขตรากพืช (rhizosphere) ได้รับอาหารจากสารอินทรีย์ต่างๆที่ขับจากรากพืช (root exudate) ต่อมาเจริญขึ้นเป็นเชื้อหุ้มรอบรากพืช (fungus mantle) เมื่อถึงระยะที่ไฮราจะเจริญเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นคอร์เทกซ์ของรากพืช และสร้างเป็นเส้นใยสานกัน (harting net) รากจะมีลักษณะสั้นและแตกแขนงซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ออมทรัพย์, 2527) เอกโตไมคอร์ไรซามีบทบาทในการเพิ่มเนื้อที่ในการดูดธาตุอาหาร โดยจะเก็บธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ไว้ใน fungus mantle นอกจากนี้ยังช่วยย่อยสลายแร่ธาตุ และอินทรีย์วัตถุในดินที่ย่อยสลายยาก ช่วยเพิ่มความอุดมของพืชต่อความแห้งแล้ง อุณหภูมิสูง สารพิษในดิน ระดับพีเอชที่สูงหรือต่ำเกินไป และช่วยเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคพืชบางชนิด โดยเฉพาะ โรคที่เกิดทางรากพืช (Pederson et al., 1984) เข้าทำลายโรคพืชบางชนิด เช่น โรคที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium* sp. (Farquhar and Peterson, 1990)

2. เชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซา (Endotrophic mycorrhiza)

มักพบในพืชไร่ และไม้ผลต่างๆไป เช่นข้าวโพด ถั่วเหลือง อ้อย ฝ้าย มะละกอ แอปเปิล โดยเส้นใยจะพันอย่างหลวมๆรอบๆรากพืช และมีเส้นใยบางส่วนเจริญเข้าไปในเซลล์รากพืช หรืออยู่ระหว่างเซลล์ชั้นคอร์เทกซ์ของรากพืช โดยไม่ทำให้ขนาดและรูปร่างของรากเปลี่ยนแปลงไป แต่บางครั้งทำให้รากมีสีเปลี่ยนไป โดยอาจมีสีเหลืองอ่อนหรือขาวขึ้น เช่นรากข้าวโพด หอมหัวใหญ่ มะเขือเทศ (Harley and Smith, 1983) เชื้อรากลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะของไฮรา (Mosse, 1973) ได้แก่ เชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซาชนิดเส้นใยมีผนังกัน (septate hypha) ซึ่งเส้นใยจะเจริญเข้าไปอยู่ในเซลล์พืชเป็นช่วงเวลานั้นๆ และเชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซาชนิดเส้นใยไม่มีผนังกัน (non-septate hypha) จะสร้างสปอร์ผนังหนา ทั้งในบริเวณผิวรากและดินรอบๆรากพืช ซึ่งเส้นใยเหล่านี้จะเจริญเข้าไปอยู่ใน cortical cell สร้าง

อาร์บัสคูล (arbuscule) ซึ่งเป็นที่แลกเปลี่ยนอาหารระหว่างรากกับพืช ทั้งยังสร้างเวสสิเคิล (vesicle) เพื่อสะสมอาหาร ซึ่งเชื่อว่าจะขยายพันธุ์โดยใช้สปอร์ และแพร่กระจายไปได้โดยลม น้ำ แมลง (ออมทรัพย์, 2527)

3. เชื้อราเอกเทนโคไมคอร์ไรซา (Ectendotrophic mycorrhiza)

เชื้อราเอกเทนโคไมคอร์ไรซาเป็นไมคอร์ไรซาที่มีลักษณะอยู่ระหว่างเอกโคไมคอร์ไรซา และเอนโคไมคอร์ไรซา แต่มีลักษณะคล้ายราพวกแรกมากกว่า เส้นใยอยู่อย่างหลวมๆ รอบรากพืช มีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ หรือเป็นแผ่นเนื้อเยื่อบางๆ พืชอาศัยจะพบมากในรากของไม้สน (conifer) (ธงชัย, 2535)

การจำแนกชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ตาราง 1 การจัดหมวดหมู่ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

Order	Family	Genus
<i>Archaeosporales</i>	<i>Archaeosporaceae</i>	<i>Archaeospor</i>
<i>Glomales</i>	<i>Glomaceae</i>	<i>Glomus</i>
<i>Paraglomerales</i>	<i>Paraglomaceae</i>	<i>Paraglomus</i>
<i>Diversisporales</i>	<i>Acaulosporaceae</i>	<i>Acaulospora</i>
		<i>Entrophospora</i>
	<i>Gigasporaceae</i>	<i>Gigaspora</i>
		<i>Scutellospora</i>

ที่มา: Schubler et al (2001)

การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ในระยะแรกจะมีการงอกของสปอร์และมีการเจริญเติบโตขึ้นต้นของ germ tube เพื่อใช้ในการแทงเข้าสู่เซลล์พืช ในระยะนี้ไม่มีการแบ่งตัวของนิวเคลียส ศักยภาพในการแทงเข้าสู่รากพืชจะใช้เวลา 2-3 วันถึงหลายสัปดาห์ ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อรา (Bowen, 1987) เมื่อ germ tube สัมผัสกับรากจะงอกเส้นใยเข้าไปในเซลล์พืช เชื้อราสามารถเข้าสู่รากพืชได้ 3 ทาง คือ

ทางขนราก รากแก่ และในเซลล์ชั้นเอพิเคอร์มิสที่มีการฉีกขาด เชื้อราเข้าแทงสู่รากพืชโดยเข้าไปในระหว่างชั้นเอพิเคอร์มิสเพื่อเกาะติดผิวของรากพืช หลังจากนั้นเชื้อราจะสร้างแอปเพรสเซอร์ียม (appressorium) ในเซลล์ชั้นนอกเมื่อเส้นใยเจริญเข้าสู่รากพืชมีการเจริญหลายลักษณะ เช่นมีการเจริญม้วนเป็นวง หรือแตกกิ่งก้านสาขากลายพุ่มไม้เรียกโครงสร้างนี้ว่า ออับัสคูล (arbuscule) การสร้างออับัสคูลนี้จะเกิดหลังจากที่ใยราแทงเข้าไปในเซลล์พืชประมาณ 2-5 วัน โดยเส้นใยที่งอกแทงเข้าสู่ชั้นคอร์เท็กซ์จะแทงผ่านผนังเซลล์ของพืช แล้วคั้นเยื่อหุ้มเซลล์ให้โป่งเป็นช่อง จากนั้นจึงมีการแตกกิ่งก้านสาขากลายกิ่งไม้เป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างเซลล์รากพืชและเชื้อรา ซึ่งบริเวณนี้มีการแลกเปลี่ยนสารอาหารระหว่างอาร์บัสคูลของเชื้อราและเซลล์พืช อาร์บัสคูลมีอายุประมาณ 4-15 วัน ก็จะถูกละลายไปและปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้เซลล์พืช จากนั้นเชื้อราจะสร้างเวสสิเคิล (vesicle) ซึ่งเป็น โครงสร้างรูปไข่ หรือมีรูปร่างเหมือนกับเซลล์ที่อาศัยอยู่ มักเกิดอยู่ที่ปลายหรือระหว่างเส้นใยที่พองออก ภายในเวสสิเคิลเป็นหยดไขมันซึ่งเป็นอาหารที่เก็บสะสม เมื่ออยู่ในสภาวะเครียดเชื้อราจะนำอาหารสะสมเหล่านี้ไปใช้ ซึ่งทำให้เวสสิเคิลสลายไป (Bowen, 1987) เวสสิเคิลนี้สามารถเปลี่ยนเป็นสปอร์เพื่อใช้ในการขยายพันธุ์ได้เมื่อหลุดออกจากราก หรือบางชนิดสามารถสร้างเป็นสปอร์ภายในรากพืชได้ สปอร์อาจสร้างเป็นสปอร์เดี่ยวๆ หรืออยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มเรียก sporocarp สปอร์ส่วนใหญ่มีผนังหนาและมีหลายชั้น สีของสปอร์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อรา (Harley and Smith, 1983)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้าสู่รากพืช การงอกของสปอร์ และการเจริญเติบโตของเชื้อราออับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

1. อุณหภูมิของดิน

Raju et al. (1990) ศึกษาผลการเจริญเติบโตของเชื้อราออับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวฟ่างที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เชื้อ *G. macrocarpum* เข้าสู่รากพืชได้ดีที่สุด และทำให้พืชเจริญเติบโตและดูดอาหารได้มากที่สุด ที่อุณหภูมิ 20 และ 25 องศาเซลเซียส เชื้อ *G. fasciculatum* ทำให้พืชเจริญเติบโตทางด้านลำต้นได้ดีที่สุด แต่มีการดูดอาหารได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส่วนเชื้อ *G. intraradices* ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและการดูดธาตุอาหารต่ำลง ส่วนการทดลองของ Haugen and Smith (1992) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเข้าสู่รากถั่วเขียว และมะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale*) ของเชื้อ *G. intraradices* พบว่าการเข้าสู่รากของถั่วเขียวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 38 และ 20 องศาเซลเซียส

สำหรับมะม่วงหิมพานต์ พบว่าการเข้าอาศัยที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส แต่ไม่พบการเข้าอาศัยที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส สปอร์งอกได้ต่ำที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส และงอกอย่างรวดเร็วและมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสสรุปได้ว่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสพบการเข้าสู่รากพืชของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้ดีที่สุด

2. พีเอชของดิน (pH)

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

3. ความชื้นในดิน

Jasper et al. (1993) ศึกษาการอยู่รอดของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่แห้งแล้งและความสัมพันธ์ในการสร้างสปอร์ พบว่าในดินที่แห้งแล้ง ไซราของ *S. calospora* และ *A. leavis* ไม่สามารถเข้าสู่รากพืชได้ Simpson and Daft (1990) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพเครียดของน้ำและเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชและการพัฒนาของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวโพด และข้าวฟ่าง พบว่า สภาพเครียดของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ไม่มีผลกระทบต่อการเข้าอาศัยในรากของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเมื่ออยู่ภายใต้สภาพเครียดของน้ำสปอร์ของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีจำนวนลดลง

4. ธาตุอาหารพืช

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารและเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผู้ทำการศึกษอย่างกว้างขวางและเป็นที่ยอมรับกันว่า เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเข้าอาศัยในรากพืชได้ดี เมื่อมีปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำ เช่นจากการศึกษาของ Gryndler et al. (1990) พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม มีผลต่อปริมาณการเข้าอาศัยในรากพืชของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยเฉพาะฟอสฟอรัส ซึ่งพบว่าถ้าในดินมี

ฟอสฟอรัสในระดับปานกลางแต่มีการเพิ่มธาตุไนโตรเจนการเข้ารากของเชื้อรา
อับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มขึ้น แต่หากมีฟอสฟอรัสสูงการเข้าอาศัยในรากจะลดลง

Vaast and Zasoski (1992) ศึกษาผลการใช้ไนโตรเจนแบบต่างๆร่วมกับเชื้อรา
อับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อลักษณะดินรอบๆราก การเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารใน
กล้ากาแฟ (*Coffea arabica* L.) ที่ปลูกในดินกรด พบว่าการใช้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมมีผลทำ
ให้การเข้าอาศัยของเชื้อราดำกว่าการใช้ไนโตรเจนในรูปของไนเตรทและแอมโมเนียมไนเตรท
นอกจากนี้พีเอชของดินบริเวณรอบๆรากจะลดลงเมื่อใช้ในเตรท ส่วนแอมโมเนียมไนเตรทมีผลทำ
ให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้น ส่วนพืชที่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีการเจริญเติบโตและมีการ
สะสมไนโตรเจน แคลเซียม และแมกนีเซียมได้ดีกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

5. สารเคมี

Sreenivasa and Bagyaraj (1989) ศึกษาผลของยาปราบศัตรูพืช (ยาฆ่าเชื้อรา ยาฆ่า
ไส้เดือนฝอย และยาฆ่าแมลง) ต่อการสร้างเส้นใยในรากและจำนวนสปอร์ของเชื้อรา
G. fasciculatum พบว่าแคพแทน (Captan) และคาโบฟูแรน (Carbofuran) ที่ระดับความเข้มข้น
0.12 ลิตร และ 0.14 ลิตรต่อส่วนผสมทั้งหมด 2.5 ลิตร ตามลำดับ สามารถเพิ่มปริมาณการสร้างเส้น
ใยในราก และจำนวนสปอร์ ทั้งแคพแทนและคาโบฟูแรนที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวช่วยยับยั้ง
การปนเปื้อนของเชื้อราชนิดอื่นและไส้เดือนฝอยในกระถางที่เพาะเลี้ยงเชื้อ *G. fasciculatum* สำหรับ
ยาฆ่าแมลง ฟอร์โมโรฮอน (Formothion) และมาลาโรฮอน (Malathion) ที่ความเข้มข้น 0.001 ลิตร
ต่อน้ำ 1 ลิตร พบว่าไม่เป็นอันตรายต่อเชื้อ *G. fasciculatum* ส่วน Habte et al. (1992) พบว่าเชื้อ
G. aggregatum จะอ่อนแอมากต่อสารกำจัดเชื้อราพวกคลอโรธาโลนิล (Chlorothalonil) ที่ตกค้าง
ในดินนาน 12.5 สัปดาห์

6. ชนิดของพืชอาศัย

Boyetchko and Tewari (1990) ศึกษาการเข้าสู่อากพืชชนิดต่างๆ ของเชื้อ
G. dimorphicum พบว่าจีโนมของพืชอาศัยช่วยชักนำให้เชื้อ *G. dimorphicum* เข้าสู่อากพืชและ
ลักษณะทางสัณฐานของเชื้อในรากพืชก็มีความแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช โดยพบว่าการเข้าสู่อาก
รากข้าวบาร์เลย์ในระดับต่ำ แต่ในพืชตระกูลถั่วอัลฟัลฟา และหอมจะมีการเข้าสู่อากพืชในระดับสูง
และการเข้าสู่อากพืชนี้จะสูงที่สุดใน red clover และข้าวโพด ส่วนเส้นใยที่พบในราก พบว่าในราก
ข้าวโพด อัลฟัลฟา และ red clover จะมีลักษณะม้วนเป็นวง และพบเวสติเกิลใน red clover และพืช
ตระกูลถั่วเท่านั้น ในขณะที่อับสคูลพบในพืชทุกชนิดยกเว้นข้าวบาร์เลย์ ส่วนการศึกษาของ

Vivekanadai and Fixen (1991) ศึกษาถึงระบบการปลูกพืชที่มีผลต่อการเข้าอาศัยของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวโพด พบว่า ระดับการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวโพดจะมีค่าสูงสุดเมื่อพื้นที่นั้นเคยมีการปลูกถั่วเหลืองมาก่อน และระดับการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชนี้จะมีค่าต่ำสุด เมื่อมีการปลูกข้าวบาร์เลย์มาก่อน

7. จุลินทรีย์ชนิดอื่น

Singh et al. (1991) ศึกษาผลของการปลูกเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ที่เมล็ดพืชตระกูลถั่วโดยตรงต่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพบว่าในพืชตระกูลถั่วคือ กระถินไทย (*Leucaena leucocephala*) ถั่วเหลือง (*Glycine max*) ถั่วแระ (*Phaseolus aureus*) และ azuki bean (*Vigna unguiculata*) มีการเข้าสู่รากของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาการเกิดเวสติเกิล 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)

ประโยชน์ของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อพืชอาศัย

1. ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

พืชที่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่จะมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซาโดยเฉพาะพืชที่มีรากอวบและรากขนอ่อนน้อย เช่น ไม้ยืนต้น ไม้ประดับ มันสำปะหลัง ปาล์ม องุ่น ส้ม ส่วนพืชตระกูลหญ้าและถั่วมีการตอบสนองต่อเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาน้อยเพราะมีรากเล็กและรากหนาแน่น (นันทกร และคณะ, 2533) การที่เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชเจริญเติบโตดีเนื่องจากช่วยดูดธาตุอาหารมากกว่า โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสทำให้การสังเคราะห์แสง และการใช้คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพส่งผลให้มีสัดส่วนของลำต้นต่อรากสูงกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Harley and Smith, 1983)

โสภณ (2540) ศึกษาผลของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดในดินที่ไม่อบฆ่าเชื้อ พบว่า ข้าวโพดที่ปลูกด้วยเชื้อมีการเจริญทางด้านความสูง น้ำหนักแห้ง และจำนวนสปอร์ต่อดิน 1 กรัมไม่แตกต่างจากข้าวโพดที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ และพบว่า *G. aggregatum* มีจำนวนสปอร์สูงสุดแตกต่างจากเชื้อชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากข้าวโพดจะสูงสุดที่เชื้อ *G. rubiformis*

Lu and Koide (1994) ศึกษาผลของการเข้าอาศัยของเชื้อ *G. etunicatum* และการเติมธาตุฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของมะก่องข้าว (*Abutilon theophrasti*) พบว่าพืชที่มีการเข้าอาศัยของ *G. etunicatum* มีพื้นที่ใบทั้งหมดเพิ่มขึ้น การเข้าอาศัยของเชื้อจะช่วยลดอายุของพืชที่เริ่มออกดอก ช่วยให้ดอกบานได้ระยะหนึ่ง และช่วยเพิ่มผลผลิตเมล็ด โดยการเพิ่มการสร้างดอกและผล นอกจากนี้ยังพบว่า พืชที่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่จะมีเมล็ดที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสมากกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ Janos et al. (2001) ศึกษาผลของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าลิ้นจี่ (*Litchi chinensis*) ที่ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่ง พบว่าภายหลังจากที่ปลูกเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นเวลา 120 วัน พบว่าเชื้อราช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและการสร้างใบ แต่จะไม่มีผลต่อขนาดลำต้นของต้นกล้า และในช่วงท้ายของการตอนกิ่ง พบว่าต้นกล้าที่มีการเข้าอาศัยของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินสูงกว่าต้นกล้าที่ไม่มีไมคอร์ไรซาถึง 39 เปอร์เซ็นต์ แต่น้ำหนักแห้งของรากไม่แตกต่างกัน

2. เพิ่มความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสามารถดูดใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืช เช่น ธาตุฟอสฟอรัส โดยเฉพาะเมื่อมีฟอสฟอรัสในดินต่ำ ซึ่งนับเป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างมากเนื่องจากการเจริญของเส้นใยที่หุ้มรากมีส่วนในการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างรากกับดินมากขึ้น และเป็นการลดระยะทางที่ฟอสฟอรัสจะเคลื่อนที่มายังรากทำให้พืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ในปริมาณมากและรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชที่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ซึ่งสูงกว่าพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซา (Mosse, 1973) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดใช้อาหารที่เคลื่อนที่ได้ช้าโดยใช้เส้นใยราในการดูดธาตุอาหาร เช่น สังกะสี และทองแดง แต่จะมีอิทธิพลน้อยในธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น ไนโตรเจนและซัลเฟต (Powell, 1976)

Bolan (1991) ศึกษาบทบาทของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสของพืช พบว่า เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดใช้ธาตุ

ฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ (mobile nutrient) ของพืชอาศัยได้มากกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา เช่นเดียวกับ McGonigle and Miller (1993) ซึ่งศึกษาการพัฒนาของเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาและการดูดธาตุฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชที่มีการไถพรวนน้อย พบว่ามีการเกิดกลุ่มของเส้นใยของเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา และมีปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้นของข้าวโพดเพิ่มมากกว่าดินที่มีการไถพรวนน้อย Kothari et al. (1990) ศึกษาผลทางตรงและทางอ้อมของเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณเขตรากพืชที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารของข้าวโพดที่ปลูกในดินต่าง พบว่า ในลำต้นของข้าวโพดและรากที่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น Faber et al. (1990) ศึกษาผลของเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดธาตุสังกะสีในข้าวโพด พบว่า ในดินที่ไม่มีการเติมธาตุสังกะสี ข้าวโพดที่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีการเจริญเติบโตและมีปริมาณธาตุสังกะสีในเนื้อเยื่อสูงกว่าข้าวโพดที่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาแต่เมื่อมีการเติมธาตุสังกะสี พบว่าข้าวโพดทั้งที่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาและไม่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาให้ผลไม่แตกต่างกัน

3. ช่วยเพิ่มความต้านทานเชื้อสาเหตุโรคพืช

เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชมีความต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อโรคพืชโดยเฉพาะเชื้อสาเหตุโรคที่เกี่ยวข้องกับรากพืช เนื่องจากเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาทำให้ลักษณะทางกายภาพ และสัณฐานวิทยาของพืชเปลี่ยนไป (Reid, 1990) เช่นเพิ่มเอนไซม์ chitinase ซึ่งเป็นสารต่อต้านเชื้อรา (Pfleger and Linderman, 1994)

Sharma et al. (1993) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซากับการเป็นโรคของพืช พบว่า เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการซึมผ่านสารต่างๆ ออกมาภายนอกรากเพื่อเพิ่มกิจกรรมย่อยสลายไคติน (chitinolytic activity) และเปลี่ยนแปลงการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังพบว่าพืชที่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีความต้านทานต่อเชื้อโรคที่อยู่ในดินและพืชได้ Norman et al. (1996) ศึกษาผลของเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาในสตรอเบอรี่ที่มีต่อเชื้อ *Phytophthora fragariae* ในสตรอเบอรี่ 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Elsanta, Cambridge favorite และ Rhapsody พบว่า สตรอเบอรี่ 2 สายพันธุ์คือ Cambridge favorite และ Elsanta เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยลดอาการแห้งตาย (necrosis) ของรากลงได้ 60 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีผลต่อสตรอเบอรี่พันธุ์ Rhapsody เพียงเล็กน้อยเท่านั้น Trotta et al. (1996) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อ *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* กับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา *G. mosseae* ในมะเขือเทศ พบว่าเชื้อรา

อับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อ *Phytophthora nicotianae* โดยในมะเขือเทศ ที่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเจริญร่วมกับเชื้อ *Phytophthora nicotianae* จะมีอาการแห้งตายที่ เนื้อเยื่อรากลดลง โดยสามารถลดอาการแห้งตายที่รากแขนงและที่ปลายรากลงได้มากถึง 63 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4. เพิ่มความสามารถในการทนแล้งของพืช

เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชทนแล้งได้เนื่องจากมีผลต่อควบคุมการ เปิดปิดปากใบรวมทั้งควบคุมการคายน้ำของพืช (Auge et al., 1987) นอกจากนี้พบว่าในดินแห้งเส้นใยจะทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากดินไปสู่รากพืช โดยการดูดซับน้ำที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเม็ดดินและนำไปยังพืช และช่วยให้พืชฟื้นตัวจากสภาพเครียดของน้ำได้เร็วกว่าพืชไม่มีไมคอร์ไรซา (Sieverding, 1991) บทบาทของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อความสามารถในการทนแล้งของพืช มีผู้ทำการศึกษาอย่างมากมาย อาทิเช่น การศึกษาของ Subramanian et al. (1995) ศึกษาเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความสัมพันธ์ของน้ำในข้าวโพดที่กำลังมีฝักอ่อนภายใต้สภาพเครียดของน้ำในเรือนกระจก และศึกษาอิทธิพลของเชื้อรา *G. intraradices* ต่อความทนทานสภาพแห้งแล้งของข้าวโพดในเขตร้อน พบว่า ข้าวโพดสามารถทนทานต่อความแห้งแล้งได้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ หลังจากที่ข้าวโพดออกฝักอ่อน และในข้าวโพดที่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีอัตราการคายน้ำและปริมาณน้ำในใบ วัดในเวลาหลังเที่ยงสูงกว่าในข้าวโพดที่ไม่มีไมคอร์ไรซา แต่มีความต้านทานของปากใบต่ำกว่าข้าวโพดที่ไม่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าในข้าวโพดที่ไม่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีพื้นที่สีเขียวมากกว่าในใบที่ไม่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ถึง 27.5 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาพเครียดของน้ำ จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเชื้อราไมคอร์ไรซาสามารถส่งเสริมให้พืชที่กำลังมีฝักอ่อนมีความต้านทานต่อสภาพแล้งอย่างมีนัยสำคัญ Osonubi et al. (1991) ศึกษาผลของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อการทนแล้งของพืชขึ้นต้นตระกูลถั่วที่ปลูกในสภาพที่มีฟอสฟอรัสต่ำ ได้แก่ กระจดินณรงค์ (*Acacia auriculiformis*) จามจู้ (*Albizia lebbek*) แคนฝรั่ง (*Gliricidia seplum*) และกระจดินไทย (*Leucaena leucocephala*) พบว่าในสภาพที่แห้งแล้ง กระจดินไทยทั้งที่มีไมคอร์ไรซาและไม่มีไมคอร์ไรซา และกระจดินณรงค์ที่มีไมคอร์ไรซาสามารถทนทานต่อแรงดันในท่อลำต้นต่ำกว่า และมีการสูญเสียน้ำมากกว่าต้นแคนฝรั่งและจามจู้ทั้งที่มีและไม่มีไมคอร์ไรซา Tang and Chen (1999) ศึกษาผลของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความสามารถในการต้านทานต่อสภาพแล้งใน *Hippophae rhamnoides* พบว่าเส้นใยของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักราก และ

ช่วยลดอาการเหี่ยวจากการขาดน้ำของ *Hippophae rhamnoides* ทำให้ *Hippophae rhamnoides* มีความต้านทานต่อสภาพเครียดจากการขาดน้ำได้ดีขึ้น

5. ช่วยให้พืชทนต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก

Guo et al. (1996) ศึกษาความสามารถของเชื้อ *G. mosseae* ต่อการดูดซับธาตุแคลเซียม และนิกเกิล ในต้นถั่วและข้าวโพด พบว่า ในต้นถั่วเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุแคลเซียมในดิน โดยสามารถดูดซับได้ถึง 37 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแคลเซียมที่ดูดซับได้ทั้งหมด เช่นเดียวกับข้าวโพดที่สามารถดูดซับธาตุแคลเซียมได้เพิ่มขึ้น 41 เปอร์เซ็นต์ แต่เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อการดูดซับธาตุนิกเกิลในพืชทั้งสองชนิด Diaz et al. (1996) ศึกษาอิทธิพลของเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับธาตุสังกะสีและตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน และการเจริญเติบโตของ *Lygeum spartum* และ *Anthyllis cytisoides* ศึกษาโดยใช้เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา 2 ชนิด คือ *G. mosseae* และ *G. macrocarpum* พบว่า ในดินที่ไม่มีมีการปนเปื้อนพืชที่มีและไม่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนัก พบว่า *Anthyllis cytisoides* ที่มีเชื้อ *G. mosseae* มีการเจริญเติบโตสูงกว่า *G. macrocarpum* และไม่สามารถเจริญเติบโตได้หากไม่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอาศัยในราก นอกจากนี้พบว่า พืชทั้งสองชนิดที่มีการเข้าอาศัยของเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักในเนื้อเยื่อดำกว่าในพืชที่ไม่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา

การเพิ่มปริมาณเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา

เนื่องจากเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ การทดลองที่ทำกันอยู่ในปัจจุบันก็โดยการนำเอาดินที่มีเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาหรือร่อนเก็บ รวบรวมสปอร์จากดินไปเพิ่มปริมาณหัวเชื้อเพื่อนำไปใช้กับพืชที่ต้องการเพาะเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา ทางกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา ได้ทำการทดลองหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มปริมาณหัวเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา คือ

1. การเพิ่มปริมาณหัวเชื้อไมคอร์ไรซากระถาง (pot culture)

การเพาะเชื้อเพื่อเพิ่มปริมาณของเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา สามารถทำได้ โดยการเพาะเลี้ยงเชื้อราให้เจริญร่วมกับพืชอาศัยที่ปลูกภายในกระถาง (pot culture) ซึ่งเป็น

ประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณหัวเชื้อ และสามารถทำเพื่อผลิตเชื้อบริสุทธิ์ชนิดใดชนิดหนึ่งของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา นอกจากนี้ สปอร์ของเชื้อรา เส้นใย และชิ้นส่วนของรากที่มีเชื้อรานี้หรือดินบริเวณรากพืช สามารถใช้เป็นหัวเชื้อในการขยายพันธุ์ในพีชอาศัยได้ เส้นใย และชิ้นส่วนของรากที่มีเชื้อรานี้สามารถเข้าสู่รากของพืชได้เร็วกว่าสปอร์ วัสดุที่ใช้เพาะอาจจะใช้ทรายและมีการเติมธาตุอาหารลงไป ธาตุอาหารที่ผสมลงไปนี้ไม่ควรมีปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสควรใส่ในปริมาณค่อนข้างต่ำ วัสดุที่ใช้ในการทำ pot culture อาจใช้ทรายผสมดิน 1:1 หรือ 1:2 โดยปริมาตร ขึ้นกับชนิดของดิน และควรนึ่งฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกก่อนนำไปใช้ ส่วนพืชที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณของเชื้อ เช่น ข้าวฟ่าง ข้าวโพด การเก็บรักษาเชื้อที่ผลิตได้ (inoculum storage) จากการเพาะเชื้อในกระถางซึ่งประกอบด้วยดินที่มีสปอร์ รากที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และเส้นใยที่อยู่ในดิน โดยเก็บดินนี้ในภาชนะ หรือถุงพลาสติกที่ปิดสนิทแล้วเก็บในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 4 - 5 องศาเซลเซียส หรืออาจปล่อยให้ดินในกระถางเพาะเชื้อค่อย ๆ แห้งที่อุณหภูมิห้อง การนำหัวเชื้อไปใช้จะใช้ดินจากการเพาะเชื้อในกระถางที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไปใส่ให้ต้นกล้า หรือนำไปหว่านในแปลงปลูก (ธงชัย, 2550)

2. การเพิ่มปริมาณหัวเชื้อในแปลงขนาดเล็ก

ใช้พื้นที่ที่มีดินในลักษณะเป็นดินทรายความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แปลงขนาด 2x2 ตารางเมตร อบอุ่นเชื้อในดินด้วยการรมเมทิลโบรไมด์ หรือการอบด้วยกำลังความร้อนแสงอาทิตย์ ซึ่งคลุมดินที่อบด้วยพลาสติกใสหนานาน 7 วัน ใส่ปุ๋ยรองพื้นด้วยปุ๋ยยูเรียในอัตรา 6 กิโลกรัมต่อไร่ หินฟอสเฟต 100 กิโลกรัมต่อไร่ (3 % P_2O_5) และโพแทสเซียมคลอไรด์ 3 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกข้าวฟ่างเว้นระยะระหว่างแถว 10 เซนติเมตร ระหว่างต้น 5 เซนติเมตร ใส่หัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปริมาณ 200 สปอร์ต่อหลุมที่ก้นหลุมหรือจะใส่ในร่องเป็นแถวโดยคำนวณหัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อแถวก่อนปลูก ปล่อยให้ข้าวฟ่างเจริญจนมีอายุประมาณ 4 เดือน ซึ่งจะเป็นระยะที่มีการผลิตสปอร์เต็มๆ ที่เก็บเกี่ยวโดยการตัดพืชเหนือดิน จากนั้นเก็บดินลึกประมาณ 45 เซนติเมตร พร้อมราก นำมาผึ่งให้แห้งด้วยลม หลังจากดินแห้งคลุกเคล้าดินให้ทั่ว ตัดรากข้าวฟ่างให้เป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 2-3 เซนติเมตร ปล่อยให้ดินแห้งอีกครั้ง ถ้ายังมีความชื้นอยู่อีก จากนั้นเก็บดินเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้องในถุงพลาสติก แต่การผลิตหัวเชื้อวิธีนี้จะต้องควบคุมการที่ถูกปนเปื้อนจากจุลินทรีย์อื่น ซึ่งอาจติดมากับลม คน สัตว์เลี้ยง และแมลง ดังนั้นจึงควรมีการดูแลรักษาแปลงปลูกอย่างดี เช่น ปลูกโดยการกางมุ้งและดูแลกำจัดโรคและแมลงอย่างดี เพื่อให้ได้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ปราศจากการปนเปื้อนและสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช

แนวทางการนำไปใช้สำหรับการเกษตร

1. การทำหัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM inoculum)

เนื่องจากไม่สามารถเพาะเลี้ยงในอาหารเทียมเลี้ยงเชื้อได้ ดังนั้นจึงนิยมขยายหัวเชื้อโดยเก็บสปอร์ไปขยายในถุงเพาะชำ หรือแปลงเพาะกล้าเพื่อขยายให้มีปริมาณมากขึ้นในต้นกล้าพวกถั่ว ข้าวโพด หรือพืชวงศ์หญ้า แล้วไม่ใช่ดินเชื้อและรากของพืชที่นำมาขยายเชื่อนั้นไปปลูกผสมกับต้นกล้าที่เราต้องการเพาะปลูกต่อไป (ธงชัย, 2550)

1.1 การใช้ดินเชื้อ (Soil inoculum)

นำดินเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ปริมาณห่างจากลำต้นไม้เกิน 50 เซนติเมตร โดยรอบและขุดลึกประมาณ 10 - 20 เซนติเมตรให้มีรากเดิมติดมาด้วย แล้วนำไปใช้ทันทีหรือเก็บไว้ในที่ร่มประมาณไม่เกิน 7 วัน เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ติดอยู่กับดินจะนำไปปลูกกับดินเพาะอัตรา 1:6 ถึง 1:10 ส่วน แล้วเพาะเมล็ดและต้นกล้า วิธีนี้ข้อดีคือประหยัด เสียค่าใช้จ่ายน้อย ไม่ต้องใช้วิธียุ่งยากซับซ้อนต่อการปฏิบัติ ข้อเสียคือ ดินมีน้ำหนักรวมมากขนย้ายระยะทางไกล ๆ ไม่สะดวก เราไม่สามารถทราบชนิดเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมกับต้นกล้าได้ และดินอาจมีเชื้อโรคติดมาระบาดต้นกล้าได้ง่าย วิธีการแก้ไข ต้องเลือกดินรากต้นแม่ที่สมบูรณ์ปราศจากโรคและควรปิดกั้นรากพืชหน้าดินออกให้สะอาดก่อนขุดดินนำเอาไปใช้เพาะต้นกล้า

1.2 การใช้สปอร์ (Spore inoculum)

เราสามารถนำสปอร์ไปผสมน้ำหรือใช้สปอร์โดยตรงคลุกกับเมล็ดพันธุ์ก่อนเพาะกล้า หรือนำสปอร์ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1000 แล้วฉีดพ่นกับต้นกล้าหรือเมล็ดพันธุ์ในแปลงเพาะ ข้อดีวิธีการนี้คือ นำไปปฏิบัติได้ง่าย ทราบชื่อพันธุ์ได้ แต่มีข้อเสียคือ เราไม่สามารถเก็บสปอร์ในปริมาณมาก ๆ ได้ ไม่สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีมีประสิทธิภาพสูง และสปอร์มีระยะพักตัว มีการงอกที่ไม่สม่ำเสมอ สปอร์บางชนิดมีอัตราการงอกต่ำ ต้องใช้วิธีกระตุ้นเป็นพิเศษจึงจะสามารถงอกได้สปอร์สามารถทำเป็นเม็ดไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal tablets) 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 กล่าวคือนำเอาสปอร์ 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 กล้วยไม้ผล และ ไม้ป่าเป็นต้น

ไกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

ไกลมาลิน (Glomalin) คือโปรตีนในดินที่เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุ ดังตาราง 1 ที่ถูกค้นพบเมื่อปี 1996 (Wright, 2002) ไกลมาลินจะประกอบด้วยไนโตรเจนจับอยู่กับโพลีแซคคาไรด์ (Wright and Upadhyaya, 1998) สารนี้ผลิตจากจุลินทรีย์กลุ่มอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะมีการอาศัยอยู่ร่วมกับพืชอาศัยแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis) (Rillig, 2005) สำหรับการปลดปล่อยไกลมาลินออกจากส่วนเส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา นั้นอาจจะเกิดจากหลุดร่อนของส่วนเส้นใย หรือถูกขับออกมาจากใน ส่วนปลายเส้นใย ในขณะที่ยังไม่ทราบกลไกการสร้างไกลมาลินอย่างชัดเจน นอกจากนี้สายพันธุ์

ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีส่วนสำคัญในอัตราการสร้างโกลมาลินที่แตกต่างกันด้วย โดยจะตอบสนองต่อการจัดการทางการเกษตรต่าง ๆ เช่น การหมุนเวียนพืชที่ปลูก การไถ การใส่ปุ๋ยเคมี เป็นต้น

ตาราง 2 คำนิยามของ โกลมาลินส่วนต่าง ๆ

คำเก่า(Old usage)	ลักษณะที่เฉพาะ	คำใหม่ที่เสนอให้ใช้ (Proposed new name/usage)	เหตุผลที่เปลี่ยน
โกลมาลินทั้งหมด TG (total glomalin)	ทำปฏิกิริยากับโปรตีนในดิน ภายหลังจากการสกัดอย่างดี (Bradford-reactive soil protein after extensive extraction)	ทำปฏิกิริยากับ โปรตีนในดิน BRSP (Bradford reactive soil protein)	วิธี Bradford จะใช้กับ แหล่งโปรตีนทั้งหมด อาจจะไม่เฉพาะเจาะจง (Bradford method measures all protein sources; may be nonspecific)
โกลมาลินสกัดได้ง่าย EGG (easily extractable)	ทำปฏิกิริยากับโปรตีนในดิน ภายหลังจากการสกัดอย่างดี (Bradford-reactive soil protein after extensive extraction)	ทำปฏิกิริยากับ โปรตีนในดินได้ง่าย EE-BRSP(easily extractable BRSP)	วิธี Bradford จะใช้กับ แหล่งโปรตีนทั้งหมด อาจจะไม่เฉพาะเจาะจง (Bradford method measures all protein sources; may be nonspecific)
immunoreactive โกลมาลินสกัดได้ ทั้งหมด IRTG (immunoreactive total glomalin)	โปรตีนในดินที่แยกได้ ภายหลังจากการสกัดอย่างดี Immunoreactive (MAb32B11) soil protein identified after extensive extractions	โปรตีนในดิน IRSP (immunoreactive MAb32B11 soil protein)	จำเป็นสำหรับปฏิกิริยา ข้ามกันกับแอนติบอดี หรือเนื้อเยื่อที่ไว (Potential for antibody crossreactivity or sensitivity issues)

ตาราง 2 (ต่อ)

คำเก่า(Old usage)	ลักษณะที่เฉพาะ	คำใหม่ที่เสนอให้ใช้ (Proposed new name/usage)	เหตุผลที่เปลี่ยน
immunoreactive โกลมาลินสกัดได้ง่าย IREEG (immunoreactive easily extractable glomalin)	โปรตีนในดินที่แยกได้ ภายหลังจากการสกัด อย่างดี (Immunoreactive (MAb32B11) soil protein identified after extensive extractions)	โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย EE-IRSP (easily extractable immunoreactive MAb32B11 soil protein)	จำเป็นสำหรับปฏิกิริยา ข้ามกันกับแอนติบอดี หรือเนื้อเยื่อที่ไว (Potential for antibody crossreactivity or sensitivity issues)
โกลมาลิน (Glomalin)	คำเก่าใช้จำแนกแหล่ง โปรตีนทั้งหมดโดย Bradford และ ELISA เช่น โกลมาลินทั้งหมด โกลมาลินสกัดได้ง่าย immunoreactive โกลมาลินสกัดได้ ทั้งหมด และ immunoreactive โกลมาลินสกัดได้ง่าย Old term used to identify all protein pools measured by Bradford and ELISA (i.e., TG, EEG, IRTG, and IREEG) and the actual protein	โกลมาลิน-สารสัมพันธ์ โปรตีนในดิน(GRSP Glomalin related soil protein)	แยกโปรตีนจากดินโดย ใช้ขึ้น (To clearly separate soil-derived protein from the putative gene product)

ตาราง 2 (ต่อ)

คำเก่า(Old usage)	ลักษณะที่เฉพาะ	คำใหม่ที่เสนอให้ใช้ (Proposed new name/usage)	เหตุผลที่เปลี่ยน
โกลมาลิน Glomalin (sensu stricto)	ปัจจุบันไม่รู้จักราก จำแนกตามหลักโกลมา ลินคล้ายกับแหล่ง โกลมาลินในดิน Currently unknown identity, theoretically glomalin should be similar to soil glomalin pools (in particular immunoreactive pools)	โกลมาลิน (Glomalins)	โกลมาลินจะพบใน ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับจีน (The name glomalin should be reserved for the gene product)

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Rillig (2004)

ผลของโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดิน

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทนของเม็ดดินกับปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

ค่าสหสัมพันธ์ (r^2) ปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดินค่อนข้างสูง และมีค่าสูงกว่าค่าสหสัมพันธ์ระหว่างโกลมาลินทั้งหมดกับความคงทนของเม็ดดิน (Wright and Upadhyaya, 1998; สุทธิดา และคณะ, 2552) นอกจากนี้การสลายตัวนั้นโกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่าส่วนของเส้นใยของ เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของ โกลมาลิน เมื่ออยู่ในดินนั้นอาจนานถึงหลายสิบปีนอกจากนี้การผลิตอาจทำได้ในสภาพห้องทดลองหรือหลอดทดลองปลอดเชื้อ (sterile *in vitro*) ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทำให้เกิดโครงสร้างใหม่ของดิน (regeneration of soil structure) (Smith and Read, 1997; Miller and Jastrow, 2000)

2. การเก็บรักษาคาร์บอนไว้ในดิน

จากความสามารถในการเสริมสร้างและความคงทนของเม็ดดินคั่งที่กล่าวข้างต้น ผลที่ได้รับตามมาคือเม็ดดินขนาดเล็ก (microaggregate) เป็นผลมาจากสาร โกลมาลิน และเม็ดดินขนาดเล็กนี้จะรวมตัวกันเกิดเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggregate) โดยมีอิทธิพลของเส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซารวมด้วย สำหรับการสลายตัวนั้น โกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่า ส่วนของเส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของ โกลมาลินเมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะต้องถึงหลายสิบปี จากเหตุผลเหล่านี้ทำให้ดินสามารถกักเก็บคาร์บอน (carbon storage) และมีผลให้ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น CO_2 ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน (Lovelock et al., 2004; Rillig et al., 2001)

3. เพิ่มความสามารถของในการทนแล้งหรือขาดน้ำได้

โกลมาลินช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำและแร่ธาตุอาหารให้แก่ต้นไม้ เช่น ฟอสฟอรัส ใน โดโรเจน โปแทสเซียม แคลเซียม และธาตุอื่น ๆ ซึ่งธาตุเหล่านี้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะดูดซับไว้ และสะสมในรากและซึมซับขึ้นส่วนต่างๆของต้นไม้ ช่วยในการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืชเนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว ปริมาณของรากพืชและต้นไม้ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้แก่ระบบรากของต้นไม้ ช่วยให้ต้นไม้มีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพพื้นที่ที่แห้งแล้ง

4. การดูดซับโลหะหนักและธาตุพิษ

จากการศึกษาของ Gonzalez-Chavez et al. (2004) ได้ศึกษาปริมาณ Cu^{2+} ในสาร โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินที่ถูกสร้างมาจาก เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และพบว่าปริมาณสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับทรายที่ไม่มีเส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและส่วนของเส้นใยที่อยู่ร่วมกับรากพืช จะเห็นได้ว่าสาร โกลมาลินมีศักยภาพในการดูดซับ (Sequestration) โลหะหนักต่าง ๆ โดยอาจจะนำไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักอื่น ๆ เช่น Cu, Cd, Pb และ Mn เพื่อบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนโลหะ (Remediation) เหล่านี้ นอกจากนี้จากการที่ส่วนของผนังเซลล์ของเส้นใยเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีกรดอะมิโน หมู่ไฮดรอกซิล คาร์บอกซิล และหมู่ฟังก์ชันกรุปอื่น ๆ ซึ่งเป็นที่เหมาะสมสำหรับโลหะต่าง ๆ เช่น Cu^{2+} หรือโลหะอื่น ๆ เข้ามาจับ (Gonzalez-Chavez et al., 2002) สำหรับความสามารถประการนี้อาจมีส่วนช่วยให้พืชมีความแข็งแรง ทนทานต่อความเป็นพิษของดิน และทนทานต่อความเป็นกรดเป็นด่างของดินได้โดยเฉพาะพืชอาหารต่าง ๆ (สุภธิตา, 2552)

การนำเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ คือปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์สารซึ่งผลิตจากกรรมวิธีต่างๆ และจะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ต้องผ่านขบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางชีวภาพก่อน ปุ๋ยคอกเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งได้จากมูลสัตว์ต่างๆ ที่อยู่ในรูปของเหลวและของแข็ง ส่วนใหญ่จะเป็นมูลสัตว์เลี้ยง เช่น มูลไก่ เป็ด วัว และสุกร เป็นต้น มูลสัตว์เหล่านี้จะประกอบด้วยอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ ซึ่งเป็นส่วนของซากพืชและซากสัตว์จากอาหารสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายจากระบบย่อยอาหารของสัตว์ ปุ๋ยคอกที่สำคัญ ได้แก่ มูลหมู มูลเป็ด มูลไก่ ฯลฯ ซึ่งเป็นปุ๋ยคอกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในสวนผักและผลไม้ ปุ๋ยคอกจะมีปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างต่ำ โดยหยาบๆแล้วจะมีไนโตรเจนประมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.2 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.4 เปอร์เซ็นต์ (มุกดา, 2548)

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (Vermicompost) หมายถึง การใช้ไส้เดือนดินมาช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเพื่อให้เกิดปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี ปุ๋ยหมักที่ได้อาจเรียกว่า มูลไส้เดือนดิน มีลักษณะคล้ายกับดิน สีดำเข้ม เป็นเม็ดร่วน เหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อเพาะปลูกหรือใช้เพื่อการปรับปรุงดิน เพราะปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง ส่วนปริมาณของธาตุอาหารนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการหมัก การนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินไปปรับปรุงดินจะมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินให้สูงขึ้นได้ และช่วยให้ดินมีโครงสร้างที่ดีขึ้น คือ ทำให้ดินสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น มีความโปร่ง ร่วนซุยรากพืชสามารถชอนไชได้ดีขึ้น ดินมีการระบายน้ำและอากาศได้ดีทำให้จุลินทรีย์ดินที่มีประโยชน์บริเวณรากพืชสามารถสร้างเอนไซม์ที่มีประโยชน์ต่อพืชได้เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์วัตถุที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (อานัฐ, 2549)

การนำเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยให้เพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ สุทธิศา และคณะ (2554) รายงานว่า การใส่เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสปีชีส์ *G. etunicatum* และ *G. geosporum* มีผลทำให้ปริมาณสารสัมพันธ์ โปรตีนในส่วนของ สาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่ายสูงกว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ไม่มีเชื้อรา และในส่วนของ สาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดพบว่าปุ๋ยมูลสัตว์ที่มีการใส่เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีแนวโน้มสูงกว่าปุ๋ยที่ไม่มีเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในขณะที่เดียวกันการใส่เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสายพันธุ์ *G. etunicatum* มีผลทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน Water Soluble Carbon (WSC) มีแนวโน้มสูงกว่าปุ๋ยที่ไม่มีเชื้อรา

อาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา ส่วนปริมาณ POC พบว่าการใส่เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา สายพันธุ์ *G. geosporum* มีผลทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยในส่วนของ Permanganate Oxidizable Carbon (POC) สูงกว่าปุ๋ยหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา อาจจะทำให้ได้ว่าสารอินทรีย์คาร์บอนและโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในการ ประเมินความสมบูรณ์ในการหมักของปุ๋ยหมัก ซึ่งการใส่เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ย คอกช่วยให้ปุ๋ยคอกย่อยสลายเร็วขึ้น เกษตรกรสามารถนำไปใช้ได้ในช่วงเวลาสั้นเนื่องจากปุ๋ยที่ คลุกพร้อมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาภายในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ของเชื้อรา อาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซามีแบคทีเรียที่อาศัยร่วมอยู่ ซึ่งพบในเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาหลาย ชนิด รวมทั้งแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนภายนอกของผนังเซลล์สปอร์ด้วย (Walley and Germida, 1996) แบคทีเรียเหล่านี้ยังคงดำเนินกิจกรรมอยู่ จึงส่งผลให้มีการปลดปล่อย CO₂ ออกมาสูงเมื่อ เปรียบเทียบปุ๋ยหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาและกิจกรรมจุลินทรีย์ที่อยู่ในมูล ส์ดีวีจะดำเนินกิจกรรมย่อยการสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ Perner et al. (2007) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา ช่วยเพิ่มธาตุอาหาร การเจริญ เติบโตของพืชและเพิ่มการออกดอกของพืช สุกานดา และคณะ (2552) รายงานว่า การใส่เชื้อรา อาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยในการเพิ่มผลผลิตของสบู่ดำพันธุ์อินเดียได้ดี Fernandez-Gómez et al. (2010) รายงานว่า ปุ๋ยใส่เดือนดินช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์และ เอนไซม์ที่สามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ทางชีวเคมีของดิน

การนำเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อสังคมไทย ไม่เพียงแต่เป็นแหล่งอาหารที่ ให้คาร์โบไฮเดรตเท่านั้น ในแต่ละปีข้าวที่เหลือจากการบริโภคถูกส่งไปจำหน่ายยังตลาด ต่างประเทศเช่น จีน อินเดีย เวียดนาม อิหร่าน สหประชาชาติ มาเลเซีย ดังนั้นอนาคตข้าวไทยจึงจำเป็นต้อง มุ่งเน้นไปที่การผลิตคุณภาพสูงเพื่อการส่งออก โดยอาศัยความได้เปรียบทางด้านชื่อเสียงว่า เป็นผู้ผลิตข้าวคุณภาพสูงและเป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดของโลกมานาน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2542)

Li et al. (2011) รายงานว่า ข้าวนาข้าวพันธุ์ Guangyinzhan ที่ใส่เชื้อราอาบัสตุลาร์ ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* และข้าวไร่พันธุ์ Handao 502 ที่ใส่เชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา *G. geosporum* ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อสารหนู เพิ่มผลผลิตเมล็ด น้ำหนักพืช จำนวนเมล็ด ฟาง ข้าว และการดูดใช้ฟอสฟอรัสและสารหนูในราก ในขณะเดียวกัน ข้าวนาข้าวพันธุ์ Guangyinzhan ที่

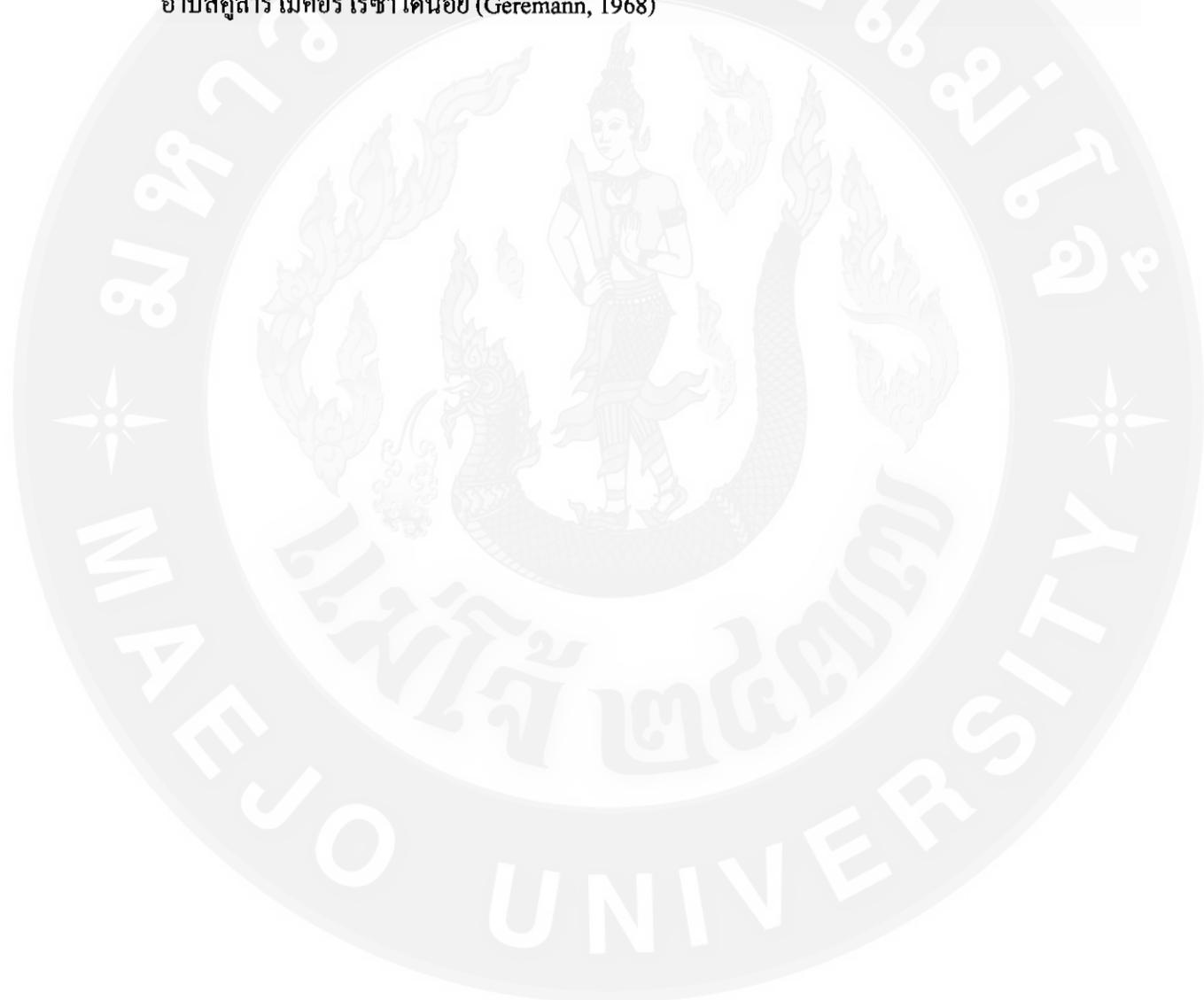
ใส่เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. geosporum* และข้าวไร้พันธุ์ Handao 502 ที่ใส่เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* ทำให้ผลผลิตลดลงและเพิ่มความเข้มข้นของสารหนูในเมล็ด ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของวิธีการปลูกข้าวและชนิดของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา Xiao et al. (2010) รายงานว่า การปลูกพืชผสมผสานระหว่างถั่วเขียวกับข้าวไร้ โดยการใส่เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. caledonium* 90036 และ *A. laevis* 90034 ช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหาร การตรึงไนโตรเจนและ การเจริญเติบโตของถั่วเขียวเพิ่มมากขึ้น Ruiz-Sanchez et al. (2010) รายงานว่าการปลูกข้าวโดยใส่เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* โดยรักษาระดับความชื้นที่ 60-70 เปอร์เซ็นต์ (water holding capacity) พบว่าเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของต้นข้าวและเพิ่มการสังเคราะห์แสงของข้าว

Gao et al. (2007) รายงานว่า การปลูกข้าวสภาพมีอากาศโดยใส่เชื้อ *G. mosseae* และ *G. etunigatum* พบว่าเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวและช่วยดูดใช้สังกะสีได้สูงกว่าข้าวที่ไม่ใส่เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

การนำเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ในการปลูกคะน้า

คะน้า (Chinese Kale) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea var. alboglobra* เป็นพืชผสมข้าม ลักษณะจีโนม ของคะน้ายังไม่ทราบแน่นอน แต่มีโครโมโซม $2n=2x=8$ มีช่อดอกแบบช่อช่อกระจุก (raceme) เป็นพืชผักที่จัดอยู่ในพวกพืชสองฤดู (Biennial) แต่นิยมปลูกเป็นผักฤดูเดียว มีแหล่งกำเนิดที่บริเวณเอเชียไมเนอร์ ปัจจุบันคะน้าเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศในเขตเอเชีย (ไฉน, 2542) คะน้ามีระบบรากแก้ว ลำต้นตั้งตรง ใบเป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) มีหูใบอยู่ 1 คู่มี stipule ก้านใบยาว มีการจัดเรียงใบแบบสลับ ช่อดอกแบบกระจุก คือ มีดอกตูมรวมเป็นกลุ่มอยู่บนส่วนยอดของดอก ดอกเป็นดอกแบบสมบูรณ์เพศแบบ regular type มีกลีบเลี้ยง 4 อัน สีเขียวอมเหลือง กลีบดอกมี 4 กลีบแยกกันเป็นอิสระ มีลักษณะตั้งตรงยาวเรียวยาวที่ฐาน โดยทั่วไปมีสีขาวหรือเหลืองเกสรตัวผู้มี 6 อัน ยาว 4 อัน สั้น 4 อัน ยอดเกสรตัวเมียเป็นคู่มีสีเหลืองใส เมื่ออยู่ในระยะผสมเกสร มีลักษณะ 2 พูจัดเป็นพืชผสมข้าม ดอกจะบานในตอนเช้า เกสรตัวเมียพร้อมที่จะได้รับการผสม ก่อนที่ดอกจะบานประมาณ 4 วัน ผลเป็นฝักเรียวยาวเรียกว่า silique เมล็ดเมื่อแก่เต็มที่ จะมีลักษณะค่อนข้างกลม สีน้ำตาลแดงจนดำ มีน้ำหนัก 4.25 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยจำแนกเป็น 2 ประเภท คะน้าใบมีลักษณะใบมน ผิวเรียบ สีเขียวเข้ม ต้นอวบหนา ข้อถี่ ผลผลิตสูง ลำต้นเดี่ยวอวบ ส่วนกลางปล้องใหญ่ ใบเรียบ ปลายใบแหลมตั้งขึ้น ก้านใบและช่วงข้อยาว (มาโนช และ อติศักดิ์, 2536)

Wonglumsom et al. (2006) รายงานว่า ศึกษาผลของเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในการเจริญเติบโตของพืชผัก 3 ชนิดคือ กระเทียม กระเทียม คะน้า และบลือกเคอร์รี่ โดยจำแนกสปอร์ของเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ Acaulospora, Gigaspora and Glomus ในกระเทียมพบเข้าอาศัยในรากโดยเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในขณะที่กะน้าและบลือกเคอร์รี่ไม่พบการเข้าอาศัยในรากโดยเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากพืชในตระกูล Brassicaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae, Juncaceae and Caryophyllaceae ไม่เคยพบหรือพบการเข้าอาศัยในรากโดยเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้น้อย (Geremann, 1968)



บทที่ 3 วิธีการวิจัย

การศึกษาผลของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยมีขอบเขตการทดลองดังนี้ได้แก่

การทดลองที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบวิธีการร่อนสปอร์สปอร์เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดและความหลากหลายของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และ โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาสมบัติของปุ๋ยมูลไส้เดือนและมูลหมุ่คสุกรร่วมกับสปอร์ของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติดิน และการเจริญเติบโตของคะน้า และศึกษาการเพาะและขยายสปอร์ของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพกระถาง และศึกษาบทบาทของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ในระบบเกษตรอินทรีย์ ดังแผนภาพกระบวนการทำงานวิจัยทั้งหมด ภาพ 1

ขั้นตอนการศึกษา



ภาพ 1 กระบวนการทำงานวิจัยทั้งหมด

อุปกรณ์ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือเก็บตัวอย่างดิน
2. เครื่องมือในการบดและร่อนตัวอย่างดิน
3. เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ
4. เครื่องวัดความเป็นกรดค่าจ (Metrohm Herisav)
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SR NRTL/C รุ่น G20)
6. เครื่องเขย่า (Gerhardt รุ่น LS5)
7. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น B 200 S)
8. เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน (SORVALL รุ่น GLC-2P)
9. เครื่อง Microplate reader

สารเคมีที่ใช้ในงานทดลอง

1. Potassium Dichromate [$(K_2Cr_2O_7)$] (MERCK)
2. Sulfuric acid [(H_2SO_4)] (RCI Labscan)
3. Iron (II) sulphate heptahydrate [$(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$] (MERCK)
4. Tri-sodium citrate dihydrate ($C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$) (MERCK)
5. Sodium hexametaphosphate [$(NaPO_3)_6$] (MERCK)
6. Ammonium fluoride [(NH_4F)] (MERCK)

**การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบวิธีการร่อนสปอร์สปอร์เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และศึกษา
รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดและความหลากหลายของเชื้อราอับสคูลาร์
ไมคอร์ไรซาและโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน**

1. การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ต่างๆ โดยพื้นที่การศึกษาที่ 1 การเก็บดินในระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ส่วนพื้นที่การศึกษาที่ 2 เก็บตัวอย่างดินรอบบริเวณรากต้นพืช จำนวน 4 ซ้ำต่อพื้นที่ นำดินมาผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร ดังตาราง 3 และ 4

ตาราง 3 ลักษณะการใช้ที่ดินของตัวอย่างดินที่ศึกษา (พื้นที่การศึกษาที่ 1)

การใช้ที่ดิน	สถานที่เก็บตัวอย่าง	ลักษณะทั่วไป
พื้นที่เกษตรอินทรีย์คอกยสะเก็ด (OVFD)	อำเภอคอกยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่	มีการปลูกผักได้แก่ ผักบุ้ง อายุการใช้พื้นที่ 20 ปี
พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง (UFB)	หมู่บ้านโปง อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	เป็นป่าเบญจพรรณ อายุประมาณ 20 ปี
พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (GL)	หมู่บ้านโปง อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ อายุประมาณ 10 ปี
พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ (OVFMJ)	มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	มีการปลูกไม้ผลได้แก่ มะม่วง ลำไย อายุการใช้พื้นที่ 30 ปี

ตาราง 4 ลักษณะการใช้ที่ดินของตัวอย่างดินที่ศึกษา (พื้นที่การศึกษาที่ 2)

การใช้ที่ดิน	สถานที่เก็บตัวอย่าง	ลักษณะทั่วไป
พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว (UFP)	อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่	มีดินพลวงและเหียงขึ้นปกคลุมทั่วพื้นที่ อายุประมาณ 15 ปี
พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง (UFB)	หมู่บ้านโปง อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	เป็นป่าเต็ง รัง อายุประมาณ 20 ปี
พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก (UFW)	หมู่ศรีบุญเรือง อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	เป็นป่าที่ต้นไม้อ่อนขึ้นปกคลุมไม้ทั่วพื้นที่จะพบต้นไม้อ่อนเล็กๆได้แก่ ไมยราบ มะรุม อายุประมาณ 2 ปี
พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง (OVFP)	หมู่บ้านป่าไม้แดง อำเภอคอกยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่	มีการปลูกผักได้แก่ ฟักทอง แดงควา อายุใช้พื้นที่ 5 ปี
พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลวง (OVFS)	อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่	มีการปลูกผักได้แก่ มะเขือ กวางตุ้ง บวบ เหลี่ยม กระเจี๊ยบเขียว อายุการใช้พื้นที่ 3-5 ปี
พื้นที่ป่าอนุรักษ์ (CF)	หมู่บ้านโปง อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	มีดินพลวงและดินไม้ ขนาดเล็กขึ้นปกคลุม อายุประมาณ 15 ปี

2. การแยกและจำแนกชนิดสปอร์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากดิน

การตรวจสอบความหนาแน่นของสปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซาในตัวอย่างดินสามารถตรวจสอบได้จากการนับจำนวนสปอร์หลังจากการแยกสปอร์จากตัวอย่างดิน วิธีการแยกสปอร์ที่ได้ผลดีวิธีหนึ่งได้แก่ วิธีร่อนแบบเปียก (Geremann and Nicolson, 1963) ร่วมกับวิธี sucrose centrifugation (Danial and Skipper, 1982) โดยชั่งดินสด 100 กรัม เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนดินให้เข้ากันทิ้งไว้ 30 นาที แล้วคนต่ออีก 10 นาที (พื้นที่ศึกษาที่ 1 การร่อนสปอร์จะใช้ดิน 25 กรัมและใช้มือกดเม็ดดินเบาๆ ให้แตก) นำดินไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 500, 250, 125 และ 45 ไมโครเมตร แล้วนำดินที่ร่อนแบ่งใส่หลอดเซนตริฟิวก์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที รินน้ำส่วนที่ใสทิ้ง แล้วเติมซูโครส 50 เปอร์เซ็นต์ ลงไปในหลอดเซนตริฟิวก์ นำไปปั่นเหวี่ยง 1 นาที สปอร์ไมคอร์ไรซาจะลอยอยู่บนซูโครส จากนั้นเทซูโครสลงในตะแกรงร่อนขนาด 45 ไมโครเมตร จะส่วนที่เหลือจากตะแกรงลงหลอดเซนตริฟิวก์ หรือปิกเจอร์ด้วยสารละลายริงเกอร์ (Ringer's Solution) แล้วใช้ไมโครปิเปตดูดสปอร์ลงบนกระดาษกรอง แล้วเก็บสปอร์ได้กล้องสเตอริโอ แล้วนำสปอร์ที่ได้เก็บในขวดที่มีสารละลายริงเกอร์ (Ringer Solution) ซึ่งเป็นสารละลายที่ช่วยรักษาการรอดชีวิตของสปอร์ จากนั้นดูดสปอร์ในสารละลายริงเกอร์ด้วยไมโครปิเปตลงบนสไลด์แล้วนำสปอร์ไปศึกษารูปร่างลักษณะต่างๆ ทั้งภายนอก และภายในสปอร์ของเชื้อราตามการจำแนกชนิดเชื้อราของ INVAM (International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi) ได้กล้องจุลทรรศน์

3. การวิเคราะห์สมบัติของดิน

3.1 การวิเคราะห์โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน โดยเทคนิค Bradford dye-binding assay

โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily extractable glomalin) โดยชั่งตัวอย่างดินร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม เติมน้ำยาสกัด 20 mM sodium citrate (pH 7) 16 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าหม้อนึ่งอัดไอ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำตัวอย่างดินไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เก็บสารละลายส่วนใสที่สกัดได้ โดยถ่ายเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์โกลมาลินต่อไป (Wright et al., 1996)

โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total glomalin) โดยชั่งตัวอย่างดินร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 5 กรัม เติมน้ำยาสกัด 20 mM sodium citrate (pH 8.00) 16 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าหม้อนึ่งอัดไอ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาทีแล้ว

นำตัวอย่างดินไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บสารละลายใส (Supernatant) ที่สกัดได้ โดยถ่ายเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์โกลมาลินต่อไป (Wright et al., 1996)

3.2 การหาความคงทนของเม็ดดิน

ซั่งดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 5 กรัมใส่ถาดอะลูมิเนียมฟรอยที่ผ่านการอบแล้วจากนั้นนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงมาซั่งน้ำหนักที่แท้จริง (W1) เทดินลงในตะแกรงของเครื่องเขย่า เติมน้ำกลั่นลงในถาดรองตะแกรงซั่งตัวอย่างดิน 5 นาที จากนั้นเขย่า 3 นาที แล้วนำน้ำในถาดรองเทลงบีกเกอร์นำไปอบแห้ง แล้วซั่งน้ำหนักตัวอย่างดินนำไปลบ W1 จะได้ W2 จากนั้นนำ 0.5% Na-hexametaphosphate เติมลงดินที่ซั่งในตะแกรง เขย่า 5 นาทีแล้วนำดินที่ซั่งบนตะแกรงไปล้างด้วยน้ำประปา แล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสูญญากาศ แล้วนำดินที่ซั่งอยู่มาถ่ายลงกระดาษกรอง นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียสแล้วนำมาซั่งน้ำหนัก (W3) นำค่าทั้งหมดมาคำนวณหาความคงทนของเม็ดดินแบบ wet aggregate (Wright and Upadhyaya, 1998)

3.3 การวัดความเป็นกรด ด่างในดิน โดยใช้สกัดส่วนดินค่อน้ำ 1:1 (V/V) ด้วย pH meter (Thomas, 1996)

3.4 การวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้สกัดส่วนดินค่อน้ำ 1:5 (V/V) (Anderson and Ingram, 1993)

3.5 การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน โดยวิธีวอล์คเลย์-แบลค (Walkley and Black, 1934)

3.6 การสกัดปริมาณฟอสฟอรัสที่มีประโยชน์ โดยวิธีโมลิปดีนัมบลู (Murphy and Riley, 1962)

3.7 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl Method (Bremner, 1965)

3.8 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยการสกัดตัวอย่างดินด้วยแอมโมเนียมอะซิเตรท (Peech, 1945)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ Analysis of Variances (ANOVA) โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Design (RCBD) ในประเด็นผลของการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ ต่อจำนวนเชื้อราอับสคูลารีไมคอร์ไรซา โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และความคงทนของเม็ดดิน โดยมีจำนวน 4 ซ้ำ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง สารโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนใน

ดินกับจำนวนอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และความคงทนเมื่อดิน โดยสมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

พื้นที่และระยะเวลาการศึกษา

ทำการศึกษาพื้นที่ที่ 1 ในตัวอย่างดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ ได้แก่ พื้นที่เกษตรอินทรีย์ และอำเภอพร้าวคอกสะแกด จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์บริเวณคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และพื้นที่เกษตรอินทรีย์ในมหาวิทยาลัยแม่โจ้อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนเมษายน 2555 ถึงเดือนพฤษภาคม 2555

ทำการศึกษาพื้นที่ที่ 2 ในตัวอย่างดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ ใน ได้แก่ พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง อำเภอกอกสะแกด จังหวัดเชียงใหม่ และ พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะलग อำเภอมะริม จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2553 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2553

การทดลองที่ 2 ศึกษาบทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินในระบบการปลูกพืชอินทรีย์

2.1 ศึกษาสมบัติของปุ๋ยมูลไส้เดือนและมูลหมุ่คูลูก ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติดิน และการเจริญเติบโตของคะน้า

ตาราง 5 แผนการทดลอง โดยการใส่สปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยหมัก

ทรีทเมนต์	สัญลักษณ์	ซ้ำ
Control	CONT	4
Vermicompost	VER	4
Vermicompost + <i>G. etunicatum</i>	Vet	4
Vermicompost + <i>G. geosporum</i>	Vge	4
Pig manure	PIG	4
Pig manure+ <i>G. etunicatum</i>	Pet	4
Pig manure + <i>G. geosporum</i>	Pge	4

2.1.1 การเตรียมปุ๋ยหมัก

นำมูลไส้เดือนและมูลหมูมาคลุกกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ได้จากการแยกสปอร์จากดินในพื้นที่ต่างๆ ตามทริทเมนต์ดังกล่าว ซึ่ง *G. etunicatum* และ *G. geosporum* เป็นชนิดที่พบปริมาณสูงและมีความหนาแน่นสูงในพื้นที่ทำการทดลองที่ 1 จึงเลือกนำมาใช้ทำการทดลองที่ 2 โดยใช้จำนวนทริทเมนต์ละ 5 สปอร์ต่อปุ๋ย 50 กรัม เมื่อหมักครบ 2 เดือนก็จะนำปุ๋ยมาผึ่งลมให้แห้งและเก็บปุ๋ยในถุงที่ปิดมิดชิดแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยและทดสอบพืช ดังตาราง 5



ภาพ 2 ลักษณะสปอร์ของ *G. etunicatum*



ภาพ 3 ลักษณะสปอร์ของ *G. geosporum*

2.1.2 การเตรียมดินและต้นพืชทดลอง

นำดินซุดน้ำพองซึ่งเป็นดินทรายปนดินร่วนและมีธาตุอาหารต่ำจึงเหมาะแก่การนำมาทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มาผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำไปอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที จากนั้นซังดินใส่กระถาง 2 กิโลกรัมแล้วทำการปลูกคะน้าโดยหยอดเมล็ด การใส่ปุ๋ยดัง ตาราง 4 จะใส่ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะใส่รองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่สองเมื่อคะน้ามีอายุได้ 20-25 วันใส่ปุ๋ยอัตรา 1 กิโลกรัมต่อไร่ และจะทำการเก็บเกี่ยวเมื่อคะน้ามีอายุ 45 วัน

2.2 ศึกษาบทบาทของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อไกลมาดิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ล้านปีตอง 1 ในระบบเกษตรอินทรีย์

วางแผนการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ โดยมี 8 ทริทเมนต์ แบ่งตามการปลูกข้าว 2 ระบบน้ำ คือขังน้ำและไม่ขังน้ำ ดังนี้ ทริทเมนต์ที่ 1-4 เป็นการปลูกข้าวแบบไม่ขังน้ำ โดยมีทริทเมนต์ ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* ตามลำดับ และทริทเมนต์ที่ 5-8 เป็นการปลูกข้าวแบบขังน้ำ โดยมีทริทเมนต์

ดังนี้ ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* ตามลำดับ ดังตาราง 6

ตาราง 6 แผนการทดลองโดยการใส่หัวเชื้อดินเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพน้ำขัง และไม่ขังน้ำ

ทรีทเมนต์	สัญลักษณ์	จำนวนซ้ำ
Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ไม่ขังน้ำ	W1T0	4
<i>G. geosporum</i> + ไม่ขังน้ำ	W1T1	4
<i>G. etunicatum</i> + ไม่ขังน้ำ	W1T2	4
<i>A. foveata</i> + ไม่ขังน้ำ	W1T3	4
Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำ	W2T0	4
<i>G. geosporum</i> + ขังน้ำ	W2T1	4
<i>G. etunicatum</i> + ขังน้ำ	W2T2	4
<i>A. foveata</i> + ขังน้ำ	W2T3	4



5.๓๓

ภาพ 4 ลักษณะสปอร์ของ *A. foveata*

2.2.1 การเพาะและขยายสปอร์ของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพกระถาง (pot culture)

การเพาะเชื้อเพื่อเพิ่มปริมาณของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สามารถทำได้ โดยการเพาะเลี้ยงเชื้อราให้เจริญร่วมกับข้าวฟ่าง โดยการนำดินชุดน้ำพองและทรายมาผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำไปอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที ติดต่อกัน 3 วัน จากนั้นนำทรายผสมดินชุดน้ำพองอัตรา 1:1 โดยปริมาตร แล้วชั่งดินใส่กระถาง 7 กิโลกรัม ทำการปลูกข้าวฟ่างโดยหยอดเมล็ด แล้วใส่สปอร์เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา รดน้ำด้วยสารละลาย Hoagland 's solution โดยมรฟอสฟอรัสเต็มสูตร เมื่อข้าวฟ่างอายุได้ประมาณ 3 เดือนทำการเก็บเกี่ยวโดยการตัดพืชเหนือดิน จากนั้นเก็บดินพร้อมรากนำมาผึ่งลมให้แห้ง แล้วเก็บดินนี้ไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท แล้วเก็บในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 4 – 5 องศาเซลเซียส หรืออาจปล่อยให้ดินในกระถางเพาะเชื้อค่อย ๆ แห้งที่อุณหภูมิห้อง (ชงชัย, 2550)

2.2.2 การเตรียมดินปลูกและต้นพืชทดลอง

นำดินชุดทางดงซึ่งเป็นดินร่วนปนดินเหนียว อุดมไปด้วยอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารปานกลาง เหมาะแก่การปลูกข้าวและทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาผึ่งให้แห้งด้วยลม แล้วร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง 1.5 กิโลกรัม เติมน้ำลงไปแล้วคลุกให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นนำหัวเชื้อดินมาใส่รองก้นหลุมตามทริทเมนต์ อัตรา 500 กรัมต่อกระถาง (อัตราส่วน 3:1) จากนั้นนำดินกล้าข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 อายุ 14 วัน มาปลูกลงในกระถางพอครบ 14 วันก็ทำการควบคุมความชื้น โดยแบ่งเป็น 2 ชุด โดยชุดแรก ควบคุมความชื้นที่ -0.3 bar และชุดที่สองจะขังน้ำเหนือดิน 2 เซนติเมตร พืชอายุได้ 2 เดือนทำการเก็บเกี่ยวตามแผนการทดลอง ดังตาราง 5

2.2.3 การตรวจหาเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าว

การตรวจหาเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาด้วยการย้อมสีรากพืช โดยนำตัวอย่างรากพืชมาล้างน้ำให้สะอาดตัดเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร เติมน้ำยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (10% KOH) นำไปนึ่งในหม้อนึ่งความดันไ้อุณหภูมิประมาณ 121 องศาเซลเซียส นานประมาณ 4 นาที แล้วล้างผ่านตะแกรงด้วยน้ำจืดไม่มีน้ำยา KOH ติดอยู่ นำไปย้อมด้วย 0.05% trypan blue ใน lactoglycerol นำไปนึ่งในหม้อนึ่งความดันไ้อุณหภูมิไม่เกิน 121 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที จากนั้นนำรากวางบนสไลด์แล้วส่องดูใต้กล้องจุลทรรศน์

2.2.4 การวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ย สมบัติของดิน และธาตุอาหารพืช

1) การวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

1. การวัดความเป็นกรด ด่าง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
2. การวัดค่าการนำไฟฟ้า (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
3. อินทรีย์คาร์บอน (Nelson and Sommers, 1996)
4. ไนโตรเจนทั้งหมด (Bremner, 1965)
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Jones et al., 1991)
6. โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด (Walinga et al., 1989)
7. การวิเคราะห์ไกลมาลิน โดยเทคนิค Bradford dye-binding assay (Wright et al., 1996)

2) การวิเคราะห์สมบัติของดิน

1. การวิเคราะห์ไกลมาลิน โดยเทคนิค Bradford dye-binding assay (Wright et al., 1996)
2. การหาความคงทนของเม็ดดิน (Wright and Upadhyaya, 1998)
3. การวัดความเป็นกรด ด่างในดิน โดยใช้สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (V/V) (Thomas, 1996)
4. การวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:5 (V/V) (Anderson and Ingram, 1993)
5. การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน โดยวิธีวอล์คเลย์-แบลค (Walkley and Black, 1934)
6. การสกัดปริมาณฟอสฟอรัสที่มีประโยชน์ โดยวิธีโมลิบดีนัมบลู (Murphy and Riley, 1962)
7. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl Method (Bremner, 1965)
8. ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยการสกัดตัวอย่างดินด้วยแอมโมเนียมอะซิเตรท (Peech, 1945)
9. ปริมาณสังกะสีในดิน (จำเป็น, 2547)

3) การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

1. ไนโตรเจนทั้งหมด (Bremner, 1965)

2. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Jones et al., 1991)
3. โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด (Walinga et al., 1989)
4. ปริมาณสังกะสีในพืช (จำเป็น, 2547)

4) การบันทึกผลการเจริญเติบโตของคะน้าและข้าว

1. วัดความสูงของต้น โดยใช้ตลับเมตรวัดทุกๆ 7 วันหลังปลูก (วัดจากโคนลำต้นถึงยอด)
2. น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง นำต้นคะน้ามาชั่งน้ำหนักสด แล้วนำไปอบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงแล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ Analysis of Variances (ANOVA) โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Split plot design ในประเด็นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาต่อกลุ่มสารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของคะน้า โดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และวิเคราะห์ Analysis of Variances (ANOVA) โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Factorial Design ในประเด็น ผลการใส่หัวเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยใช้ ANOVA และ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

พื้นที่และระยะเวลาการศึกษา

การทดลองที่ 2.1 พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา คือ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ระหว่างเดือนธันวาคม 2553 ถึงเดือนพฤษภาคม 2554

การทดลองที่ 2.2 พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา คือ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ระหว่างเดือนมิถุนายน 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2554

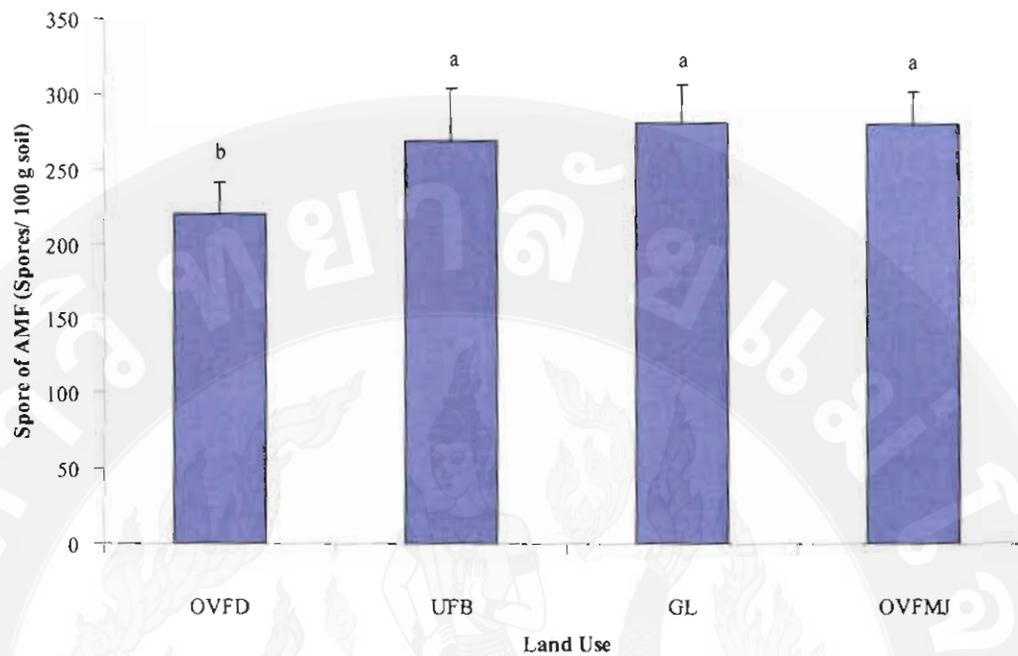
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบวิธีการร่อนสปอร์เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และศึกษา รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดและความหลากหลายของเชื้อราอับสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาและโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

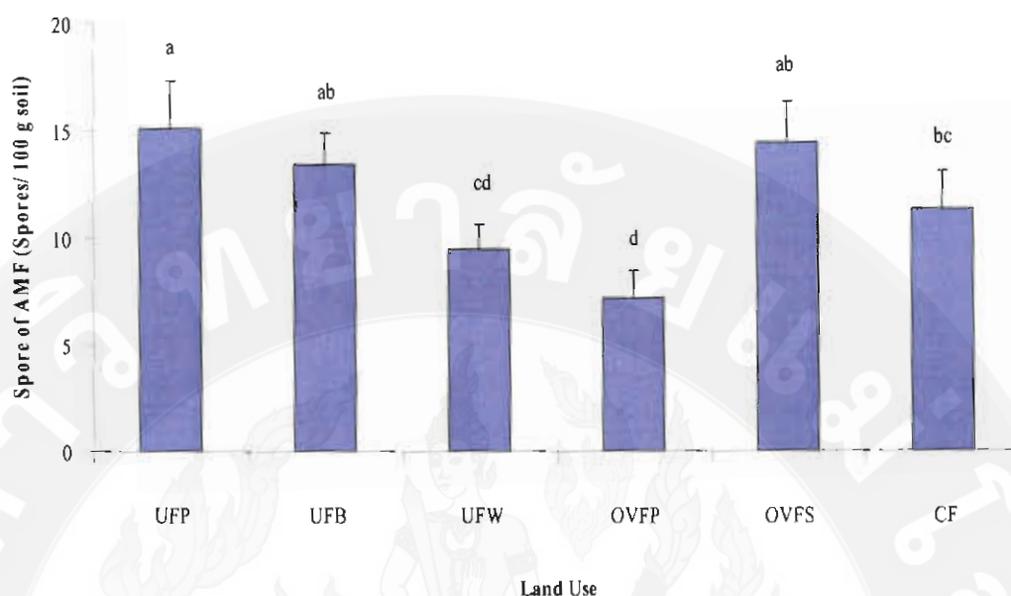
รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อจำนวนสปอร์ของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการศึกษาพื้นที่ที่ 1 พบว่า จำนวนสปอร์เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่เกษตรอินทรีย์คอกสะเก็ด พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ มีจำนวนสปอร์ในพื้นที่ต่างๆ เท่ากับ 220, 269, 281 และ 280สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ โดยพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 281 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และพื้นที่เกษตรอินทรีย์คอกสะเก็ดมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 220 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ดังภาพ 5 จากการศึกษพื้นที่ที่ 2 พบว่า จำนวนสปอร์เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลวง และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ มีจำนวนสปอร์ในพื้นที่ต่างๆ เท่ากับ 15, 13, 9, 7, 14 และ 11 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ โดยพื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 15 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และพื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดงมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 7 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ดังภาพ 6 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าในพื้นที่ที่ 1 จะพบจำนวนสปอร์เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงกว่าพื้นที่ที่ 2 เนื่องจากพื้นที่ที่ 1 ในการร่อนสปอร์ใช้มือกดดินให้เม็ดดินกระจายก็ทำให้สปอร์ที่อยู่ในช่องเม็ดดินออกมามาก ขณะเดียวกันการใช้แท่งแก้วคนดินอาจทำให้สปอร์แตก จึงพบสปอร์ต่ำกว่าใช้มือกดดิน ซึ่งทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์จะมีจำนวนสปอร์ไมคอร์ไรซาใกล้เคียงกับพื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ แต่สูงกว่าพื้นที่ป่าใช้สอยและพื้นที่เกษตรอินทรีย์คอกสะเก็ด ส่วนพื้นที่ป่าใช้สอยอำเภอพร้าวมีจำนวนสปอร์สูงที่สุด และพื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดงมีจำนวนสปอร์ต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นความแตกต่างของการใช้ที่ดิน (Stefanoel et al., 2007) สภาพพื้นที่ และชนิดพืชอาศัยที่มีผลต่อความหนาแน่น ความหลากหลายของสายพันธุ์อับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Franke-snyder et al., 2001) ในขณะที่พื้นที่เกษตรมีจำนวนอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่ำที่สุดเนื่องจากการไถพรวนดินซึ่งจะลดกิจกรรมและจำนวนไมคอร์ไรซา (สุภธิตา และคณะ, 2552)



ภาพ 5 จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่แยกได้จากดินพื้นที่ต่างๆในพื้นที่ที่ 1

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) OVFD= พื้นที่เกษตรอินทรีย์ดอยสะเก็ด UFB= พื้นที่ป่าไร่สอยบ้านโป่ง GL= พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ OVFMJ= พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้



ภาพ 6 จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่แยกได้จากดินพื้นที่ต่างๆในพื้นที่ที่ 2

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) UFP= พื้นที่ป่าใช้สอยพรวน UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง UFW= พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก OVFP= พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง OVFS= พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลงง CF= พื้นที่ป่าอนุรักษ์

รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการศึกษาพื้นที่ที่ 1 พบว่าชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่เกษตรอินทรีย์คอยสะเกิด พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ พบเชื้อ *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora* และ *Scutellospora* ซึ่ง Genus *Glomus* พบมากที่สุด ดังตาราง 7

ตาราง 7 ชนิดและจำนวนสปอร์ของเชื้อราอับัสคูลาไมคอร์ไรซาในพื้นที่การศึกษาที่ 1

ชนิดของเชื้อราอับัสคูลาไมคอร์ไรซา	พื้นที่ศึกษา (จำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม)			
	OVFD	UFB	GL	OVFMJ
<i>A. capsicula</i>	8	8	0	8
<i>A. foveata</i>	9	16	9	10
<i>A. mellea</i>	8	0	0	0
<i>A. scrobiculata</i>	6	0	0	0
<i>A. tuberculata</i>	0	0	4	0
<i>G. claroideum</i>	9	9	4	8
<i>G. clarum</i>	13	27	5	4
<i>G. coronatum</i>	4	4	8	4
<i>G. diaphanum</i>	18	4	0	0
<i>G. eburneum</i>	4	7	0	4
<i>G. etunicatum</i>	34	37	56	50
<i>G. fistulosum</i>	0	4	0	0
<i>G. geosporum</i>	8	18	31	0
<i>G. lamellosum</i>	18	5	4	16
<i>G. luteum</i>	27	27	12	10
<i>G. manihotis</i>	21	16	11	98
<i>G. mosseae</i>	7	8	34	16
<i>G. sinuosum</i>	6	6	4	4
<i>G. spurcum</i>	4	32	0	4
<i>G. verruculosum</i>	28	4	0	8
<i>G. versiforme</i>	4	0	0	0
<i>G. viscosum</i>	24	8	4	18
<i>Gi. albida</i>	4	28	4	24

ตาราง 7 (ต่อ)

ชนิดของเชื้อราอาบัส	(จำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม)			
	OVFD	UFB	GL	OVFMJ
<i>Gi. decipiens</i>	0	0	4	0
<i>Gi. rosea</i>	0	0	0	4
<i>S. calospora</i>	4	4	4	0
<i>S. coralloidea</i>	43	70	83	62
<i>S. dipurpurascens</i>	0	4	52	0
<i>S. erythropha</i>	8	12	25	13
<i>S. fulgida</i>	0	0	4	0
<i>S. gregaria</i>	0	0	4	0
<i>S. heterogama</i>	4	4	4	0
<i>S. persica</i>	0	0	8	0
<i>S. scutata</i>	4	10	4	0

หมายเหตุ: n=4 OVFD= พื้นที่เกษตรอินทรีย์คอกยสะเกิด UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง GL= พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ OVFMJ= พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่ใจ

จากการศึกษาพื้นที่ที่ 2 พบว่าชนิดของเชื้อราอาบัสสกุลารไมคอร์ไรซาในพื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะलग และพื้นที่ป่านุรักษ์ พบเชื้อ *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora* และ *Scutellospora* ซึ่ง Genus *Glomus* พบมากที่สุด ดังตาราง 8

ตาราง 8 ชนิดและจำนวนสปอร์ของเชื้อราออบัสคูลาไมคอร์ไรซาในพื้นที่การศึกษาที่ 2

ชนิดของเชื้อราออบัสคูลาไมคอร์ไรซา	พื้นที่ศึกษา (จำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม)					
	UFP	UFB	UFW	OVFP	OVFS	CF
<i>A. foveata</i>	2	3	2	1	1	1
<i>G. claroideum</i>	1	1	2	1	5	1
<i>G. geosporum</i>	1	5	2	1	1	2
<i>G. etunicatum</i>	2	2	4	3	3	2
<i>G. mosseae</i>	0	1	0	1	4	5
<i>Gigaspora</i> sp.	7	1	0	0	0	0
<i>Scutellospora</i> sp.	2	1	0	0	0	0

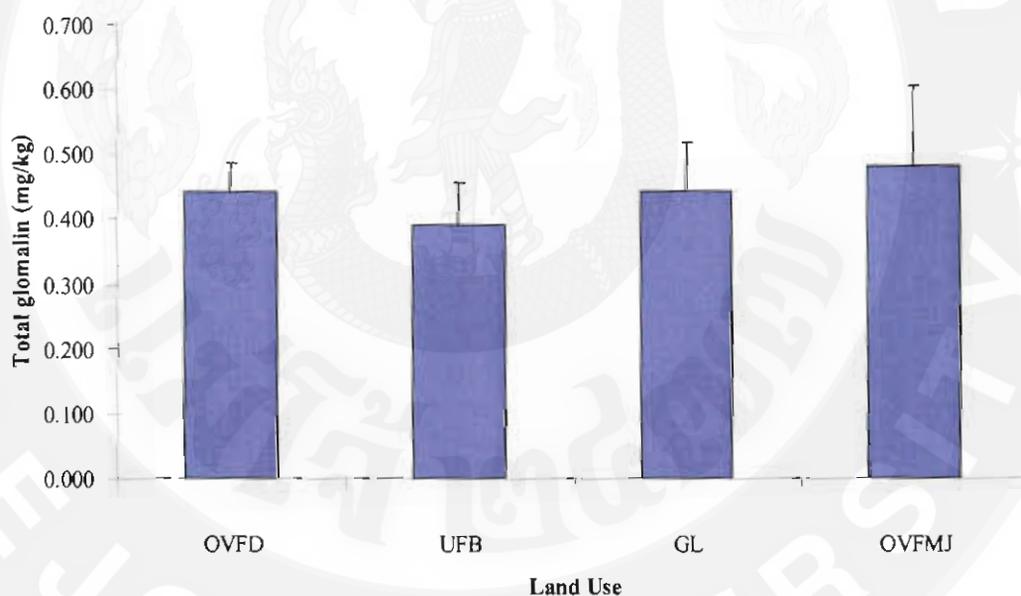
หมายเหตุ: n=4 UFP= พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง UFW= พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก OVFP= พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง OVFS= พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะलग CF= พื้นที่ป่าอนุรักษ์

รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อสมบัติของดิน

1. สารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total glomalin)

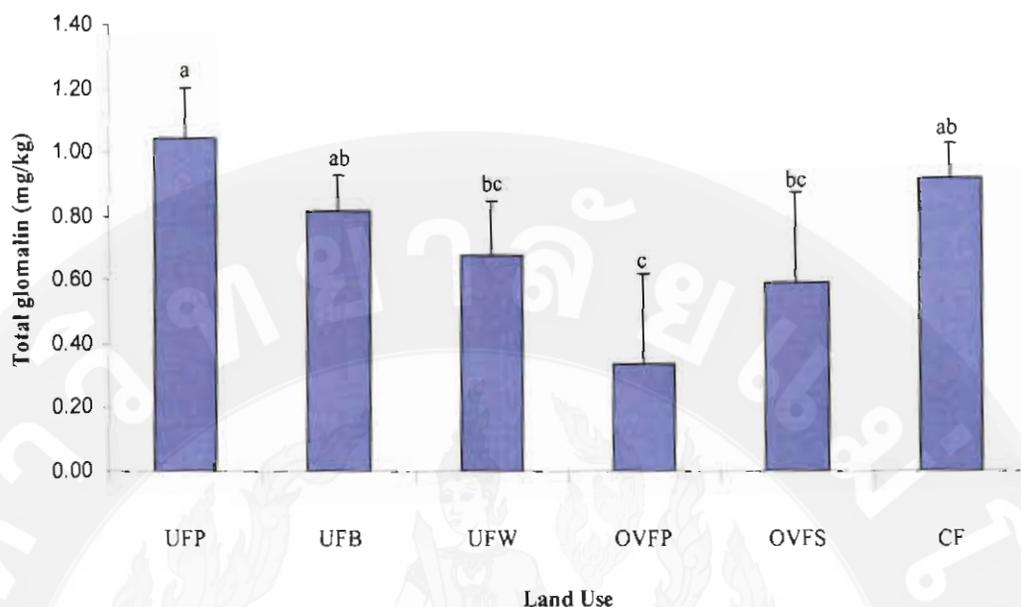
จากการศึกษาพื้นที่ที่ 1 ในการใช้ที่ดินแบบต่างๆในพื้นที่เกษตรอินทรีย์คดยสะละกิด พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ พบว่าปริมาณของสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.44, 0.39, 0.44 และ 0.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพื้นที่เกษตรอินทรีย์มหาวิทยาลัยแม่โจ้มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปงมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 7 จากการศึกษพื้นที่ที่ 2 พบว่าสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในพื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะलग และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ มีปริมาณของสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1.04, 0.81, 0.67, 0.33, 0.59 และ 0.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดงมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 8 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ 1 พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้จะมีสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดสูงกว่าพื้นที่ป่าใช้สอย และทุ่งหญ้า

เลี้ยงสัตว์ ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนสปอร์เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและสาร โกลมาลินนี้ถูกสร้างจากเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งในพื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้มีจำนวนสปอร์เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงทำให้มีสาร โกลมาลินสูงขึ้นด้วย (Wright and Upadhyaya, 1998) ส่วนพื้นที่ที่ 2 พบว่าปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดจะสูงในพื้นที่ป่า เนื่องจากเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาผลิตสาร โกลมาลิน ซึ่งในพื้นที่ป่ามีจำนวนสปอร์เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงทำให้มีสาร โกลมาลินสูงขึ้นด้วย และพื้นที่ป่าได้รับการรบกวนน้อยทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินจึงทำให้พื้นที่ป่ามีปริมาณ โกลมาลินสูงกว่าพื้นที่เกษตร (Rillig, 2003) และความเข้มข้นของสาร โกลมาลินขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Rillig et al., 2003) การไถพรวน (Wright et al., 1999) และการปลูกพืชหมุนเวียน (Wright and Anderson, 2000)



ภาพ 7 ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total glomalin) ในดินจากพื้นที่ที่ 1

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) OVFD= พื้นที่เกษตรอินทรีย์ดอยสะเก็ด UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง GL= พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ OVFMJ= พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้



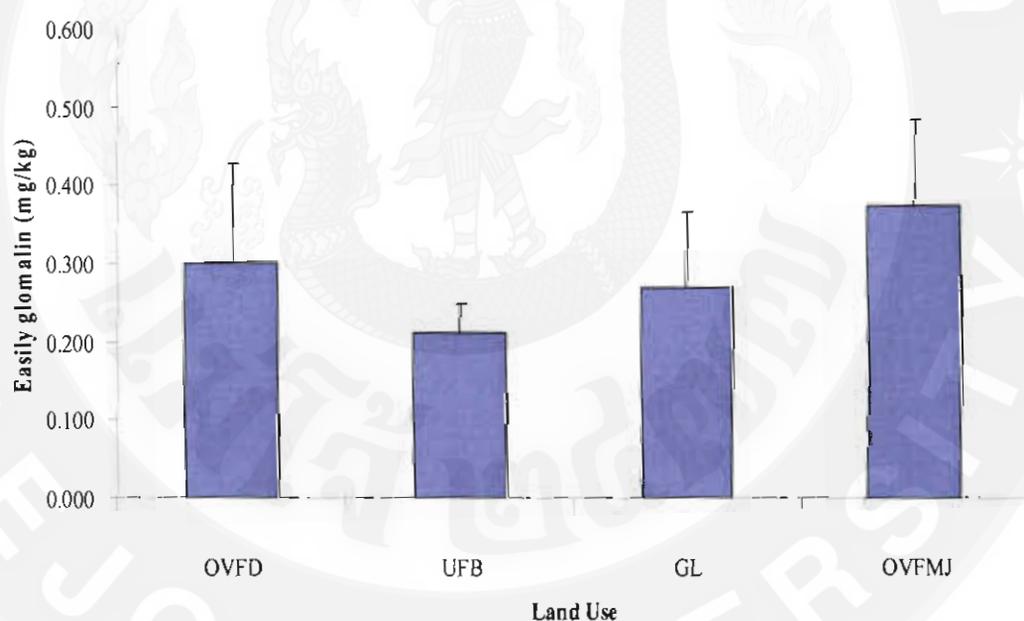
ภาพ 8 ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total glomalin) ในดินจากพื้นที่ที่ 2

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) UFP= พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง UFW= พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก OVFP= พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง OVFS= พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลงง CF= พื้นที่ป่าอนุรักษ์

2. สารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily glomalin)

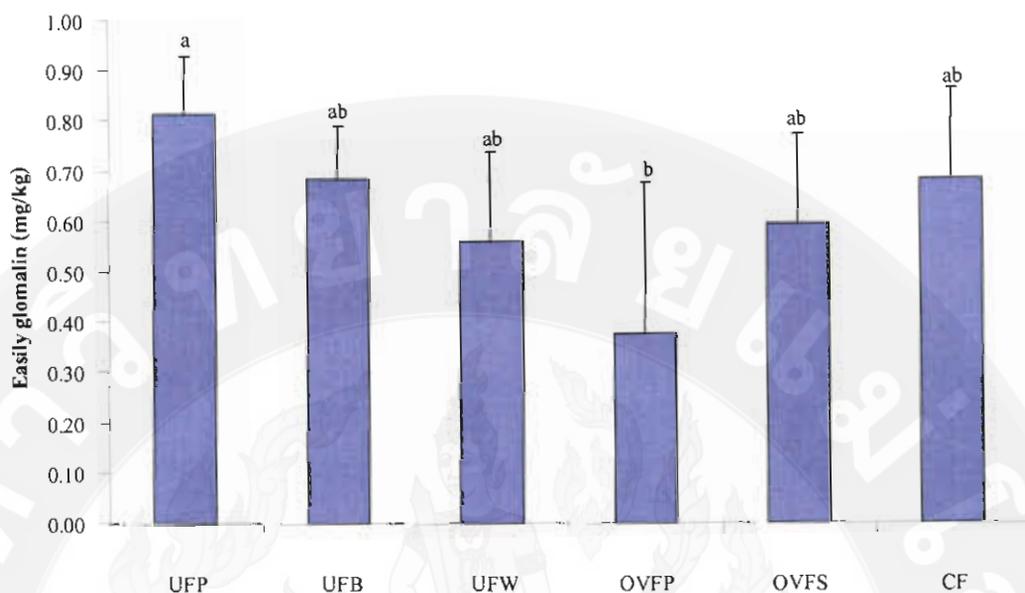
จากการศึกษาพื้นที่ที่ 1 พบว่าสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายในพื้นที่เกษตรอินทรีย์คอยสะเก็ด พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ มีปริมาณของสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีค่าเท่ากับ 0.30, 0.21, 0.27 และ 0.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพื้นที่เกษตรอินทรีย์มหาวิทยาลัยแม่โจ้มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปงมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 9 จากการศึกษพื้นที่ที่ 2 พบว่าสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายในพื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลงง และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ มีปริมาณของสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีค่าเท่ากับ 0.81, 0.68, 0.56, 0.37, 0.59, 0.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดงมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 10 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ 1 พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้จะมีสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดสูงกว่าพื้นที่ป่าใช้สอย และทุ่งหญ้าเลี้ยง

สัตว์ ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนสปอร์เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและสาร โกลมาลินนี้ถูกสร้างจากเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งในพื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้มีจำนวนสปอร์เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงทำให้มีสาร โกลมาลินสูงขึ้นด้วย (Wright and Upadhyaya, 1998) และพื้นที่เกษตรอินทรีย์มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เช่น ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก ซึ่งปุ๋ยดังกล่าวเมื่อย่อยสลายแล้วจะสะสมสารอินทรีย์อาจทำให้เพิ่มสาร โกลมาลินด้วย ส่วนพื้นที่ที่ 2 ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่ายจะสูงในพื้นที่ป่าได้รับการรบกวนน้อยทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินจึงทำให้พื้นที่ป่ามีปริมาณ โกลมาลินสูงกว่าพื้นที่เกษตร (Rillig, 2003) ในขณะที่เดียวกันปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่ายจะมีปริมาณสูงกว่าสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Wright and Uppadhyaya, 1998) และความเข้มข้นของสาร โกลมาลินขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Rillig et al., 2003) การไถพรวน (Wright et al., 1999) และการปลูกพืชหมุนเวียน (Wright and Anderson, 2000)



ภาพ 9 ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily glomalin) ในดินจากพื้นที่ที่ 1

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) OVFD= พื้นที่เกษตรอินทรีย์คอกสะเก็ด UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง GL= พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ OVFMJ= พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้



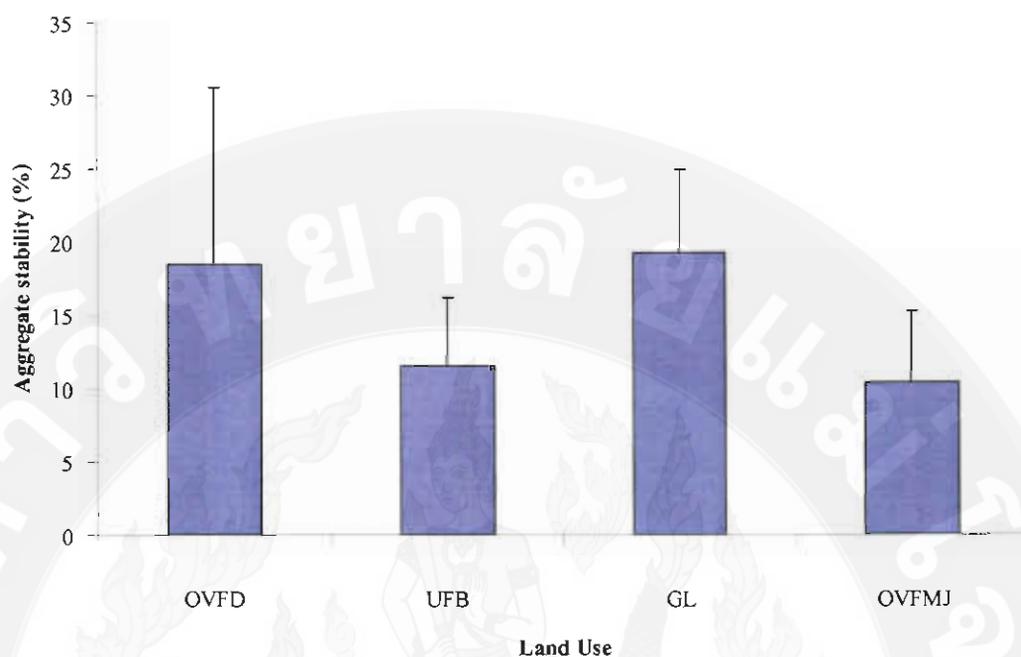
ภาพ 10 ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily glomalin) ในดินจากพื้นที่ที่ 2

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) UFP= พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง UFW= พื้นที่ป่าใช้สอยวิวก OVFP= พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง OVFS= พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลงง CF= พื้นที่ป่าอนุรักษ์

3. ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability)

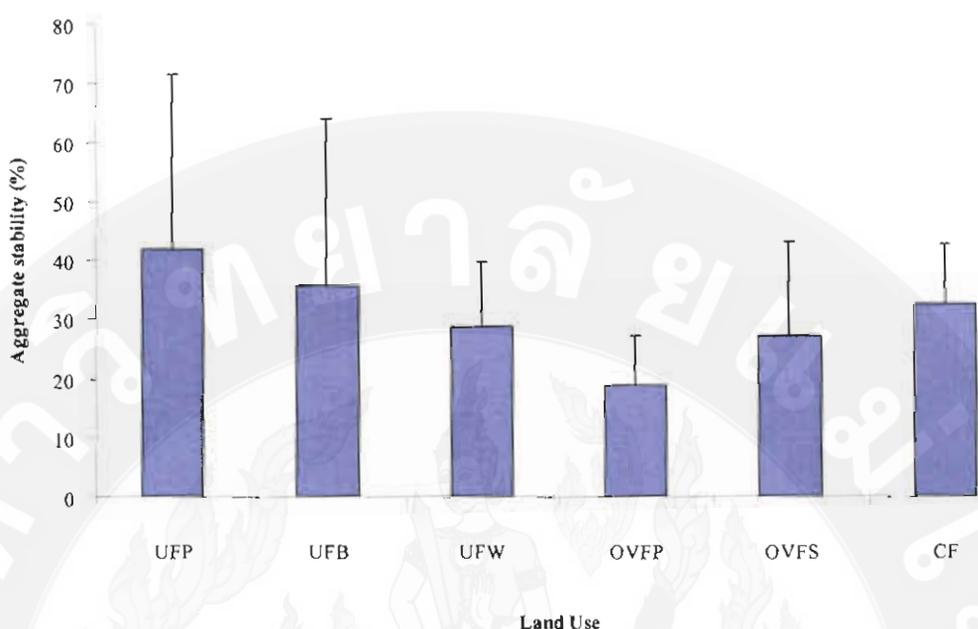
ความคงทนของเม็ดดินมีความสำคัญต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเม็ดดินควรมีความทนทานต่อแรงเสียดสีหรือแรงปะทะต่างๆ ได้ โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรนั้นหากอนุภาคดินแตกก็จะไปอุดตันในช่องว่างทำให้น้ำซึมลงสู่ดินได้ยากก็จะพัฒนาเอาหน้าดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ออกไปจากพื้นที่ ทำให้พื้นที่ดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกเนื่องจากขาดธาตุอาหาร และมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (มัตติกา, 2530) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความคงทนของเม็ดดินมีหลากหลายประการ เช่น แร่ดินเหนียว อินทรีย์วัตถุ เส้นใยจากเชื้อรา (สุชาติ, 2530) จากการศึกษาพื้นที่ 1 การใช้ที่ดินแบบต่างๆในพื้นที่เกษตรอินทรีย์คอยสะเก็ด พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ พบว่าความคงทนของเม็ดดินมีค่าเท่ากับ 18.45, 11.56, 19.24 และ 10.38 เปอร์เซ็นต์ โดยพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 19.24 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่ไม้เกษตรอินทรีย์แม่โจ้มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 10.38 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 11 จากการศึกษาพื้นที่ที่ 2

การใช้ที่ดินแบบต่างๆในพื้นที่ป่าใช้สอยพรวน พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลง และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ พบว่าความคงทนของเม็ดดินมีค่าเท่ากับ 41.88, 35.44, 28.83, 18.93, 27.21 และ 32.36เปอร์เซ็นต์ โดยพื้นที่ป่าใช้สอยพรวนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 41.88 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดงมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 18.93 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 12 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ 1 พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ มีความคงทนของเม็ดดินสูงกว่าพื้นที่ป่าใช้สอย และพื้นที่เกษตรอินทรีย์ แต่ทุกพื้นที่ที่มีความคงทนเม็ดดินที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากเชื้อราอาบัสคูลารีไมคอร์ไรซาผลิตสาร โกลมาลิน ซึ่งปริมาณ โกลมาลิน สูงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเกาะยึดของอนุภาคดินตามไปด้วย (Wright and Upadhyaya, 1998) ส่วนการศึกษาพื้นที่ที่ 2 พบว่าพื้นที่ป่าใช้สอยพรวน มีความคงทนของเม็ดดินสูงเนื่องจากเชื้อราอาบัสคูลารีไมคอร์ไรซาผลิตสาร โกลมาลิน ซึ่งปริมาณ โกลมาลิน สูงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเกาะยึดของอนุภาคดิน และเกิดจากความแตกต่างของพืชพรรณ (Rillig et al., 2002) โดยอนุภาคดินจะเชื่อมยึดเข้าด้วยกันโดยลักษณะทางกายภาพของเส้นใยเชื้อ และรากพืช ซึ่งจะซอนไซไปตามส่วนต่างๆของดินทำให้อนุภาคดินถูกยึดอยู่ในกลุ่มเส้นใยจึงเกิดเม็ดดินที่เสถียรขึ้นมาได้ (สุชาติ, 2530) ขณะที่พื้นที่เกษตรมีความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดเนื่องจากการไถพรวนทำให้อนุภาคเม็ดดินแตกได้ (Wright et al., 1999) นอกจากนี้ความคงทนของเม็ดดินยังขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณเหนียว อายุการใช้ที่ดิน และการรบกวนดินในแต่ละพื้นที่ด้วย



ภาพ 11 ความคงทนของเม็ดดินในดิน (Soil Aggregate Stability) จากพื้นที่ที่ 1

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) OVFD= พื้นที่เกษตรอินทรีย์คอยสะแก UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง GL= พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ OVFMJ= พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้



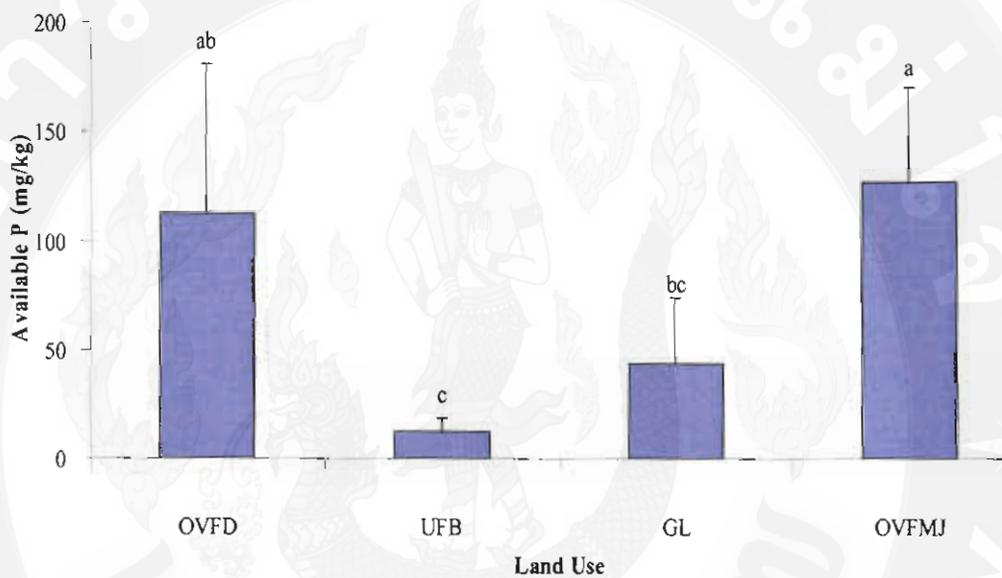
ภาพ 12 ความคงทนของเม็ดดินในดิน (Soil Aggregate Stability) จากพื้นที่ที่ 2

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) UFP= พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง UFW= พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก OVFP= พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง OVFS= พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลง CF= พื้นที่ป่าอนุรักษ์

4. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก โดยทำหน้าที่เป็นควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างภายในพืชให้คงที่ ขณะเดียวกันก็เป็นแหล่งวัตถุดิบของกระบวนการสร้างสารต่างๆ โคนเฉพาะสารที่เกี่ยวข้องกับระบบการถ่ายทอดพลังงานในพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544) จากการศึกษาพื้นที่ที่ 1 การใช้ที่ดินแบบต่างๆ ในพื้นที่เกษตรอินทรีย์คอยสะเก็ด พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ พบว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเท่ากับ 111.79, 12.30, 43.28 และ 126.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพื้นที่ไม้เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 126.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปงมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 12.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 13 จากผลการศึกษาก็จะเห็นได้ว่าถ้าในดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงจำนวนสปอร์เชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำจำนวนสปอร์เชื้อรา

อาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีค่าสูง สอดคล้องกับ ธงชัย และคณะ (2541) ซึ่งประเมินประสิทธิภาพเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการดูดฟอสฟอรัสของข้าวโพดและถั่วเหลือง พบว่า เมื่อมีการใส่หินฟอสเฟตลงไปมากขึ้นบทบาทของเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดจะลดลง ส่วนในถั่วเหลืองพบว่าค่าเฉลี่ยการเข้าสู่รากพืชจะลดลงเมื่อใส่หินฟอสเฟตมากขึ้น

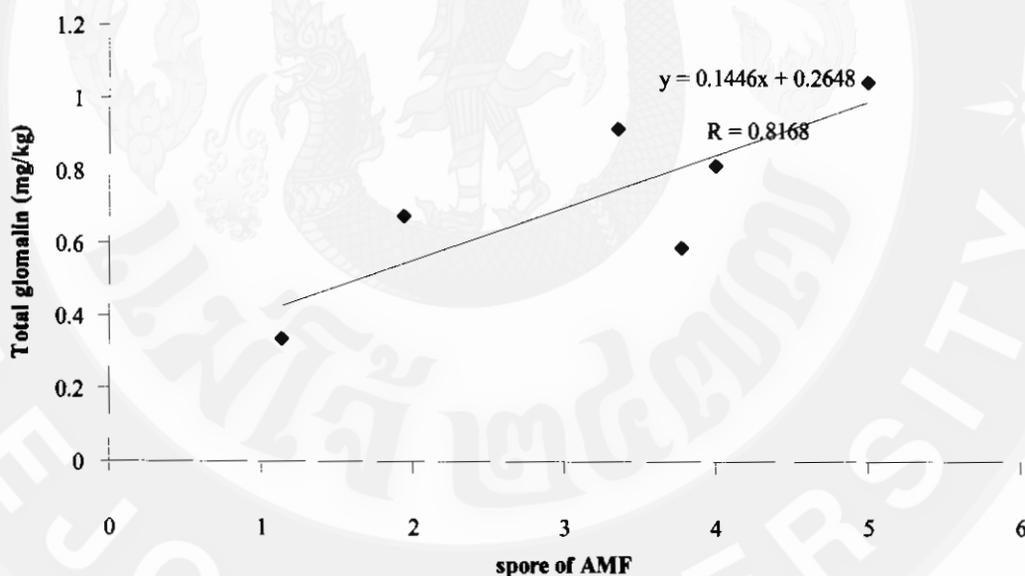


ภาพ 13 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ในดินจากจากพื้นที่ที่ 1

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) OVFD= พื้นที่เกษตรอินทรีย์ดอยสะเก็ด UFB= พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง GL= พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ OVFMJ= พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้

5. ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด

จากการศึกษาความหลากหลายของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ พบว่าจำนวนเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อนำไปหาค่าความสัมพันธ์กับปริมาณโกลมาลินพบว่าสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโกลมาลิน ($p < 0.001$) โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.8168 กล่าวคือจำนวนสปอร์เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้นปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพ 14 จากผลการศึกษายืนยันได้ว่าเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Stefano et al., 2007) เนื่องจากสารโกลมาลินเป็นสารอินทรีย์ที่ผลิตจากเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Wright and Uppadhyaya, 1998)

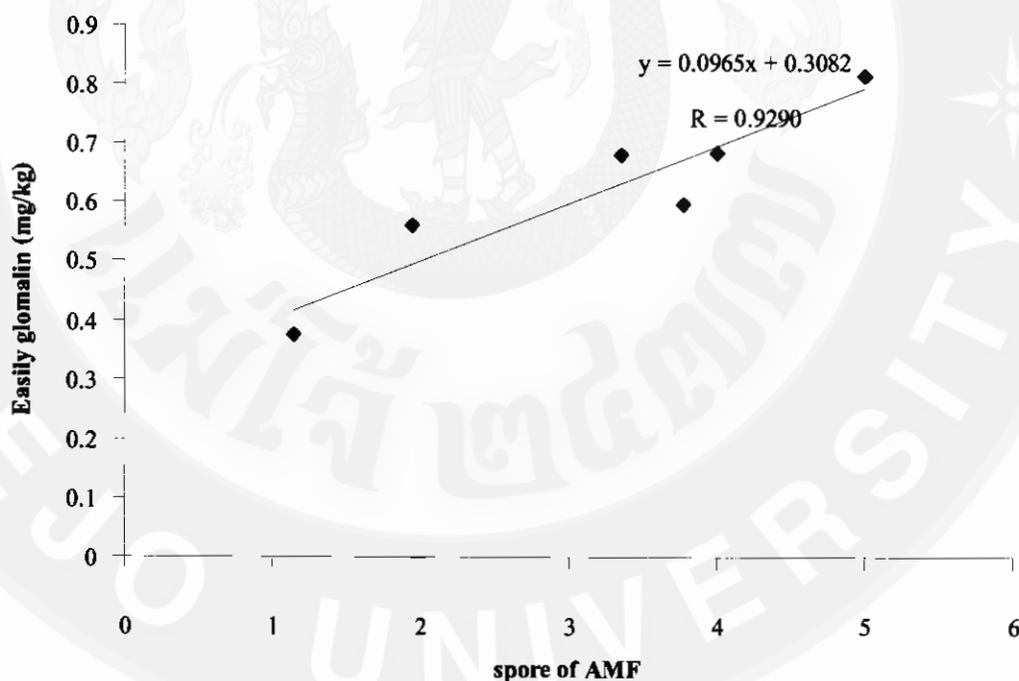


ภาพ 14 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดินจากพื้นที่ต่างๆ

6. ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสารโกลมาลินที่สกัดได้

ง่าย

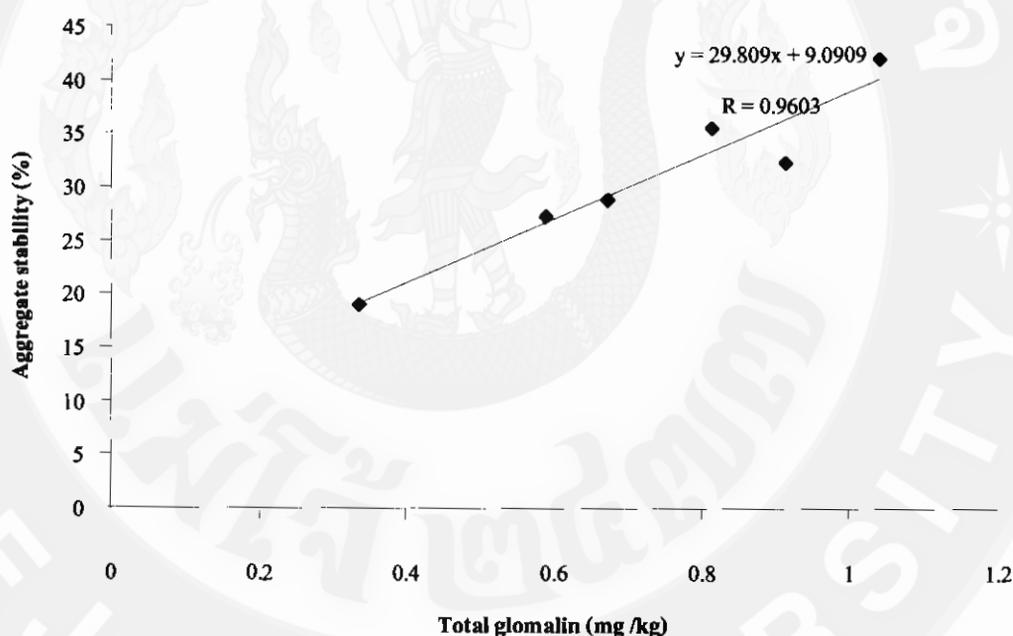
จากการศึกษาความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ พบว่าจำนวนเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อนำไปหาค่าความสัมพันธ์กับปริมาณโกลมาลินพบว่ามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโกลมาลิน ($p < 0.001$) โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.9290 กล่าวคือจำนวนสปอร์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้นปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพ 15 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Stefano et al., 2007) เนื่องจากสารโกลมาลินเป็นสารอินทรีย์ที่ผลิตจากเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Wright and Uppadhyaya, 1998)



ภาพ 15 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายในดินจากพื้นที่ต่างๆ

7. ความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดกับความคงทนเม็ดดิน

จากการศึกษาสารโกลมาลินในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ พบว่าปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นส่งผลให้เม็ดดินมีความคงทนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับความคงทนของเม็ดดินพบว่ามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดิน ($p < 0.001$) โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.9603 กล่าวคือปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นความคงทนของเม็ดดินเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพ 16 จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นว่า ความคงทนของเม็ดดินมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด เนื่องจากปริมาณโกลมาลินส่งผลให้เกิดการเกาะยึดของอนุภาคดินตามไปด้วย และเกิดจากความแตกต่างของพีชพรรณ (Rillig et al., 2002)

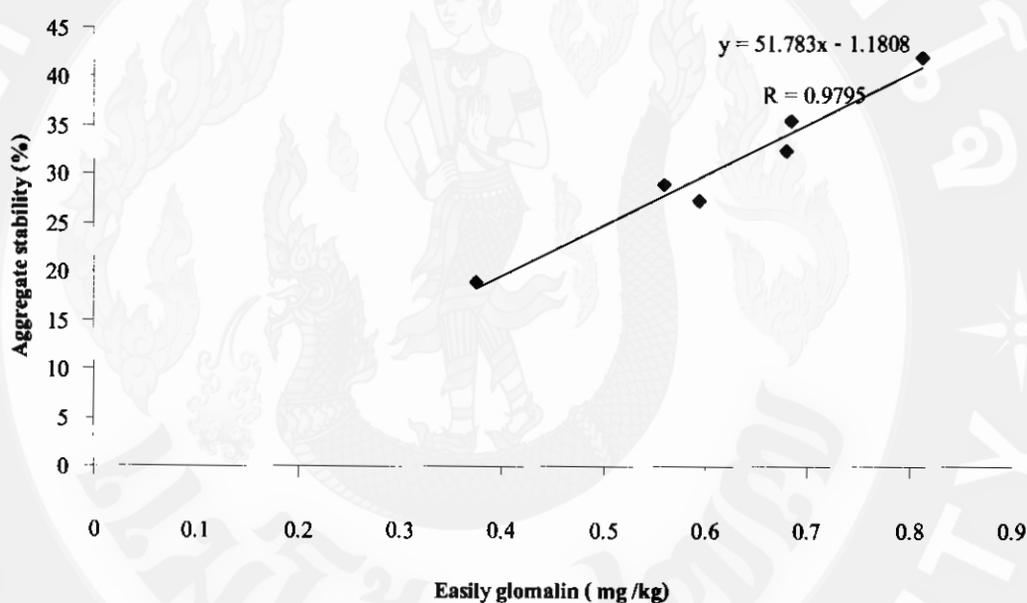


ภาพ 16 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดกับความคงทนของเม็ดดินในดินจากพื้นที่ต่างๆ

8. ความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินสกัดได้ง่ายกับความคงทนเม็ดดิน

จากการศึกษาสารโกลมาลินในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ พบว่าปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายเพิ่มขึ้นส่งผลให้เม็ดดินมีความคงทนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับความคงทนของเม็ดดินพบว่ามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของ

เม็ดดิน ($p < 0.001$) โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.9795 ซึ่งสัมพันธ์สหสัมพันธ์ (r) ของสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีความความสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดินค่อนข้างสูงและสูงกว่าค่าสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดกับความคงทนของเม็ดดิน (ศุภธิดา และคณะ, 2552) กล่าวคือปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายเพิ่มขึ้นความคงทนของเม็ดดินเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพ 17 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ความคงทนของเม็ดดินสัมพันธ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย เนื่องจากปริมาณโกลมาลินส่งผลให้เกิดการเกาะยึดของอนุภาคดินตามไปด้วย และเกิดจากความแตกต่างของพืชพรรณ (Rillig et al., 2002)



ภาพ 17 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่างสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายกับความคงทนของเม็ดดินในดินจากพื้นที่ต่างๆ

ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาบทบาทของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินในระบบการปลูกพืชอินทรีย์

การทดลองที่ 2.1 ผลการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของคะน้า

การทดลองนี้ศึกษาสมบัติของปุ๋ยมูลไส้เดือนและมูลหมูที่ใส่ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติดิน และการเจริญเติบโตของคะน้า โดยปุ๋ยมูลสัตว์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ มูลไส้เดือนดิน และมูลหมู และปุ๋ยแต่ละชนิดจะคลุกร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. etunicatum* และ *G. geosporum*

ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

1. C/N ratio ของปุ๋ย

ค่า C/N ratio คือ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C:N ratio) ถือว่าเป็นดัชนีที่สำคัญในการประเมินความสมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์ (Golueke, 1981) และเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ควรมี C/N ratio ในกองปุ๋ยหมักไม่ควรเกิน 20 (กรมวิชาการเกษตร, 2541) จากการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่า ค่า C/N ratio ของปุ๋ยสูงในสัปดาห์แรก และต่ำในสัปดาห์ที่ 8 โดยสัปดาห์ที่ 8 ปุ๋ยมูลหมูมีค่า C/N ratio ต่ำกว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนซึ่งปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 11.33 ดังตาราง 11 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและมูลหมูที่ไม่ได้คลุกร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีค่า C/N ratio ที่สูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่คลุกร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนและมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* มีค่า C/N ratio ต่ำ เนื่องจากปุ๋ยที่คลุกร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาภายในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีแบคทีเรียที่อาศัยร่วมอยู่ ซึ่งพบในเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาหลายชนิด รวมทั้งแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนภายนอกของผนังเซลล์สปอร์ด้วย (Walley and Gemida, 1996) แบคทีเรียเหล่านี้ยังคงดำเนินกิจกรรมอยู่ จึงส่งผลให้มีการปลดปล่อย CO₂ ออกมาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่ไม่มีเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและกิจกรรมจุลินทรีย์ที่อยู่ในมูลสัตว์จะดำเนินกิจกรรมย่อยการสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ โดย Marschner et al. (2011) รายงานว่าช่วงแรกของการสลายตัวนี้จะเกิดขึ้น

ภายในช่วงสัปดาห์ 1-2 หลังการหมัก ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ จะมีการแข่งขันการใช้สารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งค่า C/N ratio ต่ำกว่า 20 นั้นถือว่าปุ๋ยอินทรีย์เหล่านี้มีความสมบูรณ์ในการหมัก ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ (Golueke, 1981)

2. ไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ย (Total N)

ไนโตรเจนทั้งหมดเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก และมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตเป็นอย่างมากเพราะเป็นส่วนประกอบของ โปรตีนและกรดนิวคลีอิกทุกชนิด ซึ่งไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปอินทรีย์ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ (ปีทมา, 2533) จากการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาใน ปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่า ไนโตรเจนของปุ๋ยเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์แรกถึงสัปดาห์ที่ 8 โดยสัปดาห์ที่ 8 ปุ๋ยมูลไส้เดือนมีค่าไนโตรเจนสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.43 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.56 เปอร์เซ็นต์ ดังตาราง 11 จากผลการศึกษานี้จะเห็นว่า ปุ๋ยมูลไส้เดือนมีค่าไนโตรเจนสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู และปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและมูลหมูที่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีค่าไนโตรเจนที่สูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อรา *G. geosporum* มีค่าไนโตรเจนสูงสุด เนื่องจากปุ๋ยที่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาภายในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีแบคทีเรียที่อาศัยร่วมอยู่ซึ่งพบในเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาหลายชนิด รวมทั้งแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนภายนอกของผนังเซลล์สปอร์ด้วย (Walley and Germida, 1996) แบคทีเรียเหล่านี้ยังคงดำเนินกิจกรรมอยู่ จึงส่งผลให้มีการปลดปล่อย CO₂ ออกมาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และกิจกรรมจุลินทรีย์ที่อยู่ในมูลสัตว์จะดำเนินกิจกรรมย่อยการสลายตัวของเศษซากอินทรีย์โดย Marschner et al. (2011) รายงานว่าช่วงแรกของการสลายตัวนี้จะเกิดขึ้นภายในช่วงสัปดาห์ 1-2 หลังการหมัก ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ จะมีการแข่งขันการใช้สารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้เป็นแหล่งพลังงาน ทำให้ได้ไนโตรเจนซึ่งได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุเป็นหลัก และสารไกลมาลินจะมีความสัมพันธ์ต่อคาร์บอนและไนโตรเจนกล่าวคือปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารไกลมาลิน (Rillig et al., 2003)

3. ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในปุ๋ย (Total glomalin)

จากการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่าสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 8 ปุ๋ยมูลไส้เดือนมีโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังตาราง 11 จากผลการศึกษายืนยันได้ว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนมีโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู และปุ๋ยมูลไส้เดือนทั้งที่ปลูกร่วมกับ *G. geosporum* และไม่ปลูกร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดสูง เนื่องจากเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะผลิตสารโกลมาลินทำให้มีปริมาณสารโกลมาลินสูงเมื่อใส่เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ย (Wright and Upadhyaya, 1998) ขึ้นกับชนิดปุ๋ยอินทรีย์ด้วย ส่วนในปุ๋ยไส้เดือนมีสารโกลมาลินสูงนั้นเนื่องจากว่าในเนื้อเยื่อของไส้เดือนดินจะอุดมไปด้วยโปรตีน ได้แก่ กรดอะมิโน ไลซีน อนุพันธ์ของเมทไรโอนินกับซิสทีน ฟีนิลอะนิลีน และไทโรซีน โดยในน้ำหนักแห้งของไส้เดือนดินมีโปรตีนถึง 60-61 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ในปุ๋ยไส้เดือนดินมีสารโกลมาลินซึ่งเป็นสารสัมพันธ์โปรตีนในดินสูง (อานันท์, 2550)

ตาราง 9 สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสัปดาห์ที่ 1

ทรีทเม้นต์	pH	C N ratio	Total N	Total P	Organic Carbon	Total glomalin	Easily glomalin
VER	5.92 e	42.39 ab	0.60 b	3.80 a	25.39 ab	1.80 b	0.41 b
Vet	5.97 d	19.86 b	1.51 a	2.40 b	29.91 a	1.51 b	0.54 b
Vge	6.21 c	21.09 b	1.42 a	1.96 bc	29.86 a	1.51 b	0.56 b
PIG	10.00 b	59.66 a	0.38 c	1.49 c	19.67 b	1.31 b	1.57 a
Pet	10.04 a	36.99 ab	0.58 b	0.74 d	21.97 ab	2.35 a	1.71 a
Pge	10.07 a	32.06 b	0.66 b	0.53 d	20.70 b	1.35 b	1.52 a

ตาราง 10 สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอราบัสตุลารีมคอร์ไรซาในสัปดาห์ที่ 4

พรีท เมนต์	pH	C N ratio	Total N	Total P	Organic	Total	Easily
					Carbon	glomalin	glomalin
					%	mg/kg	
VER	5.36 d	21.55 b	1.29 b	2.67 b	27.73 ab	0.90 b	0.34 c
Vet	5.52 c	20.71 b	1.47 a	3.33 a	30.44 a	1.65 ab	0.46 c
Vge	5.68 b	22.22 b	1.42 a	3.18 a	31.52 a	1.65 a	0.43 c
PIG	10.10 a	35.72 a	0.65 d	1.94 c	22.54 b	1.52 ab	1.13 a
Pet	10.06 a	21.52 b	1.12 c	2.81 b	24.31 ab	1.56 ab	0.90 b
Pge	10.06 a	21.63 b	1.10 c	2.70 b	23.85 ab	1.54 ab	0.87 b

ตาราง 11 สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอราบัสตุลารีมคอร์ไรซาในสัปดาห์ที่ 8

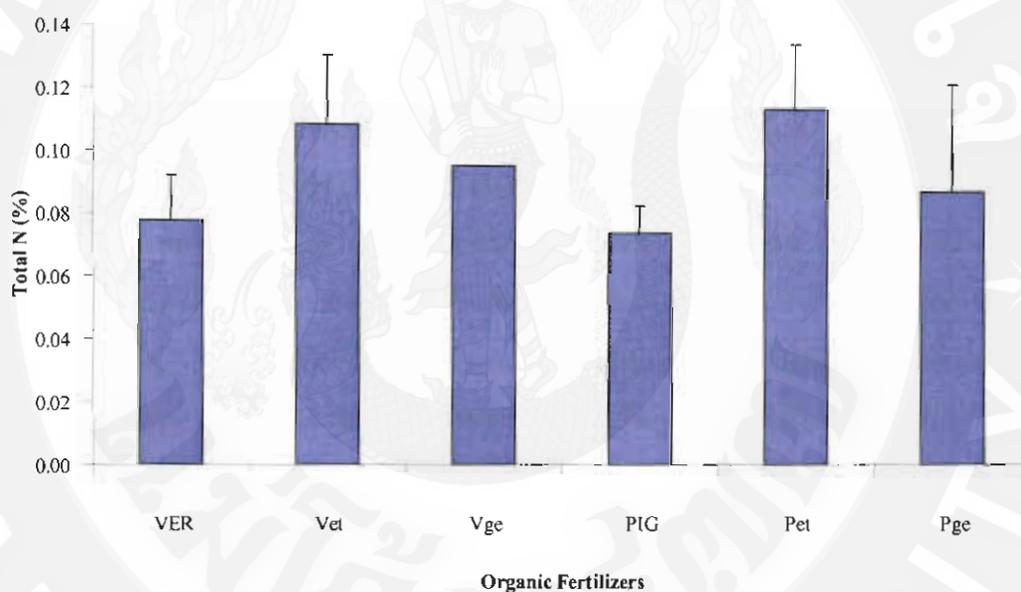
พรีท เมนต์	pH	C N ratio	Total N	Total P	Organic	Total	Easily
					Carbon	glomalin	glomalin
					%	mg/kg	
VER	5.40 c	15.69 a	1.61 b	1.42 a	25.21 abc	1.63 a	0.29 c
Vet	5.41 c	11.71 b	2.39 b	1.15 ab	28.00 ab	1.48 ab	0.27 c
Vge	5.35 c	12.04 b	2.43 b	0.80 bc	29.19 a	1.61 a	0.33 c
PIG	10.03 a	12.83 b	1.56 b	0.65 c	20.06 c	1.54 ab	1.39 a
Pet	9.97 ab	11.15 b	1.77 a	1.07 ab	19.95 c	1.23 b	1.21 ab
Pge	9.86 b	11.89 b	1.85 a	1.28 a	22.35 bc	1.39 ab	0.98 b

ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมกับเชื้อราอราบัสตุลารีมคอร์ไรซาต่อสมบัติของดิน

1. ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N)

จากการศึกษาสมบัติของดินในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอราบัสตุลารีมคอร์ไรซาใน ปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.09, 0.08, 0.11, 0.10, 0.07, 0.11 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* และปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.11 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 18 จากผลการศึกษายืนยันได้ว่าการใส่ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและมูลหมูร่วมกับเชื้อรา *G. etunicatum* มีค่าไนโตรเจนที่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากปุ๋ยที่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีการย่อยสลายที่เร็วกว่าไม่ใส่เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งไนโตรเจนได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุเป็นหลัก นอกจากนี้สารไกลมาลินจะมีความสัมพันธ์ต่อคาร์บอนและไนโตรเจนในดินกล่าวคือปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารไกลมาลินในดิน (Rillig et al., 2003)

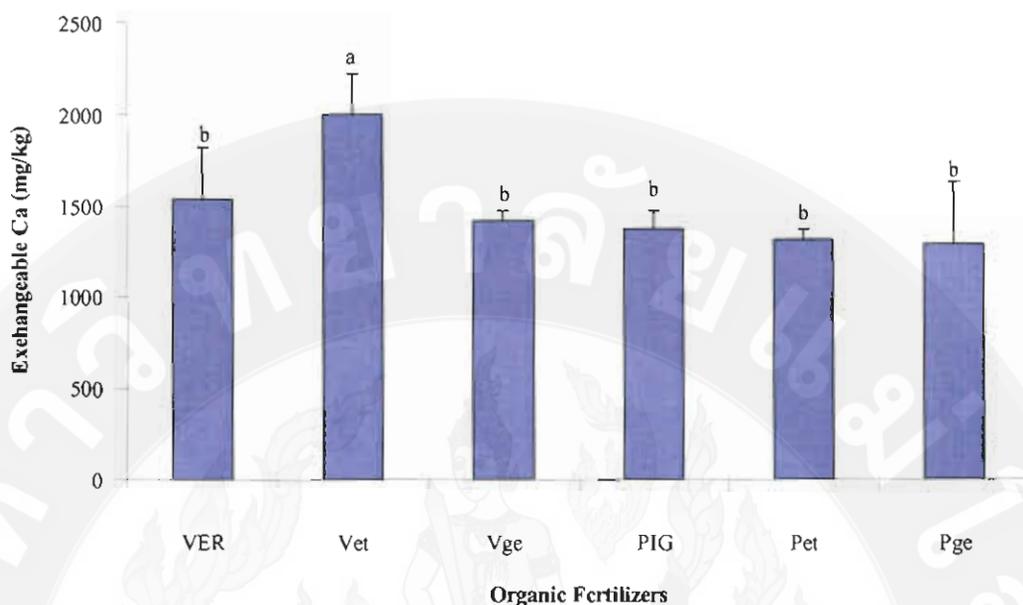


ภาพ 18 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

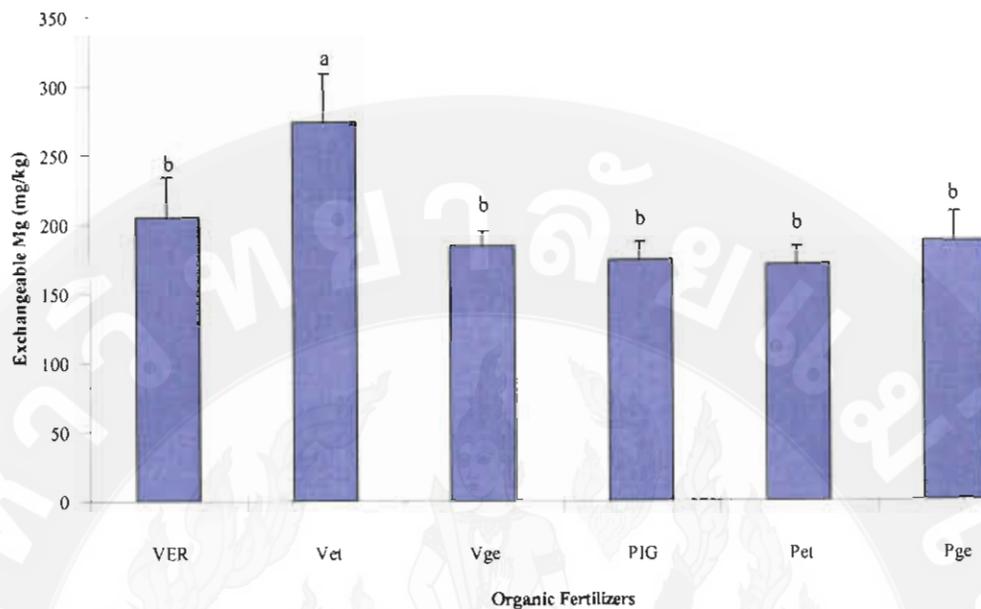
2. แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca, Exchangeable Mg)

แคลเซียมเป็นองค์ประกอบในสารที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ติดกัน ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร การงอกของเมล็ด และช่วยให้เอนไซม์บางชนิดทำงานได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544) จากการศึกษาสมบัติของดินในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลารีไมคอร์ไรซาใน ปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่าแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 1204, 1532, 1996, 1406, 1368, 1304 และ 1284 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีแคลเซียมสูงกว่าปุ๋ยมูลหมูซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1996 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 19 แมกนีเซียมทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไบโตน และน้ำตาล ทำให้สภาพกรดต่างในเซลล์มีความเหมาะสม ช่วยส่งเสริมการงอกของเมล็ด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544) จากการศึกษาสมบัติของดินในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่าแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 156, 205, 273, 184, 174, 169 และ 186 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีแมกนีเซียมสูงกว่าปุ๋ยมูลหมูซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *Glomus etunicatum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 273 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 20 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนที่คลุกพร้อมกับ *Glomus etunicatum* จะทำให้ดินมีแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราอาบัสคูลารีไมคอร์ไรซา เนื่องจากเชื้อราอาบัสคูลารีไมคอร์ไรซาผลิตสาร โกลมาลินซึ่งโกลมาลินเป็นแนวทางหนึ่งในการนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินสิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดผลโดยตรงที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของรากพืชและการดูดใช้ธาตุอาหารและน้ำได้ดีขึ้น (ศุภธิดา และคณะ, 2552) สอดคล้องกับ Qiang and Ying-Ning (2009) รายงานว่าเชื้อราอาบัสคูลารีไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารในพืชเช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม



ภาพ 19 ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ในดินจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คลุกพร้อมกับเชื้อราอับัสกุลารไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*



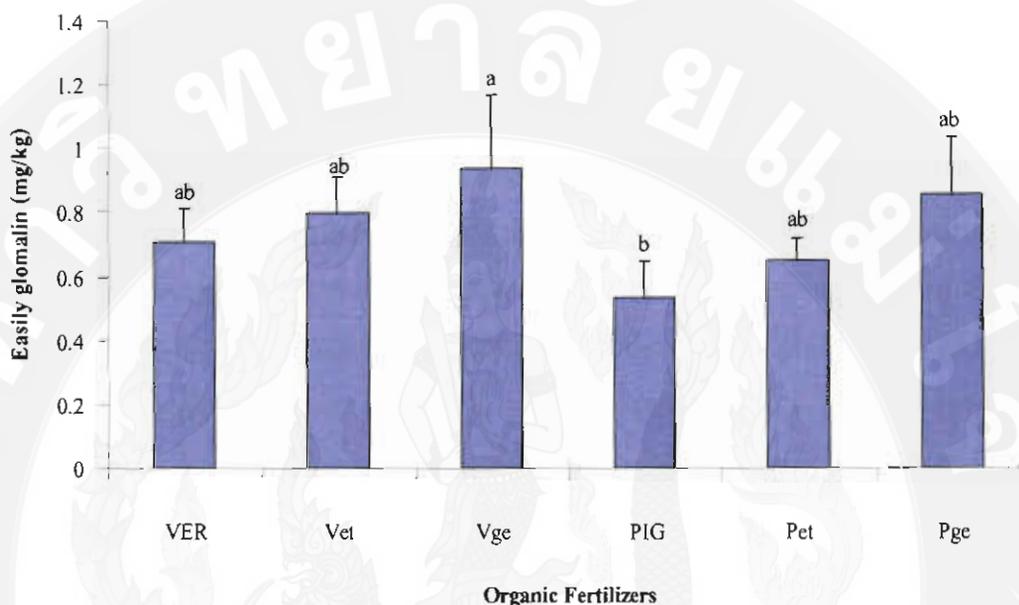
ภาพ 20 ปริมาณแมกนีเซียมในดิน (Exchangeable Mg) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุก
ร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน
Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum*
PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ
G. geosporum

4. ปริมาณสารไกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily glomalin)

จากการศึกษาสมบัติของดินในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อรา
อับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือน
ร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*
พบว่าสารไกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีค่าเท่ากับ 0.66, 0.71, 0.80, 0.94, 0.54, 0.65 และ 0.85 มิลลิกรัม
ต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีสารไกลมาลินที่สกัดได้ง่ายสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูล
ไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 21 จากผล
การศึกษาจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่คลุกพร้อมกับ
G. geosporum จะทำให้ดินมีสารไกลมาลินที่สกัดได้ง่ายสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับ
เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาผลิตสารไกลมาลิน ซึ่ง

โกลมาลินเป็นแนวทางหนึ่งในการนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน (Wright and Upadhyaya, 1998)



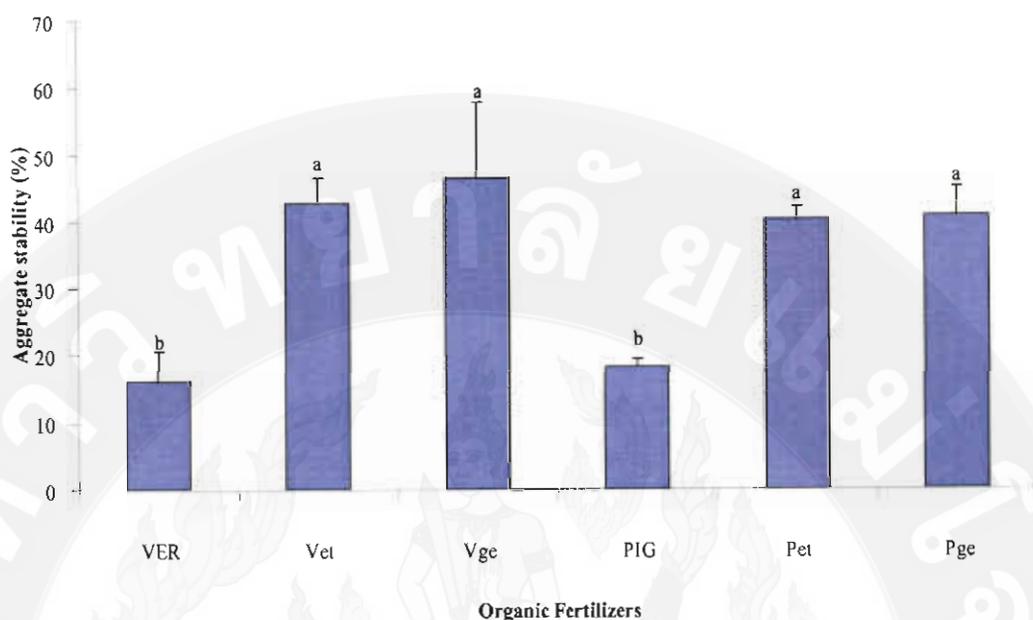
ภาพ 21 ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily glomalin) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน
Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum*
PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

5. ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability)

จากการศึกษาสมบัติของดินในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่าความคงทนของเม็ดดินมีค่าเท่ากับ 15.45, 16.20, 42.69, 46.35, 18.31, 40.18 และ 40.63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปุ๋ยมูลไส้เดือนมีความคงทนของเม็ดดินสูงกว่าปุ๋ยมูลหมูซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 46.35 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 22 จากผลการศึกษาจะเห็นได้

ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่คลุกพร้อมกับ *G. geosporum* จะทำให้ดินมี
คงทนของเม็ดดินสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจาก
เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะผลิตสารไกลโกลินอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความคงทนของ
เม็ดดินสูง ชฎาพร และ สุภธิดา (2554) รายงานว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของสารไกลโกลินที่
สกัดได้ง่ายมีความความสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดินค่อนข้างสูงซึ่งสอดคล้องกับ
(Wright and Upadhyaya, 1998) โดยสารไกลโกลินเป็นแนวทางหนึ่งในการนำไปใช้ในการ
ปรับปรุงคุณภาพของดินและระบบการผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนสารเชื่อมอนุภาค
ดินต่างๆ ยึดเข้าด้วยกันและอนุภาคดินอาจจะถูกยึดภายในกลุ่มของเส้นใยของเชื้อราทำให้เกิดเม็ด
ดินที่เสถียรขึ้นมาได้ (Rillig et al., 2003) จึงถือว่าเป็นสารปรับสภาพดิน ส่งเสริมการแทรกของราก
พืช การช่วยลดการพังทลายของดิน การแทรกซึมของอากาศ และการระบายน้ำ สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิด
ผลโดยตรงที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของรากพืชและการดูดใช้ธาตุอาหารและน้ำได้ดีขึ้น
(สุภธิดา และคณะ, 2552)



ภาพ 22 ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุก
ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

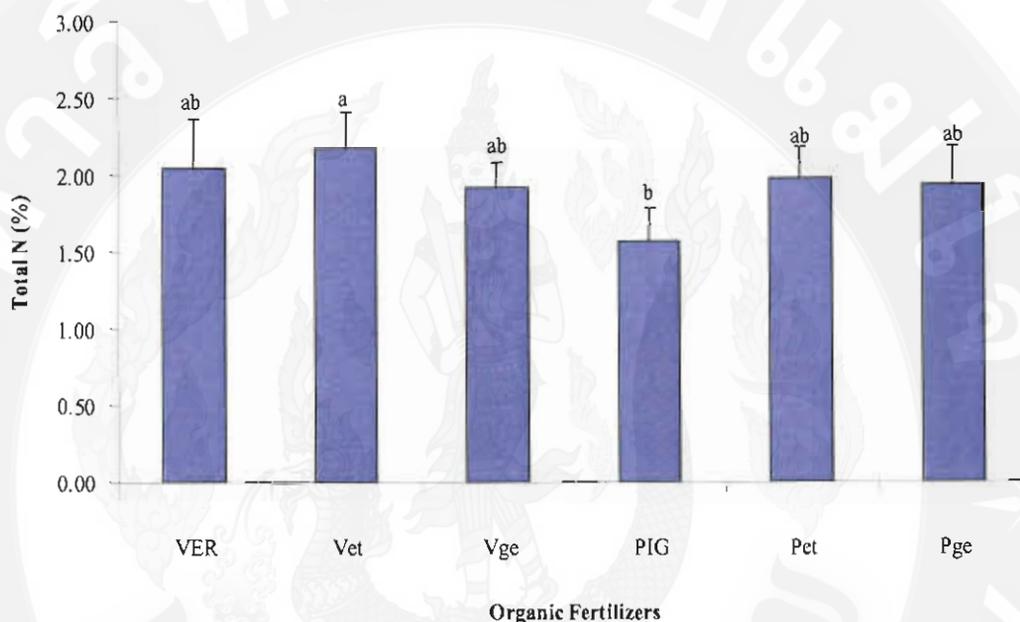
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน
Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum*
PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ
G. geosporum

ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อธาตุอาหารในค่น้ำ

1. ไนโตรเจนในค่น้ำ (Total N)

จากการศึกษาธาตุอาหารในค่น้ำในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อรา
ออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาใน ปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือน
ร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*
พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในค่น้ำมีค่าเท่ากับ 1.57, 2.04, 2.17, 1.91, 1.57, 1.96 และ 1.93
เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีไนโตรเจนสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ
G. etunicatum มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.17 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยมูลหมามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.57
เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 23 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและ

ปุ๋ยมูลหมูที่คลุกร่วมกับ *G. etunicatum* จะทำให้ค่น้ำมีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกร่วมกับเชื้อราอราบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากเชื้อราไมคอร์ไรซามีความสามารถในการช่วยดูดซับธาตุอาหารให้กับพืช (Mosse, 1973) สอดคล้องกับ Johansen et al. (1993) รายงานว่าเชื้อราอราบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถดูดซับไนโตรเจนแล้วเคลื่อนย้ายไนโตรเจนสู่พืชอาศัย



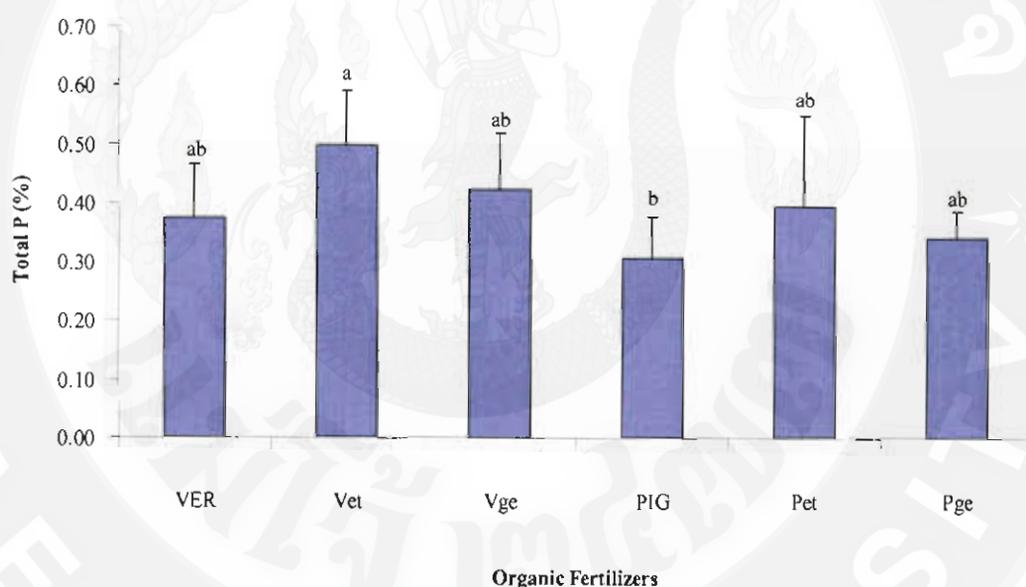
ภาพ 23 ปริมาณไนโตรเจนในค่น้ำ (Total N) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกร่วมกับเชื้อราอราบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

2. ฟอสฟอรัสในค่น้ำ (Total P)

จากการศึกษาธาตุอาหารในค่น้ำในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอราบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาใน ปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในค่น้ำมีค่าเท่ากับ 0.31, 0.37, 0.50, 0.42, 0.30, 0.39, 0.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีฟอสฟอรัสสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.50 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.30 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 24 จากผลการศึกษาก็จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่คลุก ร่วมกับ *G. etunicatum* ทำให้ค่น้ำมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุก ร่วมกับ เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากเชื้อราไมคอร์ไรซามีความสามารถในการช่วยดูดซับธาตุอาหารให้กับพืช (Mosse, 1973) ซึ่งสอดคล้องกับ Qiang and Ying-Ning (2009) รายงานว่า เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารในพืชเช่น ฟอสฟอรัส และ Li *et al.* (2006) รายงานว่า เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มการดูดซับฟอสฟอรัสในพืช

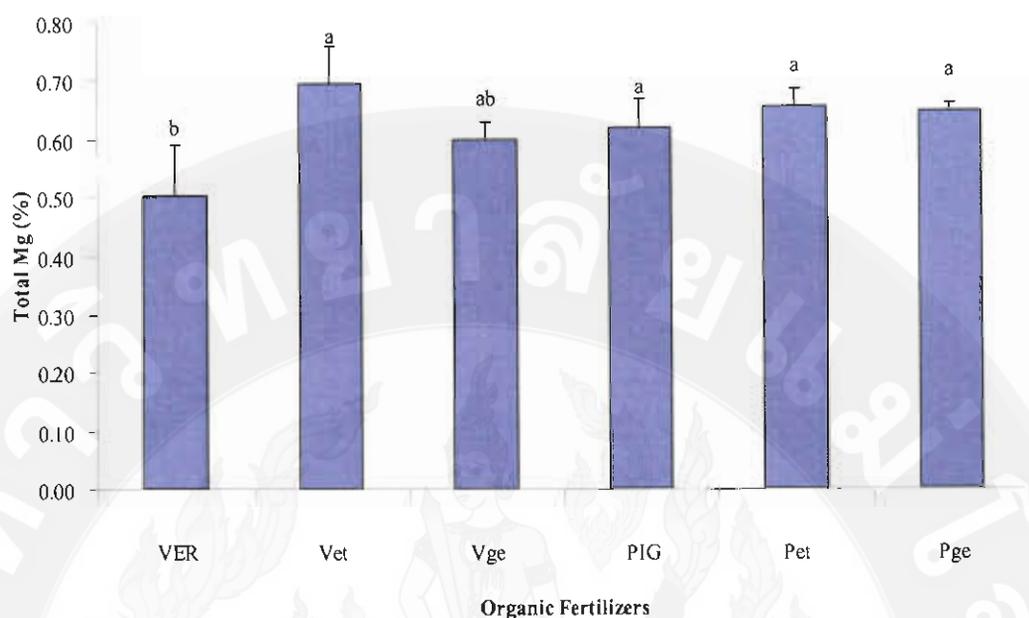


ภาพ 24 ปริมาณฟอสฟอรัสในค่น้ำ (Total P) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกร่วมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

3. แมกนีเซียมในค่น้ำ (Total Mg)

จากการศึกษาธาตุอาหารในค่น้ำในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่าปริมาณแมกนีเซียมในค่น้ำมีค่าเท่ากับ 0.30, 0.50, 0.69, 0.60, 0.62, 0.66 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.69 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 25 จากผลการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่คลุกพร้อมกับ *G. etunicatum* ทำให้ค่น้ำมีปริมาณแมกนีเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากเชื้อราไมคอร์ไรซามีความสามารถในการช่วยดูดซับธาตุอาหารให้กับพืช (Mosse, 1973) ซึ่งสอดคล้องกับ Qiang and Ying-Ning (2009) รายงานว่า เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารในพืชเช่น แมกนีเซียม



ภาพ 25 ปริมาณแมกนีเซียมในคละน้ำ (Total Mg) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกพร้อมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

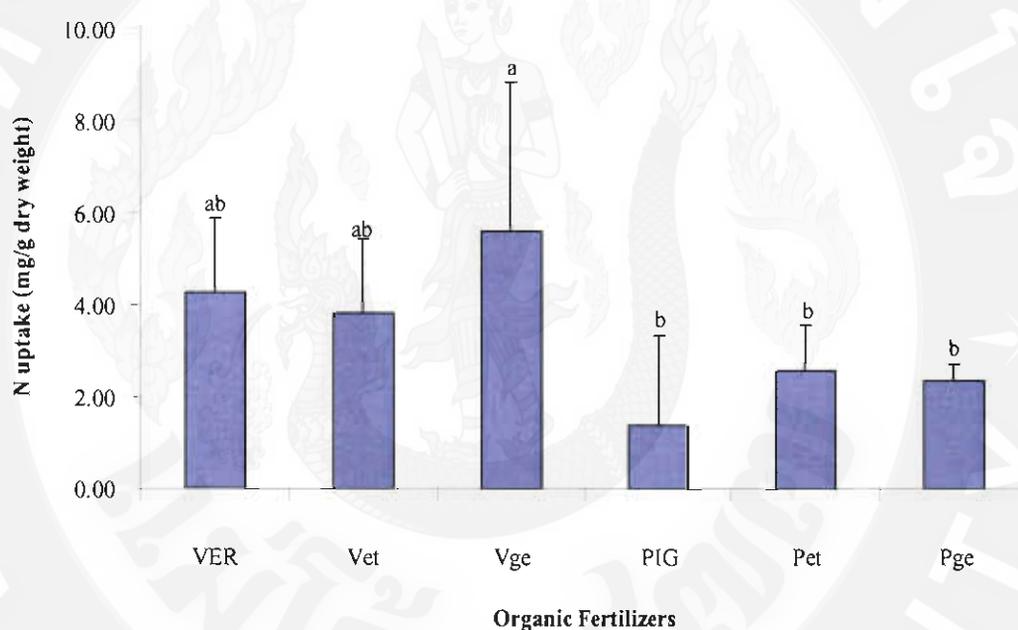
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมู ร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดใช้ธาตุอาหารในคละน้ำ

1. การดูดใช้ในโตรเจนในคละน้ำ (N uptake)

จากการศึกษาการดูดใช้ในโตรเจนในคละน้ำในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่าการดูดใช้ในโตรเจนในคละน้ำมีค่าเท่ากับ 1.11, 4.28, 3.80, 5.58, 1.39, 2.56 และ 2.32 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีการดูดใช้ในโตรเจนสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.58 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ

ปุ๋ยมูลหมีมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.39 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังภาพ 26 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมีที่คลุกพร้อมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา จะทำให้กะน้ามีการดูดใช้ในโตรเจนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา และปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *Glomus geosporum* มีในโตรเจนในกะน้าสูงสุด เนื่องจากเชื้อราไมคอร์ไรซามีความสามารถในการช่วยดูดซับธาตุอาหารให้กับพืช (Mosse, 1973) และ Johansen et al. (1993) รายงานว่าเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถดูดซับในโตรเจนแล้วเคลื่อนย้ายในโตรเจนสู่พืชอาศัย

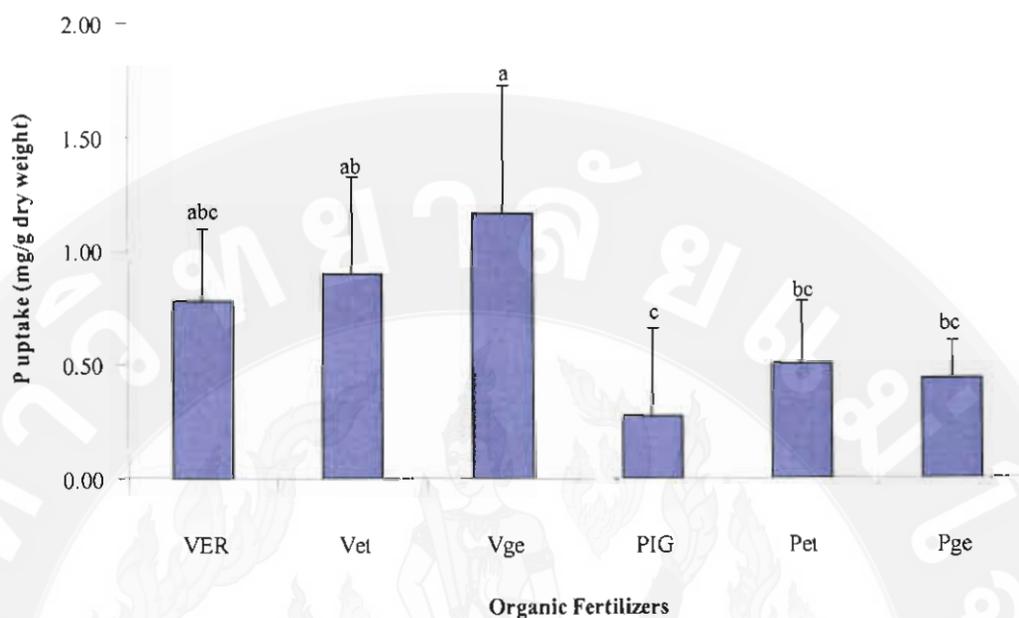


ภาพ 26 การดูดใช้ในโตรเจนในกะน้า (N uptake) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกพร้อมกับเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมี Pet= ปุ๋ยมูลหมีร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมีร่วมกับ *G. geosporum*

2. การดูดใช้ฟอสฟอรัสในคะน้ำ (P uptake)

จากการศึกษาการดูดใช้ฟอสฟอรัสในคะน้ำในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสตุลารี่ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่า การดูดใช้ฟอสฟอรัสในคะน้ำมีค่าเท่ากับ 0.21, 0.78, 0.90, 1.16, 0.27, 0.50 และ 0.43 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.16 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.27 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังภาพ 27 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่คลุกพร้อมกับเชื้อราอาบัสตุลารี่ไมคอร์ไรซา จะทำให้คะน้ำมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราอาบัสตุลารี่ไมคอร์ไรซา และปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุด เนื่องจากเชื้อราอาบัสตุลารี่ไมคอร์ไรซาเมื่ออยู่ร่วมกับพืชก็จะสามารถดูดธาตุฟอสฟอรัสจากดินสู่พืชได้ (Smith and Read, 1997; Jakobsen et al., 2002; Qiang, 2009) สอดคล้องกับ Li et al. (2006) รายงานว่า เชื้อราอาบัสตุลารี่ไมคอร์ไรซาเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืช และ Qiang and Ying-Ning (2009) รายงานว่า เชื้อราอาบัสตุลารี่ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารในพืชเช่น ฟอสฟอรัส



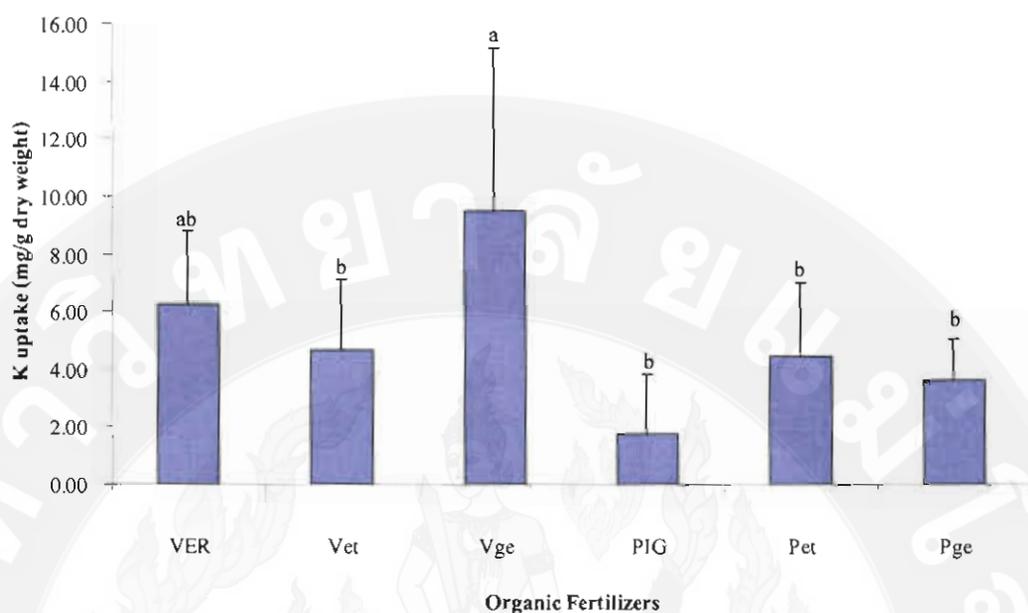
ภาพ 27 การดูดใช้ฟอสฟอรัสในคะน้ำ (P uptake) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกร่วมกับเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมู ร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

3. การดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในคะน้ำ (K uptake, Ca uptake และ Mg uptake)

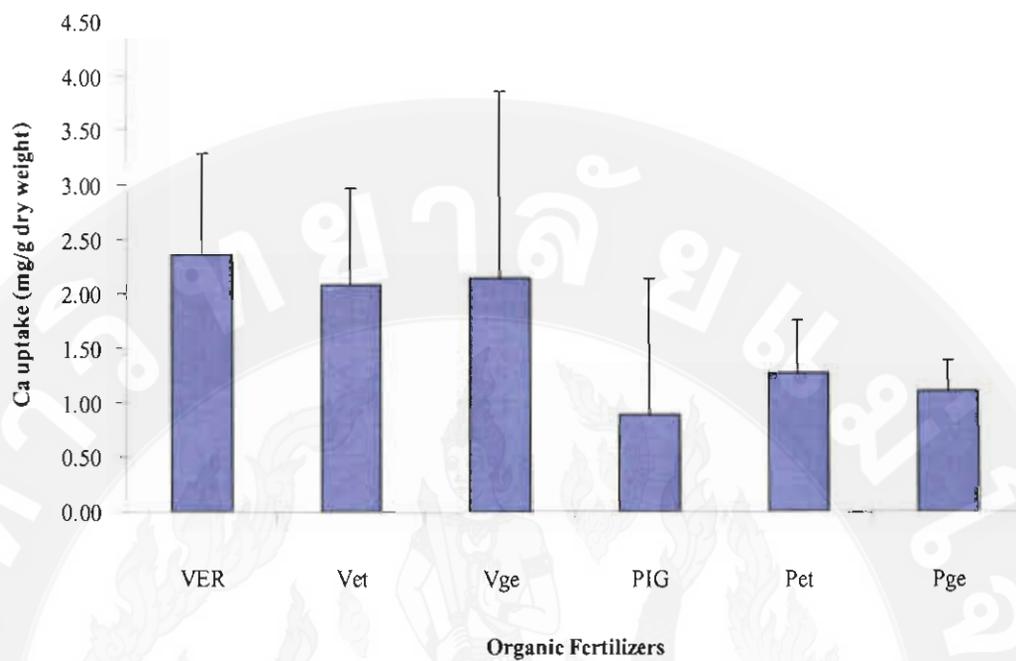
จากการศึกษาการดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในคะน้ำในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่าการดูดใช้โพแทสเซียมในคะน้ำมีค่าเท่ากับ 1.94, 6.24, 4.62, 9.46, 1.74, 4.40 และ 3.62 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีการดูดใช้โพแทสเซียมสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 9.46 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.74 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

ดั่งภาพ 28 การดูดใช้แคลเซียมในคณน้ำมีค่าเท่ากับ 0.78, 2.36, 2.08, 2.14, 0.89, 1.26 และ 1.10 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ปุ๋ยมูลไส้เดือนมีการดูดใช้แคลเซียมสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.36 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.89 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดั่งภาพ 29 และการดูดใช้แมกนีเซียมในคณน้ำมีค่าเท่ากับ 0.20, 1.04, 1.21, 1.78, 0.58, 0.86 และ 0.80 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีการดูดใช้แมกนีเซียมสูงกว่ปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.78 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.58 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดั่งภาพ 30 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะทำให้คณน้ำมีการดูดใช้โพแทสเซียมสูงกว่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีการดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงสุด เนื่องจากเชื้อราไมคอร์ไรซามีความสามารถในการช่วยดูดซับธาตุอาหารให้กับพืช (Mosse, 1973) ซึ่งสอดคล้องกับ Qiang and Ying-Ning (2009) รายงานว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารในพืชเช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม



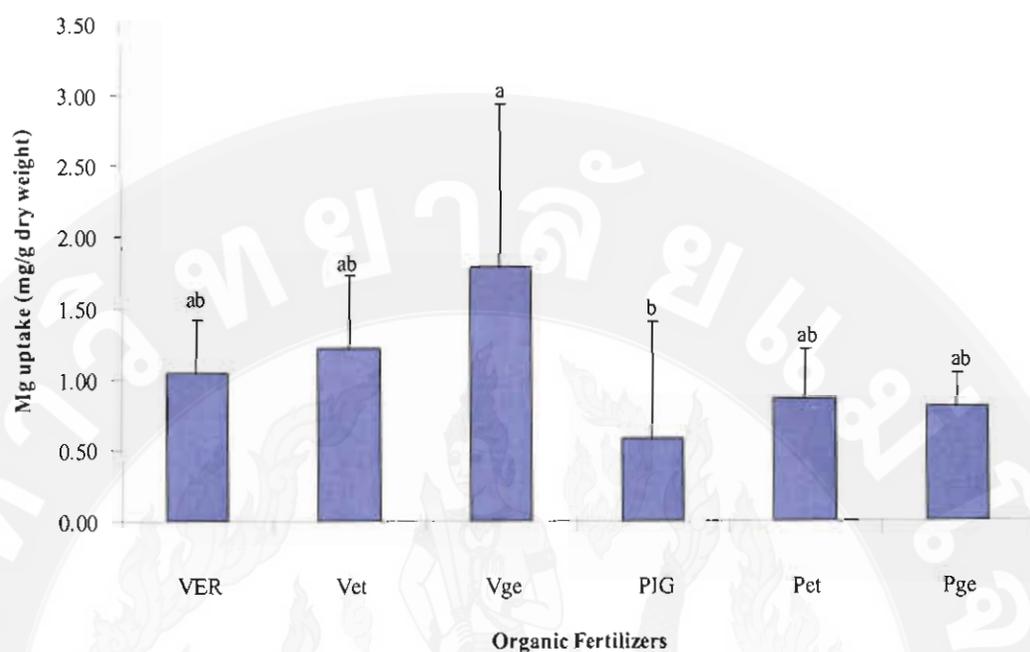
ภาพ 28 การดูดใช้โพแทสเซียมในคะน้ำ (K uptake) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกร่วมกับเชื้อราอับัสคูลารีไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน
 Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum*
 PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*



ภาพ 29 การดูดใช้แคลเซียมในค่าน้ำ (Ca uptake) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกร่วมกับเชื้อราอับัสคูลารีไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมู ร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*



ภาพ 30 การดูดใช้แมกนีเซียมในคะน้ำ (Mg uptake) จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกร่วมกับเชื้อราอับัสคูลารีไมคอร์ไรซา

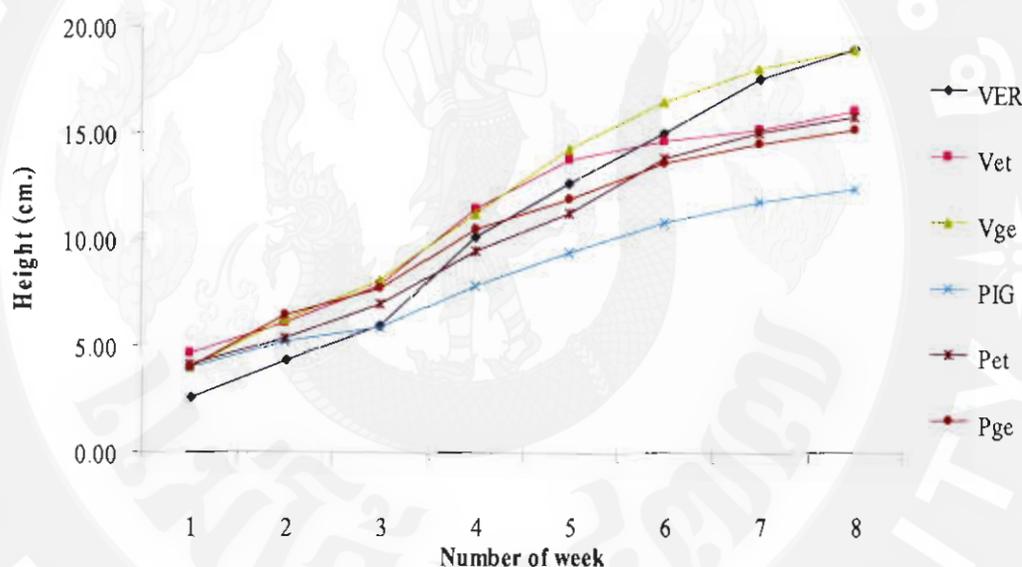
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน เชื้อราอับัสคูลารีไมคอร์ไรซา Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับัสคูลารีไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของคะน้ำ

1. ความสูงของคะน้ำหลังปลูก 2 เดือน

จากการศึกษาความสูงของคะน้ำในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับัสคูลารีไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่า ความสูงของคะน้ำหลังปลูก 2 เดือนเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเลาการปลูกคะน้ำ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีความสูงสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 18.88 เซนติเมตร ปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 12.38 เซนติเมตร ดังภาพ 31 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะทำให้คะน้ำมีความสูงที่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้ง และเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Smith and Read, 1997) เนื่องจากพืชจะสามารถดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้การสังเคราะห์แสง และการใช้คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพ (Harley and Smith, 1983) และเพิ่มการผลิตฮอร์โมนเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช (Edriss et al., 1984; Harley and Smith, 1983) ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อความสูงของคะน้ำ

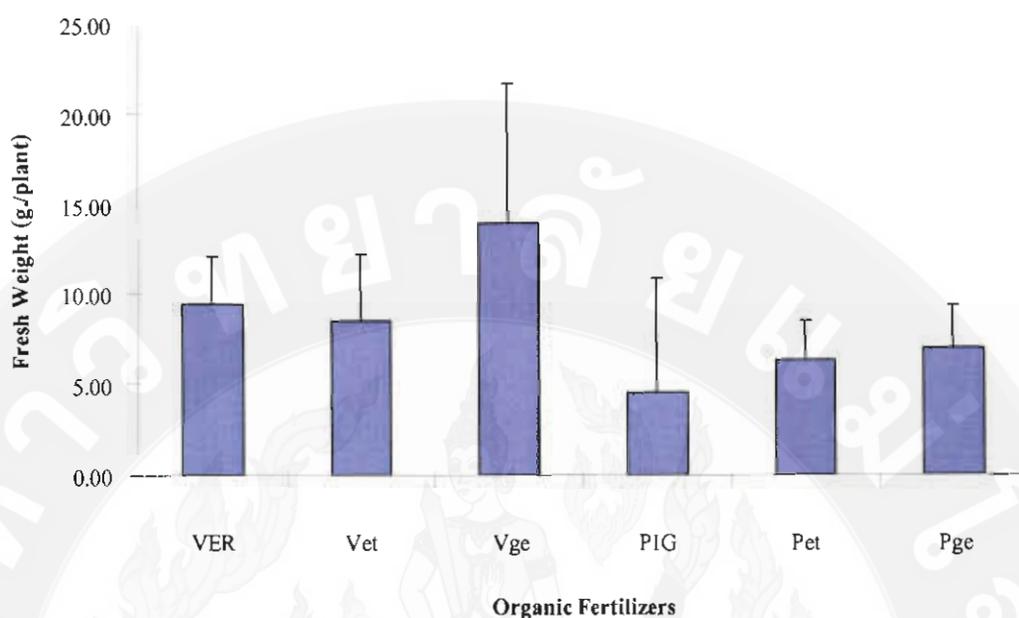


ภาพ 31 ความสูงของคะน้ำหลังจากปลูก 2 เดือนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

2. น้ำหนักสดของคะน้าหลังปลูก 2 เดือน

จากการศึกษาน้ำหนักสดของคะน้าในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่า น้ำหนักสดของคะน้าหลังปลูก 2 เดือนมีค่าเท่ากับ 4.09, 9.47, 8.48, 13.89, 4.55, 6.33 และ 6.97 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ปุ๋ยมูลไส้เดือนปุ๋ยมูลหมูมีน้ำหนักสดที่สูงกว่าปุ๋ยมูลหมู และปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 13.89 กรัม ขณะเดียวกันปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 4.55 กรัม ดังภาพ 32 จากผลการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่คลุกพร้อมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะทำให้คะน้ามีน้ำหนักสดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีน้ำหนักสดสูงสุด เนื่องจากเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้ง และเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Smith and Read, 1997) เนื่องจากพืชจะสามารถดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้การสังเคราะห์แสง และการใช้คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพ (Harley and Smith, 1983) และเพิ่มการผลิตฮอร์โมนเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช (Edriss et al., 1984; Harley and Smith, 1983) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อน้ำหนักสดของคะน้า



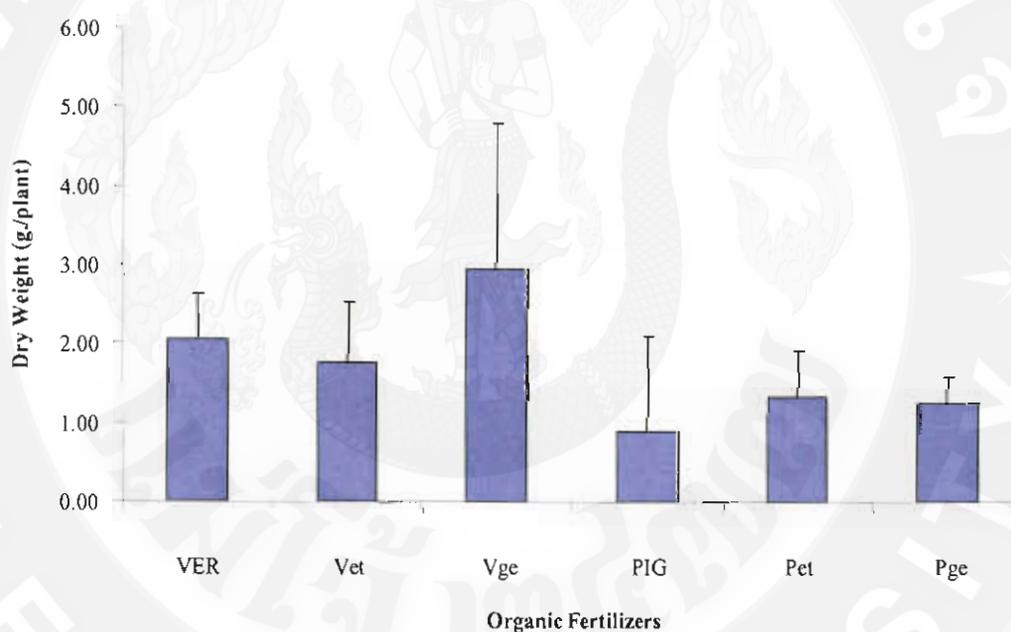
ภาพ 32 น้ำหนักสดของคะน้าหลังจากปลูก 2 เดือนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกพร้อมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

4. น้ำหนักแห้งของคะน้าหลังปลูก 2 เดือน

จากการศึกษาน้ำหนักแห้งของคะน้าในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* ปุ๋ยมูลหมู ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. etunicatum* ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum* พบว่าน้ำหนักแห้งของคะน้าหลังปลูก 2 เดือนมีค่าเท่ากับ 0.70, 2.05, 1.75, 2.95, 0.89, 1.32 และ 1.24 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ปุ๋ยมูลไส้เดือนปุ๋ยมูลมีน้ำหนักสดที่สูงกว่าปุ๋ยมูลหมู และปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.95 กรัม ขณะเดียวกันปุ๋ยมูลหมูมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.89 กรัมดังภาพ 33 จากผลการศึกษาดังกล่าว การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่คลุกพร้อมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะทำ

ให้คะนามีน้ำหนักแห้งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่คลุกพร้อมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และ ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* จะมีน้ำหนักแห้งสูงสุดเนื่องจากเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้ง และเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Smith and Read, 1997) เนื่องจากพืชจะสามารถดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้การสังเคราะห์แสง และการใช้ คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพ (Harley and Smith, 1983) และเพิ่มการผลิตฮอร์โมนเพื่อเร่งการ เจริญเติบโตของพืช (Edriss et al., 1984; Harley and Smith, 1983) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อน้ำหนัก แห้งของคะน้ำ



ภาพ 33 น้ำหนักแห้งของคะน้ำหลังจากปลูก 2 เดือนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่คลุกพร้อมกับ เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) VER= ปุ๋ยมูลไส้เดือน Vet= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. etunicatum* Vge= ปุ๋ยมูลไส้เดือนร่วมกับ *G. geosporum* PIG= ปุ๋ยมูลหมู Pet= ปุ๋ยมูลหมู ร่วมกับ *G. etunicatum* Pge= ปุ๋ยมูลหมูร่วมกับ *G. geosporum*

การทดลองที่ 2.2 ผลการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ต่อไกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ในระบบเกษตรอินทรีย์

การทดลองที่นี้ศึกษาการเพาะและขยายสปอร์ของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในสภาพกระถาง และศึกษาบทบาทของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อไกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ในระบบเกษตรอินทรีย์

หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่นำมาทดลองในหัวเชื้อดิน *G. geosporum*, *G. Etunicatum* และ *A.foveata* พบว่าค่าพีเอชเป็นกรด อินทรีย์วัตถุ 0.6, 0.8 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 14.2, 14.9 และ 18.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ สารไกลมาลินที่สกัดได้ง่าย 1.325, 2.034 และ 2.183 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ สารไกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด 2.943, 4.817 และ 4.164 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และความคงทนของเมล็ดดิน 61.2, 23.6 และ 22.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังตาราง 11

ตาราง 12 สมบัติทั่วไปของหัวเชื้อดิน

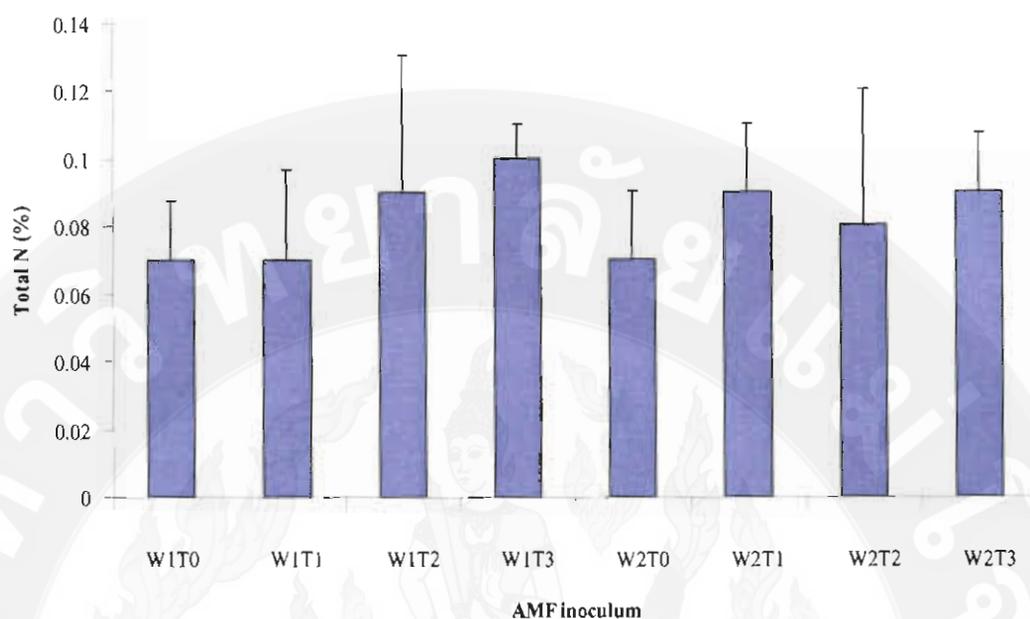
หัวเชื้อดิน	pH	EC uS/cm	OM %	Aggregate stability	Available P	Easily glomalin mg/kg	Total glomalin
<i>G. geosporum</i>	6.1	33.7	0.6	61.2	14.2	1.325	2.943
<i>G. etunicatum</i>	6.1	33.4	0.8	23.6	14.9	2.034	4.817
<i>A.foveata</i>	5.9	35.2	0.6	22.5	18.8	2.183	4.164

ผลการใช้หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อสมบัติของดิน

1. ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N)

จากการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A.foveata* พบว่า ดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.07, 0.07, 0.09 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A.foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ และดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ดินและปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ

0.07, 0.09, 0.08 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยและ ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* และ ดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.09 เปอร์เซ็นต์ และดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 34 จากผลการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าไนโตรเจนทั้งหมดของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในดินปลูกข้าวที่ไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำไนโตรเจนมีแนวโน้มที่สูงกว่าดินปลูกข้าวในน้ำท่วมขัง เนื่องจากดินปลูกข้าวขังน้ำมีเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอยู่จึงสร้างสาร โกลมาลินซึ่งสาร โกลมาลินจะมีความสัมพันธ์ต่อคาร์บอนและไนโตรเจนในดิน กล่าวคือ ถ้าโกลมาลินสูงไนโตรเจนก็จะสูงขึ้นด้วย (Rillig et al., 2001) นอกจากนี้ Olk et al. (1996) รายงานว่า การปลดปล่อยไนโตรเจนจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเป็นการเพิ่มน้ำหนักรากและผลผลิต



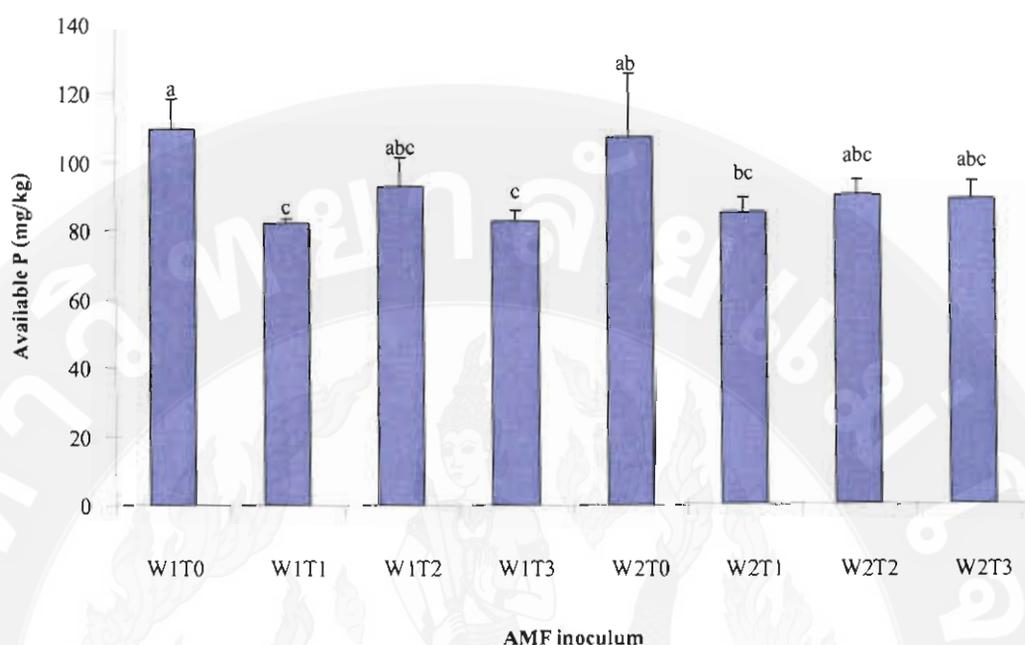
ภาพ 34 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N) จากการใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) WIT0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ WIT1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ WIT2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ WIT3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

2. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P)

จากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่า ดินปลูกข้าวดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 110, 82, 92 และ 82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 110 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* กับดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 82 มิลลิกรัม

ต่อกิโกรัม ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 107, 85, 90 และ 88 มิลลิกรัมต่อกิโกรัมตามลำดับ โดยดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 107 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม และดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 85 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม ดังภาพ 35 จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินจะลดลงเมื่อใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำอาจเนื่องมาจากการดูดใช้ฟอสฟอรัสของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาให้กับข้าว Harley and Smith (1983) รายงานว่าเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอยู่จึงสามารถดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น เช่น ฟอสฟอรัส ซึ่งสอดคล้องกับ (Jakobsen et al., 2002) รายงานว่า การอาศัยอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับพืชจะมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสให้กับพืช



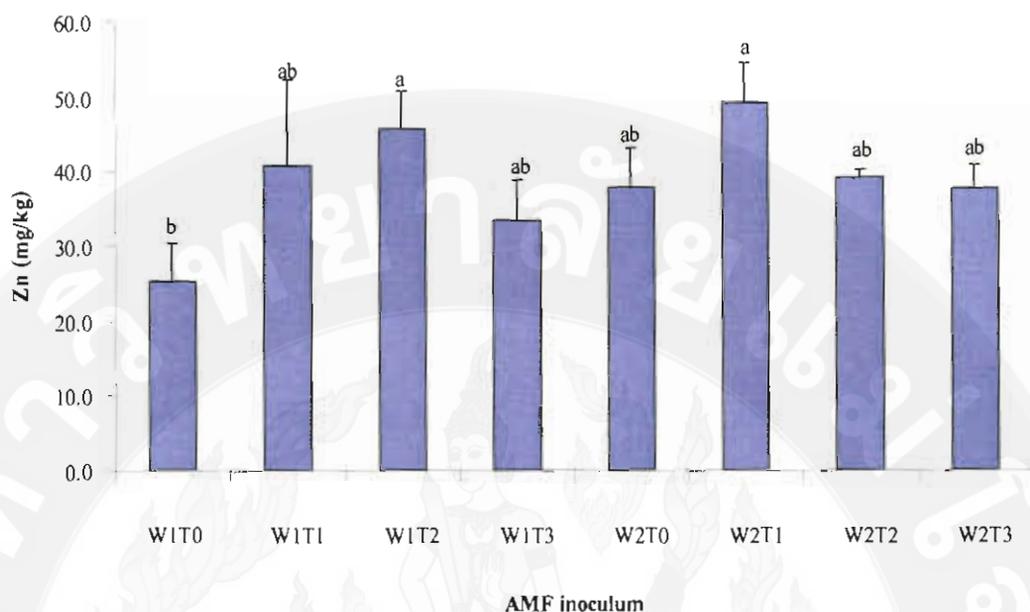
ภาพ 35 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P) จากการใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

3. สังกะสีในดิน (Zn)

สังกะสีเป็นจุลธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช เนื่องจากสังกะสีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์เมมเบรนและ เอนไซม์บางชนิด เช่น ดีไฮโดรจีเนส โปรตีนเนส และ เปปติเดส นอกจากนี้ยังช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544) จากการศึกษาปริมาณสังกะสีในดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 25.3, 40.8, 45.7 และ 33.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตามลำดับ โดยดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 45.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 25.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 37.7, 49, 38.9 และ 37.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 37.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 36 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าสังกะสีของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ เนื่องจากเชื้อราอาบัสตุลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มธาตุอาหารเช่น สังกะสี (Gao et al., 2007; Smith and Read, 1997) ในขณะที่พบสังกะสีในดินสูงเนื่องจากดินปลูกข้าวไม่ใช่เนื้อหยาบ และมีอินทรีย์วัตถุจึงพบสังกะสีในดิน และสังกะสีในดินที่อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้จะมีปริมาณมากที่สุดในช่วง pH 5.5-6.5 (สมพร, 2555) ซึ่งดินที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีค่าพีเอชประมาณ 6.5



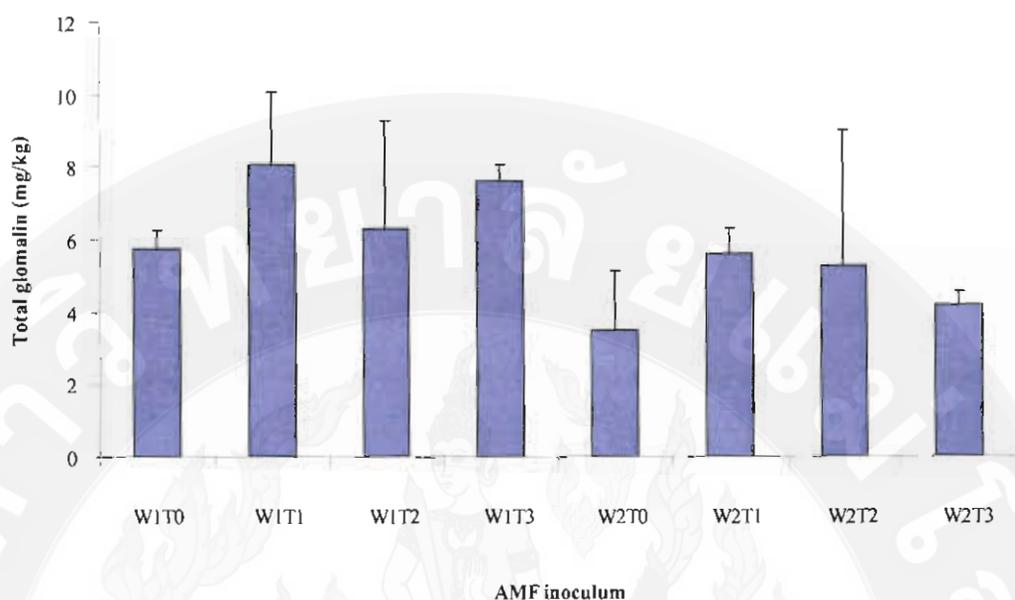
ภาพ 36 ปริมาณสังกะสีในดิน (Zn) จากการใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) WIT0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ WIT1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ WIT2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ WIT3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

4. ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดิน (Total glomalin)

จากการศึกษาปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ มีปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดเท่ากับ 5.73, 8.06, 6.31 และ 7.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 8.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำ

ที่สุดเท่ากับ 5.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีปริมาณ โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดเท่ากับ 3.47, 5.58, 5.23 และ 4.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 3.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 37 จากผลการศึกษายืนยันได้ว่าปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดินสูงกว่าดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำ เนื่องจากปริมาณเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำยังมีชีวิตรอดสูงหลังปลูกข้าว 2 เดือน แต่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำไม่มีเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซารอดอยู่เลยหลังจากปลูกข้าวขังน้ำ 2 เดือน ซึ่ง โกลมาลิน สารอินทรีย์ที่ผลิตมาจากเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Wright and Upadhyaya, 1998) ทำให้ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดินต่ำกว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ



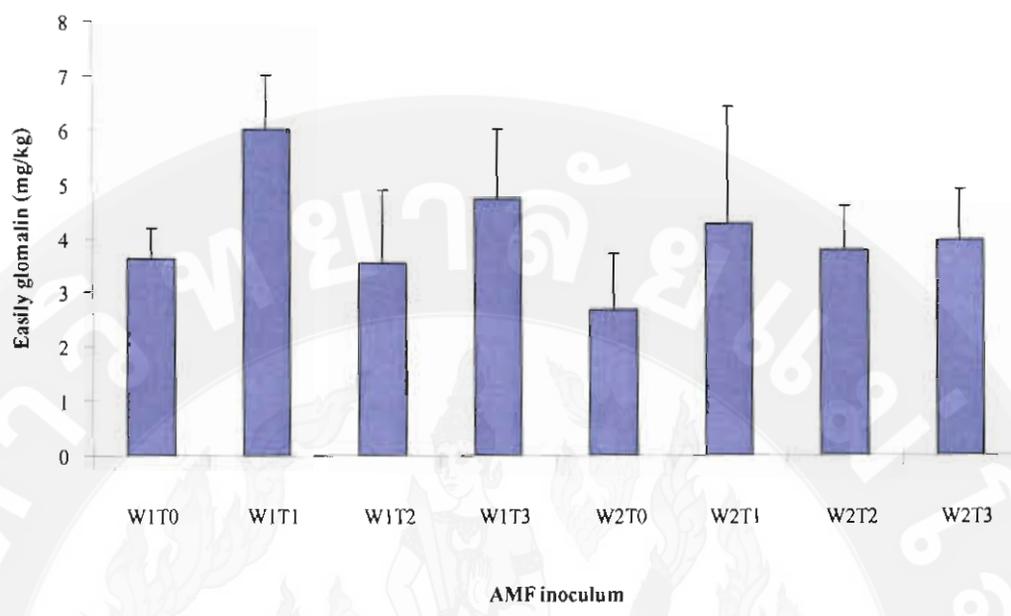
ภาพ 37 ปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดิน (Total glomalin) จากการใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

5. ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายในดิน (Easily glomalin)

จากการศึกษาปริมาณสาร โกลมาลินที่สกัดได้ง่ายในดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายเท่ากับ 3.61, 5.98, 3.52 และ 4.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 3.61 มิลลิกรัม

ต่อกิโกรัมในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายเท่ากับ 2.67, 4.24, 3.77 และ 3.93 มิลลิกรัมต่อกิโกรัมตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 4.24 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม และดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 2.67 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม ดังภาพ 38 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดินสูงกว่าดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำ เนื่องจากปริมาณเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำยังมีชีวิตรอดสูงหลังปลูกข้าว 2 เดือน แต่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำไม่มีเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซารอดอยู่เลยหลังจากปลูกข้าวขังน้ำ 2 เดือน ซึ่งโกลมาลินสารอินทรีย์ที่ผลิตมาจากเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Wright and Upadhyaya, 1998) ทำให้ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในดินต่ำกว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ



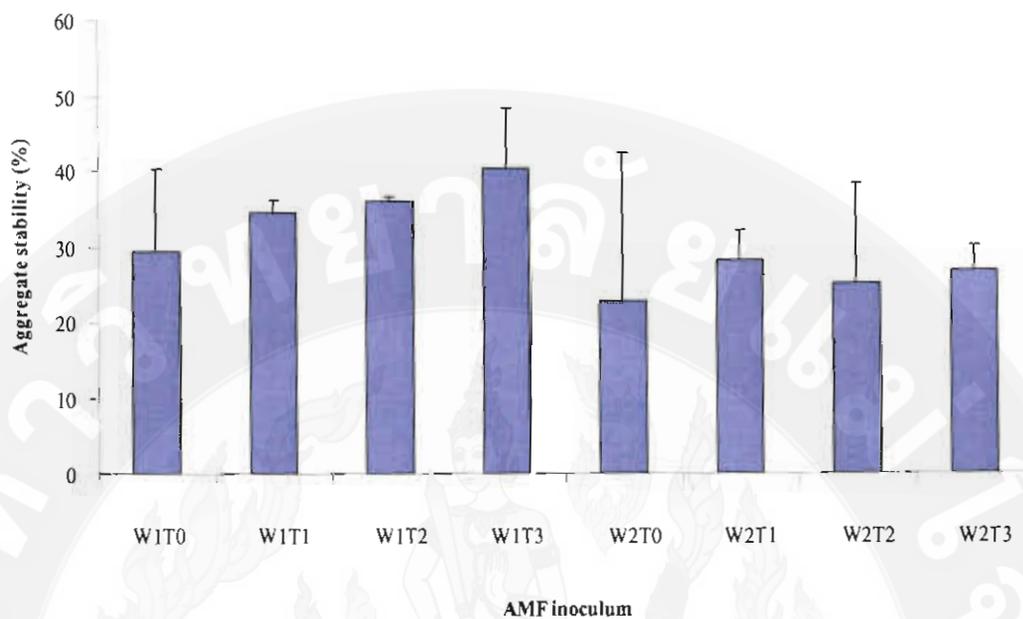
ภาพ 38 ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายในดิน (Easily glomalin) จากการใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

6. ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability)

จากการศึกษาความคงทนของเม็ดดินในดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีความคงทนของเม็ดดินเท่ากับ 29.37, 34.49, 35.81 และ 40.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 40.14 เปอร์เซ็นต์ และ ดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 29.37 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่

ท่วมขังน้ำมีความคงทนของเมล็ดดินเท่ากับ 22.60, 28.06, 25.05 และ 26.65 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 28.06 เปอร์เซ็นต์ และ ดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 22.60 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 39 จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นได้ว่าความคงทนของเมล็ดดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราออบัสตุลารไมคอร์ไรซา ทั้งในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ ความคงทนของเมล็ดดินในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำสูงกว่าดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำ เนื่องจากปริมาณเชื้อราออบัสตุลารไมคอร์ไรซาในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำยังมีชีวิตรอดสูงหลังปลูกข้าว 2 เดือน แต่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำไม่มีเชื้อราออบัสตุลารไมคอร์ไรซารอดอยู่เลยหลังจากปลูกข้าวขังน้ำ 2 เดือน โดยโกลมาลินเป็นสารที่ผลิตจากเชื้อราออบัสตุลารไมคอร์ไรซา ซึ่งสารโกลมาลินนี้อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความคงทนเมล็ดดิน ซึ่ง โกลมาลินจะทำหน้าที่เหมือนสารเชื่อมอนุภาคดินต่างๆ ยึดเข้าด้วยกันและอนุภาคดินอาจจะถูกยึดภายในกลุ่มของเส้นใยของเชื้อรา ทำให้เกิดเมล็ดดินที่เสถียรขึ้นมาได้ (Rillig et al., 2003; Wright and Upadhyaya, 1998) ทำให้ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีความคงทนของเมล็ดดินต่ำกว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ



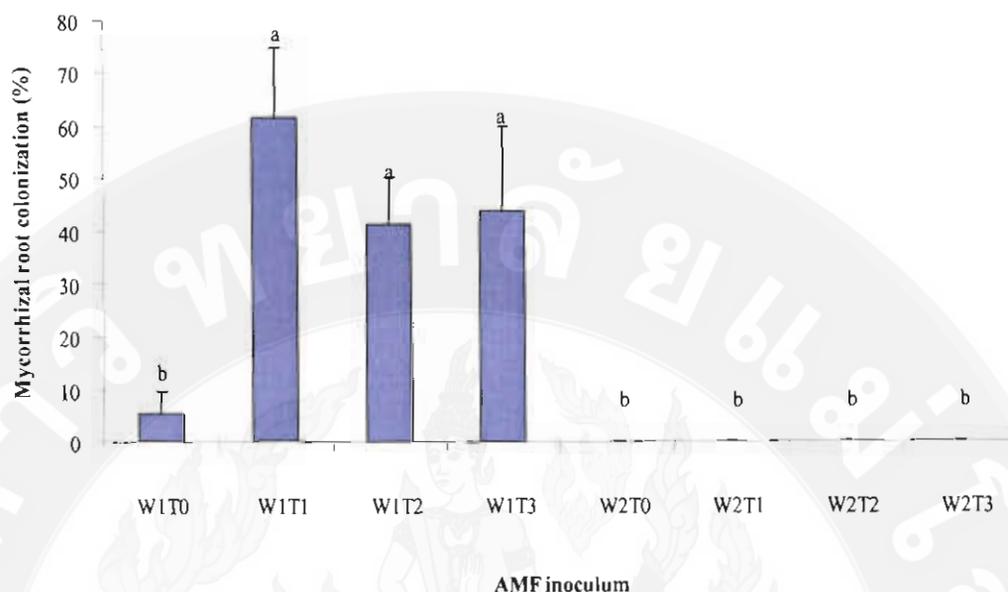
ภาพ 39 ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability) จากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

7. การเข้าอาศัยในรากข้าวของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal root colonization)

จากการศึกษาการเข้าอาศัยในรากข้าวของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวในดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ดินปลูกข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีการเข้าอาศัยในรากข้าวของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเท่ากับ 5.12, 61.53, 41.02 และ 43.59 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยรากข้าวในดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ

61.53 เปอร์เซนต์ และรากข้าวในดินปลูกข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 5.12 เปอร์เซนต์ ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำไม่พบการเข้าอาศัยในรากข้าวของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ดังภาพ 40 จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเข้าอาศัยในรากข้าวของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ ส่วนดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำไม่พบการเข้าอาศัยในรากข้าวของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชในสภาพมีอากาศ Vallino et al. (2009) รายงานว่า สภาพมีอากาศเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถจะเข้าอาศัยอยู่ในรากข้าวได้ ในขณะที่เดียวกันในสภาพน้ำท่วมขังเป็นสภาพที่ไม่มีอากาศจึงส่งผลให้เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาตายได้และยับยั้งการเข้าอาศัยในรากข้าวของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Miller, 2000; Miller and Sharitz, 2000)



ภาพ 40 การเข้าอาศัยในรากข้าวของเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal root colonization) จากการใส่หัวเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

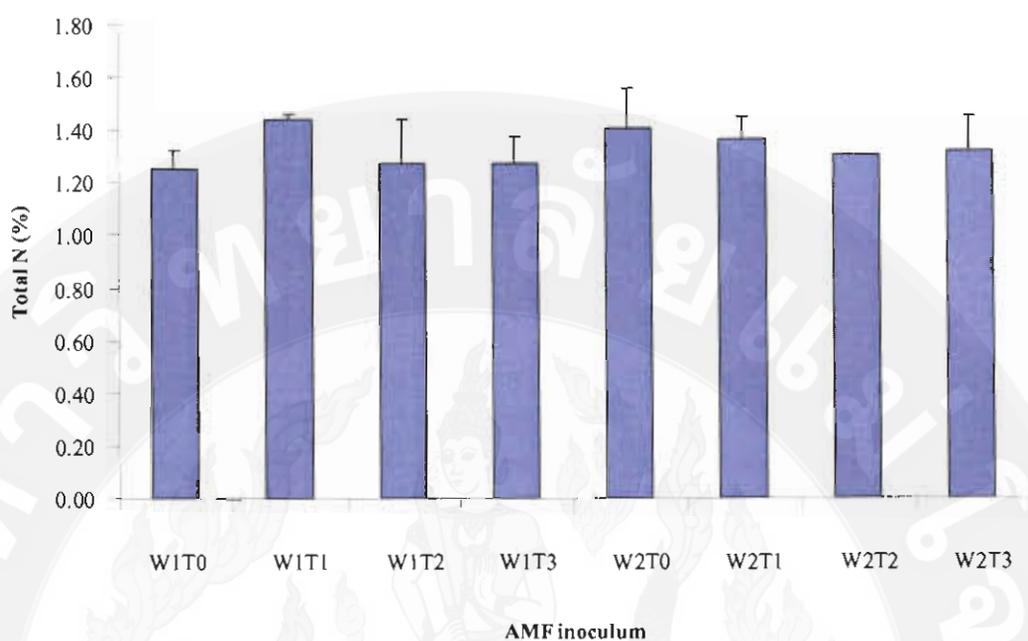
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

ผลการใช้หัวเชื้อราอับัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อธาตุอาหารพืช

1. ไนโตรเจนทั้งหมดในข้าว (Total N)

จากการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.25, 1.44, 1.27 และ 1.27เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.44 เปอร์เซ็นต์ และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.40, 1.36,

1.30 และ 1.31 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.40 เปอร์เซ็นต์ และข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* ค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.30 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 41 จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นว่า ไนโตรเจนทั้งหมดของข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวที่ปลูกในดิน ปลูกข้าวไม่ขังน้ำเนื่องจากเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มไนโตรเจน ในพืช (Bago et al., 2001; Cruz et al., 2004) สอดคล้องกับ Mosse (1973) รายงานว่า เชื้อรา ไมคอร์ไรซามีความสามารถในการช่วยดูดซับธาตุอาหารให้กับพืช และ Johansen et al. (1993) รายงานว่าเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถดูดซับไนโตรเจนแล้วเคลื่อนย้ายไนโตรเจนสู่พืช อาศัย และยังเกิด N mineralization เพิ่มขึ้นในดินไม่ขังน้ำซึ่งส่งผลให้พืชสามารถดูดใช้ในโตรเจน รูปไนเตรทได้เพิ่มขึ้น ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำจะลดลงเมื่อใส่หัวเชื้อรา ออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเนื่องจากหลังขังน้ำมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารจะเพิ่มขึ้น เช่น ไนโตรเจน โดย จากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ (Paul and Clark, 1996) สอดคล้องกับ Olk et al. (1996) รายงาน ว่า การปลดปล่อยไนโตรเจนจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเป็นการเพิ่มน้ำหนักและผลผลิต ซึ่ง ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปอินทรีย์ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ (ปีทมา, 2533)



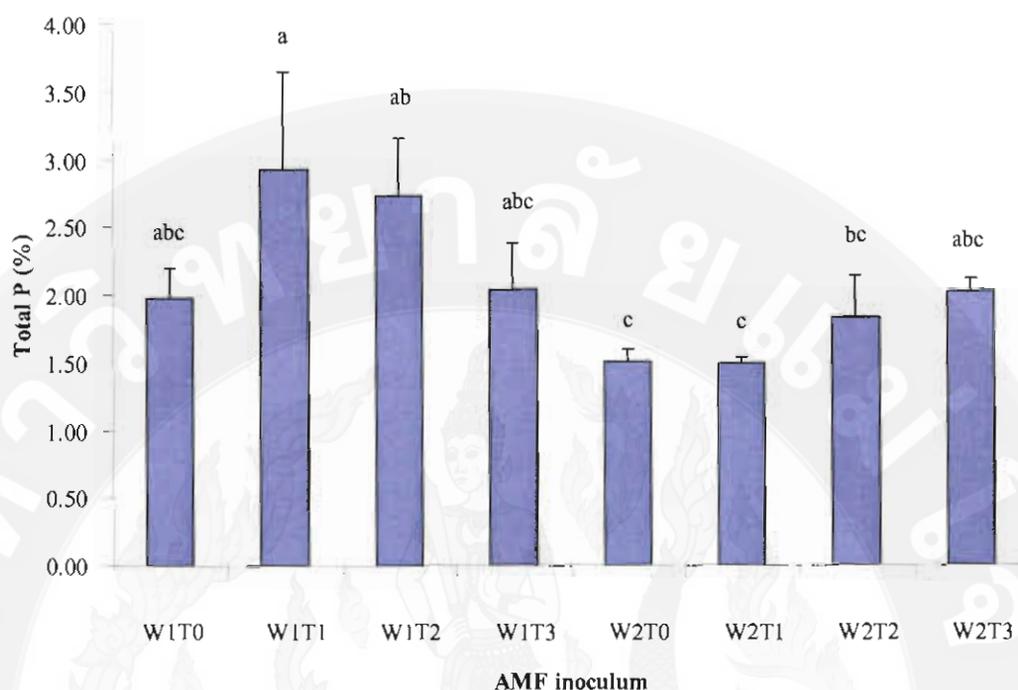
ภาพ 41 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าว (Total N) จากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

2. ฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าว (Total P)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก โดยทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างภายในพืชให้คงที่ ขณะเดียวกันก็เป็นแหล่งวัตถุดิบของกระบวนการสร้างสารต่างๆ โคนเฉพาะสารที่เกี่ยวข้องกับระบบการถ่ายทอดพลังงานในพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544) จากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีปริมาณฟอสฟอรัส

เท่ากับ 1.98, 2.92, 2.73 และ 2.04 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.92 เปอร์เซ็นต์ และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.98 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำมีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.50, 1.48, 1.82 และ 2.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.01 เปอร์เซ็นต์ และดินปลูกข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.48 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 42 จากผลการศึกษายะเห็นได้ว่าฟอสฟอรัสในพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำปริมาณฟอสฟอรัสในพืชจะสูงกว่าข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำ เนื่องจากปริมาณเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำยังมีชีวิตรอดสูงหลังปลูกข้าว 2 เดือน ส่งผลให้เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเมื่ออยู่ร่วมกับพืชก็จะสามารถดูดธาตุฟอสฟอรัสจากดินสู่พืชได้ (Smith and Read, 1997; Jakobsen et al., 2002) สอดคล้องกับ Li et al. (2006) รายงานว่า เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืช ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำไม่มีเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซารอดอยู่เลยหลังจากปลูกข้าวขังน้ำ 2 เดือน แต่ยังคงพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสสูงอาจเนื่องจากเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขังทำให้ค่าพีเอชเป็นกลางซึ่งจะช่วยปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงไว้กับเหล็ก อะลูมิเนียมและแคลเซียมทำให้เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส (Reetz, 2002)



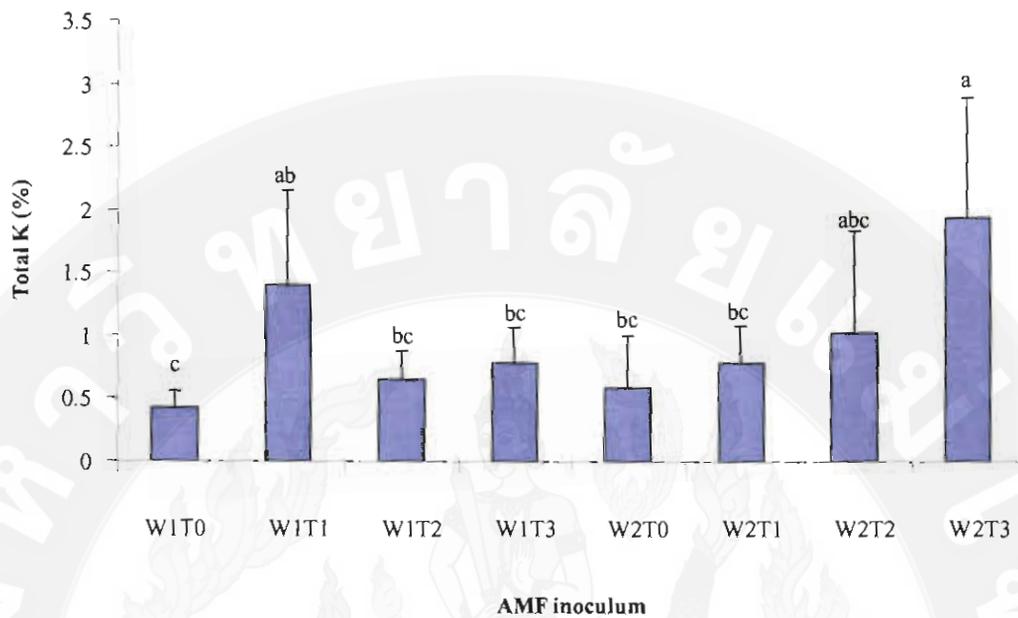
ภาพ 42 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าว (Total P) จากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

3. โปแตสเซียมทั้งหมดในข้าว (Total K)

โปแตสเซียมมีบทบาทในการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ ซึ่งเป็นกลไกหลักในการควบคุมระบบน้ำและเป็นตัวละลายที่สำคัญในสัคคัยออสโมซิสของแวลคิวโอล จึงช่วยให้พืชได้รับน้ำในปริมาณที่พอเพียงแม้จะอยู่ในสภาพแล้ง และยังช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบไปยังผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็ว พืชแข็งแรง มีความต้านทานต่อโรคบางชนิด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

2544) จากการศึกษาปริมาณ โพรแทสเซียมในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีปริมาณโพรแทสเซียมเท่ากับ 0.42, 1.40, 0.65 และ 0.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.40เปอร์เซ็นต์ และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.42 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำมีปริมาณโพรแทสเซียมเท่ากับ 0.59, 0.79, 1.03 และ 1.94เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.94 เปอร์เซ็นต์ และ ข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.59 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 43 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าโพรแทสเซียมในพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ อาจเนื่องมาจากการดูดใช้โพรแทสเซียมของเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาสู่พืช สอดคล้องกับ Qiang and Ying-Ning (2009) รายงานว่าเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารในพืชเช่น โพรแทสเซียม ส่วนในดินน้ำขังมีโพรแทสเซียมเพิ่มขึ้นเนื่องจากหลังจากขังน้ำแล้วพีเอชสูงขึ้นทำให้โพรแทสเซียมที่ถูกดูดครึ่งไว้ถูกปลดปล่อยออกมา สอดคล้องกับ เกษมศรี (2542) รายงานว่าดินดินนาในประเทศไทยหลังจากขังน้ำได้ 7-14 วัน ปริมาณการปลดปล่อยธาตุโพรแทสเซียมจะมีมากที่สุด



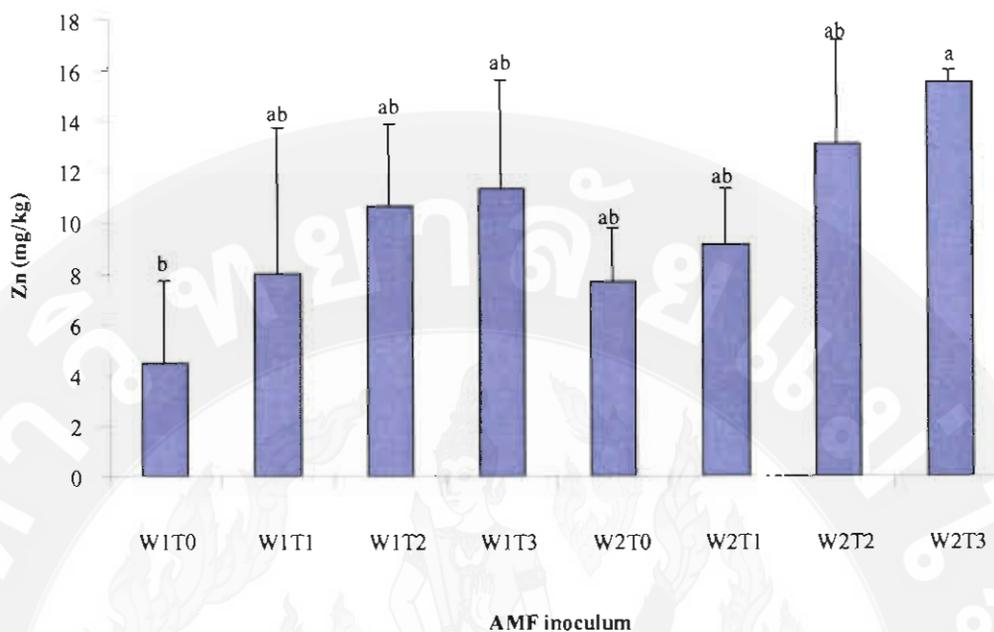
ภาพ 43 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าว (Total K) จากการใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

4. สังกะสีในพืช (Zn)

จากการศึกษาปริมาณสังกะสีในข้าวในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 4.46, 7.96, 10.66 และ 11.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 11.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 4.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำมีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 7.66, 9.13, 13.00 และ 15.50 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัมตามลำดับ โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 15.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 7.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาพ 44 จากผลการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าสังกะสีในพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ เนื่องมาจากเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มธาตุอาหารเช่น สังกะสี (Gao et al., 2007) สอดคล้องกับ Hacisalihoglu and Kochian (2003) รายงานว่า เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพของสังกะสี และเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสีในพืช และ Smith and Read (1997) รายงานว่า เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชและการดูดธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัสและธาตุอาหารเสริมบางตัวเช่นสังกะสี โดยไม่ซีเลียมของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มพื้นที่ในการดูดธาตุอาหาร ส่วนในดินขังน้ำสังกะสีเพิ่มขึ้นอาจเนื่องจากสังกะสีในดินอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ง่าย ซึ่งพืชในดินหลังข้าวน้ำ 2 เดือนเท่ากับ 6.5 เป็นช่วงพืชที่สังกะสีมีประโยชน์มากที่สุด (สมพร, 2555) เมื่อข้าวสามารถดูดใช้สังกะสีได้ง่ายจึงพบสังกะสีในข้าวสูงขึ้นด้วย



ภาพ 44 ปริมาณสังกะสีในข้าว (Zn) จากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

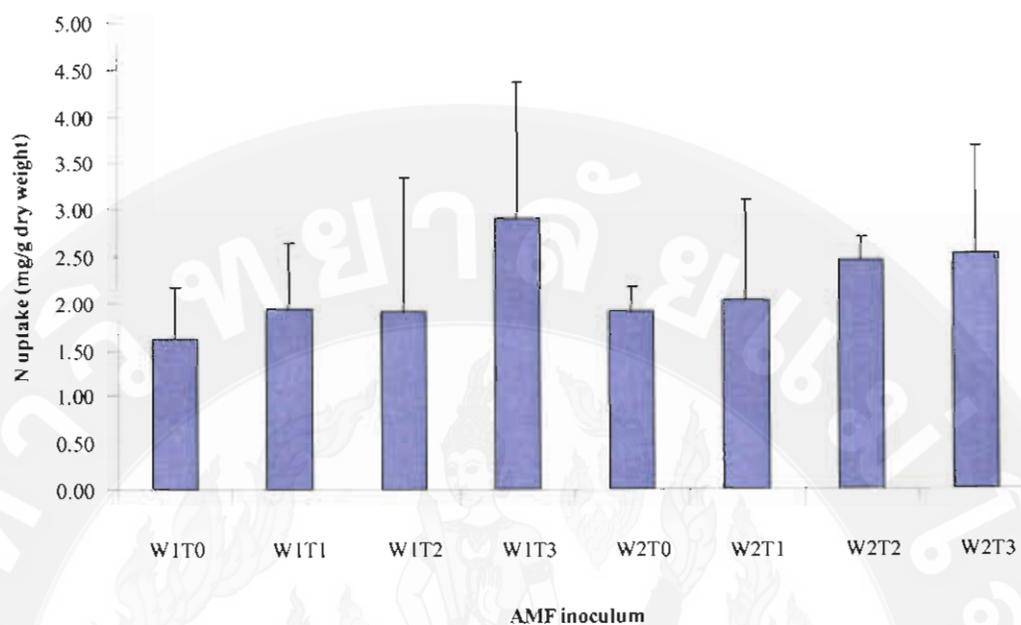
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

ผลการใช้หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดใช้ธาตุอาหารพืช

1. การดูดใช้ในโตรเจน (N uptake)

จากการศึกษาการดูดใช้ในโตรเจนในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 1.60, 1.93, 1.91 และ 2.88 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.88 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และข้าวที่

ไม้ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.60 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำมีการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 1.90, 2.01, 2.43 และ 2.49 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.49 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ ข้าวที่ไม้ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.90 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังภาพ 45 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการดูดใช้ในโตรเจนในข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราอาบัสกุลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ เนื่องจากเชื้อราอาบัสกุลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มในโตรเจนในพืช (Bago et al., 2001; Cruz et al., 2004) สอดคล้องกับ Mosse (1973) รายงานว่าเชื้อราไมคอร์ไรซามีความสามารถในการช่วยดูดซับธาตุอาหารให้กับพืช Johansen et al. (1993) รายงานว่าเชื้อราอาบัสกุลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถดูดซับในโตรเจนแล้วเคลื่อนย้ายในโตรเจนสู่พืชอาศัย ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำจะลดลงเมื่อใส่หัวเชื้อราอาบัสกุลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากหลังขังน้ำมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารจะเพิ่มขึ้นเช่นในโตรเจนเพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ (Paul and Clark, 1996) สอดคล้องกับ Oik et al. (1996) รายงานว่า การปลดปล่อยในโตรเจนจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเป็นการเพิ่มน้ำหนักและผลผลิต



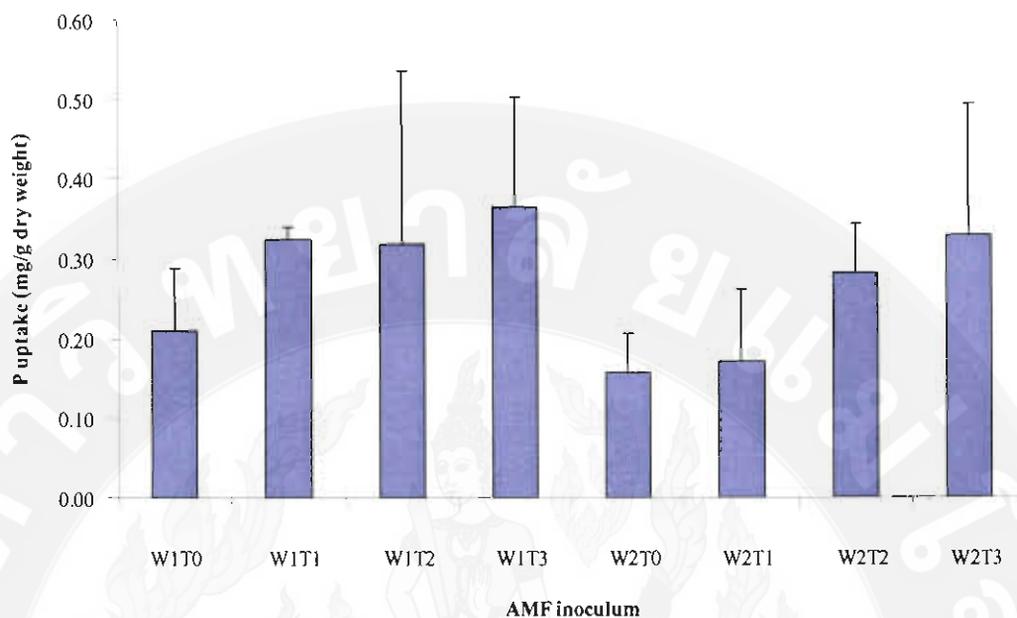
ภาพ 45 การดูดใช้ไนโตรเจนในข้าว (N uptake) จากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

2. การดูดใช้ฟอสฟอรัส (P uptake)

จากการศึกษาการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.21, 0.32, 0.32 และ 0.36 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.36 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.21 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วม

ขังน้ำมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.16, 0.17, 0.28 และ 0.33 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.33 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ ข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อ ไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.16 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังภาพ 46 จากผลการศึกษาจะ เห็นได้ว่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในข้าว ที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืช จะสูงกว่าข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำ เนื่องจากปริมาณเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวที่ปลูก ในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำยังมีชีวิตรอดสูงหลังปลูกข้าว 2 เดือน ส่งผลให้เชื้อรา ออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเมื่ออยู่ร่วมกับพืชก็สามารถดูดธาตุฟอสฟอรัสจากดินสู่พืชได้ (Smith and Read, 1997; Jakobsen et al., 2002; Qiang and Ying-Ning, 2009) สอดคล้องกับ Li et al. (2006) รายงานว่า เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืช ในขณะที่ข้าว ที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำไม่มีเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซารอดอยู่เลยหลังจากปลูกข้าวขังน้ำ 2 เดือน แต่ยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสสูงอาจเนื่องจากเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขังทำให้ค่าพีเอชเป็นกลางซึ่ง จะช่วยปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงไว้กับเหล็ก อะลูมิเนียมและแคลเซียมทำให้เพิ่มความเป็น ประโยชน์ของฟอสฟอรัส (Reetz, 2002)



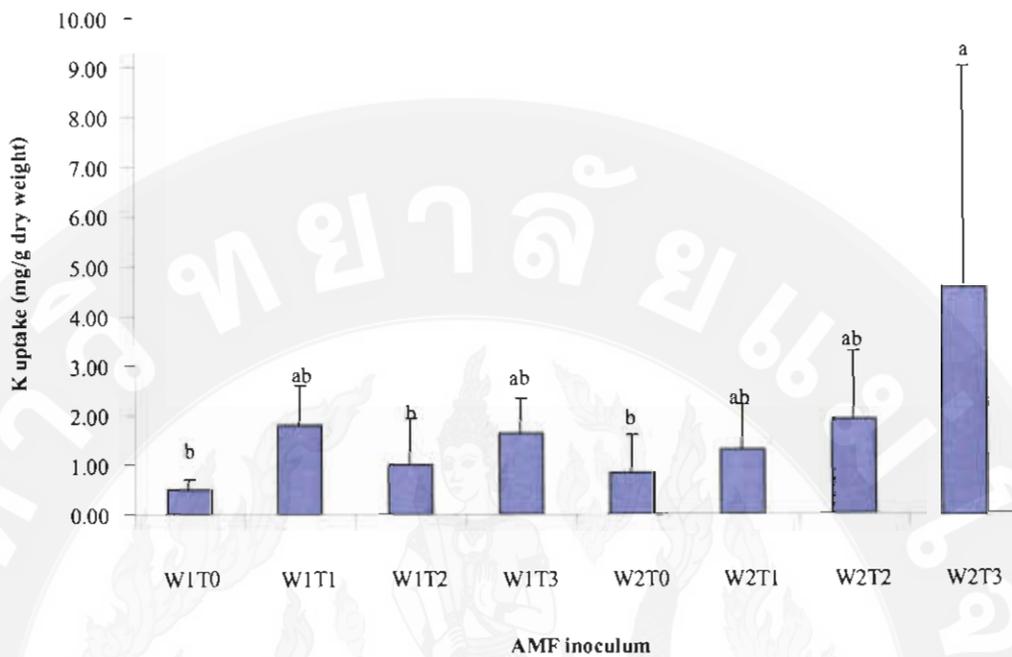
ภาพ 46 การดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว (P uptake) จากการใส่หัวเชื้อราอับสตุลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสตุลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสตุลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

3. การดูดใช้โพแทสเซียม (K uptake)

จากการศึกษาการดูดใช้โพแทสเซียมในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีการดูดใช้โพแทสเซียมเท่ากับ 0.51, 1.78, 1.00 และ 1.61 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.78 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.51 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำมีการดูดใช้โพแทสเซียมเท่ากับ

0.85, 1.29, 1.89 และ 4.55 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 4.55 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.85 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังภาพ 47 จากผลการศึกษายืนยันได้ว่าการดูแลใช้โพแทสเซียมในข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ การดูแลใช้โพแทสเซียมจะต่ำกว่าดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำ เนื่องมาจากการดูแลใช้โพแทสเซียมของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาสู่พืช สอดคล้องกับ Qiang and Ying-Ning (2009) รายงานว่าเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูแลใช้ธาตุอาหารในพืชเช่น โพแทสเซียม



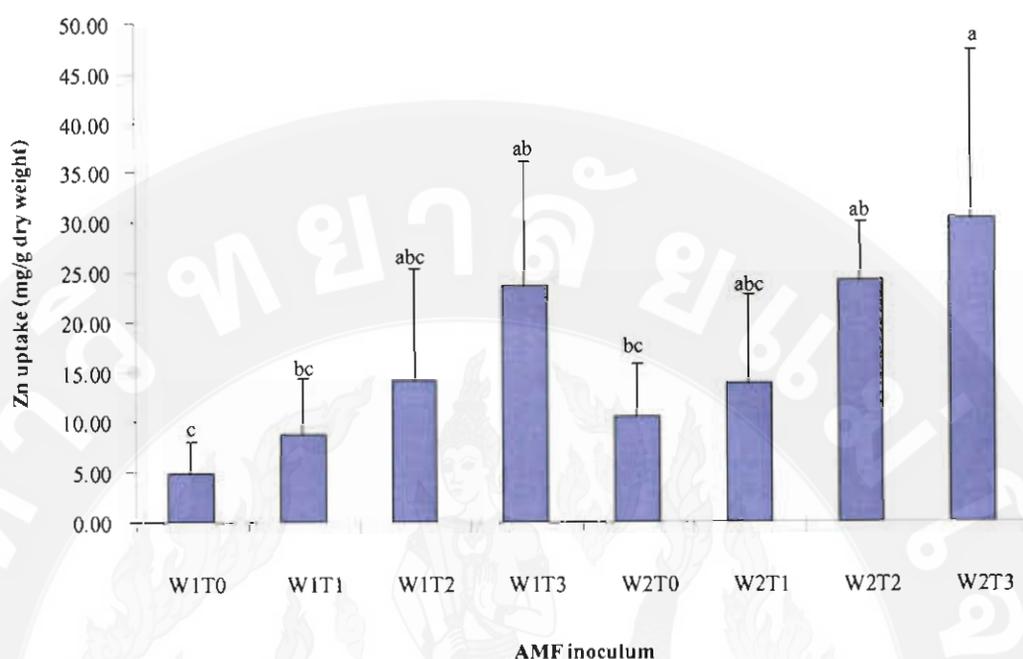
ภาพ 47 การดูดใช้โพแทสเซียมในข้าว (K uptake) จากการใส่หัวเชื้อราอราบัสกูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสกูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสกูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

4. การดูดใช้สังกะสี (Zn uptake)

จากการศึกษาการดูดใช้สังกะสีในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่า ข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีการดูดใช้สังกะสีเท่ากับ 4.84, 8.79, 14.17 และ 23.51 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 23.51 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 4.84 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินที่ท่วมขังน้ำมีการดูดใช้สังกะสีเท่ากับ 10.52, 13.78, 23.98 และ 30.40

มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 30.40 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ ข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 10.52 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังภาพ 48 จากผลการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าการดูแลใช้สังกะสีในข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำการดูแลใช้สังกะสีจะต่ำกว่าข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำ เนื่องมาจากเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มธาตุอาหารเช่น สังกะสี (Gao et al., 2007) สอดคล้องกับ Hacisalihoglu and Kochian (2003) รายงานว่า เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพของสังกะสี และเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสีในพืช และ Smith and Read (1997) รายงานว่า เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช และการดูดธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัสและธาตุอาหารเสริมบางตัวเช่นสังกะสี โดยไม่ซีเลียมของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มพื้นที่ในการดูดธาตุอาหาร นอกจากนี้ Gao et al. (2007) รายงานว่าเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลต่อการดูแลใช้สังกะสีในการปลูกข้าวแบบใช้อากาศ



ภาพ 48 การดูดใช้สังกะสีในข้าว (Zn uptake) จากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพ
ขังน้ำและไม่ขังน้ำ

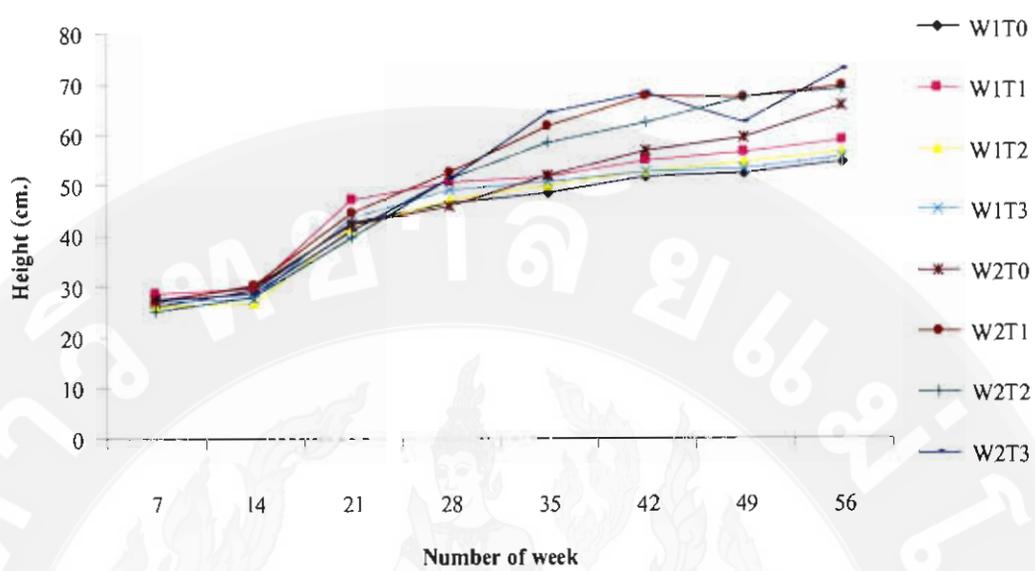
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

ผลการใช้หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของข้าว

1. ความสูงของข้าว

จากการศึกษาความสูงของข้าว ในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่า ข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ หลังปลูกข้าว 2 เดือนมีความสูงเท่ากับ 54.58, 58.7, 56.41 และ 55.6 เซนติเมตรตามลำดับ โดยข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 58.7 เซนติเมตร และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 54.58 เซนติเมตร ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วม

ขังน้ำหลังปลูกข้าว 2 เดือนมีความสูงเท่ากับ 65.36, 69.26, 68.56 และ 72.66 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 72.66 เซนติเมตร และ ข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 65.36 เซนติเมตร ดังภาพ 49 จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นว่าความสูงของข้าวจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก และเมื่อใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้งในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีความสูงจะต่ำกว่าข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำ เนื่องจากข้าวปลูกในสภาพน้ำขังมีน้ำและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต (Gong, 1983) การเพิ่มปริมาณธาตุอาหารเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียมเนื่องจากการขังน้ำทำให้ค่าพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลางทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ถูกตรึงไว้กับเหล็ก อะลูมิเนียม ทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตดีกว่าข้าวที่ปลูกสภาพไม่ขังน้ำ และเกิดการเปลี่ยนแปลงขบวนการทางเคมีและชีวเคมีในบริเวณรากข้าว (Kogel-Knabner et al., 2010) ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ เชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว (Sanni, 1976) เพิ่มสังเคราะห์แสง (Ruiz-Sanchez et al., 2010) และการใช้คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพ (Harley and Smith, 1983) และเพิ่มการผลิตฮอร์โมนเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช (Edriss et al., 1984; Harley and Smith, 1983) เพิ่มการดูดน้ำและธาตุอาหารพืชทำให้พืชเจริญเติบโต (Xiao et al., 2010) นอกจากนี้การเจริญเติบโตของข้าวขึ้นกับพันธุ์ข้าว ชนิดเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ร่วมกัน และระยะการเจริญเติบโต (Ruiz-Sanchez et al., 2010) ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อความสูงของข้าว



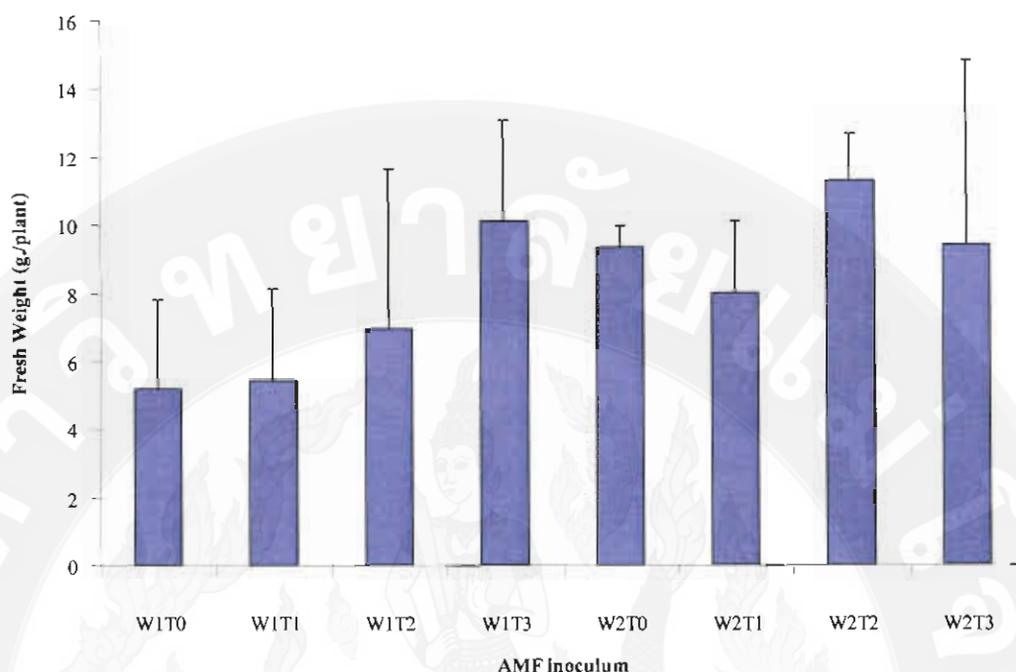
ภาพ 49 ความสูงของข้าวหลังจากปลูกได้ 2 เดือนจากการใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราออบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

2. น้ำหนักสดของข้าว

จากการศึกษาน้ำหนักสดของข้าว ในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่า ข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำหลังปลูกข้าว 2 เดือนมีน้ำหนักสดเท่ากับ 5.16, 5.43, 6.95 และ 10.11 กรัมตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 10.11 กรัม และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 5.16 กรัม ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำหลังปลูกข้าว 2 เดือนมีน้ำหนักสดเท่ากับ 9.31, 7.96, 11.27 และ 9.36 กรัมตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าว

ที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 11.27 กรัม และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 9.31 กรัม ดังภาพ 50 จากผลการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าน้ำหนักสดของข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีน้ำหนักสดของข้าวจะต่ำกว่าข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำ เนื่องจากข้าวปลูกในสภาพน้ำขังมีน้ำและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต (Gong, 1983) การเพิ่มปริมาณธาตุอาหารเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม เนื่องจากการขังน้ำทำให้ค่าพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลางทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ถูกตรึงไว้กับเหล็ก อะลูมินัม คาร์บอนเนตทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตดีกว่าข้าวที่ปลูกสภาพไม่ขังน้ำ และเกิดการเปลี่ยนแปลงขบวนการทางเคมีและชีวเคมีในบริเวณรากข้าว (Kogel-Knabner et al., 2010) ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว (Sanni, 1976) เพิ่มสังเคราะห์แสง (Ruiz-Sanchez et al., 2010) และการใช้คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพ (Harley and Smith, 1983) และเพิ่มการผลิตฮอร์โมนเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช (Edriss et al., 1984; Harley and Smith, 1983) เพิ่มการดูดน้ำและธาตุอาหารพืช ทำให้พืชเจริญเติบโต (Xiao et al., 2010) นอกจากนี้การเจริญเติบโตของข้าวขึ้นกับชนิดพืช ชนิดเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ร่วมกัน และระยะการเจริญเติบโต (Ruiz-Sanchez et al., 2010) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อน้ำหนักสดของข้าว



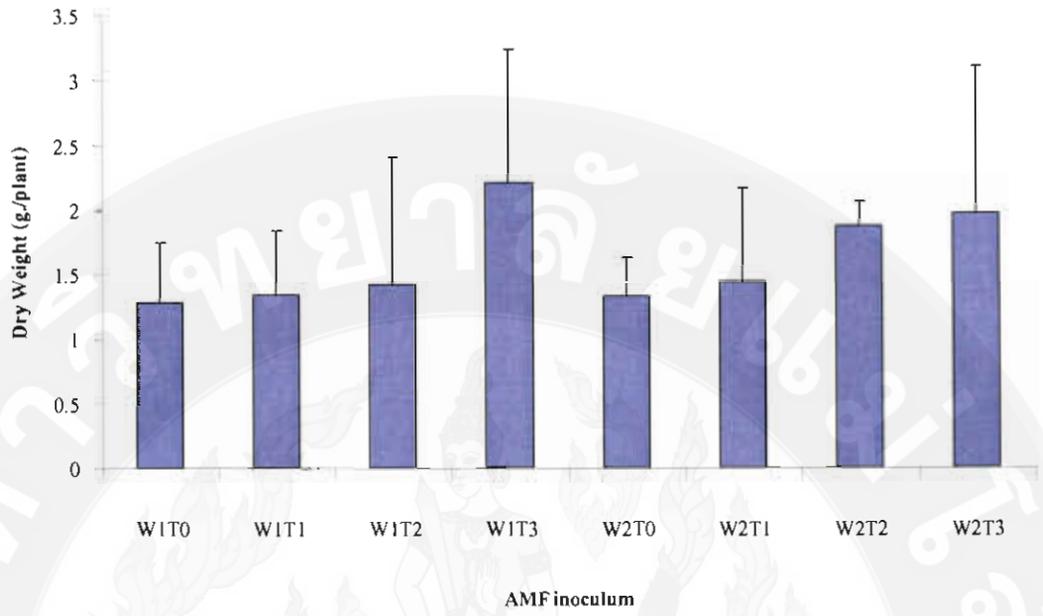
ภาพ 50 น้ำหนักสดของข้าวหลังจากปลูกได้ 2 เดือนจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

3. น้ำหนักแห้งของข้าว

จากการศึกษาน้ำหนักแห้งของข้าว ในข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ข้าวใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* และ ข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* พบว่าข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำหลังปลูกข้าว 2 เดือนมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.28, 1.34, 1.42 และ 2.21 กรัมตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.21 กรัม และข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.28 กรัม ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำหลังปลูกข้าว 2 เดือนมีน้ำหนักสดเท่ากับ 1.32, 1.44,

1.87 และ 1.97 กรัมตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้าวที่ใส่หัวเชื้อดิน *A. fovata* มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.97 กรัม และ ข้าวที่ไม่ใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.32 กรัม ดังภาพ 51 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าน้ำหนักแห้งของข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีน้ำหนักแห้งข้าวจะต่ำกว่าข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำ เนื่องจาก ข้าวปลูกในสภาพน้ำขังมีน้ำและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต (Gong, 1983) การเพิ่มปริมาณธาตุอาหารเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียมเนื่องจากการขังน้ำทำให้ค่าพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลางทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ถูกตรึงไว้กับเหล็ก อะลูมิเนียม ทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตดีกว่าข้าวที่ปลูกสภาพไม่ขังน้ำ และเกิดการเปลี่ยนแปลงขบวนการทางเคมีและชีวเคมีในบริเวณรากข้าว (Kogel-Knabner et al., 2010) ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำ เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว (Sanni, 1976) เพิ่มน้ำหนักแห้ง (Zhang et al., 2011) เพิ่มสังเคราะห์แสง (Ruiz-Sanchez et al., 2010) และการใช้คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพ (Harley and Smith, 1983) และเพิ่มการผลิตฮอร์โมนเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช (Edriss et al., 1984; Harley and Smith, 1983) เพิ่มการดูดน้ำและธาตุอาหารพืช ทำให้พืชเจริญเติบโต (Xiao et al., 2010) นอกจากนี้การเจริญเติบโตของข้าวขึ้นกับชนิดพืชชนิดเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ร่วมกัน และระยะการเจริญเติบโต (Ruiz-Sanchez et al., 2010) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งของข้าว



ภาพ 51 น้ำหนักแห้งของข้าวหลังจากปลูกได้ 2 เดือนจากการใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในสภาพขังน้ำและไม่ขังน้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งกราฟที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นบาร์เหนือแท่งกราฟคือ standard deviation ($n = 4$) W1T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพไม่ขังน้ำ W1T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพไม่ขังน้ำ W1T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพไม่ขังน้ำ W2T0= ไม่ใส่หัวเชื้อราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพขังน้ำ W2T1= การใส่หัวเชื้อ *G. geosporum* ในสภาพขังน้ำ W2T2= การใส่หัวเชื้อ *G. etunicatum* ในสภาพขังน้ำ W2T3= การใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ในสภาพขังน้ำ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การเปรียบเทียบวิธีการร่อนสปอร์เชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพบว่าการใช้มือกดเมล็ดดินให้แตกมีจำนวนและชนิดของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงกว่าการใช้แท่งแก้วคนดิน และพื้นที่ป่ามีจำนวนอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และความคงทนของเมล็ดดินที่สูงกว่าพื้นที่เกษตรอินทรีย์ และเมื่อนำจำนวนสปอร์มาหาความสัมพันธ์กับสาร โกลมาลินพบว่าในมีความสัมพันธ์เชิงบวก ในขณะที่เดียวกันสาร โกลมาลินก็มีความสัมพันธ์กับความคงทนของเมล็ดดิน จะเห็นได้ว่ารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆมีผลต่อจำนวนและชนิดของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และความคงทนของเมล็ดดิน

การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของคะน้าพบว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนมีผลต่อปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู และปุ๋ยมูลไส้เดือนคลุกร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะให้ปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู ได้แก่ อินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด และเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน แคลเซียม แมกนีเซียม โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย และความคงทนของเมล็ดดินสูงกว่าปุ๋ยมูลหมู นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในคะน้า และการดูดใช้ธาตุอาหารได้สูงกว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยมูลหมูที่ไม่คลุกร่วมกับเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะเห็นได้ว่าเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยผลิตสาร โกลมาลินซึ่งมีผลให้เมล็ดดินที่เสถียรขึ้น โดยโกลมาลินทำให้เกิดผลทางอ้อมที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของรากพืชและการดูดใช้ธาตุอาหารและน้ำได้ดียิ่งขึ้น

ผลการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน สมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าดอง 1 พบว่า หลักจากการใส่หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการปลูกข้าวได้ 2 เดือน พบการเข้าอาศัยในรากของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินปลูกข้าวที่ไม่ขังน้ำ แต่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำ ไม่มีพบการเข้าอาศัยในรากของเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งส่งผลให้ดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำมีสาร โกลมาลิน และความคงทนเมล็ดดินสูงกว่าดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำ ธาตุอาหารในใบข้าวและการดูดใช้ธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน โพแทสเซียม สังกะสี มีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากทั้งในข้าวที่ปลูกในดินไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ

แต่เห็นได้ชัดเจนว่าข้าวที่ปลูกในดินไม่ขังน้ำมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง ด้านการเจริญเติบโตของพืชพบว่า ข้าวที่ปลูกในดินไม่ขังน้ำมีความสูง ความยาวใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ต่ำกว่าข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำ จะเห็นได้ว่าข้าวที่ปลูกในสภาพน้ำขังจะมีการเจริญเติบโต ธาตุอาหารบางธาตุ สูงกว่าไม่ขังน้ำเนื่องจากข้าวปลูกในสภาพน้ำขังมีน้ำและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม จากการขังน้ำทำให้ค่าพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลางทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ถูกตรึงไว้กับเหล็ก อะลูมิเนียม ทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตสูง แต่ในขณะที่เดียวกันการขังน้ำถึงแม้จะเพิ่มการเจริญเติบโตได้ดีแต่ใช้น้ำปริมาณมาก และการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีในระหว่างการขังน้ำก็อาจส่งผลเสียต่อข้าวและสภาพแวดล้อมได้ เช่นการปลดปล่อยแก๊สมีเทนจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ส่วนการปลูกข้าวแบบไม่ขังน้ำถึงแม้จะได้ผลผลิตต่ำกว่าแต่ลดการเกิดแก๊สมีเทน และยังช่วยในการประหยัดน้ำ และการนำเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซามาใช้ในการปลูกข้าวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตของข้าวได้โดยช่วยในการดูดใช้ธาตุอาหารให้กับข้าวได้ นอกจากนี้ยังเพิ่มสาร โกลมาดินและความคงทนของเม็ดดินอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาความหลากหลายของเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซา ในขั้นตอนการร่อนสปอร์ควรจะใช้มือกอดเม็ดดินให้แตกแทนการใช้แท่งคนสารคนดิน เพราะแท่งคนสารอาจทำให้สปอร์แตก และก้อนดินยังไม่แตกออกซึ่งสปอร์ของเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาก็อาจจะอยู่ในดินที่เป็นก้อน ซึ่งจะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้
2. การศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่คลุกพร้อมกับเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซา ควรจะมีการตรวจสอบการรอดชีวิตของสปอร์เชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาตลอดระยะเวลาในการทดลอง และก่อนทำการทดลองควรนำเชื้อปุ๋ยอินทรีย์ 70 องศาเซลเซียส นาน 3 นาทีเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆที่มีในปุ๋ย
3. การเพาะขยายหัวเชื้อ ควรลดฟอสฟอรัสในสารละลาย Hoagland 's solution ให้เหลือครึ่งสูตรเนื่องจากถ้าฟอสฟอรัสสูงมีผลยับยั้งการเข้ารากพืชของเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซา
4. การนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งเกษตรกรสามารถนำเชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาไปคลุกกับปุ๋ยอินทรีย์ต่างๆ เชื้อราออบัสคูลารีไมคอร์ไรซาจะช่วยในการดูดธาตุอาหารจากดินสู่พืช ทำให้เพิ่มปริมาณธาตุอาหาร เพิ่มความต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อโรคพืชโดยเฉพาะเชื้อสาเหตุโรคที่เกี่ยวข้องรากพืช ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. กรุงเทพฯ: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 252 น.
- เกษมศรี ชับซ้อน. 2542. การปลดปล่อยปริมาณโพแทสเซียมในดินนาสภาพน้ำขัง. น. 227-234. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37 สาขาพืช สาขาส่งเสริมนิเทศศาสตร์เกษตร 3-5 กุมภาพันธ์ 2542. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 น.
- คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2542. พืชเศรษฐกิจเล่ม 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชาไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 471 น.
- จำเป็น อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา: ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 168 น.
- ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักในตระกูลครุจีเฟอ์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ลิ้นคอร. 195 น.
- ชฎาพร อุปันันท์ และ สุภธิดา อ่างทอง. 2554. ผลของการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆต่อจำนวนสปอร์ของอาบัสตุลาริไมคอร์ไรซา กลูมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินและความคงทนของเม็ดดิน. น. 159-160. ใน รายงานการประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 2 11-13 พฤษภาคม 2554 ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ธงชัย มาลา. 2535. ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 305 น.
- _____. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 300 น.
- ธงชัย มาลา, วันทนีย์ พึ่งแสง, จีรวัดน์ พุ่มเพชร และ มจรุส เจียมจิรชาติ. 2541. การประเมินประสิทธิภาพของเชื้อรา VAM ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการดูดกินฟอสฟอรัสในข้าวโพดและถั่วเหลือง. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 19 น.

- นันทกร บุญเกิด, ประยูร สวัสดิ์ และ ออมทรัพย์ นพอมรบดี. 2533. การใช้จุลินทรีย์ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช. **คู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย**. กรุงเทพฯ: ศูนย์การพิมพ์พลชัย. 335 น.
- ปัทมา วิทยากร. 2533. **ดิน: แหล่งธาตุอาหารของพืช**. ขอนแก่น: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 211 น.
- มัตติกา พนมธรนิจกุล. 2530. **ปฐพีฟิสิกส์**. เชียงใหม่: ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 514 น.
- มานิช ทองเจียม และ อติศักดิ์ ประจงแสงศรี. 2536. **การผลิตเมล็ดพันธุ์ผักคะน้า**. กรุงเทพฯ: กองขยายพันธุ์พืช กรมส่งเสริมการเกษตร. 425 น.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2548. **ปุ๋ยอินทรีย์**. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน. 215 น.
- ศุภธิดา อ่ำทอง. 2552. **การศึกษาและการพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์จากกลูมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินและอับสคูลารีไมโครไรซาเพื่อใช้บำบัดดินและปรับปรุงคุณภาพของดิน**. เอกสารแบบเสนอโครงการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2555. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 30 น.
- ศุภธิดา อ่ำทอง, ชฎาพร อุปนันท์ และ อานัฐ ตัน โข. 2554. รูปแบบการย่อยสลายของปุ๋ยหมักมูลสัตว์ร่วมกับสปอร์ของเชื้อราไมโครไรซาและการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวได้ง่าย. น. 93-107. ใน **รายงานการประชุมวิชาการ ประจำปี 2554 มหาวิทยาลัยแม่โจ้**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศุภธิดา อ่ำทอง, พงศ์สุดา ศิรินิกร, พิทวัส สุสิงสา และ นงลักษณ์ เมืองใจ. 2552. ความสัมพันธ์ของสารกลูมาลินกับความคงทนของเม็ดดินในดินที่มีการใช้แบบต่างๆ. น. 1-11. ใน **รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อ กองทุนสนับสนุนงานวิจัย คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศุภกานดา ศิลปชัย, ธงชัย มาลา และ ถวัลย์ศักดิ์ เผ่าสังข์. 2552. ผลของเชื้อรา *Glomus aggregatum* ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นสบู่ดำพันธุ์อินเคีย ในปีที่ 2. **วิทยาสารกำแพงแสน** 7(1): 10-24.
- สุชาติ จิรพรเจริญ. 2530. **อินทรีย์วัตถุของดิน**. เชียงใหม่: ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 165 น.
- โสภณ บุญถือ. 2540. ความสามารถในการอยู่รอดในดิน การเข้าอยู่อาศัยในรากข้าวโพดและถั่วลิสงและผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดของเชื้อราเวสิคูลา อับสคูลา ไมคอร์ไรซา. **วิทยานิพนธ์ปริญญาโท**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สมพร คนขงศ์. 2555. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
<http://courseware.rmutl.ac.th/courses/53/unit000.htm> (10 กรกฎาคม 2555).
- อานัฐ ดันโซ. 2549. คุณสมบัติของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. เกษตรธรรมชาติประยุกต์ หลักการ
 แนวคิด เทคนิคปฏิบัติการในประเทศไทย. เชียงใหม่: บริษัท ทรี โอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์
 มีเดีย จำกัด. 300 น.
- _____. 2550. ไส้เดือนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: บริษัท ทรี โอ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย
 จำกัด. 259 น.
- อมรินทร์ นพอมรบดี. 2527. การใช้ไมโครไรซาในระบบการปลูกพืช. น. 247-253. ใน รายงาน
 สัมมนาทางวิชาการกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ: กรม
 วิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- _____. 2542. ปุ๋ยชีวภาพกับการจัดการดินและปุ๋ย. น. 113-131. ใน เอกสารวิชาการงานวิจัย
 ปุ๋ยชีวภาพ. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.
- Anderson, J.M. and J.S.I. Ingram. 1993. **Tropical Soil biology and Fertility: A Handbook of
 Methods. Second edition.** Wallingford, UK: CAB International. 137 p.
- Auge, R.M., K.A. Schekel and R.L. Wample. 1987. Leaf water and carbohydrate status of VA
 mycorrhizal rose exposed to drought stress. **Plant and Soil** 99: 291-302.
- Bago, B., Y. Shachar-Hill and P.E. Pfeffer. 2001. Could the urea cycle be translocating nitrogen
 in the arbuscular mycorrhizal symbiosis?. **New Phytologist** 149: 4-8.
- Bolan, N.A. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus
 by plants. **Plant and Soil** 134: 189-207.
- Bowen, G.D. 1987. The biology and physiology of infection and its development. pp. 27-57. In
 G.R. Safir (ed.). **Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants.** USA: RCR Press, Inc.
- Boyetchko, S.M. and J.P. Tewari. 1990. Root colonization of different host by the vesicular
 arbuscular mycorrhiza 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.** Madison: American Society of Agronomy.
- Carpenter-Boggs, L., T.E. Loynachan and P.D. Stahl. 1995. Spore germination of *Gigaspora
 margarita* stimulated by volatiles of soil-isolate actinomycetes. **Soil Biology &
 Biochemistry** 27: 1,445-1,451.

- Cruz, C., J.J. Green, C.A. Watson, F. Wilson and M.A. Martins-Loução. 2004. Functional aspects of root architecture and mycorrhizal inoculation with respect to nutrient uptake capacity. **Mycorrhiza** 14: 177-184.
- Danial, B.A. and H.D. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. pp. 29-36. *In* N.C. Schenck (ed.). **Method and Principle of Mycorrhizal Research**. St. Paul, Minnesota: American Phytopathology Society Press.
- Diaz, A., C. Azcon-Aguilar and M. Honrubai. 1996. Influence of arbuscular mycorrhizae on heavy metal (Zn and Pb) uptake and growth of *Lygeum spartum* and *Anthyllis eytisoides*. **Plant and Soil** 180: 241-249.
- Edriss, M.H., R.M. Davis. and D.W. Burger. 1984. Influence of Mycorrhizal Fungi on Cytokinin Production in Sour Orange. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 109: 587-590.
- Faber, B.A., R.J. Zasoski, R.G. Burau and K. Uris. 1990. Zinc uptake by corn as effected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. **Plant and Soil** 129: 121-130.
- Fernández-Gómez, M. J., E. Romero and R. Nogales. 2010. Feasibility of vermicomposting for vegetable greenhouse waste recycling. **Bioresource Technology** 101: 9654-9660.
- Farquhar, M.L. and R.L. Peterson. 1990. Later events in suppression of Fusarium root rot of red pine seedling by the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus*. **Canadian Journal of Botany** 69: 1,372-1,383.
- Franke-Snyder, M., D.D. Douds, L. Galvez, J.G. Phillips, P. Wagoner, L. Drinkwater and J.B. Morton. 2001. Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania, USA. **Applied Soil Ecology** 16: 35-48.
- Gao, X., T.W. Kuyper, C. Zou, F. Zhang and E. Hoffland. 2007. Mycorrhizal responsiveness of aerobic rice genotypes is negatively correlated with their zinc uptake when nonmycorrhizal. **Plant and Soil** 290: 283-291.
- Geremann, J.W. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. **Annual Review of Phytopathology** 6: 397-418.

- Geremann, J.W. and T.H. Nicolson. 1963. Spore of mycorrhizal endogone species extract from soil by wet sieving and decanting. **Transactions British Mycological Society** 46(2): 235-244. Cited by N.C.Schenck. Method and Principle of Mycorrhizal Research. St.Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society.
- Golueke, G.C. 1981. Principles of biological resource recovery. **Biocycle** 22:36-40.
- Gong, Z.T. 1983. Pedogenesis of Paddy Soil and Its Significance in Soil Classification. **Soil Science** 135: 5-10.
- Gonzalez-Chavez, C., J. D. Haen, J.J. Vangronsveld, J.C. Dodd. 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(2):287-297.
- Gonzalez-Chavez, M.C., R. Carrillo-Gonzalez, S.F. Wright and K.A. Nichols. 2004. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. **Environmental Pollution** 130: 317-323.
- Gryndler, M., J. Lestina, V. Moravec, Z. Prikyl and J. Lipavsky. 1990. Colonization of maize roots by VAM-fungi under condition of long-term fertilization of varying intensity. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 29 : 183-186.
- Guo, Y., E. George and H. Marschner. 1996. Contribution of an arbuscular mycorrhizal fungus to the uptake of cadmium and nickel in bean maize plants. **Plant and Soil** 184: 195-205.
- Habte, M., T. Aziz and J.E. Yuen. 1992. Residual toxicity of soil-applied chlorothalonil on mycorrhizal symbiosis in *Leucaena leucocephala*. **Plant and Soil** 140 : 263-268.
- Haeisalihoglu, G. and L.V. Kochian. 2003. How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. **New Phytologist** 159: 341-350.
- Harley, J.L. and S.E. Smith. 1983. **Mycorrhizal Symbiosis**. London: Academic Press. 483 p.
- Haugen, L.M. and S.E. Smith. 1992. The effect of high temperature and fallow period on infection of mung bean and cashew roots by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *G. intraradices*. **Plant and Soil** 145: 71-80.
- Jakobsen, I., S.E. Smith and F.A. Smith. 2002. Function and diversity of arbuscular mycorrhizae in carbon and mineral nutrition. pp. 75-92. In M.G.A. van der Heijden, I.R. Sanders, (eds.) **mycorrhizal ecology**. Berlin, Germany: Springer-Verlag, Heidelberg.

- Janos, D.P., M.S. Schroeder, B. schaffer and J. H. Crane. 2001. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi enhances growth of *Litchi chinensis* Sonn. Trees after propagation by air-layering. **Plant and Soil** 233: 85-94.
- Jasper, D. A., L.K. Abbott and A.D. Robson. 1993. The survival of infective hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in dry soil : an interaction with sporulation. **New Phytologist** 124: 473-479.
- Johansen, A., I. Jakobsen and ES. Jessen. 1993. External hapae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 3. Hyphal transport of ^{32}P and ^{15}N . **New Phytologist** 124: 61-68.
- Jones, J.B. 2001. **Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis**. London: CRC Press. 382 p.
- Jones, J.B., B. Woft and H.A. Mills. 1991. **Plant Analysis Handbook**. Georgia: Micro-Macro Publishing, Inc. 130 p.
- Kögel-Knabner, I., W. Amelung, Z.H. Cao, S. Fiedler, P. Frenzel, R. Jahn, K. Kalbitz, A. Kölbl and M. Schloter. 2010. Biogeochemistry of paddy soils. **Geoderma** 157: 1-14.
- Kothari, S.K., H. Marschner and B. Romheid. 1990. Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganism on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil. **New Phytologist** 116: 637-645.
- Li, H. Y., S.E. Smith, R.E. Holloway, Y. G. Zhu and F.A. Smith. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorus uptake by wheat grown in a phosphorus-fixing soil even in the absence of positive growth responses. **New Phytologist** 172: 536-543.
- Li, H., Z.H. Ye, W.F. Chan, X.W. Chen, F.Y. Wu, S.C. Wu, M.H. Wong. 2011. Can arbuscular mycorrhizal fungi improve grain yield, As uptake and tolerance of rice grown under aerobic conditions?. **Environmental Pollution** 159: 2537-2545.
- Lovelock, C.E. and S.F. Wright, D.A. Clark and R.W. Ruess. 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology** 92: 278-287.
- Lu, X. and R.T. Koide. 1994. The effects of mycorrhizal infection on components of plant growth and reproduction. **New Phytologist** 128: 211-218.

- Marschner, P., S. Umar and K. Baumann. 2011. The microbial community composition changes rapidly in the early stages of decomposition of wheat residue. **Soil Biology & Biochemistry** 43: 445-451.
- McGonigle, T.P. and M.H. Miller. 1993. Mycorrhizal development and phosphorus absorption in maize under conventional and reduced tillage. **Soil Science Society of America** 57: 1,002-1,006.
- Miller, R.M. and J.D. Jastrow. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. pp. 3-18. In Kapulnik, Y. and D.D. Douds (Eds). **Arbuscular Mycorrhiza: Physiology and Function**. Dordrecht: Kluwer academic publishers.
- Miller, S.P. 2000. Arbuscular mycorrhizal colonization of semi-aquatic grasses along a wide hydrologic gradient. **New Phytologist** 145: 145-155.
- Miller, S.P. and R.R. Sharitz. 2000. Manipulation of flooding and arbuscular mycorrhiza formation influences growth and nutrition of two semiaquatic grass species. **Functional Ecology** 14: 738-748.
- Mosse, B. 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. **Annual Review of Phytopathology** 11 : 171-196.
- Murphy, J. and H.P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in Natural water. **Analytica Chimica Acta** 27: 31-36.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 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**. Madison: American Society of Agronomy, Inc.
- Norman, J. R., D. Atkinson and J. E. Hooker. 1996. Arbuscular mycorrhizal fungal induced alteration to root architecture in strawberry and induced resistance to the root pathogen *Phytophthora fragariae*. **Plant and Soil** 185: 191-198.
- Olk, D.C., K.G. Cassman, E.W. Randall, P. Kinchesh, L.J. Sanger and J.M. Anderson. 1996. Changes in chemical properties of organic matter with intensified rice cropping in tropical lowland soil. **European Journal of Soil Science** 47: 293-303.
- Osonubi, O.K. Mulogoa, O.O. Awotoye, M.O. Atayese and D.U.U. Okali. 1991. Effect of ectomycorrhizal and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on drought tolerance of four leguminous woody seedlings. **Plant and Soil** 136: 131-143.

- Paul, E.A. and F. E. Clark. 1996. **Soil microbiology and biochemistry**. 2nd ed. Orlando: Academic Press. 340 p.
- Pederson, R.L., Y. Piche and C.Plenechette. 1984. Mycorrhizae and their potential use in the agricultural and forestry industries. **Biotechnology Advances** 2: 101-120.
- Peech, M. 1945. Determination of exchangeable cations and exchange capacity of soils rapid micromethods utilizing centrifuge and spectrophotometer. **Soil Science**. 59: 25-28.
- Perner, H., D. Schwarz, C. Bruns, P. Mäder and E. George. 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 R.G. Linderman. 1994. **Mycorrhizae and plant health**. Saint Paul, Minnesota USA: APS Press. 360 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 Research** 20: 59-62.
- Qiang-Sheng, W.U. and Z.O.U. Ying-Ning. 2009. The effect of Dual Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Polyamines upon Growth and Nutrient Uptake on Trifoliolate Orange (*Poncirus trifoliata*) Seedlings. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj** 37(2): 95-98.
- Raju, P.S., R.B. Clark, J.R.Ellis and J.W. Maranville. 1990. Effect of species of VA- Mycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperatures. **Plant and Soil** 121: 165-170.
- Reetz, H.F. 2002. Effects of Soil Flooding and Drying on Phosphorus Reactions in Midwest Soils. Norcross: Potash & Phosphate Institute (PPI) and the Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC). 4 p. (Pamphlet).
- Reid, C.P.P. 1990. Mycorrhizas. pp. 281-308 In J.M. Lynch (ed.). **The Rhizosphere**. England: John Wiley&Son Ltd.
- Rillig, M.C. 2003. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. **Ecology Letters** 7: 740-754.
- . 2004. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem process. **Ecology Letter** 7:740-750.

- _____. 2005. Polymer and Microorganisms. pp. 287-294. In **Encyclopedia of soil Science**. Oxford: Elsevier.
- Rillig, M.C., Philip W. Ramsey, Sherri Morris and Eldor A. Paul. 2003. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungi soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil** 253: 293-299.
- Rillig, M.C., S.F. Wright, K.A. Nichols, W.F. Schmidt and M.S. Torn. 2001. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil** 233: 167-177.
- Rillig, M.C., S.F. Wright and V. Eviner. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effect of five plant species. **Plant and soil** 238: 325-333.
- Ruiz-Sanchez, M., R. Aroca, Y. Munoz, R. Polon and J.M. Ruiz-Lozano. 2010. The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. **Journal of Plant Physiology** 167: 862-869.
- Sanni, S.O. 1976. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in some Nigerian soils: the effect of *Gigaspora gigantea* on the growth of rice. **New Phytol** 77: 673-674.
- Schubler, A., D. Schwarzott and C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. อ้างโดย สมจิตร อยู่เป็นสุข. 2549. ไมคอร์ไรซา. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Sharma, M.P. and S. Bhargava. 1993. Potential of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus fasciculatum*, against root knot nematode, *Meloidogyne incognita*, on tomato. **Mycorrhiza News** 4: 4-5.
- Sieverding, E. 1991. **Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystem**. Germany: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 371 p.
- Simpson, D. and M.J. Daft. 1990. Interactions between water-stress and different mycorrhizal inocula on plant growth and mycorrhizal development in maize and sorghum. **Plant and Soil** 121: 179-186.

- Singh, C.S., A. Kapoor and S.S. Wange. 1991. The enhancement of root colonization of legumes by vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi through the inoculation of the legume seed with commercial yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). **Plant and Soil** 131: 129-133.
- Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. **Mycorrhizal symbiosis**. 2nd ed. London: Academic Press. 605 p.
- Sreenivasa, M.N. and D.J. Bagyaraj. 1989. Use of pesticides for mass production of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculum. **Plant and Soil** 119: 127-132.
- Stefano B., A. Luciano, A. Emanuele and G. Manuela. 2007. Effect of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. **Agriculture Ecosystem & Environment** 120:463-466.
- Subramanian, K.S., C. Charet, L.M. Dwyer and R.I. Hamiton. 1995. Arbuscular mycorrhizas and water relations in maize under drought stress at tasselling. **New Phytologist** 129: 643-650.
- Tang, M. and H. Chen. 1999. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi alkaline phosphatase activities on *Hippophae rhamnoides* drought-resistance under water stress conditions. **Trees** 14: 113-115.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. pp. 475-490. In Sparks, D.L. (ed.) **Method of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. Madison: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Trotta, A., G.C. Varese, E. Gnani, A. Fusconi, S. Sampo and G. Berta. 1996. Interactions between the soilborne root pathogen *Phytophthora nicotianae* var. *paracitica* and the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* in tomato plants. **Plant and Soil** 185: 199-209.
- Vallino, M., D. Greppi, M. Novero, P. Bonfante, and E. Lupotto. 2009. Rice root colonisation by mycorrhizal and endophytic fungi in aerobic soil. **Annals of Applied Biology** 154(2): 195-204.
- Vasst, P.H. and R.J. Zasoski. 1992. Effect of VA mycorrhizae and nitrogen sources on rhizosphere soil characteristics, growth and nutrient acquisition of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). **Plant and Soil** 147: 31-39.

- Vivekanadav, M. and P.E. Fixen. 1991. Cropping systems effects on mycorrhizal colonization, early growth, and phosphorus uptake of corn. **Soil Science Society of America Journal** 55: 136-142.
- Walinga, I., W.V. Vark., V.J.G. Houba and J.J. Vander Lee. 1989. **Soil and plant analysis a Series of syllabi: part 7 plant analysis procedures**. Netherland: Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University. 263 p.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. **Soil Science** 37:29-37.
- Walley, F.L. and J.J.Germida. 1996. Failure to decontaminate *Glomus clarum* NT4 spores is due to spore wall-associated bacteria. **Mycorrhiza** 6: 43–49.
- Wang, G.M., D.P. Stribley, P.B. Tinker and C. Walker. 1993. I. Field observations on the long-term liming experiments at Rothamsted and Woburn. **New Phytologist** 124: 465-472.
- Wonglumsom, W., N. Surasorn and A. Kochatung. 2006. Occurrence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Vegetables Grown in Nakhonpathom Province, Thailand. **Kasetsart Journal (Natural Science)** 40: 82-89.
- Wright, S.F. 2002. Glomalin Hiding Place for a Third of the world's stored soil carbon. **Agricultural Research**. 50(9): 4-7.
- Wright, S.F. and A. Upadhyaya. 1998. A survey of soil for aggregates stability and glomalin, a glycoprotein by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**. 198: 97-107
- Wright, S.F. and R.L. Anderson. 2000. Aggregates stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology and Fertility of Soils** 31: 249-253.
- Wright, S.F., J.L. Starr and I.C. Paltineanu. 1999. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage managements transition. **Soil Science Society American Journal** 63: 1825-1829.
- Wright, S. F., M. Franke-Snyder, J.B. Morton and A. Upadhyaya 1996. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil** 181: 193–203.

- Xiao, T.J., Q.S. Yang, W. Ran, G.H. Xu and Q.R. Shen. 2010. Effect of Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungus on Nitrogen and Phosphorus Utilization in Upland Rice-Mungbean Intercropping System. *Agricultural Sciences in China* 9(4): 528-535.
- Zhang, G.Y., L.P. Zhang, M.F. Wei, Z. Liu, Q.L. Fan, Q.R. Shen and G.H. Xu. 2011. Effect of arbuscularmycorrhizalfungi, organicfertilizer and soilsterilization on maize growth. *Acta Ecologica Sinica* 31: 192-196





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ภาพแสดงสภาพพื้นที่ และการศึกษาปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ



ภาพผนวก 1 ป่าใช้สอยอำเภอพร้าวน้ำหอม มีต้นพลวงและเหียงขึ้นปกคลุมทั่วพื้นที่
อายุประมาณ 15 ปี



ภาพผนวก 2 ป่าใช้สอยบ้านโพง เป็นป่าเต็งรัง อายุประมาณ 20 ปี



ภาพผนวก 3 ป่าใช้สอยบริเวณ เป็นป่าที่ต้นไม้ขึ้นปกคลุมไม้ทั่วพื้นที่จะพบต้นไม้ต้นเล็กๆได้แก่
ไมยราบ มะรุม อายุประมาณ 2 ปี



ภาพผนวก 4 พื้นที่เกษตรบ้านป่าไม้แดงมีการปลูกผักได้แก่ ฟักทอง แตงกวา อายุใช้พื้นที่ 5 ปี



ภาพผนวก 5 พื้นที่เกษตรอินทรีย์บ้านสะलगง มีการปลูกผักได้แก่ มะเขือ กวางตุ้ง บวบเหลี่ยม กระเจี๊ยบเขียว อายุการใช้พื้นที่ 3-5 ปี



ภาพผนวก 6 ป่าอนุรักษ์บ้านโป่ง มีต้นพลวงและต้นไม้ขนาดเล็กขึ้นปกคลุมอายุประมาณ 15 ปี



ภาพผนวก 7 พื้นที่เกษตรอินทรีย์คอบสะเกิดมีการปลูกผักได้แก่ ผักบุ้ง อายุการใช้พื้นที่ 20 ปี



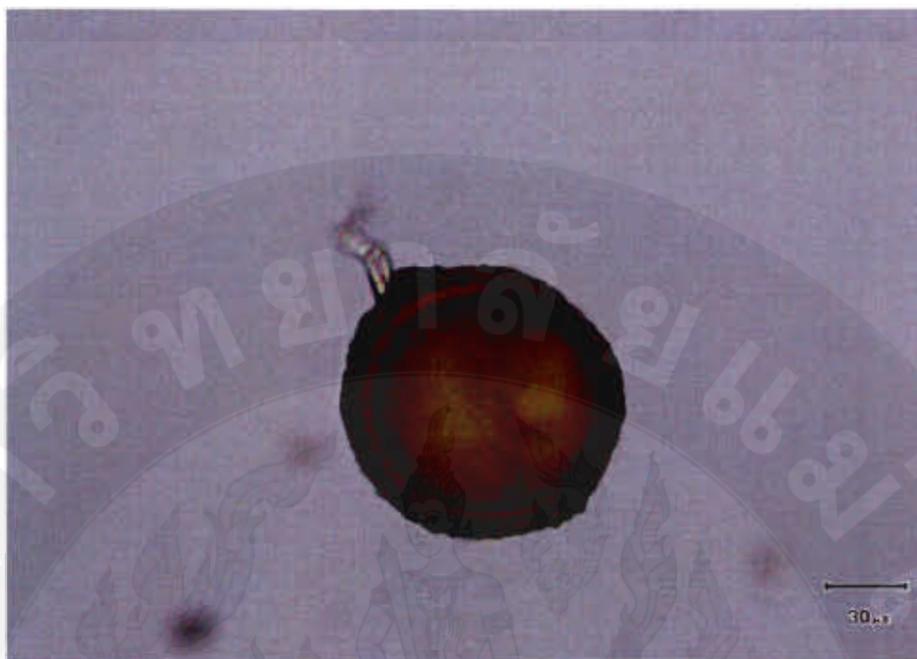
ภาพผนวก 8 พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโปง เป็นป่าเบญจพรรณ อายุประมาณ 20 ปี



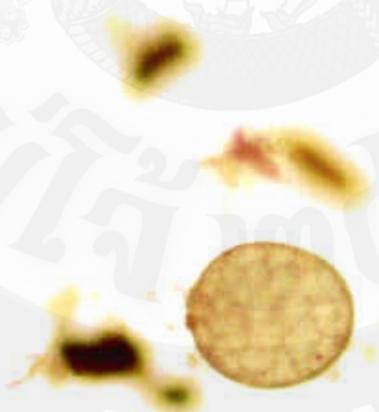
ภาพผนวก 9 พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ อายุประมาณ 10 ปี



ภาพผนวก 10 พื้นที่เกษตรอินทรีย์แม่โจ้ มีการปลูกไม้ผลได้แก่ มะม่วง ลำไย อายุการใช้พื้นที่ 30 ปี



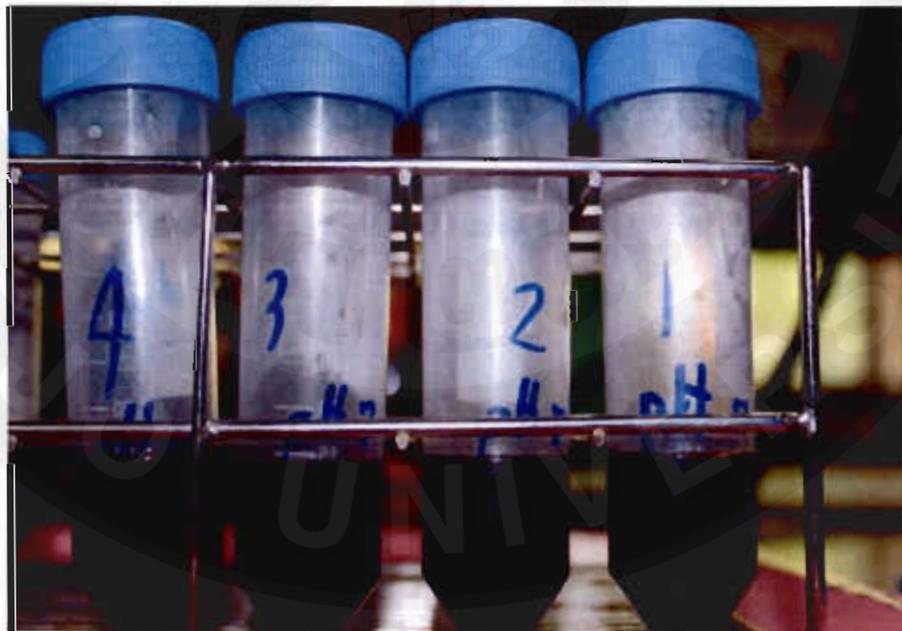
ภาพผนวก 11 ลักษณะสปอร์ของ *Glomus* sp. ที่แยกได้จากพื้นที่ต่างๆ



ภาพผนวก 12 ลักษณะสปอร์ของ *Acaulospora* sp. ที่แยกได้จากพื้นที่ต่างๆ



ภาพผนวก 13 ลักษณะสปอร์ของ *Scutellospora* sp. ที่แยกได้จากพื้นที่ต่างๆ



ภาพผนวก 14 สार โกลมาลินที่สกัดได้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไปโดย เครื่อง Microplate reader



ภาพผนวก 15 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์สาร โกลมาติโดยเครื่อง Microplate reader



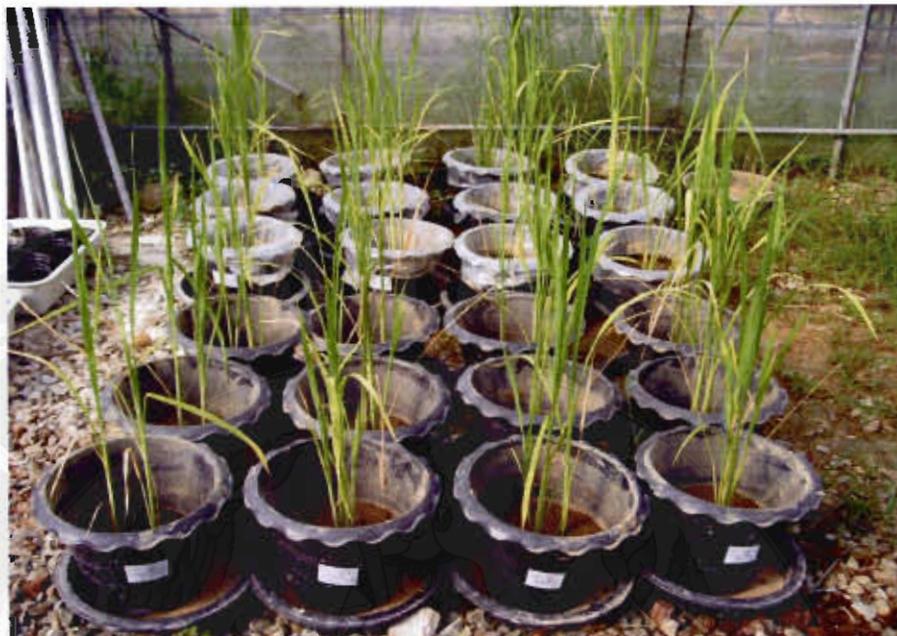
ภาพผนวก 16 การร่อนสปอร์เชื้อราอับัสคูลารีไมคอร์ไรซาผ่านตะแกรงร่อน



ภาพผนวก 17 การหาความคงทนของเม็ดดิน



ภาพผนวก 18 การเพาะขยายพันธุ์หัวเชื้อราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในกระถาง



ภาพผนวก 19 การใส่หัวเชื้อดินในการปลูกข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1



ภาคผนวก ข
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวชญาพร อุปันันท์
เกิดเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2531
ภูมิลำเนา 103/2 หมู่ 2 ตำบลบ้านกาศ อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2548 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแม่สะเรียงบริพัตรศึกษา
พ.ศ. 2552 ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

