รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การศึกษาและการพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์จากกลูมาลีน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินและอาบัสคูลาร์ไมโครไรซ่าเพื่อใช้บำบัดดินและปรับปรุงคุณภาพของดิน

Study and Development of Organic Fertilizer form Glomalin –Related Soil Protein and Arbuscular-Mycorrhiza for Increase Resistant of Drought for Plant and Amendment Soil Quality

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2555

จำนวน 350, 000 บาท

หัวหน้าโครงการ นางสาวศุภธิดา อ่ำทอง

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

4/ธ.ค./2556

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาและการพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์จากกลูมาลีน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินและอาบัสคูลาร์ไมโครไรซ่าเพื่อใช้บำบัดดินและปรับปรุงคุณภาพของดิน(Study and Development of Organic Fertilizer form Glomalin–Related Soil Protein and Arbuscular-Mycorrhiza for Increase Resistant of Drought for Plant and Amendment Soil Quality) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2555 โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือในการทำงานของผู้วิจัยร่วมกับนักศึกษาระดับบัณฑิตวิทยาลัยและปริญญาตรี โดยเฉพาะขอขอบคุณนายกรเพชร ศรีสร้อย และนางสาวณฐมณ กันธิยะตลอดจนเกษตรกรเจ้าของพื้นที่ นอกจากนี้ขอขอบคุณสาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่ และอุปกรณ์บางอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ศุภธิดา อ่ำทอง

ธันวาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	17
ผลการวิจัย	38
เอกสารอ้างอิง	86
ภาคผนวก	91

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	Effect of various insertion spores AMF species on P concentration in shoot, P uptake, Zn concentration in shoots, Zn uptake and extractable Zn in soil of upland rice.	6
ตารางที่ 2	การเจริญเติบโตของต้นกล้าของส้มและเลมอน อายุ 5 เดือน เมื่อเพาะด้วยเชื้อรา เอ็นโดไมโคไรซ่า Glomus mosseae	7
ตารางที่ 3	น้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยถั่วเหลืองที่มีเอ็นโดไมโคไรซ่า และไม่มีไมคอร์ไรซา	7
ตารางที่ 4	ลักษณะการใช้ที่ดินของตัวอย่างดินที่ศึกษา	17
ตารางที่ 5	The study area sampled.	19
ตารางที่ 6	Soil inoculums properties	24
ตารางที่ 7	The characteristics of the main land uses in the study.	27
ตารางที่ 8	แผนการทดลองโดยการใส่หัวเชื้อดินเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพน้ำขัง ใน 4 ระดับความชื้น	31
ตารางที่ 9	รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	41
ตารางที่ 10	P concentration in shoot, P uptake, Zn concentration in shoots, Zn uptake and extractable Zn in soil of Upland rice.	48
ตารางที่ 11	AMF x soil pH shoot dry weight, Zn concentration in shoot, Zn uptake, mycorrhizal responsiveness (MR) and myeorrhizal responsiveness based on P(Zn) uptake (MP(Zn)R)	50
ตารางที่ 12	Shoot dry weight, Zn concentration in shoot, Zn uptake, mycorrhizal responsiveness (MR) and mycorrhizal responsiveness based on Zn uptake (MZnR) of San Patowng 1	53
ตารางที่ 13	คุณสมบัติทั่วไปของชนิดดิน	61
ตารางที่ 14	Carbon fractions in topsoil (0–15 cm in depth) storage by land-use type from mountainous area northern Thailand.	67
ตารางที่ 15	Pearson's correlation coefficients of glomalin -related soil protein , organic carbon fractions and water aggregate stability and P-value in parenthesis	69

ตารางที่ 16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า pH, Ec, DW, %root	70
ตารางที่ 17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า NH_4^+, NO_3^+, Urease, Avail.P	71
ตารางที่ 18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า C in soil, C-smb, poc, toc,wsc, hwsc, soc	72
ตารางที่ 19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า N concentrations, P	74
ตารางที่ 20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า Fe, Cu, Zn, Mn	76
ตารางที่ 21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า Fe Concentration, Cu Concentration, Zn Concentration, Mn Concentration, Fe uptake, Cu uptake, Zn uptake และ Mn uptake	77
ตารางที่ 22	ผลของดินที่ปลูกข้าวกายให้เกษตรเคมีและอินทรีย์ต่อจำนวนและชนิดของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า	83
ตารางที่ 23	ผลของการใส่ P และชนิดของพืชอาศัยต่อปริมาณสปอร์ที่ขยายได้	85

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	ส่วนประกอบของอินทรียวัตถุ	10
ภาพที่ 2	บทบาทของโกลมาลินต่อความคงทนเม็ดดิน	11
ภาพที่ 3	ประโยชน์ของโกลมาลิน	11
ภาพที่ 4	Relationship between easily , total glomalin and stability of 1-2 mm-size aggregates in 0-15 cm soil samples of paddy soil in Chiang Mai province , Northern Thailand	13
ภาพที่ 5	ปริมาณสารกลูมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด	36
ภาพที่ 6	ปริมาณสารกลูมาลินที่สกัดได้ง่าย	36
ภาพที่ 7	ความคงทนของเม็ดดิน	38
ภาพที่ 8	ความสัมพันธ์ระหว่างสารกลูมาลิน	39
ภาพที่ 9	สปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	41
ภาพที่ 10	สารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด	43
ภาพที่ 11	ความคงทนของเม็ดดิน	44
ภาพที 12	ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด	45
ภาพที่ 13	ความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดกับความคงทนเม็ดดิน	45
ภาพที่ 14	Effect of Shoot dry weight	47
ภาพที่ 15	การเข้ารากของ เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	49
ภาพที่ 16	การให้น้ำและการใส่หัวเชื้อดิน AMF ต่อการดูดใช้ Zn	54
ภาพที่ 17	การให้น้ำและการใส่หัวเชื้อดิน AMF ต่อปริมาณ Zn ในดิน	55
ภาพที่ 18	การเข้ารากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าว	56
ภาพที่ 19	การดูดใช้ Zn โดย AMF และระดับของ Zn ในดิน	58
ภาพที่ 20	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน	62
ภาพที่ 21-23	การดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว	63-64
ภาพที่ 24	Carbon storage in topsoil	66
ภาพที่ 25	Glomalin related soil protein fractions in topsoil	68
ภาพที่ 26	Relationships between glomalin related soil protein and stability of 1-2 mm-size aggregates	68

ภาพที่ 27	ความคงทนของเม็ดดิน ของระดับ pH ต่างๆและการใส่สปอร์ AMF	80
ภาพที่ 28	ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด ของระดับ pH ต่างๆและการใส่สปอร์ AMF	81
ภาพที่ 29	ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย ของระดับ pH ต่างๆและการใส่สปอร์ AMF	82
ภาพที่ 30	อะลูมินัม (Al) ที่สกัดได้ในดิน ของระดับ pH ต่างๆและการใส่สปอร์ AMF	82

การศึกษาและการพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์จากโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินและอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อใช้บำบัดดินและปรับปรุงคุณภาพของดิน

Study and Development of Organic Fertilizer form Glomalin –Related Soil Protein and Arbuscular-Mycorrhiza for Increase Resistant of Drought for Plant and Amendment Soil Quality

สุภธิดา อ่ำทอง

Suphathida Aumtong

สาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

.....

บทคัดย่อ

บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) และโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินนั้น เป็นแนวทางหนึ่งในการนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินและระบบการผลิตทางการเกษตร และเชื่อมโยงไปยังการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาบทบาทของสารโกลมาลินและไมคอร์ไรซาที่มีต่อสมบัติของดินและมีผลต่อพืชในการเพิ่มความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหาร โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจ ซึ่งถ้าสามารถหาสายพันธุ์ของอาบัสคูลาร์ไมโครไรซ่าที่มีความสามารถสร้างสารโกลมาลินแล้วทำให้สมบัติทางเคมีและกายภาพของดินดีขึ้น ซึ่งอาจจะใช้ในรูปปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ระบบเกษตรได้ง่าย โดยเฉพาะเกษตรอินทรีย์ จากการศึกษาพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่างๆ พบเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Acaulospora*, Glomus, *Gigaspora* และ *Scutellospora* ซึ่ง Genus *Glomus* พบมากที่สุด ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง AMF กับโกลมาลินสารสัมพันธ์โปรตีน พบว่าจำนวน AMF เพิ่มขึ้นส่งผลให้โกลมาลินสารสัมพันธ์โปรตีนเพิ่มขึ้น และโกลมาลินสารสัมพันธ์โปรตีนเพิ่มขึ้นยังส่งผลให้เม็ดดินมีความคงทนเพิ่มมากขึ้น การใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้น้ำหนักแห้งพืชสูงและมีการดูดใช้ P กับ Zn สูงกว่าการไม่ใส่สปอร์ AMF โดยพิจารณาจากค่า MPR และ MZnR โดยเฉพาะผลของการใส่สปอร์ *G. etunicatum* ที่ระดับ pH ต่างๆ จากผลการทดลองชนิดดิน ระดับความชื้น และผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด ในชุดดินหางดง, การขังน้ำที่ระดับความชื้น2ซม.และการใส่หัวเชื้อ

G.etunicatum ผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลต่อปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ในดินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งบทบาทAMFต่ออะลูมินัมในดินเป็นสิ่งที่จะต้องศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โกลมาลินสารสัมพันธ์โปรตีน ความคงทนเม็ดดิน

Abstract

Role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin –related soil protein. One of the approaches used to improve quality of soil. The objective of this study was to investigate roles of Glomalin –Related Soil Protein and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) toward properties of the soil and affect the ability of plants to inerease nutrient uptake. The study found various forms of land use towards following were found: *Acaulospora, Glomus, Gigaspora,* and *Scutellospora* and especially, Genus *Glomus* was found most. For the relationship between AMF and extractable glomalin related-soil protein, it was found that there was an increase of a number of AMF. The resulted in an increase of extraetable glomalin related-soil protein progressively. Besides, an amount of extractable glomalin related-soil protein resulted in an increase of soil aggregate stability. Findings showed that of the adding of spore AMF had an effect on growth performance and there was a statistical difference of dry weight of plant. Dry weight was higher than the soil with no additional spore especially spore *G. etunicatum* having an effected a highest dry weight of shoot. Besides, there were the highest level of concentration and uptake of phosphorus and zinc. The effect of soil types, moisture level and the effect of the AMF on available P. The results showed that the available phosphorus in soil was the highest in Hang Dong soil series eombined with the water logging at 2 cm and adding of spore AMF *G.etunicatum*. The effects of the AMF spores adding increased the amount of aluminum in soil extracts. The role of AMF on amount of extractable aluminum in the soil need to bc invcstigatcd further.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi, glomalin –related soil protein, soil aggregate stability

คำนำ

จากคำนิยาม"ระบบเกษตรยั่งยืน" หมายถึง ระบบที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ และอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และมีการใช้ความรู้ และเทคโนโลยีในระบบเพื่อให้มั่นใจต่อผลที่ได้ ซึ่งตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในปัจจุบัน และอนาคต การพัฒนาการจัดการที่ยั่งยืนนี้ต้องอนุรักษ์ทรัพยากรที่ดิน น้ำ พืช และกรรมพันธุ์ของสัตว์ต่าง ๆ ตลอดจนความสัมฤทธิ์ผลทางเศรษฐกิจ (FAO,1991 อ้างตาม มัตติกา,2548) จากคำนิยามดังกล่าวนี้จะเห็นได้ว่าการที่จะเกิดระบบเกษตรที่ยั่งยืนได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยหลายประการ เช่น ในการจัดการและการใช้ความรู้และเทคโนโลยีนั้นต้องอนุรักษ์ที่ดิน น้ำ และพืช ซึ่งการวิจัยชุดนี้จึงใช้ประเด็นนี้เป็นแนวทางที่หาความรู้และเทคโนโลยี เมื่อนำมาศึกษาและมีการใช้แล้วต้องอนุรักษ์ที่ดิน น้ำหรือการใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และพืช

ประเทศในทวีปเอเชียกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำและการแย่งน้ำเพื่อในการใช้ในการบริโภค เช่น จากภาวะที่ประเทศต่าง ๆ เกิดฝนทิ้งช่วงและแห้งแล้งทำให้ข้าวอยู่ในภาวะขาดน้ำ ในกลางปี พ.ศ. 2553 รัฐบาลนายอภิสิทธิ เวชชาชีวะจำเป็นต้องประกาศขอความร่วมมือให้เกษตรกรเลื่อนการปลูกข้าวนาปีในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยออกไปประมาณเป็นเดือนกรกฎาคม สำหรับบริเวณภาคเหนือบริเวณจังหวัดเชียงราย พะเยา แพร่ เกิดภาวะฝนทิ้งช่วงไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้ สำหรับการเกษตรของประเทศไทยนั้นและน้ำมีความสำคัญและมีบทบาทในระบบการผลิตอย่างมาก เช่น ข้าว ซึ่งเป็นพืชอาหารหลักสำหรับประชากรโลกประมาณ 60 % ระบบการปลูกข้าวนั้นจะต้องใช้น้ำมากกว่าการปลูกธัญพืชชนิดอื่น ๆ หรือมากกว่า 2-3 เท่า เมื่อเปรียบกับข้าวสาลี่และข้าวโพด ประเทศในเขตเอเชียที่มีการปลูกแบบไม่ใช้อากาศหรือข้าวนาน้ำขังนั้นจะต้องน้ำมากถึง 45 % ของน้ำที่มีอยู่ทั้งหมดในภูมิภาค นอกจากนี้การปลูกข้าวแบบใช้น้ำท่วมขังใช้น้ำมาก ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาจากการปลูกข้าวแบบดังกล่าวนี้ยังก่อปัญหาในเรื่องสิ่งแวดล้อม ได้แก่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ เช่น ก๊าซมีเทน ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำสำหรับการปลูกพืชนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและปุ๋ยในการปลูกพืชต่าง ๆ รวมทั้งพืชอาหารอื่น ๆ ด้วย

สำหรับปัญหาการความเป็นพิษของธาตุและโลหะบางชนิดในดินพื้นที่เกษตรก็มีความสำคัญเช่นกัน เพราะมีความเกี่ยงข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งหมาถึงความสามารถของดินในการสนองธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (Fertile soil) คือดินที่ให้ธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชครบทุกธาตุ แต่ละธาตุเพียงพอและสมดุลกันตามความต้องการของพืช ถ้าดินมีธาตุหรือโลหะหนักที่มากเกินไป ก็จะเกิดผลเสียความอุดมสมบูรณ์

ของดิน เช่น ดินที่มี pH เป็นกรดอาจจะมีธาตุอาหารเช่น Fe และ Zn สูงเกินความต้องการของพืช หรือก่อให้เกิดความเป็นพิษขึ้นได้

เชื้อจุลินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular Mycchorizal Fungi, AMF) ที่มีความสามารถหลาย ๆ ประการและประการหนึ่งคือการสร้างโกลมาลินเป็นสารประกอบจำพวกโปรตีน โดยองค์ประกอบของกลูมาลินนั้นจะมีไนโตรเจนที่จับอยู่กับพวกสายโพลีแซกคาร์ไลด์ และสามารถจะดูดซับ Fe ได้ (Wright and Upadhyaya,1998) ซึ่งจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไป และยังมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) ก็เหมือนกับสาร humic acid ที่พบได้ในด้วย และสารชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีของการแตกสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซ่า(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) โดยเฉพาะสปีชีส์ *Glomus intraradices* โดยโกลมาลินเป็นสารที่เพิ่งจะถูกค้นพบเมื่อเร็ว ๆ นี้ ซึ่งยังไม่สามารถทราบลำดับของกรดอะมิโนและโครงสร้างอย่างชัดเจน โดยAMF กลุ่มนี้เป็น obligate biotrops (อยู่ใน phylum Glomermycota) เพราะจะต้องอาศัยร่วมกันแบบ symbiosis กับรากพืชเท่านั้น โดย 2 ใน 3 ของพืชเหล่านี้จะเป็นไม้ยืนต้น โกลมาลินที่ปรากฏอยู่ในดินมีปริมาณแตกต่างกันตามชนิดของดิน ซึ่งอาจจะมีค่าอยู่ในช่วงสูงมากจนถึงต่ำสุดประมาณ 10 mg g^{-1} ในบางกรณีอาจจะรายงานในลักษณะที่ดินสามารถเก็บรักษาไว้ โดยมีประมาณ 60 mg cm^{-3} สำหรับการปลดปล่อยโกลมาลินออกจากส่วน hyphae ของ AMF นั้น อาจจะเกิดจากหลุดร่อน (sloughed of hyphae) ของส่วน hyphae หรือถูกขับออกมาจากในส่วน hyphae tip ในขณะนี้ยังไม่ทราบกลไกการสร้างโกลมาลินอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองในสภาพอาหารเลี้ยงเชื้อในห้องทดลองพบว่าความเข้มข้นของโกลมาลินสูงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการเติบโตของสาย hyphae ลดลง นอกจากนี้สายพันธุ์ของ AMF มีส่วนสำคัญในอัตราการสร้างโกลมาลินที่แตกต่างกันด้วย โดยจะตอบสนองต่อการจัดการทางการเกษตรต่าง ๆ เช่น การหมุนเวียนพืชที่ปลูก การไถ การใส่ปุ๋ยเคมี เป็นต้น

บทบาทของเชื้อไมคอร์ไรซาและโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินนั้น เป็นแนวทางหนึ่งในการนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินและระบบการผลิตทางการเกษตร และเชื่อมโยงไปยังการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าว เช่น ความคงทนของเม็ดดินเป็นแนวทางในการรักษาความสามารถในการซึมซับน้ำของดิน อากาศในดินให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช อนุภาคดินต่าง ๆ รวมตัวเกิดเป็นเม็ดดินขนาดเล็กที่เรียก micro aggregates (< 0.25 มิลลิเมตร) และเม็ดดินขนาดเล็กนี้จะรวมตัวกันเม็ดดินขนาดใหญ่หรือ macro aggregates ต่อไป (Driver et al.,2005) ได้รายงานถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความคงทนของเม็ดดินกับปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่สกัดได้โดยน้ำร้อน และ Wright et al.(2000) ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทนของเม็ดดินกับปริมาณโกลมาลินในเม็ดดินขนาด 1-2 มิลลิเมตรมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวก และบทบาทของเชื้อไมโครไรซา

และโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินยังมีศักยภาพทำให้เพิ่มความต้านทานให้กับพืชในสภาพทนแล้ง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาบทบาทของสารโกลมาลินและไมคอร์ไรซาที่มีต่อสมบัติของดินและมีผลต่อพืชในการเพิ่มความสามารถในการต้านทานการขาดน้ำ โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจ ซึ่งถ้าสามารถหาสายพันธุ์ของอาบัสคูลาร์ไมโครไรซ่าที่มีความสามารถสร้างสารโกลมาลินแล้วทำให้สมบัติทางเคมีและกายภาพของดินดีขึ้น จะเป็นเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ ลดความเป็นพิษของธาตุบางชนิด และคุณภาพดินตลอดจนยังเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช ซึ่งอาจจะใช้ในรูปปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งสามารถนำไปใช้ระบบเกษตรได้ง่ายโดยเฉพาะเกษตรอินทรีย์

วัตถุประสงค์

1.ศึกษาชนิดและความหลากหลายของไมคอร์ไรซาที่มีศักยภาพการสร้างโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน จากดินภายใต้สภาพแวดล้อมต่าง ๆ และรวบรวมสายพันธุ์ที่มีศักยภาพในการสร้างสารโกลมาลิน

2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์ของไมคอร์ไรซากับระบบการปลูกข้าวแบบใช้น้ำน้อย และการปรับตัวของข้าว

3.ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินกับการดูดซับโลหะบางชนิด

4.ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินกับการปรับปรุงสมบัติทางเคมี กายภาพ และทางชีวเคมีของดิน

5.ศึกษาแนวทางการสร้างผลิตภัณฑ์จากโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินเพื่อนำไปในใช้ทางการเกษตร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้

1.ชนิดของไมคอร์ไรซาที่มีความสามารถหรือเป็นประโยชน์ในระบบการปลูกข้าวแบบใช้น้ำน้อย

2.รูปแบบการใช้ไมคอร์ไรซาต่อพืชชนิดต่าง ๆ

3.การใช้ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

4.รูปแบบของผลิตภัณฑ์ของปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาที่จะใช้ในทางเกษตร

การตรวจเอกสาร

บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular Mycorrhizal Fungi, AMF)

ไมคอร์ไรซามีประโยชน์ต่อการมีชีวิตอยู่ และการเจริญเติบโตของต้นไม้หลายทาง คือ ทำให้รากเพิ่มเนื้อที่ในการดูดอาหารจากดิน เมื่อมีไมคอร์ไรซาเกิดขึ้นที่ราก ซึ่งเนื้อที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากเส้นใยเจริญอยู่รอบ ๆ ราก เจริญเข้าไปในดินบริเวณรอบ ๆ ราก ทำให้สามารถดูดน้ำและธาตุอาหารพวก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและแคลเซียม ได้มากกว่ารากที่ไม่มีไมคอร์ไรซา

สำหรับการศึกษาประโยชน์ของAMFต่อพืชเศรษฐกิจอื่นหลายชนิด เช่น พืชไร่ พืชสวน และพืชผัก โดยช่วยดูดน้ำและธาตุอาหารโดยเฉพาะธาตุอาหารฟอสฟอรัส ได้มากกว่ารากไม่มีไมโคไรซ่า จากการทดลอง U.S.D.A ซึ่งทำการทดลองกับเลมอน (Lemmon) และส้ม (Sour orange) ซึ่งเป็นพืชตระกูลส้ม พบว่า ส้มที่รากมี เอ็นโดไมโคไรซ่า จะเจริญเติบทั้งความสูงและน้ำหนักสดน้ำหนักแห้งของต้นและใบมากกว่าต้นที่รากไม่มีไมคอร์ไรซา ตารางที่ 2 ผลการทดลองทำนองเดียวกันก็พบใน ข้าวโพด ถั่วเหลือง หอม มันสำปะหลัง มะละกอและพืชอื่น ๆ อีกหลายชนิด

Table 1 Effect of various insertion spores AMF species on P concentration in shoot, P uptake, Zn concentration in shoots, Zn uptake and extractable Zn in soil of upland rice.

Mycorrhiza	P in shoot ($mg\ kg^{-1}$)	P uptake ($mg\ kg^{-1}$)	Zn in shoot ($mg\ kg^{-1}$)	Zn uptake ($ug\ kg^{-1}$)	Extrac. Zn in soil ($mg\ kg^{-1}$)
-AMF	44.33 **C**	206.26 **C**	33.48 **D**	0.28 **D**	3.26 **A**
G. geosporum	175.92 **B**	263.75 **B**	48.77 **B**	0.45 **B**	2.79 **B**
G. etunicatum	234.15 **A**	388.92 **A**	53.65 **A**	0.52 **A**	2.58 **B**
G. geosporum +*G. etunicatum*	183.04 **B**	260.07 **B**	2.97 **C**	0.37 **C**	2.56 **B**

Note: Per column means followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$) ที่มา : กรเพชรและศุภธิดา (2556)

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นกล้าของส้มและเลมอน อายุ 5 เดือน เมื่อเพาะด้วยเชื้อ เอ็นโดไมโคไรซ่า Glomus mosseae (*)

	เลมอน		ส้ม	
	เพาะเชื้อ เพาะเชื้อ	ไม่เพาะเชื้อ	เพาะเชื้อ	ไม่
ความสูง (ซม.)	27.9*	19.2	13.6	11.7
น้ำหนักแห้งของใบและต้น (กรัม)	2.7	1.3	1.2	0.9
น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)	2.5	1.1	1.1	0.9
% รากที่มีไมโคไรซ่า	83.0*	-	52.0	-

* แตกต่างกัน ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ในประเทศไทยก็เริ่มมีการศึกษาถึงประโยชน์ของเอ็นโดไมโคไรซ่าการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจบางชนิด กองปฐพีวิทยา กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน ได้ทำการศึกษาทดลองพบว่า ต้นข้าวโพด ถั่วเหลือง และหอม ที่มีเอ็นโดไมคอร์ไรซาจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นไม้ไม่มีเอ็นโดไมคอร์ไรซา และปริมาณธาตุอาหารในต้นไม้ที่มีไมคอร์ไรซาก็จะมีมากกว่าต้นไม้ที่ไม่มีไมคอร์ไรซา ด้วยจากตารางที่ 3 จะแสดงให้เห็นผลของเอ็นไมคอร์ไรซ่าต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

Ross ทดลองปลูกถั่วเหลืองซึ่งปลูกเชื้อราเวสสิคูลา อาบัสคูลา ไมคอร์ไรซาและไม่ปลูกเชื้อรานี้ในดินซึ่งอบฆ่าเชื้อแล้ว การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ระดับต่าง ๆ คือ 0, 44, และ 176 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จากผลการทดลองพบว่าพืชไม่ปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาและไม่เพิ่มปุ๋ยฟอสเฟตมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด พืชมีการสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตในด้านการเจริญในพืชที่ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซามากกว่าพืชที่ปลูกไมคอร์ไรซา พืชที่ปลูกเชื้อรานี้ และมีฟอสเฟตที่พืชใช้ประโยชน์ในระดับที่ต่ำที่สุดให้การเจริญเติบโดมากที่สุด

ตารางที่ 3 น้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยถั่วเหลืองที่มีเอ็นโดไมโคไรซ่า และไม่มีไมคอร์ไรซา

	น้ำหนักแห้ง	%N	%P	%K
เพาะเชื้อ	7.415*	1.53	0.11	1.67
ไม่เพาะเชื้อ	6.980	1.43	0.09	1.72

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

โดยไมคอร์ไรซามีประโยชน์ต่อการมีชีวิตอยู่และการเจริญเติบโตของพืชหลายทางด้วยกัน ที่สำคัญที่สุดคือไมโคไรซ่าสามารถเพิ่มความเจริญเติบโตให้กับพืชประโยชน์ที่มองเห็นได้ชัดแจ้งของไมคอร์ไรซาที่มีต่อพืชพอจะสรุปได้ดังนี้ เพิ่มพื้นที่ของผิวรากที่สัมผัสกับดินทำให้เพิ่มเนื้อที่ ใน

การดูดอาหารธาตุของรากมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยพืชดูดและสะสมธาตุอาหารต่าง ๆ ไว้ เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และธาตุอื่นอีก ซึ่งธาตุเหล่านี้ไมคอร์ไรซ่าจะดูดไว้และสะสมไว้ในรากและที่น่าสนใจคือช่วยพืชดูดธาตุอาหารจากหินแร่ที่สลายตัวยากหรือพวกอินทรียวัตถุต่าง ๆ ที่ยังสลายตัวยังไม่หมดให้พืชนำไปใช้ได้ และรากที่มีไมคอร์ไรซามีความสามารถต้านทานในการป้องกันโรคพืช สามารถป้องกันการเข้าทำลายรากของโรคพืชได้ดีกว่าที่ไม่มีไมโคไรซ่า (ออมทรัพย์, 2545) เอ็นโดไมคอร์ไรซาก็มีความสำคัญกับพืชเศรษฐกิจหลายชนิดทั้งพืชไร่ พืชสวน และพืชผัก จากการทดลองของกองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร พบว่าเมื่อใส่เชื้อราเอ็นโดไมคอร์ไรซาจะสามารถช่วยเพิ่มน้ำหนักให้กับหอม ข้าวโพด และถั่วเหลือง ได้มากกว่าต้นที่ไม่ใส่ไมคอร์ไรซา และจากการสำรวจตามท้องที่ที่มีการปลูกพืชเศรษฐกิจต่าง ๆ ก็พบว่าพืชที่มีไมคอร์ไรซามีความเจริญเติบโตดีกว่าต้นอื่น ๆ นั้น เมื่อมาทำการตรวจสอบมักจะพบว่ามีไมคอร์ไรซาขึ้นอยู่

จึงเห็นว่าสามารถจะนำไมโคไรซ่ามาใช้ร่วมกับพืช เพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับพืชได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีคุณสมบัติ ตรึงอาหารฟอสฟอรัสได้ดี หรือดินมีฟอสฟอรัสต่ำ ซึ่งพืชไร่ไม่สามารถดูดธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัสจากดินมาใช้ให้เป็นประโยชน์ทั้ง ๆ ที่ในดินก็ยังมีแร่ธาตุอาหารอยู่ แต่อยู่ในสภาพที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ (unavailable form) ไมคอร์ไรซาจะสามารถช่วยดูดธาตุอาหารเหล่านั้นให้พืชนำไปใช้ได้ โดยซึมผ่านเซลล์ของเชื้อราไปสู่เซลล์ของรากพืช ทำให้พืชนำไปใช้ต่อให้เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้

โกลมาลิน (Glomalin)

สมบัติโดยทั่วไปของโกลมาลินนั้น เป็นสาร glycoprotienaceous ที่เพิ่งจะถูกค้นพบเมื่อเร็ว ๆ นี้(1996) โดยยังไม่สามารถทราบลำดับของกรดอมิโนและโครงสร้างอย่างชัดเจน โดยเป็นสารที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในกลุ่ม AMF โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็น obligate biotrops (อยู่ใน phylum Glomermycota) เพราะจะต้องอาศัยร่วมกันแบบ symbosis กับรากพืชเท่านั้น โดย 2 ใน 3 ของพืชเหล่านี้จะเป็นไม้ยืนต้น

โกลมาลินก็สมบัติเช่นเดียวกับสาร humic acid ที่พบได้ในดินทั่วไป โดยพบว่าเป็นสารประกอบจำพวกโปรตีนที่สามารถทำปฏิกิริยากับ antibody ที่เรียกว่า monoclonal antibody (MAb32B11) โดย antibody ชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีของการแตกสปอร์ AMF โดยเฉพาะสปีชีส์ *Glomus intraradices* โกลมาลินที่ปรากฏอยู่ในดินมีปริมาณแตกต่างกันตามชนิดของดิน ซึ่งอาจจะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่สูงมากจนถึงต่ำสุดประมาณ 10 mg g^{-1} ในบางกรณีอาจจะรายงานข้อมูลในลักษณะการเก็บรักษาคาร์บอน (stock) มีประมาณ 60 mg cm^{-3} สำหรับการสลายตัวนั้นโกลมาลินมี

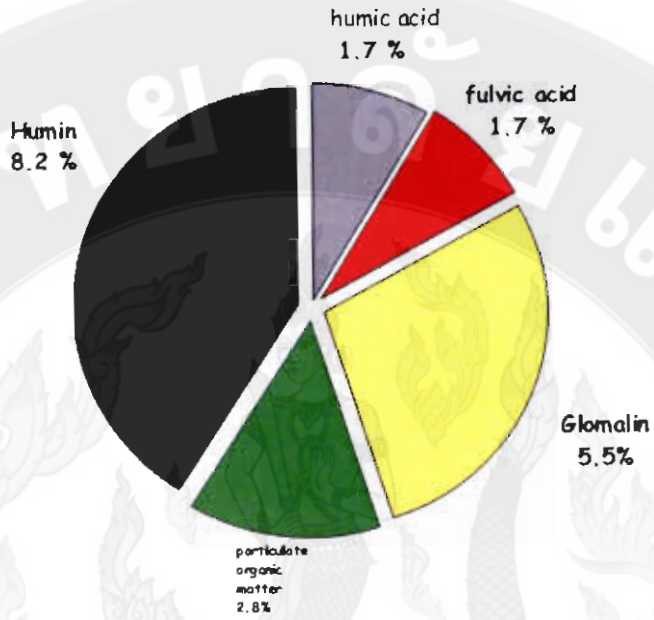
การสลายตัวช้ากว่าส่วนของ hyphae ของ AMF โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของโกลมาลินเมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะถึงหลายสิบปี นอกจากนี้ การผลิตอาจทำได้ในสภาพห้องทดลองหรืออาหารปลอดเชื้อ (sterile *in vitro*) ของเชื้อ AMF แต่ในนี้ขณะงานศึกษายังในสภาพกระถางหรือดินโดยตรง

องค์ประกอบของโกลมาลินนั้นจะมีไนโตรเจนที่จับอยู่กับพวกสายโพลีแซกคาร์ไลด์และสิ่งที่สกัดได้จะมีเหล็ก (Fe) รวมอยู่ด้วยในปริมาณที่แตกต่างกันไป ส่วนบทบาทของ Fe ยังไม่เป็นที่ทราบ และยังมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) โดยมีหลักฐานจาก NMR sprectrum แสดงให้เห็นโกลมาลินนี้มีลักษณะที่แตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสารฮิวมิก แอซิด (humic acid) สำหรับการปลดปล่อยสารโกลมาลีนออกจากส่วน hyphea ของAMFนั้นโดยโกลมาลีนอาจจะการหลุดร่อน (sloughed of hyphae) ของส่วน hyphae หรือถูกขับออกมาจากในส่วน hyphae tip

ในขณะนี้ยังไม่ทราบกลไกการสร้างโกลมาลิน แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองที่พบใน AMF ในสภาพอาหารเลี้ยงห้องทดลองพบว่าความเข้มข้นของโกลมาลินสูงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการเติบโตของสาย hyphae ลดลง อาจจะเพราะโกลมาลินจะไม่ถูกสร้างจาก AMF แต่เป็นการถูกสร้างนั้นเป็นผลมาจากสภาพสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

นอกจากนี้ สายพันธุ์ของ AMF เป็นส่วนสำคัญในอัตราการสร้างโกลมาลินที่แตกต่างกันด้วย โดยจะตอบสนองต่อการจัดการทางการเกษตรต่าง ๆ เช่น การหมุนเวียนพืชที่ปลูก การไถ เป็นต้น หรืออาจจะมีบทบาทในการลดการปลดปล่อย CO_2 อีกด้วย

อินทรียวัตถุในรูปของโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินและความคงทนของเม็ดดิน



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของอินทรียวัตถุ

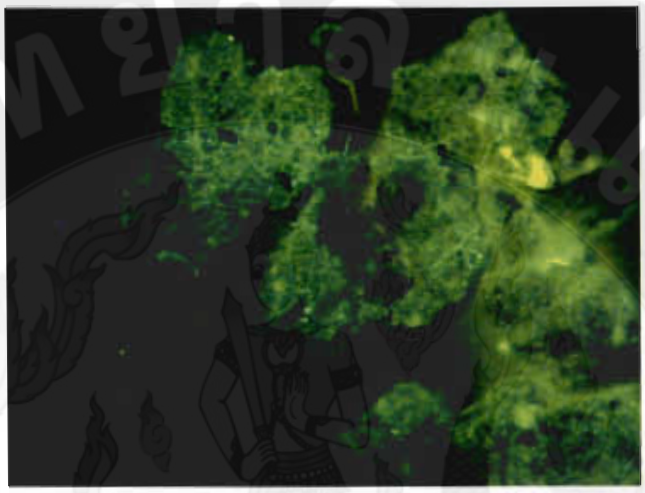
ที่มา : Functional Significance of Glomalin to Soil Structure and Carbon Storage; Kristine Nichols

ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่เหมาะสมซึ่งทำให้ดินเสื่อมโทรม ขาดความอุดมสมบูรณ์ พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตต่ำ จึงทำให้มีการนำปัจจัยการผลิตจากธรรมชาติมาใช้ทดแทน เช่น การใช้ปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งเป็นปุ๋ยที่ได้จากจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและในกลุ่มจุลินทรีย์นี้ก็มีเชื้อราไมคอร์ไรซาที่มีประโยชน์หลายประการเช่น ดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช เช่น ฟอสฟอรัส (Mosse, 1973) และการสร้าง สารโกลมาลิน (Wright and Upadhyaya, 1998) เป็นต้น

โกลมาลิน (Glomalin) คือโปรตีนในดินที่เป็นองค์ประกอบของอินทรียวัตถุเพิ่งถูกค้นพบเมื่อปี 1996 โดย Sara F. Wright (Wright, 2002) โกลมาลินจะประกอบด้วยไนโตรเจนจับอยู่กับโพลีแซคคาร์ไรด์ (Wright and Upadhyaya, 1998) สารนี้จะผลิตจากจุลินทรีย์กลุ่มอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะมีการอาศัยอยู่ร่วมกับพืชอาศัยแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiosis) (Rillig, 2005)

เมื่อประมาณ 15 ปีที่ผ่านมาพบว่าสารอินทรีย์ที่ผลิตมาจากเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเรียกว่าโกลมาลินได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น โดยมีเอกสารกล่าวอ้างในระดับวารสารนานาชาติ ซึ่งโกลมาลินมีบทบาทสำคัญต่อความคงทนของเม็ดดิน (Wright and Upadhyaya, 1998) โดยโกลมา

ลินจะทำหน้าที่เหมือนสารเชื่อมอนุภาคดินต่างๆ ยึดเข้าด้วยกันและอนุภาคดินอาจจะถูกยึดภายในกลุ่มของเส้นใยของเชื้อรา ทำให้เกิดเม็ดดินที่เสถียรขึ้นมาได้ (Rillig *et al.*, 2003) (รูปที่ 2)

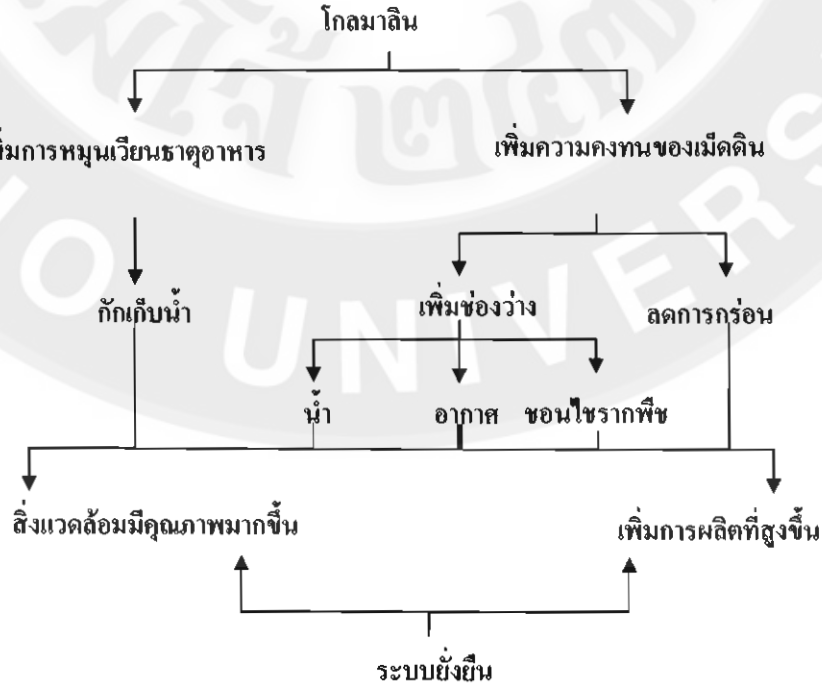


รูปที่ 2 แสดงบทบาทของโกลมาลินต่อความคงทนเม็ดดิน

ที่มา : Functional Significance of Glomalin to Soil Structure and Carbon Storage; Kristine Nichols

โกลมาลินมีความสำคัญต่อความคงทนของเม็ดดิน หากเม็ดดินไม่มีความคงทนก็อาจพังทลายได้ อินทรียวัตถุและธาตุอาหารในเม็ดดินก็จะสูญเสียไปได้จากการกร่อนของลมและฝน

ประโยชน์ของโกลมาลิน



รูปที่ 3 ประโยชน์ของโกลมาลิน

ระบบเกษตรอินทรีย์กับโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

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

สำหรับแนวทางปฏิบัติประการหนึ่งคือการผลิตหัวเชื้อและการใส่ลงแปลงเพาะปลูก ความสำคัญในการนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในระดับแปลงเกษตรกรได้นั้น แนวทางปฏิบัติอาจจะเป็นการใส่หัวเชื้อ (inoculation) ลงในแปลง แต่อย่างไรก็ตามจะต้องมีการพิจารณาในเรื่องชนิดของเชื้อและปริมาณที่จะใส่ลงไปซึ่งอยู่ในความหมายของความเหมาะสม นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยชีวภาพเอวีไมคอร์ไรซา(AMF) จะได้ผลหรือไม่ หรือได้ผลมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณเชื้อราประเภทนี้ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในดินและความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน ยกเว้นธาตุฟอสฟอรัส ดังนั้น การใช้ AMF ที่มีอยู่ในธรรมชาติแล้วนั้น และอาจจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของต้นไม้ที่AMFใช้เป็นพืชอาศัยเสียก่อน เพื่อผลการศึกษาที่ได้นำไปต่อยอดเพิ่มเติมต่อไป

ผลของโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน : สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทนของเม็ดดินกับปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

จากการศึกษา พบว่าค่าสหสัมสัมพันธ์ (r^2) ปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดินค่อนข้างสูง และมีค่าสูงกว่าค่าสหสัมสัมพันธ์ระหว่างโกลมาลินทั้งหมดกับความคงทนของเม็ดดิน

จากภาพที่ 3 A) และ B) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคงทนของเม็ดดินและปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินที่สกัดได้ง่ายมีความสัมพันธ์ในทางบวกในดินที่ปลูกข้าวนาดำและข้าวไร่ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโกลมาลินทั้งหมด สามารถทำได้โดยโกลมาลินซึ่งมีบทบาทในการสร้างเม็ดดิน และทำให้เม็ดดินนั้นคงสภาพนั้นยาวนาน จึงถือว่าเป็นสารปรับสภาพดิน ส่งเสริมการแทรกของรากพืช การช่วยลดการพังทลายของดิน การแทรกซึมของอากาศ และการระบายน้ำ สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดผลโดยตรงที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของรากพืชและการดูดใช้ธาตุอาหารและน้ำได้ดีขึ้น

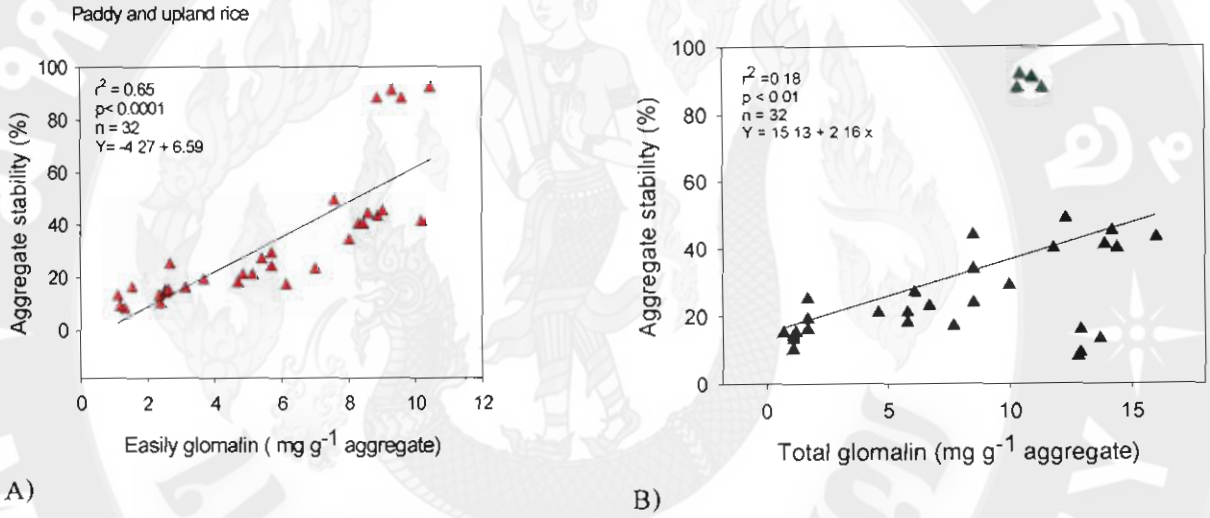


Figure 4 Relationship between easily , total glomalin and stability of 1-2 mm-size aggregates in 0-15 cm soil samples of paddy soil in Chiang Mai province , Northern Thailand.

นอกจากนี้ การสลายตัวนั้นโกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่าส่วนของเส้นใย(hyphae) ของ AMF โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของโกลมาลิน เมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะถึงหลายสิบปี นอกจากนี้การผลิตอาจทำได้ในสภาพห้องทอดลองหรืออาหารปลอดเชื้อ (sterile *in vitro*) ของเชื้อ AMF ดังนั้นการเกิดโครงสร้างใหม่ของดิน (regeneration of soil structure) (Wright, S.F. and A.Upadhyaya.1998;Miller and Justrow,2000)

การเก็บรักษาคาร์บอนไว้ในดิน

จากความสามารถในการเสริมสร้างและความคงทนของเม็ดดินดังที่กล่าวข้างต้นผลที่ได้รับตามมาคือเม็ดดินขนาดเล็ก (micro aggregate) ซึ่งผลมาจากสารโกลมาลิน และเม็ดดินขนาดเล็กนี้จะรวมตัวกันเกิดเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggreagate) โดยมีอิทธิพลของเส้นใยของ AMF รวม

ด้วย สำหรับการสลายตัวนั้นโกลมาลินมีการสลายตัวช้ากว่าส่วนของ hyphae ของ AMF โดยมีการประเมินระยะเวลาในการย่อยสลายของโกลมาลินเมื่ออยู่ในดินนั้นอาจจะถึงหลายสิบปี จากเหตุผลเหล่านี้ทำให้ดินสามารถที่เก็บกักคาร์บอน (carbon storage) และมีผลให้ลดการปลดปล่อยก๊าชเรือนกระจก เช่น CO_2 ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน (Lovelock et al.,2004;Rillig et al.,2001)

เพิ่มความสามารถของในการทนแล้งหรือขาดน้ำได้

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

การดูดซับโลหะหนักและธาตุพิษ

จากการศึกษาของ Gonzalez_Chavez et al .(2004) ได้ศึกษาปริมาณ Cu^{2+} ในสารโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินที่ถูกสร้างมาจาก AMF และพบว่ามีปริมาณสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับทรายที่ไม่มีเส้นใยของ AMF และส่วนของเส้นใยที่อยู่รวมกับรากพืช จะเห็นได้ว่าสารโกลมาลินมีศักยภาพในการดูดซับ (Sequetration) สารโลหะหนักต่าง ๆ โดยอาจจะนำไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักอื่น ๆ เช่น Cu,Cd,Pb และ Mn เพื่อบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนโลหะ(Remediation) เหล่านี้ นอกจากนี้ จากการที่ส่วนของผนังเซลของเส้นใย AMF มีกรดอะมิโน หมู่ไฮดรอกซิล คารบอกซิล และหมู่ฟังชั่นกรุ๊ปอื่น ๆ ซึ่งเป็นที่เหมาะสำหรับโลหะต่าง ๆ เช่น Cu^{2+} หรือโลหะอื่น ๆ เข้ามาจับ (Gonzalez_Chavez et al, 2002) สำหรับความสามารถประการนี้ อาจมีส่วนช่วยให้พืชมีความแข็งแรง ทนทานต่อความเป็นพิษของดิน และทนทานต่อความเป็นกรด-ด่างของดินได้

แนวทางการนำไปใช้สำหรับการเกษตร

1.การทำหัวเชื้อราAMF (VA inoculum)

เนื่องจากไม่สามารถเพาะเลี้ยงในอาหารเทียมเลี้ยงเชื้อได้ ดังนั้นจึงนิยมขยายหัวเชื้อโดยเก็บสปอร์ไปขยายในถุงเพาะชำ หรือแปลงเพาะกล้าเพื่อขยายให้มีปริมาณมากขึ้นในต้นกล้าพวกถั่ว

ข้าวโพด หรือพืชวงศ์หญ้า แล้วไม่ใช้ดินเชื้อและรากของพืชที่นำมาขยายเชื้อนั้นไปคลุกผสมกับต้นกล้าที่เราต้องการเพาะปลูกต่อไป (ธงชัย, 2550)

-การใช้ดินเชื้อ (Soil inoculum)

นำดินเชื้อ AMF ที่ปริมาณห่างจากลำต้นไม้เกิน 50 ซม. โดยรอบและขุดลึกประมาณ 10 – 20 ซม. ให้มีรากเดิมติดมาด้วย แล้วนำไปใช้ทันทีหรือเก็บไว้ในที่ร่มประมาณไม่เกิน 7 วัน เชื้อAMF ที่ติดอยู่กับดินจะนำไปคลุกกับดินเพาะอัตรา 1:6 ถึง 1:10 ส่วน แล้วเพาะเมล็ดและต้นกล้า วิธีนี้ข้อดีคือประหยัดเสียค่าใช้จ่ายน้อย ไม่ต้องใช้วิธียุ่งยากซับซ้อนง่ายต่อการปฏิบัติ ข้อเสียคือ ดินมี่น้ำหนักมา ขนย้ายระยะทางไกล ๆ ไม่สะดวก เราไม่สามารถทราบชนิดเชื้อเห็ดราAMFที่เหมาะสมกับต้นกล้าได้ และดินอาจมีเชื้อโรคติดมาระบาดต้นกล้าได้ง่าย วิธีการแก้ไข ต้องเลือกดินรากดันแม่ที่สมบูรณ์ปราศจากโรคและควรปัดกวาดซากพืชหน้าดินออกให้สะอาดก่อนขุดดินนำเอาไปใช้เพาะต้นกล้า

-การใช้สปอร์ (Spore inoculum)

เราสามารถนำสปอร์ไปละลายน้ำหรือใช้สปอร์โดยตรงคลุกกับเมล็ดพันธุ์ก่อนเพาะกล้า หรือนำสปอร์ละลายน้ำในอัตราส่วน 1:1000 แล้วฉีดพ่นกับต้นกล้าหรือเมล็ดพันธุ์ในแปลกเพาะ ข้อดีวิธีการนี้คือ นำไปปฏิบัติได้ง่าย ได้พันธุ์เห็ดที่ทราบชื้อชนิดพันธุ์ได้ แต่มีข้อเสียคือ เราไม่สามารถเก็บสปอร์ในปริมาณมาก ๆ ได้ ไม่สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีมีประสิทธิภาพสูง และสปอร์มีระยะพักตัว มีการงอกที่ไม่สม่ำเสมอ สปอร์บางชนิดมีอัตราการงอกต่ำ ต้องใช้วิธีกระตุ้นเป็นพิเศษจึงจะสามารถงอกได้ สปอร์ สามารถทำเป็นเม็ดAMF (Mycorrhizal tablelts) ได้

-การใช้เส้นใย (Mycelial inoculum)

คัดเลือกสายพันธุ์AMFพันธุ์ที่มีศักยภาพที่เราต้องการ นำไปขยายใน Vermiculite ผสม Peat moss และสารเคมีเสริมการเจริญเติบโต การเลี้ยงเชื้อในอาหารเทียม เช่น Potato-Dextrose Agar (PDA) หรือ Modified Melin-Norkran Medium (MMN) ซึ่งมีสูตรดังนี้ $CaCl_2$ 0.5 ก. NaCl 0.025 ก. KH2PO4 0.5 ก. MgSO4 • 7 H2O 0.15 ก. 1% FeCl3 1.2 มล. Thiamine HCl 100 มก. Malt extract 3 ก. glucose 10 ก. Difco Agar 15–20 ก. Distilled water 1,000 มล. pH 5.5-7.5 เชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดี แต่ AMF บางชนิดไม่สามารถเลี้ยงเชื้อในอาหารเทียมได้

2.การทำปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาอัดเม็ด

การขยายเชื้อโดยใช้ Vermiculite : Peat Moss อัตราส่วน 28:1 แล้วผสมกับอาหารเทียม MMW ที่ปราศจาก Agar 50% จะให้ผลดีสามารถเลี้ยงเชื้อได้ภายใน 3-4 เดือน ก็นำเอาหัวเชื้อไปใช้คลุกดินเพาะกล้าได้ ในอัตราส่วน 1:8 ถึง 1:10 แล้วจึงเพาะเมล็ดกล้าไม้ วิธีการนี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้

เทคนิคเครื่องมือและอุปกรณ์ค่อนข้างซับซ้อนและต้องการความรู้ 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 รากที่ที่เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในกระถางโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงแบบเปียก (Wet sieving and decanting) มาจำนวน 35 มิลลิลิตร ผสมเข้ากับสารละลาย 1 เปอร์เซ็นต์ (W/V) ของ 400- centipoise methyl- cellulose จำนวน 5 มิลลิลิตร แล้วผสมกับเมล็ดพืช (ธงชัย,2550)

4. การเพาะเชื้อก่อนย้ายกล้า (Pre-inoculation of transplanted seedlings) ในพืชที่มีการย้ายกล้า การเพาะเชื้อก่อนการทำการย้ายกล้าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด มักใช้กับพืชพวกไม้ยืนต้น เช่น กล้าไม้ผล และไม้ป่าเป็นต้น

วิธีการวิจัย

งานวิจัยที่ 1 การใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่างๆต่อความหลากหลายและชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

Various forms of land use towards the diversity and types of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin- related soil protein

วิธีและการศึกษาครั้งที่1

ทำการศึกษาในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ ได้แก่ พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ และ พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลวง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2553 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2553

1. แผนการทดลอง

ศึกษาในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ ดัง (ตาราง 4) และวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ

ตาราง 4 ลักษณะการใช้ที่ดินของตัวอย่างดินที่ศึกษา

การใช้ที่ดิน	พิกัด	จำนวนตัวอย่าง	ลักษณะทั่วไป
พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว (UFP)	0520440 E 2108476 N	10	มีต้นพลวงและเหียงขึ้นปกคลุมทั่วพื้นที่ อายุประมาณ 15 ปี
พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง (UFB)	0520600 E 2108420 N	10	เป็นป่าเต็ง รัง อายุประมาณ 20 ปี
พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก (UFW)	0519887 E 2082390 N	10	เป็นป่าที่ต้นไม้ขึ้นปกคลุมไม่ทั่วพื้นที่จะพบต้นไม้ต้นเล็กๆได้แก่ ไมยราบ มะรุม อายุประมาณ 2 ปี
พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง (OVFP)	0516485 E 2082896 N	4	มีการปลูกผักได้แก่ ฟักทอง แตงกวา อายุใช้พื้นที่ 5 ปี
พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลวง (OVFS)	0505937 E 2159771 N	8	มีการปลูกผักได้แก่ มะเขือ กวางตุ้ง บวบเหลี่ยม กระเจี๊ยบเขียว อายุการใช้พื้นที่ 3-5 ปี
พื้นที่ป่าอนุรักษ์ (CF)	0505072 E 2093213 N	10	มีต้นพลวงและต้นไม้ ขนาดเล็กขึ้นปกคลุม อายุประมาณ 15 ปี

2. การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินใช้เกณฑ์การแบ่งพื้นที่ดังนี้ พื้นที่ป่าใช้สอยพร้าว (UFP) พื้นที่ป่าใช้สอยบ้านโป่ง (UFB) พื้นที่ป่าใช้สอยวิเวก(UFW) พื้นที่เกษตรอินทรีย์ป่าไม้แดง (OVFP) พื้นที่เกษตรอินทรีย์สะลวง (OVFS) และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ (CF) โดยเก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample ในระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร จำนวน 4 ซ้ำต่อพื้นที่ นำดินมาผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร

3. การแยกสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากดิน

การตรวจสอบความหนาแน่นของสปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซาในตัวอย่างดินสามารถตรวจสอบได้จากการนับจำนวนสปอร์หลังจากการแยกสปอร์จากตัวอย่างดิน วิธีการแยกสปอร์ที่ได้ผลดีวิธีหนึ่งได้แก่ วิธีร่อนแบบเปียก (Gerdemann and Nicloson,1963) ร่วมกับวิธี sucrose centrifugation (Daniel and Skipper,1982) โดยชั่งดินสด 100 กรัม เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทิ้งไว้ 30 นาที แล้วคนต่ออีก 10 นาที นำดินไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 500, 250, 125 และ 45 ไมโครเมตร แล้วนำดินที่ร่อนแบ่งใส่หลอดเซนติฟิวซ์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที รินน้ำส่วนที่ใสทิ้ง แล้วเติมซูโครส 50 เปอร์เซ็นต์ ลงไปในหลอดเซนติฟิวซ์นำไปปั่นเหวี่ยง 1 นาที สปอร์ไมคอร์ไรซาจะลอยอยู่บนซูโครส จากนั้นเทซูโครสลงในตะแกรงร่อนขนาด 45 ไมโครเมตร ชะส่วนที่เหลือจากตะแกรงลงหลอดเซนติฟิวซ์หรือบีกเกอร์ด้วยสารละลายริงเกอร์ (Ringer's Solution) แล้วใช้ไมโครปิเปตดูดสปอร์วางบนกระดาษกรอง แล้วเก็บสปอร์ได้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า แล้วนำสปอร์ที่ได้เก็บในขวดที่มีสารละลายริงเกอร์ (Ringer Solution) ซึ่งเป็นสารละลายที่ช่วยรักษาการรอดชีวิตของสปอร์

2. การวิเคราะห์โกลมาลิน โดยเทคนิค Bradford dye-blinding assay

โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย (Easily extractable glomalin) โดยชั่งตัวอย่างดินขนาด 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม เติมน้ำยาสกัด 20 mM sodium citrate (pH 7.00) 16 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำตัวอย่างดินไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เก็บสารละลาย (Supernatant) ที่สกัดได้ โดยถ่ายเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์โกลมาลินต่อไป (Wright *et al.*,1996)

โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total glomalin) โดยชั่งตัวอย่างดินขนาด 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 5 กรัม เติมน้ำยาสกัด 20 mM sodium citrate (pH 8.00) 16 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดิน

เข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาทีแล้วนำตัวอย่างดินไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บสารละลายใส (Supernatant) ที่สกัดได้ โดยถ่ายเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์โกลมาลินต่อไป (Wright *et al.*,1996)

5.การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ Analysis of Variances (ANOVA) โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Design (RCBD) ในประเด็นผลของการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ ต่อจำนวนเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และความคงทนของเม็ดดิน โดยมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง สารโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดินกับจำนวนอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และความคงทนเม็ดดิน โดยสมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

วิธีและการศึกษาครั้งที่2

การเก็บตัวอย่างดิน

โดยเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite Sample ในระดับความลึก 0-15 ซม.จำนวน 4 ซ้ำต่อพื้นที่ นำดินมาแบ่งเป็นสองส่วนส่วนแรกผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2 มม. ส่วนที่สองนำดินสดไปร่อนสปอร์ AMF โดยการเก็บตัวอย่างดินดัง **Table 5**

Table 5. The study area sampled.

Land use.	Coordinates	Number of samples.	Feature Area.
Community forest of Baan Pong (CFB)	0520600 E 2108420 N	9	The dipterocarp forest age is 20 years.
Organic farming of Doi Saket (OFD)	0501607 E 2089115 N	9	Vegetables were grown land use 20 years.
Grass land area (GL)	0507106 E 2095153 N	9	The grassland age of bout 10 years.
Organic farming of Maejo University (OFMJ)	0502163 E 2091486 N	9	Fruit growing areas over the last 30 years.

การแยกสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากดิน

การตรวจสอบความหนาแน่นของสปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซาวิธีร่อนแบบเปียก (Gerdemann and Nicloson, 1963) ร่วมกับวิธี sucrose centrifugation (Daniel and Skipper, 1982) โดยชั่งดินสด 100 ก. เติมน้ำกลั่น 400 มล. คนให้เข้ากันทิ้งไว้ 30 นาที แล้วคนต่ออีก 10 นาที นำดินไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 500, 250, 125 และ 45 ไมโครเมตร แล้วนำดินที่ร่อนแบ่งใส่หลอดเซนติฟิวส์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาทีเป็นเวลา 5 นาที รินน้ำส่วนที่ใสทิ้ง แล้วเติมซูโครส 50% ลงไปในหลอดเซนติฟิวส์นำไปปั่นเหวี่ยง 1 นาที สปอร์ไมคอร์ไรซาจะลอยอยู่บนซูโครส จากนั้นเทซูโครสลงในตะแกรงร่อนขนาด 45 ไมโครเมตร ชะส่วนที่เหลือจากตะแกรงลงหลอดเซนติฟิวส์หรือบีกเกอร์ด้วยสารละลายริงเกอร์ (Ringer's Solution) แล้วใช้ไมโครปิเปตดูดสปอร์วางบนกระดาษกรอง แล้วเก็บสปอร์ใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า แล้วนำสปอร์ที่ได้เก็บในขวดที่มีสารละลายริงเกอร์ (Ringer Solution) ซึ่งเป็นสารละลายที่ช่วยรักษาการรอดชีวิตของสปอร์

การวิเคราะห์โกลมาลิน โดยเทคนิค Bradford dye-blinding assay

โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (TEGRP) โดยชั่งตัวอย่างดินขนาด 2 มล. น้ำหนัก 5 ก. เติมน้ำยาสกัด 20 mM sodium citrate (pH 8.00) 16 มล.จากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°เป็นเวลา 90 นาทีแล้วนำตัวอย่างดินไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บสารละลายใส (Supernatant) ที่สกัดได้ โดยถ่ายเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์โกลมาลินต่อไป (Wright et al.,1996)

การหาความคงทนของเม็ดดิน(Water Aggregate Stability, WAS)

ชั่งดินขนาด 2 มิลลิเมตร ประมาณ 5 กรัมใส่ถาดฟรอยนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงมาชั่งน้ำหนักที่แท้จริง (W1) เทดินลงในตะแกรงของเครื่องเขย่า เติมน้ำกลั่นลงในถาดรองตะแกรงแช่ตัวอย่างดิน 5 นาทีจากนั้นเขย่า 3 นาที แล้วนำน้ำในถาดรองเทลงบิกเกอร์นำไปอบแห้งแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินนำไปลบ W1 จะได้ W2 จากนั้นนำ 0.5% Na-hexametaphosphate เติมลงดินที่ค้างในตะแกรง เขย่า 5 นาทีแล้วนำดินที่ค้างบนตะแกรงไปล้างด้วยน้ำประปา แล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศแล้ว นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียสแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (W3) นำค่าทั้งหมดมาคำนวณหาความคงทนของเม็ดดินแบบ wet aggregate (Wright and Upadhyaya, 1998)

การจำแนกชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

โดยวิธีของ Morton and Benny (1990) ได้จำแนกเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา อยู่ในชั้น Zygomycetes อันดับ Glomales แบ่งเป็น 2 อันดับย่อย ได้แก่ Glomineae และ Gigasporineae ในอันดับย่อย Glomineae มี 2 วงศ์ คือ ประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Glomus* และ *Sclerocystis* ในวงศ์ Acaulosporaceae มีสมาชิกอยู่ 2 สกุลคือ *Acaulospora* และ *Entrophospora* ส่วนในวงศ์ย่อย Gigasporineae มีเพียง 1 วงศ์คือ Gigasporaceae ซึ่งประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Gigaspora* และ *Scutellospora*

งานวิจัยที่ 2 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและระดับ pH ของดินต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสและสังกะสีของข้าวไร่

Role of arbuscular mycorrhizal fungi and soil pH on phosphorus and zinc uptake by upland rice

วิธีและการดำเนินงาน

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Complete Randomized Design) จำนวน 3ซ้ำ โดยมี ปัจจัยที่1 เป็นชนิดของเชื้อ ได้แก่ 1.Control (- AMF) 2. ใส่สปอร์ AMF *G. geosporum* (AMFG) 3.ใส่สปอร์ AMF *G. etunicatum* (AMFE) 4.ใส่สปอร์ AMF *G. geosporum* + สปอร์ AMF *G. etunicatum* (AMFGE) ปัจจัยที่ 2 คือระดับ pH ได้แก่ pH 5,6,7,8 ตามลำดับ ปลูกข้าวไร่พันธุ์ขาวโป่งไคร้ และเมื่อข้าวอายุครบ 60 วัน ทำการเก็บเกี่ยวต้นข้าวเพื่อชั่งหาน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างรากข้าว และเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์หา Zn ต่อไป

2. การเตรียมตัวอย่างสปอร์

นำดินจากพื้นที่ป่า ทำการคัดเลือกจำแนกสปอร์โดยวิธีของ Morton and Benny (1990) โดยได้จำแนกเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา อยู่ในชั้น Zygomycetes อันดับ Glomales แบ่งเป็น 2 อันดับย่อย ได้แก่ Glomineae และ Gigasporineae ในอันดับย่อย Glomineae มี 2 วงศ์ คือ ประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Glomus* และ *Sclerocystis* ในวงศ์ Acaulosporaceae มีสมาชิกอยู่ 2 สกุลคือ *Acaulospora* และ *Entrophospora* ส่วนในวงศ์ย่อย Gigasporineae มีเพียง 1 วงศ์คือ Gigasporaceae ซึ่งประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Gigaspora* และ *Scutellospora* และขยายสปอร์ของ AMF *G. geosporum* กับ *G. etunicatum* มาสกัดสปอร์โดยวิธีร่อนแบบเปียก (Gerdemann and

Nicloson,1963) ร่วมกับวิธี sucrose centrifugation (Daniel and Skipper,1982) แล้วนำสปอร์ที่ได้เก็บในขวดที่มีสารละลายริงเกอร์ (Ringer Solution) ซึ่งเป็นสารละลายที่ช่วยรักษาการรอดชีวิตของสปอร์ เก็บที่อุณหภูมิ 4-5 °C เก็บไว้ได้นาน 6เดือน (สมจิตร,2549) เพื่อนำไปใช้ต่อไป **สำหรับการเตรียมกล้าข้าว** ได้นำข้าวไร่พันธุ์ ขาวโป่งไคร้ จากภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มาอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 7 วันแล้วนำไปแช่น้ำ 1 คืน จึงนำไปเพาะในดินที่จะทดสอบ อีก 1 สัปดาห์

3.การเตรียมตัวอย่างดินและปลูกพืช

เก็บดินมาจากที่ทำการปลูกข้าวไร่ สวนป่าแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ระดับความลึก 15-30 ซ.ม. มาผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำมารอนผ่านตะแกรง 1 ซ.ม. แล้วนำไปอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 60 นาที แล้วปรับ pH ของดินด้วย $CaCO_3$ ซึ่งใช้เวลา 60 วัน จึงได้ pH ตามทรีดเมนต์ที่กำหนดไว้ จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง 350 กรัมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 ซ.ม.สูง7.5 ซ.ม. แล้วนำสปอร์ของ AMF ที่เตรียมไว้รองก้นหลุมปลูก 30 สปอร์ต่อกระถาง ปริมาณที่ใช้ถ้าเป็นสปอร์ขนาดใหญ่ อาจใช้ตั้งแต่ 5-100 สปอร์ต่อต้น หรือถ้าสปอร์ขนาดเล็กอาจใช้ 50-500 สปอร์ต่อต้น (สมจิตร,2549) แล้วนำต้นกล้าข้าวไร่อายุ 1 สัปดาห์ที่เตรียมไว้มาปลูก โดยมีการให้น้ำนั้นมีการควบคุมความชื้นที่ระดับ 0.3 bar ของดินโดยการชั่งน้ำหนักก่อนการให้น้ำแต่ละวัน

4.การวิเคราะห์สมบัติของดินและการวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช

การวัดความเป็นกรด-ด่างในดิน โดยใช้สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (V/V) (Thomas, 1996) การวิเคราะห์สังกะสีในดิน (Loeppert and Inskeep,1996) วิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยวิธีโจนส์ และคณะ (Jones et al., 1991)วิเคราะห์สังกะสีทั้งหมดในพืช (สมพร, 2534)

5.การตรวจหาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าว (root colonization)

การตรวจหาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวด้วยการย้อมสีรากพืช โดยนำตัวอย่างรากข้าวมาล้างน้ำให้สะอาด ตัดเป็นชิ้นมีความยาวประมาณ 1.0 เซนติเมตร (20 ชิ้น) นำไปต้มในน้ำยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (10% KOH) อุณหภูมิประมาณ 121 °C นานประมาณ 4 นาที แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนไม่มีน้ำยา KOH เหลืออยู่ที่รากโดยพิจารณาจากน้ำที่ล้างใสไม่มีฟอง จากนั้นนำรากซับด้วยกระดาษเยื่อให้พอหมาด แล้วนำไปย้อมด้วย 0.05% trypan blue ใน lactoglycerol ที่อุณหภูมิไม่เกิน 121 °C เป็นเวลานาน 4 นาที จากนั้นนำรากไปวางบนสไลด์ แล้วส่องการเข้ารากของเชื้อ AMF ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ด้วยกำลังขยาย 10 เท่า ตามวิธีของ McGonigle และคณะ (McGonigle et al., 1990)

6. การคำนวณ

คำนวณ % Mycorrhizal responsiveness นั้น เป็นการนำเสนอเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ โดยใช้ค่าน้ำหนักแห้งที่มีการใส่เชื้อ (+AMF) สายพันธ์ต่าง ๆลบด้วยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่ไม่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซ่า (-AMF) หารด้วยน้ำหนักแห้งที่ไม่มีการใส่เชื้อ (-AMF) (ดังสมการที่ 1)

$$\text{Mycorrhizal responsiveness (MR)} = \frac{[\text{Plant dw}(+AMF) - \text{Plant dw}(-AMF) \times 100]}{\text{Plant dw}(-AMF)}$$ (Hetrick *et al.*, 1992)

(สมการที่ 1)

สำหรับการคำนวณ % Mycorrhizal P(Zn) responsiveness (MPR)(MZnR) คำนวณได้จากนำค่าการดูดใช้ P, Zn ของข้าวไร่ที่มีการใส่สปอร์สายพันธุ์ต่างๆ (+AMF) ลบด้วยการดูดใช้ P ที่ไม่มีการใส่สปอร์ (-AMF) หารด้วยการดูดใช้ P ที่ไม่มีการใส่สปอร์ (-AMF) (ดังสมการที่ 2)

$$(\text{MPR})(\text{MZnR}) = \frac{[P_{(Zn)}\ uptake\ (+AMF) - P_{(Zn)}\ uptake\ (-AMF) \times 100]}{P_{(Zn)}\ uptake\ (-AMF)}$$ (สมการที่ 2)

งานวิจัยที่ 3 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและระดับความชื้นในการปลูกข้าวต่อการดูดใช้สังกะสีของข้าว

Role of Arbucular Mycorrhizal Fungi and Rice Cultivation System on Zinc Uptake by Rice

อุปกรณ์และวิธีการ

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (randomized complete block design) จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีปัจจัยที่1 คือ ระดับความชื้นมี 2 ระดับ คือ 1) ขังน้ำ และ 2) ที่ระดับ 0.3 bar ของดินชุดหางดง สำหรับปัจจัยที่ 2 คือการใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซาสายพันธุ์ต่างๆ 4 รูปแบบ ดังนี้ รูปแบบที่ 1 Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) รูปแบบที่ 2 ใส่หัวเชื้อดิน *G. geosporum* รูปแบบที่ 3 ใส่หัวเชื้อดิน *G. etunicatum* รูปแบบที่ 4 ใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata*

2. การเพาะและขยายสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพกระถาง (pot culture)

การเพาะเชื้อเพื่อเพิ่มปริมาณของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สามารถทำได้โดยการเพาะเลี้ยงเชื้อรานี้ให้เจริญร่วมกับข้าวฟ่าง โดยการนำดินชุดน้ำพองและทรายมาผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำไปอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C เวลานาน 180 นาที ติดต่อกัน 3 วัน จากนั้นนำทรายผสมดินชุดน้ำพองอัตรา 1:1 โดยปริมาตร แล้วชั่งดินใส่กระถาง 7 กิโลกรัม ทำการปลูกข้าวฟ่างโดยหยอดเมล็ด

รดน้ำด้วยสารละลาย Hoagland เมื่อข้าวฟ่างอายุได้ประมาณ 3 เดือนทำการเก็บเกี่ยวโดยการตัดพืชเหนือดิน จากนั้นเก็บดินพร้อมรากนำมาผึ่งลมให้แห้ง แล้วเก็บดินนี้ไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท แล้วเก็บโดยปล่อยให้ดินในกระถางเพาะเชื้อค่อย ๆ แห้งที่อุณหภูมิห้อง (ธงชัย, 2550)(Table 6)

Table 6 Soil inoculums properties

Soil inoculums	pH	EC ($\mu S\ cm^{-1}$)	OM (%)	Available P ($mg\ kg^{-1}$)	Number of spore ($spore\ g^{-1}$)
G. geosporum	6.1	33.7	0.6	14.2	11
G. etunicatum	6.1	33.4	0.8	14.9	9
A . foveata	5.9	35.2	0.6	18.8	7

Note: pH =1:1H_2O, EC = electrical conductivity, OM = soil organic matter

3. การเตรียมดินปลูกและต้นพืชทดลอง

นำดินชุดหางดงมาผึ่งให้แห้งด้วยลมแล้วร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งดินใส่กระถางโดยมีน้ำหนัก 1.5 กิโลกรัม แล้วเติมน้ำลงไปและคลุกเคล้าให้เข้ากันจากนั้นทิ้งไว้ 1 คืน วันถัดมานำหัวเชื้อดินที่เตรียมไว้มาใส่ โดยคลุกเคล้ากับดินตามชนิดของเชื้อ AMF ในอัตรา 500 กรัมต่อกระถาง (อัตราส่วนดิน:หัวเชื้อดิน 1:3) จากนั้นนำต้นกล้าข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 อายุ 14 วันมาปลูก และทำการควบคุมความชื้นโดยแบ่งเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกทำการควบคุมความชื้นที่ระดับ 0.3 bar ของดินหางดง (ความชื้นที่ 0.3 bar ของดินชุดหางดงมีค่าเท่ากับ 16.2%) โดยการชั่งน้ำหนักก่อนการให้น้ำแต่ละวัน และชุดที่สองทำการขังน้ำเหนือดินไว้ 2 เซนติเมตร และเมื่อข้าวอายุครบ 60 วัน ทำการเก็บเกี่ยวต้นข้าวเพื่อชั่งหาน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างรากข้าว และเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์หา Zn ต่อไป

4.การตรวจหาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าว (root colonization)

การตรวจหาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวด้วยการย้อมสีรากพืช โดยนำตัวอย่างรากข้าวมาล้างน้ำให้สะอาด ตัดเป็นชิ้นมีความยาวประมาณ 1.0 เซนติเมตร (20 ชิ้น) นำไปต้มในน้ำยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (10% KOH) อุณหภูมิประมาณ 121 °C นานประมาณ 4 นาที แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนไม่มีน้ำยา KOH เหลืออยู่ที่รากโดยพิจารณาจากน้ำที่ล้างใสไม่มีฟอง จากนั้นนำรากซับด้วยกระดาษเยื่อให้พอหมาด แล้วนำไปย้อมด้วย 0.05% trypan blue ใน lactoglycerol ที่อุณหภูมิไม่เกิน 121 °C เป็นเวลานาน 4 นาที จากนั้นนำรากไปวางบนสไลด์ แล้วส่องการเข้ารากของเชื้อ AMF ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ด้วยกำลังขยาย 10 เท่า **สำหรับการวิเคราะห์ความเข้มข้นและการดูดใช้ Zn** ดำเนินการโดยนำต้นข้าวที่เก็บเกี่ยวได้ไปอบด้วยอุณหภูมิ 70 °C เป็น

เวลา 48 ชั่วโมงแล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งและทำการวิเคราะห์ธาตุ Zn ในต้นข้าวโดยวิธี we digestion (สารย่อย HNO_3 + $HClO_4$) แล้วนำไปวิเคราะห์ Zn ด้วยเครื่อง Atomic Adsorption Photometer (Jackson, 1973)

5. การคำนวณ

การคำนวณ % Mycorrhizal responsiveness นั้น เป็นการนำเสนอเป็นค่าเปอร์เซ็นต์โดยใช้ค่าน้ำหนักแห้งที่มีการใส่เชื้อ (+AMF) สายพันธ์ต่าง ๆลบด้วยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่ไม่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซ่า (-AMF) หารด้วยน้ำหนักแห้งที่ไม่มีการใส่เชื้อ(-AMF) (ดังสมการที่ 1)

$$\text{Mycorrhizal responsiveness } (MR) = \frac{[\text{Plant dw}(+AMF) - \text{Plant dw}(-AMF) \times 100]}{\text{Plant dw}(-AMF)}$$ (Hetrick *et al.*, 1992)

(สมการที่ 1)

สำหรับการคำนวณ % Mycorrhizal Zn respondsiveness (MZnR) คำนวณได้จากนำค่าการดูดใช้ Zn ของข้าวที่มีการใส่เชื้อสายพันธุ์ต่างๆ(+AMF) ลบด้วยการดูดใช้ Zn ที่ไม่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซ่า(-AMF) หารด้วยการดูดใช้ Zn ที่ไม่มีการใส่เชื้อ(-AMF) (ดังสมการที่ 2)

$$\text{Mycorrhizal Zn responsivness } (MZnR) = \frac{[\text{Zn uptake}(+AMF) - \text{Zn uptake}(-AMF) \times 100]}{\text{Zn uptake}(-AMF)}$$ (สมการที่ 2)

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

หาความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ MZnR ไปหาความสัมพันธ์กับค่า Zn uptake โดยคำนวณค่าสหสัมพันธ์ (correlation) และสมการทดถอย และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของรูปแบบการให้น้ำและชนิดของหัวเชื้อโดยใช้วิธี LSD (least significant difference)

งานวิจัยที่ 4 ผลของชนิดดิน ระดับความชื้น และผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว

Effects of Soil Type, Moisture Level and Mycorrhizal Fungi on Available Phosphorus and Phosphorus Uptake of Rice

วิธีวิจัยและการดำเนินงาน

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบFactorial Experiment in Randomized Complete Block Design ; RCBDจำนวน 3 ซ้ำ โดยแบ่งเป็น3ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 คือชนิดของดิน ประกอบด้วย 3 ชนิดดิน ได้แก่ชุดดินหางดง (Hd)ชุดดินน้ำพอง(Ng) และชุดดินสรรพยา(Sa)

ปัจจัยที่ 2 คือการขังน้ำที่ระดับความชื้น 4 ระดับคือการขังน้ำที่ระดับความสูง 2ซม. (WL) การขังน้ำที่ระดับความชื้น 60% (60FC) การขังน้ำที่ระดับความชื้น 30% (30FC) และการขังน้ำที่ระดับความชื้น -0.3 bar (100FC)

ปัจจัยที่ 3 คือ Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) ใส่หัวเชื้อดิน*G.geosporum* ใส่หัวเชื้อดิน *G.etunicatum*และใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata*

2. การเตรียมดินปลูกและต้นพืชทดลอง

นำดินชุดสรรพยาซึ่งเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง มีการระบายน้ำดี ดินชุดหางดงซึ่งเป็นดินร่วนปนเหนียวดินร่วน ดินชุดน้ำพอง การระบายน้ำดีเป็นดินทรายปนดินร่วน เหมาะแก่การปลูกข้าว ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา นำดินทั้งสามมาผึ่งให้แห้งด้วยลม แล้วร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง 205 กรัม เติมน้ำลงไปแล้วคลุกให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นนำหัวเชื้อดินมาใส่รองก้นหลุมตามทรีทเมนต์ อัตรา 41 กรัมต่อกระถาง (อัตราส่วน 1:5)

จากนั้นนำต้นกล้าข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 อายุ 14 วันมาปลูกลงในกระถาง พอครบ 14 วันทำการควบคุมความชื้นโดยแบ่งเป็น 4 ชุด โดยชุดแรก ควบคุมความชื้นที่ 100% และชุดที่สองควบคุมความชื้นที่ 60% ชุดที่สามควบคุมความชื้นที่ 30% ชุดที่สี่ควบคุมความชื้นที่ -0.3 bar พอข้าวอายุได้ 2 เดือนทำการเก็บเกี่ยวตามแผนการทดลอง

- นำค่าความชื้นมาทำการคำนวณเพื่อที่จะหาค่าน้ำหนักของดินที่ใช้ต่อเชื้อ

- การเตรียมต้นกล้าข้าวอายุ 14 วัน เลือกข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 เนื่องจากเป็นข้าวพันธุ์ที่สามารถปลูกได้ตลอดปี มีความทนแล้งและต้านทานโรคสูง ให้ผลผลิตสูง โดยใช้ชุดดินสามชุดดิน คือชุดดินน้ำพอง ชุดดินสรรพยา ชุดตินหางดงมาเตรียมเพื่อปลูกต้นกล้าข้าวในกระถาง โดยนำเมล็ดข้าวใส่ในผ้าขาวบางแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผึ่งในห้องมืด แล้วทำการหยอดเมล็ดลงไปในดินที่เตรียมเพาะกล้าไว้ รอให้ต้นกล้ามีอายุครบ 14 วันจึงทำการย้ายต้นกล้าไปปลูกลงในกระถางที่เตรียมไว้

3. การวิเคราะห์ดิน

เก็บตัวอย่างดินหลังข้าวเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวเมื่อข้าวอายุครบ 60 วันแล้วนำดินมาวิเคราะห์การวัดความเป็นกรด-ด่างในดินโดยใช้สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (V/V)(Thomas, 1996) การวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:5 (V/V) (Anderson and Ingram, 1993) การสกัดปริมาณฟอสฟอรัสที่มีประโยชน์โดยวิธีโมลิบดีนัมบลู (Murphy and Riley, 1962)

4. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

เมื่อข้าวอายุ 60 วัน ได้ตัดตัวอย่างต้นข้าวเหนือผิวดิน 1 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 75°C ด้วยตู้อบตัวอย่างจนน้ำหนักแห้งคงที่จึงนำไป วิเคราะห์หาฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช โดยการย่อยด้วยกรดผสมไนทริก-เพอร์คลลอริก (Jones et al., 1991)

งานวิจัยที่ 5 Roles of Mycorrhizas, Soil Carbons and Soil Aggregate Stability under Various Land Uses on C Storage with Climate Changes

Methods

The study was carried out in Baan Ton Poung,Amphur Jomtong in Chiangmai Province, northern Thailand. The average annual rainfall of this area from 1998 to 2009 was about 1200 mm. The average monthly air temperature was about 29°C, being mountainous, has an undulating landscape.

Land uses

From each site, a composite soil sample of 6 subsamples were collected from each land-use. Samples were taken at the depth of 0-15 cm at 48 sites (Table 7).

Table 7 The characteristics of the main land uses in the study.

Land uses	Abbrevation, Symbol	Number of replications	Characteristics
Primary forest	A,PF	3	Mixed deciduous forests in which nontimber forest products (NTFPs) are harvested by the villagers.
Secondary conservation forests	B,SF	3	15 years old, much of the plant cover is bamboo and have nearly 50 % closed canopies. Some villagers harvest nontimber forest products (NTFP's).
Fully commercial vegetable	FCVeg	6	15-20 years old, slope 12 – 35 %, mostly cabbage, green cos lettuse and onion with

			irrigation system and intensive ,and planted whole year (3-4 crops per year). Prepared soils by herbicide and tillage.
Rotation vegetable	RVeg	6	15-20 years old, slope 12 – 35 %, mostly cabbage, green cos lettuse and onion with irrigation system ,and planted partly of a year (2-3 crops per year). Prepared soils by herbicide and slash and burn.
Rotation rainfed vegetable	RRVeg	6	15-20 years old , slope 12 – 35 %, mostly cabbage, green cos lettuse and onion with rainfed, and planted partly of a year(1-2 crops per year). Prepared soils by herbicide and slash and burn.
%Hilly rainfed vegetable	HRVeg	6	15-20 years old ,slope>35 %, mostly cabbage, green cos lettuse and onion with rainfed,vand planted partly of a year (1-2 crops per year). Prepared soils by herbicide and slash and burn.
Wetland rice (Paddy soil)	PAD	6	A practice that started about 30-years ago, wetland rice is grown by machine for tillage in soil preparation.
Upland rice	UR	5	Planted only upland rice for home consumption. Prepared soils by herbicide and slash and burn.
Upland rice mixed with intensive plant	URm	5	Planted upland rice for home consumption and annually or rotated by maize (*Zea mays L.*) Prepared soils by herbicide and slash and burn.
Fallow	Fa	5	Covered with bush and grass; frec of agricultural activities for 1–3 years.

Glomalin related soil protein analysis: Easily-extractable (E-glo) and total glomalin (T-glo) related soil protein were cxtracted by adjusted procedure form (Wright & Upadhyaya 1998). One

gram of air dried soil was placed into a 50 ml centrifuge tube and mixed with 8 mL of 50 mM sodium citrate buffer (pH = 8), then samples were autoclaved for 30 minutes. The supernatant was collected by centrifugation 2510 g for 15 minutes. Total glomalin related soil protein was extracted with 8 mL of 50 mM sodium citrate buffer (pH = 8), then samples were autoclaved for 90 minutes. The supernatant was determined for related- soil protein as glomalin by the Bradford assay with bovine serum albumin standard.

Aggregate stability (WAS): The soil was transferred along with the filter paper into an aluminum can and dried at 105 °C for 24 hours. The oven-dry soil aggregates (5.00 g) were transferred into the dispersion wet sieving apparatus. The dispersing agent of 10 ml of 5 percent solution of sodium hexametaphosphate and enough distilled water were added to fill the cup to within 4 cm of the rim, and then the suspension was stirred for 5 minutes. Aggregate stability was the amount of aggregated soil > 0.25 mm remaining after 5 min of wet sieving (Kemper & Rosenau 1986).

Water soluble carbon (WSC): Soil samples were weight into 50 ml polypropylene centrifuge tubes. These were extracted with 30 ml of deionized water for 30 min on an end to end shaker at 200 rpm (round per minute) and at room temperature, eentrifuged for 20 min at 5000 rpm and all the supernatant from was filtered through Whatman No. 1 filter into Erlenmayer flask for carbon analysis by Cr_2O_7 oxidation.

Hot water soluble carbon (HWSC):A further 30 ml of deionized water was added. The tube was eapped and left for 16 h in a hot-water bath at 80 °C. At the end of the extraction period, each tube was shaken by hand to ensure that HWC released from the SOM was fully suspened in the extraction medium. These tubes were then eentrifuged for 20 min at 5000 rpm.The supernatants were filtered through Whatman No 1paper filters. Total carbon(inorganic and organie C) in both the first and second extracted determined by Cr_2O_7 oxidation.

Permanganate Oxidized Carbon (POC): Permanganate Oxidized Carbon was determined by permanganate oxidation, aecording to (Weil *et al.* 2003): 2-3 g of air –dried soil and passed through the sieve 0.5 mm with 20 ml 0.02 M $KMnO_4$. The soil-$KMnO_4$ suspensions were shaken at 200 rpm for 15 min at room temperature in screw cap polycarbonate centrifuge tubes. After shaking, the tubes were centrifuged at 5000 rpm for 15 min to separate the soil particles from the solution. Subsequently 0.20 ml of the clear solution was transferred into a glass tube, diluted with 10.0 ml of deionizer water, using a vortex for complete mixing. The absorbance was measured

with a spectrometer at 550 nm of light and compared to an absorbance reading on a standard curve.

Coarse and fine particulate organic carbon (POM) : 30 g whole soil was with 100 ml of 5 g L^{-1} sodium hexametaphosphate for 16 h in a shaker at 20 revolutions per minute (rpm), and the slurry was poured into an assembly of 1, 0.250 and 0.053 mm sieves.After wet sieving, and crushing of aggregates on the 1 mm sieve, the materials from the 0.250 and 0.053 mmsieves were oven-dried at 50 C, weighed and ground, and subsequently measured for content of organic C (Nelson & Sommers 1986).

Total organic carbon (TOC): Soil organic carbon content was determined after sieving (0.5 mm) by the wet combustion method described in (Nelson & Sommers 1986).

Statistical analysis: The degree of glomalin, organic C fraetions, aggregate stability that differed among land-use types were determined by one way ANOVA. Evaluation of the relationship between glomalin and other soil indicators was determined by regression analysis and Pearson's correlation coefficients.

งานวิจัยที่ 6 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในระดับความชื้นต่างๆและชนิดของดินต่อการเจริญเติบโตของข้าวสันป่าตอง1

วิธีวิจัยและการดำเนินงาน

การวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomize Complete Block Design (RCBD) มี 48 Treatment และ 3 Replications ทั้งหมด 144 กระถาง แต่ละ Treatment มีดังนี้ โดยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดดิน ประกอบด้วย 3 ชนิดดินได้แก่ชุดดินหางดง(Hd) น้ำพอง(Ng) และสรรพยา(Sa) ปัจจัยที่ 2คือระดับความชื้น 4 ระดับได้แก่ ขังน้ำที่ระดับความสูง 2 ซม. (T1)ขังน้ำที่ระดับความชื้น 60% (T2)ขังน้ำที่ระดับความชื้น 30% (T3) ขังน้ำที่ระดับความชื้น 0.3 bar(T4) (ความชื้นที่ระดับความเครียด 0.3 บาร์ของดินน้ำพอง หางดง และสรรพยาเท่ากับ 13.78,21.66 และ 21.19 % ตามลำดับ)ปัจจัยที่ 3คือหัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจำนวน 3 เชื้อ ได้แก่ หัวเชื้อ *G. geosporum*หัวเชื้อ *G. etunicatum* และหัวเชื้อ *A. foveata* (อัตราส่วนดินต่อเชื้อ 1 ต่อ 5)ในชุดดินหางดง ที่ระดับน้ำขังชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g (น้ำหนักกระถาง 26.30 g) แล้วทำการขังน้ำที่ระดับความสูง 2 ซม. ที่ระดับความชื้น 60% ชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g รักษาน้ำหนักรวมถึงน้ำหนักน้ำที่ใส่ลงให้กับข้าว 285.30 g ที่ระดับความชื้น 30% ชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g รักษา

น้ำหนักรวมถึงน้ำหนักน้ำที่ใส่ลงให้กับข้าว 278.50 g และที่ระดับความชื้น 0.3 bar ชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g รักษาน้ำหนักรวมถึงน้ำหนักน้ำที่ใส่ลงให้กับข้าว 325.58 g ในชุดดินน้ำพอง ที่ระดับน้ำขังชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g (น้ำหนักกระถาง 26.30 g) แล้วทำการขังน้ำที่ระดับความสูง 2 ซม. ที่ระดับความชื้น 60% ชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g รักษาน้ำหนักรวมถึงน้ำหนักน้ำที่ใส่ลงให้กับข้าว 280.57 g ที่ระดับความชื้น 30% ชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g รักษาน้ำหนักรวมถึงน้ำหนักน้ำที่ใส่ลงให้กับข้าว 276.43 g และที่ระดับความชื้น 0.3 bar ชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g รักษาน้ำหนักรวมถึงน้ำหนักน้ำที่ใส่ลงให้กับข้าว 306.20 g ในชุดดินสรรพยา ที่ระดับน้ำขังชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g (น้ำหนักกระถาง 26.30 g) แล้วทำการขังน้ำที่ระดับความสูง 2 ซม. ที่ระดับความชื้น 60% ชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g รักษาน้ำหนักรวมถึงน้ำหนักน้ำที่ใส่ลงให้กับข้าว 285.01 g ที่ระดับความชื้น 30% ชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g รักษาน้ำหนักรวมถึงน้ำหนักน้ำที่ใส่ลงให้กับข้าว 278.66 g และที่ระดับความชื้น 0.3 bar ชั่งดิน 205 g ใส่หัวเชื้อ 41 g รักษาน้ำหนักรวมถึงน้ำหนักน้ำที่ใส่ลงให้กับข้าว 324.43 g

ตารางที่ 8 แผนการทดลองโดยการใส่หัวเชื้อดินเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาพน้ำขัง ใน 4 ระดับความชื้น

ทรีทเมนต์	สัญลักษณ์
Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W1T1
Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W1T2
Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W1T3
Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W1T4
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W2T1
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W2T2
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W2T3
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W2T4
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W3T1
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W3T2
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W3T3
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W3T4
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W4T1
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W4T2
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W4T3
ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W4T4

Controlชุดดินหางดง(ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W11T1
Controlชุดดินหางดง(ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W11T2
Control ชุดดินหางดง (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W11T3
Control ชุดดินหางดง (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W11T4
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W5T1
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W5T2
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W5T3
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W5T4
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W6T1
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W6T2
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W6T3
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W6T4
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W7T1
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W7T2
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W7T3
ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W7T4
Controlชุดดินน้ำพอง(ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W12T1
Controlชุดดินน้ำพอง(ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W12T2
Controlชุดดินน้ำพอง(ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W12T3
Controlชุดดินน้ำพอง(ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) + ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W12T4
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W8T1
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W8T2
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W8T3
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W8T4
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W9T1
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W9T2
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W9T3
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W9T4
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม.	W10T1
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 60%	W10T2
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 30%	W10T3
ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar	W10T4

การเตรียมดินปลูกและต้นพืชทดลอง

นำดินชุดสรรพยาซึ่งเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งมีการระบายน้ำดี ดินชุดหางดงซึ่งเป็นดินร่วนปนดินเหนียวดินร่วน ดินชุดน้ำพองการระบายน้ำดี เป็นดินทรายปนดินร่วนเหมาะแก่การปลูกข้าวและทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา นำดินทั้งสามมาผึ่งให้แห้งด้วยลม แล้วร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง 205กิโลกรัม เติมน้ำลงไปแล้วคลุกให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นนำหัวเชื้อดินมาใส่รองก้นหลุมตามทรีตเมนต์ อัตรา 41 กรัมต่อกระถาง (อัตราส่วน 1:5)จากนั้นนำต้นกล้าข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 อายุ 14 วันมาปลูกลงในกระถาง พอครบ 14 วันทำการควบคุมความชื้นโดยแบ่งเป็น 4 ชุด โดยชุดแรก ควบคุมความชื้นที่ 100% (T1)และชุดที่สองควบคุมความชื้นที่ 60% (T2) ชุดที่สามควบคุมความชื้นที่ 30%(T3) ชุดที่สี่ควบคุมความชื้นที่ 0.3 bar (T4)พอข้าวอายุได้ 2 เดือนทำการเก็บเกี่ยวตามแผนการทดลอง

งานวิจัยที่ 7 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน ความคงทนเม็ดดิน และ อะลูมินัม (Al) ในดิน

วิธีวิจัยและการดำเนินงาน

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Complete Randomized Design) จำนวน 3ซ้ำ โดยมี ปัจจัยที่1 เป็นชนิดของเชื้อ ได้แก่ 1.Control (- AMF) 2. ใส่สปอร์ AMF *G. geosporum* (AMFG) 3.ใส่สปอร์ AMF *G. etunicatum* (AMFE) 4.ใส่สปอร์ AMF *G. geosporum* + สปอร์ AMF *G. etunicatum* (AMFGE) ปัจจัยที่ 2 คือระดับ pH ได้แก่ pH 5,6,7,8 ตามลำดับ ปลูกข้าวไร่พันธุ์ขาวโป่งไคร้ และเมื่อข้าวอายุครบ 60 วัน ทำการเก็บเกี่ยวต้นข้าวเพื่อชั่งหาน้ำหนักแห้งตัวอย่างรากข้าว และเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์หา Zn ต่อไป

2. การเตรียมตัวอย่างสปอร์

นำดินจากพื้นที่ป่า ทำการคัดเลือกจำแนกสปอร์โดยวิธีของ Morton and Benny (1990) โดยได้จำแนกเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา อยู่ในชั้น Zygomycetes อันดับ Glomales แบ่งเป็น 2 อันดับย่อย ได้แก่ Glomineae และ Gigasporineae ในอันดับย่อย Glomineae มี 2 วงศ์ คือ ประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Glomus* และ *Sclerocystis* ในวงศ์ Acaulosporaceae มีสมาชิกอยู่ 2 สกุลคือ *Acaulospora* และ *Entrophospora* ส่วนในวงศ์ย่อย Gigasporineae มีเพียง 1 วงศ์คือ Gigasporaceae ซึ่งประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Gigaspora* และ *Scutellospora* และขยายสปอร์ของ AMF *G.*

geosporum กับ *G. etunicatum* มาสกัดสปอร์โดยวิธีร่อนแบบเปียก (Gerdemann and Nicloson,1963) ร่วมกับวิธี sucrose centrifugation (Daniel and Skipper,1982) แล้วนำสปอร์ที่ได้เก็บในขวดที่มีสารละลายริงเกอร์ (Ringer Solution) ซึ่งเป็นสารละลายที่ช่วยรักษาการรอดชีวิตของสปอร์ เก็บที่อุณหภูมิ 4-5 °C เก็บไว้ได้นาน 6เดือน (สมจิตร,2549) เพื่อนำไปใช้ต่อไป สำหรับการเตรียมกล้าข้าว ได้นำข้าวไร่พันธุ์ ขาวโป่งไคร้ จากภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มาอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 7 วันแล้วนำไปแช่น้ำ 1 คืน จึงนำไปเพาะในดินที่จะทดสอบ อีก 1 สัปดาห์

3.การเตรียมตัวอย่างดินและปลูกพืช

เก็บดินมาจากที่ทำการปลูกข้าวไร่ สวนป่าแม่หอพระ อำเภอแม่แดง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ระดับความลึก 15-30 ซ.ม. มาผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำมารอนผ่านตะแกรง 1 ซ.ม. แล้วนำไปอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 60 นาที แล้วปรับ pH ของดินด้วย $CaCO_3$ ซึ่งใช้เวลา 60 วัน จึงได้ pH ตามทรีตเมนต์ที่กำหนดไว้ จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง 350 กรัมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 ซ.ม.สูง7.5 ซ.ม. แล้วนำสปอร์ของ AMF ที่เตรียมไว้รองก้นหลุมปลูก 30 สปอร์ต่อกระถาง ปริมาณที่ใช้ถ้าเป็นสปอร์ขนาดใหญ่ อาจใช้ตั้งแต่ 5-100 สปอร์ต่อต้น หรือถ้าสปอร์ขนาดเล็กอาจใช้ 50-500 สปอร์ต่อต้น (สมจิตร,2549) แล้วนำต้นกล้าข้าวไร่อายุ 1 สัปดาห์ที่เตรียมไว้มาปลูก โดยมีการให้น้ำนั้นมีการควบคุมความชื้นที่ระดับ 0.3 bar ของดินโดยการชั่งน้ำหนักก่อนการให้น้ำแต่ละวัน

4. การวิเคราะห์โกลมาลิน โดยเทคนิค Bradford dye-blinding assay

โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (TEGRP) โดยชั่งตัวอย่างดินขนาด 2 มล. น้ำหนัก 5 ก. เติมน้ำยาสกัด 20 mM sodium citrate (pH 8.00) 16 มล.จากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°เป็นเวลา 90 นาทีแล้วนำตัวอย่างดินไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บสารละลายใส (Supernatant) ที่สกัดได้ โดยถ่ายเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์โกลมาลินต่อไป (Wright et al.,1996)

5. การหาความคงทนของเม็ดดิน (Water Aggregate Stability, WAS)

ชั่งดินขนาด 2 มิลลิเมตร ประมาณ 5 กรัมใส่ถาดฟรอยนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงมาชั่งน้ำหนักที่แท้จริง (W1) เทดินลงในตะแกรงของเครื่องเขย่า เติมน้ำกลั่นลงในถาดรองตะแกรงแช่ตัวอย่างดิน 5 นาทีจากนั้นเขย่า 3 นาที แล้วนำน้ำในถาดรองเทลงบิกเกอร์นำไปอบแห้งแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินนำไปลบ W1 จะได้ W2 จากนั้นนำ 0.5% Na-hexametaphosphate เติมลงดินที่ค้างในตะแกรง เขย่า 5 นาทีแล้วนำดินที่ค้างบนตะแกรงไปล้างด้วยน้ำประปา แล้วนำมากรอง

ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศแล้ว นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียสแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (W3) นำค่าทั้งหมดมาคำนวณหาความคงทนของเม็ดดินแบบ wet aggregate (Wright and Upadhyaya, 1998)

งานวิจัยที่ 8 ผลของดินที่ปลูกข้าวภายใต้เกษตรเคมีและอินทรีย์ต่อความหลากหลายและชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

วิธีวิจัยและการดำเนินงาน

การเก็บตัวอย่างดิน

โดยเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite Sample ในระดับความลึก 0-15 ซม.จำนวน 4 ซ้ำต่อพื้นที่ นำดินมาแบ่งเป็นสองส่วนส่วนแรกผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2 มม. ส่วนที่สองนำดินสดไปร่อนสปอร์ AMF โดยการเก็บตัวอย่างดินดังนี้

1.แปลงปลูกข้าวอินทรีย์ลุงบุญช่วย (OR1)
2.แปลงปลูกข้าวอินทรีย์ป้าบานเย็น (OR2)
3.แปลงปลูกข้าวอินทรีย์ลุงบัญชา (OR3)
4.แปลงปลูกข้าวอินทรีย์ลุงคำปัน (OR4)
5.แปลงปลูกข้าวอินทรีย์ลุงอุทัย (OR5)
6.แปลงปลูกข้าวอินทรีย์ลุงศรีทน (OR6)
7.แปลงปลูกข้าวเคมี ลุงพงษ์ (CR1)
8.แปลงปลูกข้าวเคมี ลุงวงศ์ (CR2)

การแยกสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากดิน

การตรวจสอบความหนาแน่นของสปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซาวิธีร่อนแบบเปียก (Gerdemann and Nicloson, 1963) ร่วมกับวิธี sucrose centrifugation (Daniel and Skipper, 1982) โดยชั่งดินสด 100 ก. เติมน้ำกลั่น 400 มล. คนให้เข้ากันทิ้งไว้ 30 นาที แล้วคนต่ออีก 10 นาที นำดินไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 500, 250, 125 และ 45 ไมโครเมตร แล้วนำดินที่ร่อนแบ่งใส่หลอดเซนติฟิวส์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาทีเป็นเวลา 5 นาที รินน้ำส่วนที่ใสทิ้ง แล้วเติมซูโครส 50% ลงไปในหลอดเซนติฟิวส์นำไปปั่นเหวี่ยง 1 นาที สปอร์ไมคอร์ไรซาจะลอยอยู่บนซูโครส จากนั้นเทซูโครสลงในตะแกรงร่อนขนาด 45 ไมโครเมตร ชะส่วนที่เหลือจาก

ตะแกรงลงหลอดเซนติฟิวส์หรือบีกเกอร์ด้วยสารละลายริงเกอร์ (Ringer's Solution) แล้วใช้ไมโครปิเปตดูดสปอร์วางบนกระดาษกรอง แล้วเก็บสปอร์ใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า แล้วนำสปอร์ที่ได้เก็บในขวดที่มีสารละลายริงเกอร์ (Ringer Solution) ซึ่งเป็นสารละลายที่ช่วยรักษาการรอดชีวิตของสปอร์

การจำแนกชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

โดยวิธีของ Morton and Benny (1990) ได้จำแนกเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา อยู่ในชั้น Zygomycetes อันดับ Glomales แบ่งเป็น 2 อันดับย่อย ได้แก่ Glomineae และ Gigasporineae ในอันดับย่อย Glomineae มี 2 วงศ์ คือ ประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Glomus* และ *Sclerocystis* ในวงศ์ Acaulosporaceae มีสมาชิกอยู่ 2 สกุลคือ *Acaulospora* และ *Entrophospora* ส่วนในวงศ์ย่อย Gigasporineae มีเพียง 1 วงศ์คือ Gigasporaceae ซึ่งประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Gigaspora* และ *Scutellospora*

งานวิจัยที่ 9 การคัดเลือกและการขยายสปอร์เชื้อราไมคอร์ไรซาในข้าวโพดและข้าวฟ่าง

วิธีวิจัยและการดำเนินงาน

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 3 ซ้ำ โดยมี 5 ทรีทเมนต์ ดังนี้ ทรีทเมนต์ที่ 1 ใส่สปอร์ *G. geosporum* 50 สปอร์ต่อต้น ทรีทเมนต์ที่ 2 ใส่สปอร์ *G. mosseae* 50 สปอร์ต่อต้น ทรีทเมนต์ที่ 3 ใส่สปอร์ *G. etunicatum* 50 สปอร์ต่อต้น ทรีทเมนต์ที่ 4 ใส่สปอร์ *G. caledonium* 50 สปอร์ต่อต้น ทรีทเมนต์ที่ 5 ใส่สปอร์ *A. foveata* 50 สปอร์ต่อต้น และปัจจัยที่2 คือการใส่ฟอสฟอรัสและไม่มีการใส่ฟอสฟอรัส การเพาะเชื้อเพื่อเพิ่มปริมาณของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สามารถทำได้โดยการเพาะเลี้ยงเชื้อรานี้ให้เจริญร่วมกับพืชให้อาศัยที่ปลูกภายในกระถาง (pot culture) ซึ่งเป็นประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณหัวเชื้อ และสามารถทำเพื่อผลิตเชื้อบริสุทธิ์ชนิดใดชนิดหนึ่งของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา วัสดุที่ใช้เพาะอาจจะใช้ทรายและมีการเติมธาตุอาหารลงไป ธาตุอาหารที่ผสมลงไปนี้ไม่ควรมีปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสควรใส่ในปริมาณค่อนข้างต่ำ วัสดุที่ใช้ในการทำ pot culture อาจใช้ทรายผสมดิน 1:1 หรือ 1:2 โดยปริมาตรขึ้นกับชนิดของดิน และควรนึ่งฆ่าเชื้อก่อนนำไปใช้ ส่วนพืชที่ใช้ในในการเพิ่มปริมาณของเชื้อ คือ ข้าวโพดและข้าวฟ่าง

การแยกสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากดิน

การตรวจสอบความหนาแน่นของสปอร์ของเชื้อไมคอร์ไรซาวิธีร่อนแบบเปียก (Gerdemann and Nicloson,1963) ร่วมกับวิธี sucrose centrifugation (Daniel and Skipper,1982) โดยชั่งดินสด 100 กรัม เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทิ้งไว้ 30 นาที แล้วคนต่ออีก 10 นาที นำดินไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 500, 250, 125 และ 45 ไมโครเมตร แล้วนำดินที่ร่อนแบ่งใส่หลอดเซนติฟิวซ์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที รินน้ำส่วนที่ใสทิ้ง แล้วเติมซูโครส 50 เปอร์เซ็นต์ลงไปในหลอดเซนติฟิวซ์นำไปปั่นเหวี่ยง 1 นาที สปอร์ไมคอร์ไรซาจะลอยอยู่บนซูโครส จากนั้นเทซูโครสลงในตะแกรงร่อนขนาด 45 ไมโครเมตร ชะส่วนที่เหลือจากตะแกรงลงหลอดเซนติฟิวซ์หรือบีกเกอร์ด้วยสารละลายริงเกอร์ (Ringer's Solution) แล้วใช้ไมโครปิเปตดูดสปอร์วางบนกระดาษกรอง แล้วเก็บสปอร์ได้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า แล้วนำสปอร์ที่ได้เก็บในขวดที่มีสารละลายริงเกอร์ (Ringer Solution) ซึ่งเป็นสารละลายที่ช่วยรักษาการรอดชีวิตของสปอร์

ผลการวิจัยและวิจารณ์

งานวิจัยที่ 1 การใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่างๆต่อความหลากหลายและชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน

Various forms of land use towards the diversity and types of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin- related soil protein

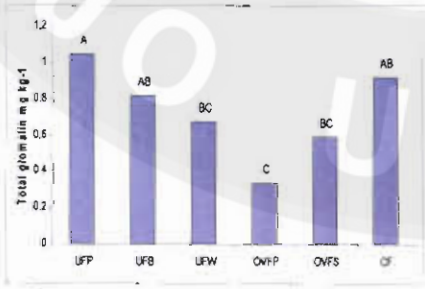
1.ผลจากรูปแบบการใช้พื้นที่แบบต่างๆ

1.1 ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด

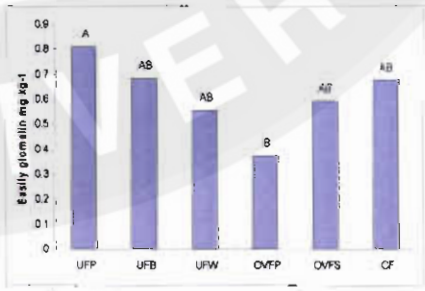
จากการศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด พบว่าพื้นที่ป่าใช้สอยอำเภอพร้าวมีปริมาณสารโกลมาลินสูงที่สุดคือ 1.04 มก./กก. ขณะที่พื้นที่เกษตรอินทรีย์บ้านป่าไม้แดงมีปริมาณสาร โกลมาลินต่ำที่สุดคือ 0.33 มก./กก. และปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 1)

1.2 ปริมาณสารโกลมาลินสกัดได้ง่าย

จากการศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อปริมาณสารโกลมาลินสกัดได้ง่าย พบว่าพื้นที่ป่าใช้สอยอำเภอพร้าวมีปริมาณสารโกลมาลินสูงที่สุดคือ 0.81 มก./กก. ขณะที่พื้นที่เกษตรอินทรีย์บ้านป่าไม้แดงมีปริมาณสาร โกลมาลินต่ำที่สุดคือ 0.37 มก./กก. และปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 5)



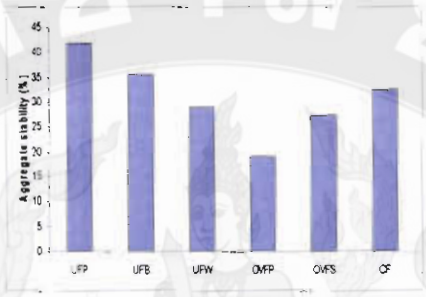
รูปที่ 5 ปริมาณสารกลูมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด



รูปที่ 6 ปริมาณสารกลูมาลินที่สกัดได้ง่าย

1.3 ความคงทนของเม็ดดิน

จากการศึกษาจากการศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อความคงทนของเม็ดดิน พบว่าความคงทนของเม็ดดินในแต่ละพื้นที่มีค่าระหว่าง 18.95% ถึง 41.87% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 ความคงทนของเม็ดดิน

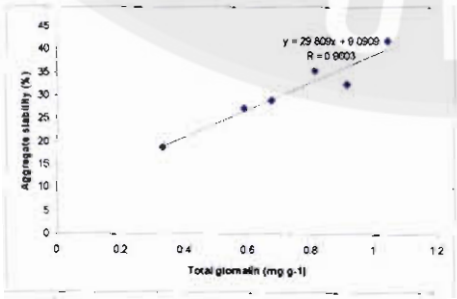
2.ความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินกับความคงทนเม็ดดิน

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดกับความคงทนเม็ดดิน

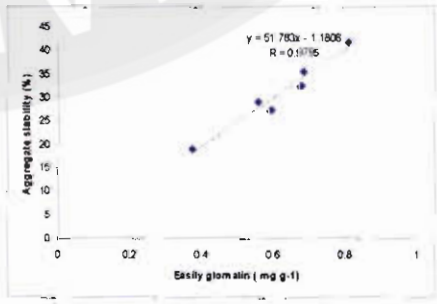
จากการศึกษาสารโกลมาลินในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ พบว่าปริมาณสารโกลมาลินเพิ่มขึ้นส่งผล
ให้เม็ดดินมีความคงทนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับความคงทนของเม็ดดิน พบว่ามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดิน ($p<0.001$) โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.9603 (รูปที่ 8)

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินสกัดได้ง่ายกับความคงทนเม็ดดิน

จากการศึกษาสารโกลมาลินในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ พบว่าปริมาณสารโกลมาลินเพิ่มขึ้นส่งผลให้เม็ดดินมีความคงทนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับความคงทนของเม็ดดินพบว่ามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดิน ($p<0.001$) โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.9795 (รูปที่ 9)



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างสารกลูมาลิน ที่สกัดได้ทั้งหมดกับความคงทนของเม็ดดิน



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างสารกลูมาลิน ที่สกัดได้ง่ายกับความคงทนของเม็ดดิน

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการใช้ที่ดินแบบต่างๆ หลังจากวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบว่า ปริมาณของสารโกลมาลินในพื้นที่ป่าใช้สอยอำเภอพร้าวสูงที่สุด เนื่องจากมีต้นไม้ปกคลุมทั่วพื้นที่และการย่อยสลายใบไม้ทำให้เกิดการสะสมอินทรียวัตถุในดินจึงทำให้พื้นที่ป่ามีปริมาณโกลมาลินสูงกว่าพื้นที่เกษตร (Rillig, 2003) ซึ่งปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายจะมีปริมาณสูงกว่าสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Wright and Uppadhyaya, 1998)

ผลการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อความคงทนของเม็ดดินพบว่า พื้นที่ป่าใช้สอยอำเภอพร้าวมีความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดเนื่องจากมีปริมาณโกลมาลินสูงจึงส่งผลให้เกิดการเกาะยึดของอนุภาคดินตามไปด้วย และเกิดจากความแตกต่างของพืชพรรณ โดยอนุภาคดินจะเชื่อมยึดเข้าด้วยกันโดยลักษณะทางกายภาพของเส้นใยเชื้อและรากพืช ซึ่งจะชอนไชไปตามส่วนต่างๆของดินทำให้อนุภาคดินถูกยึดอยู่ในกลุ่มเส้นใยจึงเกิดเม็ดดินที่เสถียรขึ้นมาได้ ขณะที่พื้นที่เกษตรมีความคงทนของเม็ดดินต่ำที่สุดเนื่องจากมีการไถพรวนทำให้อนุภาคเม็ดดินแตกได้

นอกจากนี้ยังพบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีความความสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดินค่อนข้างสูงและสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดกับความคงทนของเม็ดดิน (ศุภธิดาและคณะ, 2552)

จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การใช้ที่ดินแบบต่างๆจะมีผลต่อจำนวนอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และความคงทนของเม็ดดิน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเปลี่ยนรูปแบบการใช้ที่ดิน โดยหันมาทำเกษตรอินทรีย์ที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณโกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และความคงทนของเม็ดดินด้วย

นอกจากนี้การจัดการทรัพยากรดินโดยลดการไถพรวนจะช่วยเพิ่มสารโกลมาลิน สามารถลดการสูญเสียคาร์บอนซึ่งจะทำให้ดินกักเก็บคาร์บอนได้ดีขึ้นและยังลดผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ อีกทั้งยังช่วยประหยัดเวลา แรงงาน ค่าใช้จ่าย และการอนุรักษ์ดินและน้ำด้วย

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆต่อจำนวนอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โกลมาลิน-สารสัมพันธ์โปรตีนในดิน และความคงทนของเม็ดดิน พบว่าสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายและ

สารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดมีปริมาณสูงที่สุดในพื้นที่ป่าใช้สอยอำเภอพร้าว (0.81 มก./กก. และ 1.04 มก./กก. ตามลำดับ) และต่ำที่สุดในพื้นที่เกษตรป่าไม้แดง(0.37 มก./กก. และ 0.33 มก./กก. ตามลำดับ) ในขณะที่ความคงทนของเม็ดดินสูงที่สุดในพื้นที่ป่าอำเภอพร้าว และต่ำที่สุดในพื้นที่เกษตรป่าไม้แดงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้พบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายมีความความสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดินค่อนข้างสูงและสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดกับความคงทนของเม็ดดิน

ผลการศึกษาการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2

รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อจำนวนสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการศึกษาพื้นที่ พบว่า จำนวนสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่ OFD, CMB, GL, และ OFMJ มีจำนวนสปอร์ในพื้นที่ต่างๆ เท่ากับ 220, 269, 281 และ 280สปอร์/ดิน 100 ก. ตามลำดับ โดยพื้นที่ GL มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 281 สปอร์/ดิน 100 ก. และพื้นที่ OFD มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 220 สปอร์/ดิน 100 ก. ดัง **Figure 10** ซึ่ง GLจะมีจำนวนสปอร์ของ AMF ใกล้เคียงกับ OFMJ แต่สูงกว่า CMB และ OFD เนื่องจากการทำการเกษตร สภาพพื้นที่ ชนิดของพืชอาศัย จะส่งผลต่อความหนาแน่น ความหลากหลายของสายพันธุ์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Mathimaran et al.2007;Oehl et al.2005;)

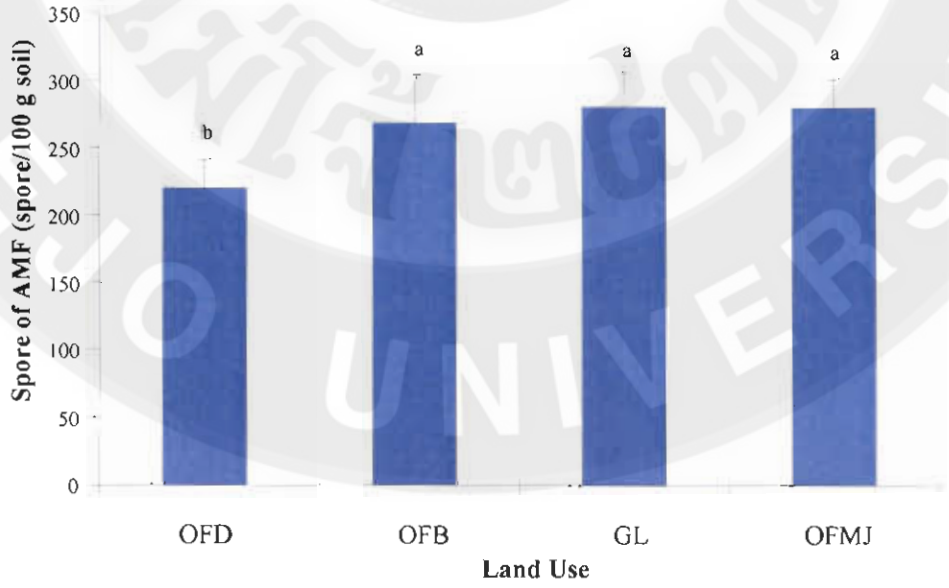


Figure 10. Number spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the study area.

Footnote: Letters above the bar graph are the same show that there is no significant difference ($p<0.05$). The bar above bar graph were standard deviations (n=4) OFD= Organic farming of Doi Saket, CFB Community forest of Baan Pong, GL= Grass land area, OFMJ= organic farming of Maejo University.

รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการศึกษาพื้นที่ พบว่าชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่ OFD, CMB, GL, และ OFMJ พบเชื้อ *Acaulospora*, Glomus, *Gigaspora* และ *Scutellospora* ซึ่ง Genus *Glomus* พบมากที่สุด ดัง **Table 9**

Table 9. Species and number of Arbuscular mycorrhizal fungi in the study area.

Types of arbuscular	**The study area. (Number spores per 100 g soil.)**			
mycorrhizal fungi	OFD	CFB	GL	OFMJ
A. capsicula	8	8	0	8
A. foveata	9	16	9	10
A. mellea	8	0	0	0
A. scrobiculata	6	0	0	0
A. tuberculata	0	0	4	0
G. claroideum	9	9	4	8
G. clarum	13	27	5	4
G. coronatum	4	4	8	4
G. diaphanum	18	4	0	0
G. eburneum	4	7	0	4
G. etunicatum	34	37	56	50
G. fistulosum	0	4	0	0
G. geosporum	8	18	31	0
G. lamellosum	18	5	4	16
G. luteum	27	27	12	10
G. manihotis	21	16	11	98
G. mosseae	7	8	34	16
G. sinuosum	6	6	4	4
G. spurcum	4	32	0	4
G. verruculosum	28	4	0	8
G. versiforme	4	0	0	0
G. viscosum	24	8	4	18
Gi. albida	4	28	4	24
Gi. decipiens	0	0	4	0
Gi. rosea	0	0	0	4
S. calospora	4	4	4	0
S. coralloidea	43	70	83	62
S. dipurpurascens	0	4	52	0
S. erythropa	8	12	25	13
S. fulgida	0	0	4	0
S. gregaria	0	0	4	0
S. heterogama	4	4	4	0
S. persica	0	0	8	0
S. scutata	4	10	4	0

Footnote :(n=4) OFD= Organic farming of Doi Saket, CFB Community forest of Baan Pong, GL= Grass land area, OFMJ= organic farming of Maejo University.

รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อสมบัติของดิน

สารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด (Total -related extractable glomalin)

จากการศึกษาพื้นที่ในการใช้ที่ดินแบบต่างๆในพื้นที่ OFD, CMB, GL, และ OFMJ พบว่า TREG มีค่าเท่ากับ 0.44, 0.39, 0.44 และ 0.48 มก. /กก. โดย OFMJ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.48 มก. /กก. และ CMB มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.39 มก. /กก. ดัง **Figure 11** จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า OFMJ จะมี TREG สูงกว่า CMB ซึ่งมีความสอดคล้องกับจำนวนของสปอร์ AMF เพราะ AMF มีการสร้างเส้นใยและจะมีการปลดปล่อยสารโกลมาลิน ซึ่งใน OFMJ ที่มีจำนวนสปอร์ AMF สูงที่สุด ทำให้มีการสร้างสารโกลมาลินสูงขึ้นตามไปด้วย (Wright and Upadhyaya, 1996)

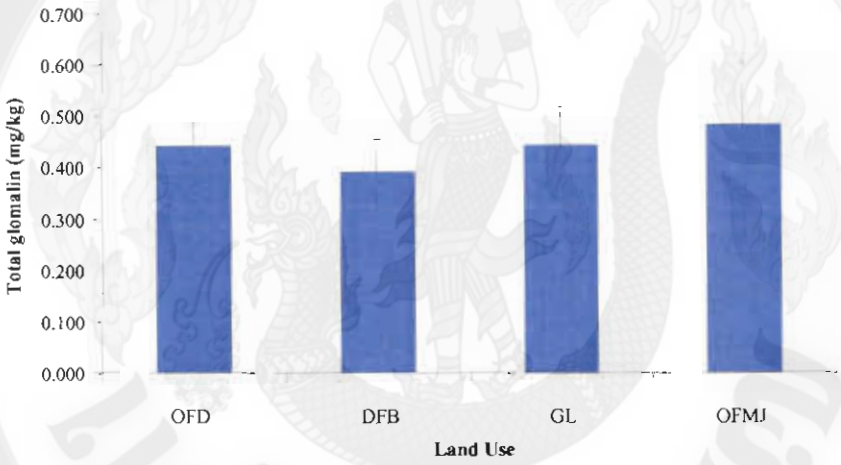


Figure 11. Total glomalin-related soil protein were extracted from various land used types.

Footnote: Letters above the bar graph are the same show that there is no significant difference ($p<0.05$). The bar above bar graph were standard deviations (n=4) OFD= Organic farming of Doi Saket, CFB Community forest of Baan Pong, GL= Grass land area, OFMJ= organic farming of Maejo University.

ความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability)

ความคงทนของเม็ดดินเป็นดัวชี้วัดโครงสร้างของดิน ทั้งขนาดของอนุภาค ความพรุนของดิน โครงสร้างดินจะเป็นดัวบงชี้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Paul and Clark, 1989) และมีบทบาทต่อการลดกัดกร่อนและ ลดการชะหน้าดิน ซึ่งจะมีผลต่อการทำการเกษตรอีกด้วย จากการศึกษาพื้นที่ การใช้ที่ดินแบบต่างๆในพื้นที่ OFD, CMB, GL, และ OFMJ พบว่าความคงทนของเม็ดดินมีค่าเท่ากับ 18.45, 11.56, 19.24 และ10.38 % ตามลำดับ โดย GL มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 19.24

% และ OFMJ มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 10.38 % ดัง **Figure 12** จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า GL มีความคงทนของเม็ดดินสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ แต่ทุกพื้นที่มีความคงทนเม็ดดินที่ไม่แตกต่างทางสถิติ เนื่องจากมีความแตกต่างทั้งในทางสภาพพื้นที่ ปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียว และปริมาณของอินทรียวัตถุ นอกจากนี้ชนิดรากพืชก็มีอิทธิพลของต่อความคงทนของเม็ดดินเช่นเดียวกัน (Miller and Jastrow 2000)

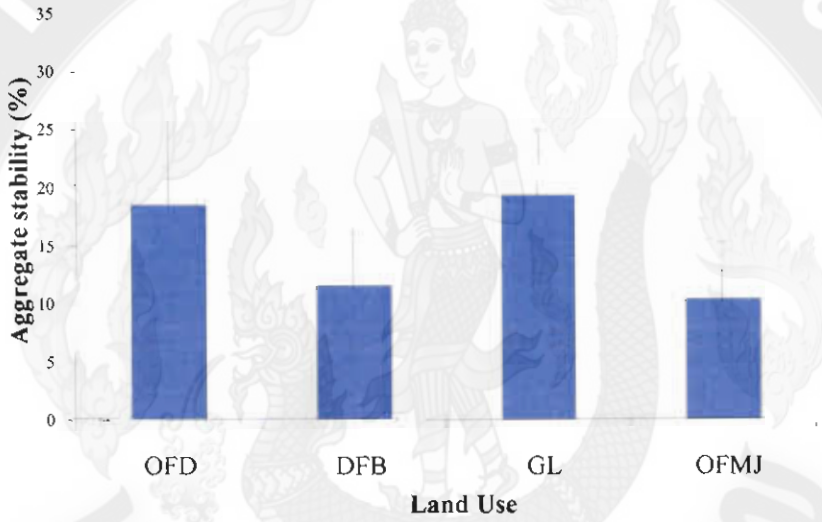


Figure 12. The aggregate stability of various land uses from this study

Footnote: Letters above the bar graph are the same show that there is no significant difference ($p<0.05$). The bar above bar graph were standard deviations ($n=4$) OFD= Organic farming of Doi Saket, CFB Community forest of Baan Pong, GL= Grass land area, OFMJ= organic farming of Maejo University.

ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด

การศึกษาความหลากหลายของ AMF ในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ พบว่าจำนวนสปอร์ของ AMF เพิ่มขึ้นส่งผลให้ TREG เพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อนำไปหาค่าความสัมพันธ์กับ TREG พบว่ามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ TREG ($p<0.001$) โดยที่ค่า R เท่ากับ 0.8168 กล่าวคือจำนวนสปอร์ AMFเพิ่มขึ้นปริมาณ TREG เพิ่มขึ้นด้วย ดัง **Figure 13** จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า AMF มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสาร TREG (Stefano et

al., 2007) เนื่องจากจำนวนสปอร์ของ AMF มีสหสัมพันธ์ที่ดีกับโกลมาลินที่ผลิตจาก AMF (Bedini et al. 2007)

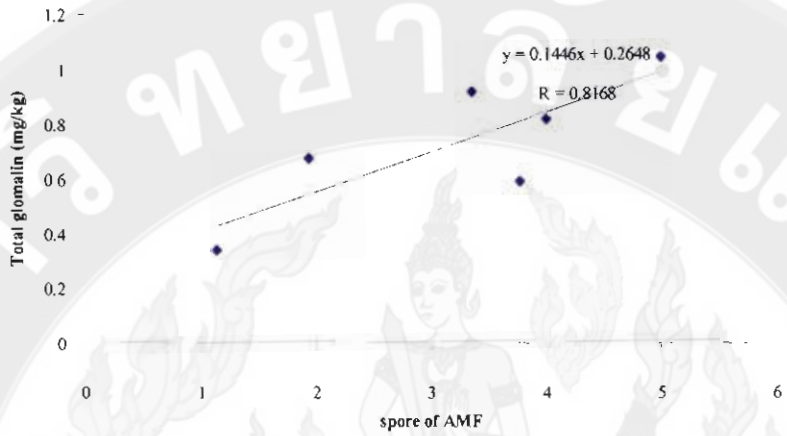


Figure 13. Correlation and regression equation between arbuscular mycorrhizal fungi with total -related extractable glomalin.

ความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดกับความคงทนเม็ดดิน

จากการศึกษา TREG ในดินที่มีการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับความคงทนของเม็ดดินพบว่ามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับความคงทนของเม็ดดิน ($p<0.001$) โดยที่ค่า R เท่ากับ 0.9603 กล่าวคือ TREG เพิ่มขึ้นความคงทนของเม็ดดินเพิ่มขึ้นด้วย ดัง **Figure 14** จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ความคงทนของเม็ดดินมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับ TREG เนื่องจากปริมาณโกลมาลินดินที่ผลิดได้จากเชื้อ AMF มีผลทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น มีสารเชื่อมทำให้อนุภาคของเม็ดดินมีการยึดเกาะมากขึ้น (Millerand Jastrow 2000)

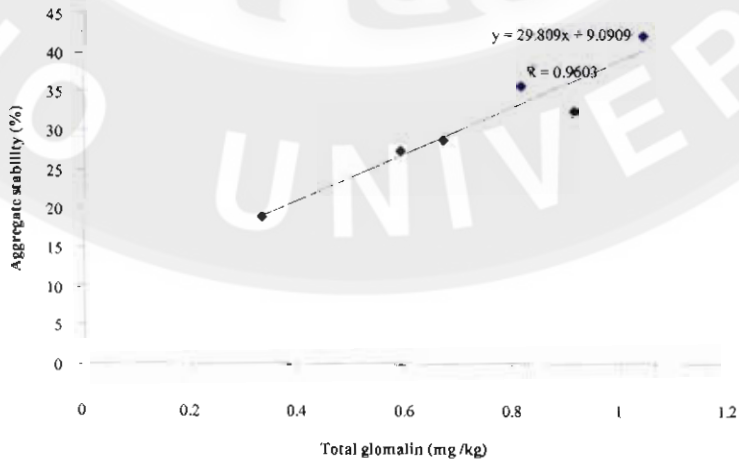


Figure 14. Correlation and regression equation between total -related extractable glomalin with soil aggregate stability.

สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่างๆมีผลทำให้ปริมาณสปอร์และชนิดของ AMF มีมีความแตกต่างกันออกไปตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่มีคุณสมบัติทั้งพืชอาศัย ลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของพื้นที่แตกต่างกัน ทำให้ปริมาณสปอร์และชนิดของ AMF แตกต่างกัน ปริมาณของสปอร์ AMF ยังมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ TREG เมื่อมีปริมาณสปอร์เพิ่มขึ้น TREG ก็เพิ่งขึ้นตามไปด้วย และปริมาณสปอร์ก็มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ ความคงทนเม็ดดิน เมื่อปริมาณสปอร์เพิ่มขึ้นความคงทนเม็ดดินก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อ TREG เพิ่มขึ้นก็ทำให้ความคงทนเม็ดดินเพิ่มขึ้นด้วย

งานวิจัยที่ 2 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและระดับ pH ของดินต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัส และสังกะสีของข้าวไร่

Role of arbuscular mycorrhizal fungi and soil pH on phosphorus and zinc uptake by upland rice

ผลการทดลอง

1.ผลของการใส่สปอร์ AMFและระดับ pH ของดินต่อการเจริญเติบโตของข้าวไร่

การเจริญเติบโตของข้าวไร่ ที่ปลูกในดินที่ระดับ pH 4 ระดับคือ pH 5, 6, 7, 8 ตามลำดับ พบว่าผลของระดับ pH มีผลทำให้การเจริญเติบโตในส่วนของน้ำหนักแห้งของข้าวไร่ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าน้ำหนักแห้งสูงสุดคือดินที่ pH5 เท่ากับ 2.01 g plant^{-1}และน้ำหนักแห้งต่ำที่สุดคือดินที่ pH8 เท่ากับ 0.32 g plant^{-1} **(Figure 14**(a)**)** ในส่วนของการใสสปอร์ AMF ในดินที่มี pH ทั้ง 4ระดับ พบว่าผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้การเจริญเติบโตในส่วนของน้ำหนักแห้งของข้าวไร่ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าน้ำหนักแห้งสูงสุดคือดินที่มีการใส่สปอร์ AMF E เท่ากับ 1.50 g plant^{-1} รองลงมาคือดินที่ใส่สปอร์ AMF G กับ AMF GE เท่ากับ 1.40 g plant^{-1} และ1.35 g plant^{-1}ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักแห้งต่ำที่สุดคือดินที่ไม่ใส่สปอร์ (-AMF) เท่ากับ 1.24 g plant^{-1}**(Figure 14**(b)**)**

2.ผลของการใส่สปอร์ AMFและระดับ pH ของดินต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ P ในข้าวไร่

ผลของระดับ pH ของดินและการใส่สปอร์ AMFต่อความเข้มข้นของ P ในข้าวไร่ พบว่าผลของระดับ pH ของดินมีผลทำให้ความเข้มข้นของ P มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าความเข้มข้นของ P ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ pH6 เท่ากับ 265.12 mg kg^{-1}และความเข้มข้นของ P ที่มีค่าต่ำสุด

คือดินที่มี pH8 เท่ากับ 125.13 mg kg^{-1}**(Table10)** และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้ความเข้มข้นของ P มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าความเข้มข้นของ P ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ใส่สปอร์ AMFE เท่ากับ 234.15 mg kg^{-1}และความเข้มข้นของ P ที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่ - AMF เท่ากับ 144.33 mg kg^{-1}**(Table10)** ในส่วนผลของระดับ pH ของดินและการใส่สปอร์ AMFต่อการดูดใช้ P ในข้าวไร่ พบว่าผลของระดับ pH ของดินมีผลทำให้การดูดใช้ P มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าการดูดใช้ P ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ pH6 เท่ากับ 477.80 mg kg^{-1}และการดูดใช้ P ที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่มี pH8 เท่ากับ 40.41 mg kg^{-1} **(Table10)**และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้การดูดใช้ P มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าการดูดใช้ P ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ใส่สปอร์ AMFE เท่ากับ 234.15 mg kg^{-1}และการดูดใช้ P ที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่ - AMF เท่ากับ 144.33 mg kg^{-1} **(Table10)**

3.ผลของการใส่สปอร์ AMFและระดับ pH ของดินต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ Zn ในข้าวไร่

ผลของระดับ pH ของดินและการใส่สปอร์ AMFต่อความเข้มข้นของ Zn ในข้าวไร่ พบว่าผลของระดับ pH ของดินมีผลทำให้ความเข้มข้นของ Zn มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าความเข้มข้นของ Zn ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ pH5 เท่ากับ 84.23 mg kg^{-1}และความเข้มข้นของ Zn ที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่มี pH8 เท่ากับ13.25 mg kg^{-1} **(Table10)** และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้ความเข้มข้นของ Zn มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าความเข้มข้นของ Zn ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ใส่สปอร์ AMFEเท่ากับ 53.65 mg kg^{-1} และความเข้มข้นของ Zn ที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่ - AMF เท่ากับ 33.48 mg kg^{-1}**(Table10)** ในส่วนผลของระดับ pH ของดินและการใส่สปอร์ AMFต่อการดูดใช้ Zn ในข้าวไร่ พบว่าผลของระดับ pH ของดินมีผลทำให้การดูดใช้ Zn มีความแตกต่างกันทางสถิติโดย พบว่าการดูดใช้ Zn ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ pH5 เท่ากับ 0.89 mg kg^{-1}และการดูดใช้ Zn ที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่มี pH8 เท่ากับ 0.026 mg kg^{-1} **(Table10)** และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้การดูดใช้ Zn มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าการดูดใช้ Zn ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ใส่สปอร์ AMFE เท่ากับ 0.52 mg kg^{-1}และการดูดใช้ Zn ที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่ - AMF เท่ากับ 0.28 mg kg^{-1} **(Table10)**

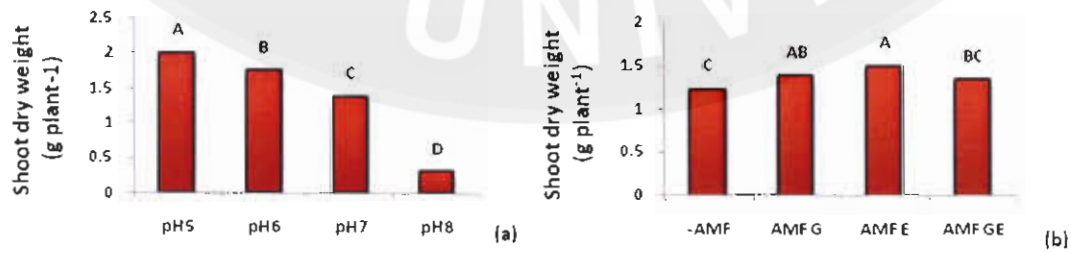


Figure 14 Effect of Shoot dry weight on (a) pH level of soil and (b) various insertion spores AMF species. **Note:** Per means (Bars) followed by the same letter are not significantly different (LSD, P = 0.05)

Table10 P concentration in shoot, P uptake, Zn concentration in shoots, Zn uptake and extractable Zn in soil of Upland rice.

Soil pH	P in shoot (mg kg^{-1})	P uptake (mg kg^{-1})	Zn in shoot (mg kg^{-1})	Zn uptake (ug kg^{-1})	Extrac. Zn in soil (mg kg^{-1})
5	186.14 **B**	375.4 **B**	84.23 **A**	0.89 **A**	3.87 **A**
6	265.12 **A**	477.8 **A**	45.47 **B**	0.43 **B**	3.08 **B**
7	161.05 **C**	225.4 **C**	35.92 **C**	0.27 **C**	2.45 **C**
8	125.13 **D**	40.4 **D**	13.25 **D**	0.026 **D**	1.76 **D**
Mycorrhiza					
-AMF	44.33 *C*	206.26 *C*	33.48 *D*	0.28 *D*	3.26 *A*
G. geosporum	175.92 *B*	263.75 *B*	48.77 *B*	0.45 *B*	2.79 *B*
G. etunicatum	234.15 *A*	388.92 *A*	53.65 *A*	0.52 *A*	2.58 *B*
G. geosporum +G. etunicatum	183.04 *B*	260.07 *B*	2.97 *C*	0.37 *C*	2.56 *B*

Note: Per column means followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

4.ผลของการใส่สปอร์ AMFและระดับ pH ของดินต่อปริมาณของ Zn ในดิน

ผลของการใส่สปอร์ AMFและระดับ pH ของดิน ต่อปริมาณของ Zn ในดิน พบว่าผลของระดับ pH ของดินมีผลทำให้ปริมาณของ Zn ในดิน มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณของ Zn ในดิน ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ pH5 เท่ากับ 3.87 mg kg^{-1}และปริมาณของ Zn ในดิน ที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่มี pH8 เท่ากับ1.76 mg kg^{-1} **(Table11)** และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้ปริมาณของ Zn ในดิน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยพบว่าปริมาณของ Zn ในดิน ที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ไม่ใส่สปอร์ (–AMF) เท่ากับ 3.26 mg kg^{-1}และปริมาณของ Zn ในดิน ที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่ใส่สปอร์ AMFG, AMFE, AMFGE เท่ากับ 2.79 mg kg^{-1}, 2.58 mg kg^{-1}และ 2.56 mg kg^{-1}ตามลำดับ **(Table11)**

5.ผลของการใส่สปอร์ AMF กับระดับ pH ของดินต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ P,Zn ในข้าวไร่

จากผลการศึกษาจะพบว่าการใส่เชื้อ AMFEที่ระดับ pH 6 มีผลทำให้ความเข้มข้นและการดูดใช้ P มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 408.83 mg kg^{-1}และ 804.05 mg $plant^{-1}$ตามลำดับส่วนการใส่เชื้อ AMFEที่ระดับ pH 5 มีผลทำให้ความเข้มข้นและการดูดใช้ Zn มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 109.47 mg kg^{-1}และ1.17 mg $plant^{-1}$ตามลำดับ **(Table 11)**

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและผลของใส่สปอร์ AMF โดยพิจารณาจากค่า Mycorrhizal responsiveness (MR) บ่งชี้เช่นเดียวกันว่าการใส่สปอร์ AMFในระดับ pH ของดินต่างๆมีผลทำให้ค่า MR เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน **(Table 11)** โดยค่า MR ของข้าวไร่ที่การตอบสนองต่อใส่สปอร์ *G. etunicatum* ที่ pH 7 สูงที่สุด 33.70 % และ *G. geosporum* มีการตอบสนองต่อการใส่สปอร์ต่ำที่สุด 6.26 % ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้น้ำหนักแห้งพืชสูงและมีการดูดใช้ P และZn สูงกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อ AMF โดยพิจารณาจากค่า MPR และ MZnR นอกจากนี้ผลของการใส่สปอร์ *G. etunicatum* ที่ระดับ pH ต่างๆ ค่า MPR ที่ pH 8 มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 178.44 % และ MZnR ที่ pH 5 สูงที่สุดเท่ากับ 93.14 % **(Table 11)**

6.การเข้ารากของ เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวไร่ (Root colonization)

ผลการศึกษาการเข้ารากของ AMF จากการใส่สปอร์ AMFและระดับ pH ของดิน พบว่าผลของระดับ pH ของดินมีผลทำให้การเข้ารากของ AMF มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าการเข้ารากของ AMF ในดินที่ pH5, 6, 7, 8 มีค่าเท่ากับ 9.83, 8.21, 6.58 และ 3.26 % ตามลำดับ **(Figure 15**(a)) และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้การเข้ารากของ AMF มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าการเข้ารากของ AMF ในดินที่ใส่สปอร์ AMFG, AMFE, AMFGE มีค่าเท่ากับ 8.84, 9.44 และ9.60 % ตามลำดับ และพบว่าดินที่ไม่ใส่สปอร์ (–AMF) ไม่พบการเข้ารากของ AMF **(Figure 15**(b))

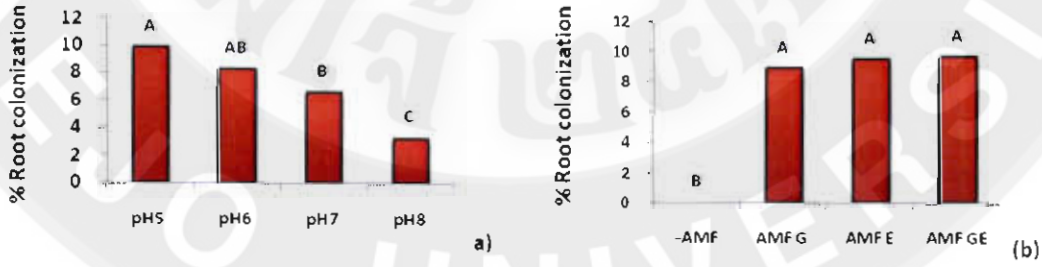


Figure 15 Extents of AMF Root colonization on (a) pH level of soil and (b) various insertion spores AMF species. **Note:** Per means (Bars) followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

Table 11 AMF x soil pH shoot dry weight, Zn concentration in shoot, Zn uptake, mycorrhizal responsiveness (MR) and mycorrhizal responsiveness based on P(Zn) uptake (MP(Zn)R)

Arbuscular Mycorrhiza Fungi	Shoot dry weight (g plant^{-1})	P in shoot (mg kg^{-1})	P uptake (mg plant^{-1})	Zn in shoot (mg kg^{-1})	Zn uptake (µg plant^{-1})	MR (%)	MPR (%)	MZnR (%)
C 5	1.88 abc	173.44 de	325.88 cde	61.21 d	0.60 d	0	0	0
G 5	2.10 a	193.26 cd	405.99 b	95.00 b	1.03 b	11.72 ab	24.58 cd	59.95 ab
E 5	2.07 a	187.07 d	388.43 bc	109.47 a	1.17 a	10.48 ab	19.20 cd	93.14 a
GE 5	2.00 ab	199.46 cd	381.46 bcd	71.20 c	0.74 c	6.39 b	17.06 cd	22.67 c
C 6	1.60 de	192.02 cd	306.51 e	34.73 gh	0.30 gh	0	0	0
G 6	1.70 cde	240.34 b	409.46 b	47.60 e	0.43 ef	6.26 b	35.68 cd	42.40 bc
E 6	1.97 ab	408.83 a	804.05 a	52.40 e	0.54 de	23.17 ab	166.43 a	80.89 ab
GE 6	1.85 bcd	219.28 bc	391.20 bc	47.13 ef	0.45 ef	15.87 ab	29.63 cd	48.95 abc
C 7	1.20 f	146.19 ef	174.23 f	28.07 h	0.19 h	0	0	0
G 7	1.44 ef	132.56 f	191.37 f	38.27 g	0.30 gh	20.61 ab	9.84 d	60.48 abc
E 7	1.60 de	195.74 cd	311.92 de	39.00 fg	0.34 fg	33.70 a	79.03 bc	80.24 ab
GE7	1.38 f	169.72 de	223.90 f	38.33 g	0.27 gh	15.32 ab	28.51 cd	45.33 abc
C 8	0.27 g	65.66 g	18.42 g	9.87 i	0.02 i	0	0	0
G 8	0.35 g	137.51 f	48.19 g	14.20 i	0.03 i	28.40 ab	161.63 a	72.74 ab
E 8	0.36 g	144.95 ef	51.29 g	13.73 i	0.03 i	32.10 ab	178.44 a	73.56 ab
GE8	0.32 g	152.38 ef	43.73 g	15.20 i	0.03 i	19.75 ab	137.42 ab	53.31 abc

Note: Per column means followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

วิจารณ์

1. ชนิดของสปอร์ AMF และระดับ pH ที่ต่างกันต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ P กับ Zn ในข้าวไร่

จากการศึกษาครั้งนี้เมื่อพิจารณาปริมาณความเข้มข้นและการดูดใช้ P กับ Zn ในข้าวไร่ จะเห็นได้ว่าดินที่มีการใส่สปอร์ AMF พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นและการดูดใช้ P กับ Zn ของข้าวเพิ่มขึ้น ในดินที่ระดับ pH ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อ *G. etunicatum* มีปริมาณความเข้มข้นและการดูดใช้ P กับ Zn มีปริมาณที่สูงที่สุด เมื่อเทียบกับ *G. geosporum* และ *G. geosporum*+ *G. etunicatum* และส่งผลต่อการเจริญเติบโตในส่วนของน้ำหนักแห้งอีกด้วย ซึ่งจากการศึกษา ได้มีการใช้เชื้อ G. *etunicatum* G. *clarum* G. *intraradices* G. *caledonium* G. *mossea* ที่มีการทดสอบการดูด

ใช้ P และ Zn ในการปลูกพริก พบว่าพริกที่มีการใส่เชื้อ AMF มีบทบาทในการดูดใช้ P และ Zn โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อ G. *etunicatum* มีบทบาทในการดูดใช้ P และ Zn มากที่สุด

ในส่วนของ pH ที่ระดับต่างๆ เมื่อพิจารณาปริมาณความเข้มข้นและการดูดใช้ P กับ Zn ในข้าวไร่ จะเห็นได้ว่า pH 5 และ pH 6 มีความเข้มข้นและการดูดใช้ P กับ Zn ในข้าวไร่ มีปริมาณสูงที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่มีการใส่สปอร์ G. *etunicatum* มีปริมาณความเข้มข้นและการดูดใช้ P กับ Zn ใน pH5 และ pH6 มากที่สุด **(Table 11)** ซึ่งจากการศึกษาของ Wang et al. (1993) ได้ศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างต่อการเข้าอาศัยของ AMF ในข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศ พบว่า *G. caledonium, G. albidum, G. etunicatum, G. macrocarpum, G. fasciculatum*, *Acaulospora* spp. และ *S. calospora* มีการเข้าอาศัยในรากข้าวโอ๊ตและรากมะเขือเทศในดินที่มีระดับความเป็นกรดเป็นด่าง 5.5-7.5 ปริมาณสูงที่สุด

2.การส่งเสริมการดูดใช้ P กับ Zn โดย AMF ในข้าวไร่

จากผลการศึกษาการเข้าราก (Root colonization) ของ AMF ที่ใส่ลงไปในดินในรูปของสปอร์ จะสังเกตเห็นว่าการเข้ารากของ AMF ทั้ง *G. geosporum*, *G. etunicatum* และ *G. geosporum+ G. etunicatum* การเข้ารากไม่แตกต่างกัน และจะพบว่าเปอร์เซ็นต์การเข้ารากอยู่ในระดับต่ำ เพราะปริมาณของเชื้อมีส่วนสำคัญที่จะช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเข้ารากของเชื้อรา (สมจิตร, 2549) แต่อย่างไรก็ตามการเข้ารากของ AMF ส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นและการดูดใช้ P กับ Zn เพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับข้าวไร่ที่ไม่ใส่สปอร์ในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารากของเชื้อ *G. etunicatum* ซึ่ง Mosse (1973) ได้อธิบายว่า AMF มีความสามารถดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืช เช่น P โดยเฉพาะเมื่อมี P ในดินต่ำ ซึ่งนับเป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างมากเนื่องจากการเจริญของเส้นใยที่หุ้มรากมีส่วนในการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างรากกับดินมากขึ้น และเป็นการลดระยะทางที่ P จะเคลื่อนที่มายังรากทำให้พืชสามารถดูดซับ P ได้ในปริมาณมากและรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ P ในเนื้อเยื่อพืชที่มี AMF อาศัยอยู่ซึ่งสูงกว่าพืชที่ไม่มี AMF

เมื่อพิจารณาระดับ pH ของดินที่ระดับต่างๆ จะเห็นได้ว่า pH มีผลต่อการเข้ารากของเชื้อ AMF อย่างชัดเจน โดยจะที่ pH 5 และ pH 6 มีปริมาณการเข้ารากมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารากของเชื้อ *G. etunicatum* ที่ pH 5 และ pH 6 ส่งผลต่อปริมาณและความเข้มข้นของและการดูดใช้ P และ Zn เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับข้าวไร่ที่ไม่ใส่เชื้อ AMF ในดิน **(Table11)** ซึ่งจากการศึกษาของ Wang et al. (1993) ได้ศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างต่อการเข้าอาศัยของ AMF ในข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศ มีการเข้าอาศัยในรากข้าวโอ๊ตและรากมะเขือเทศ ในดินที่มีระดับ pH 5.5-7.5 ปริมาณสูงที่สุด

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและผลของใส่สปอร์ AMF โดยพิจารณาจากค่า (MR) บ่งชี้เช่นเดียวกันว่าการใส่สปอร์ AMFในระดับ pH ของดินต่างๆมีผลทำให้ค่า MR เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยค่า MR ของข้าวไร่ที่การตอบสนองต่อการใส่สปอร์ *G. etunicatum* ที่ pH 7 สูงที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้น้ำหนักแห้งพืชสูงและมีการดูดใช้ P และZn สูงกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อ AMF โดยพิจารณาจากค่า MPR และ MZnR โดยเฉพาะผลของการใส่สปอร์ *G. etunicatum* ที่ระดับ pH ต่างๆ ค่า MPR ที่ pH 8 มีค่าสูงที่สุด และ MZnR ที่ pH 5 สูงที่สุด

สรุปผล

ข้าวไร่พันธุ์ ขาวโป่งไคร้และปลูกที่ระดับ pH ต่างๆที่มีการใส่สปอร์ AMF ชนิดต่าง ๆ มีน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นและการดูดใช้ P กับ Zn สูงกว่าดินที่ไม่มีการใส่สปอร์ลงไป โดยในข้าวไร่ที่ระดับ pH ต่างๆ พบว่าการใส่สปอร์ *G. etunicatum* มีน้ำหนักแห้งของส่วนต้นสูงที่สุด รองลงมาคือ *G. geosporum* และ *G. geosporum+G. etunicatum* และไม่มีการใส่สปอร์ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและผลของการใส่สปอร์ AMF โดยพิจารณาจากค่า MR ก็บ่งชี้เช่นเดียวกันว่าการใส่สปอร์ AMFในระดับ pH ต่างๆให้ค่า MR เพิ่มขึ้นอย่างเจน โดยค่า MR ของข้าวไร่ที่มีการใส่สปอร์ *G. etunicatum* ที่ pH 7 สูงที่สุด และค่า MR ของข้าวไร่ที่มีการใส่สปอร์ *G. geosporum+G. etunicatum* มีการตอบสนองต่ำที่สุด การใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้น้ำหนักแห้งพืชสูงและมีการดูดใช้ P กับ Zn สูงกว่าการไม่ใส่สปอร์ AMF โดยพิจารณาจากค่า MPR และ MZnR โดยเฉพาะผลของการใส่สปอร์ *G. etunicatum* ที่ระดับ pH ต่างๆ ค่า MPR ที่ pH 8 มีค่าสูงที่สุด และ MZnR ที่ pH 5 สูงที่สุด ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้อาจจะกล่าวได้ว่าการดูดใช้ P กับ Zn ที่เพิ่มขึ้นเป็นเพราะมีการใส่สปอร์ AMF โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *G. etunicatum* แนวทางการศึกษาต่อไปจะมีการศึกษาในสภาพแปลงจริงก่อนที่จะมีการผลิตหัวเชื้อที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ได้ในภาพแปลงจริง

งานวิจัยที่ 3 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและระดับความชื้นในการปลูกข้าวต่อการดูดใช้สังกะสีของข้าว

Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rice Cultivation System on Zinc Uptake by Rice

ผลการทดลอง

1.การจัดการน้ำและใส่เชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง1 ที่ปลูกในรูปแบบการจัดน้ำ 2 รูปแบบคือ การขังน้ำ (WL) และรักษาระดับความชื้นของดินไว้ที่ 0.3 bar พบว่าผลของระดับความชื้นมีผลทำให้การเจริญเติบโตในส่วนของน้ำหนักแห้งของข้าวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 1.29 - 2.21 กรัมต่อต้น แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าข้าวที่ปลูกทั้งสองระดับความชื้นที่มีการใส่หัวเชื้อ AMF ชนิดต่าง ๆ มีแนวโน้มน้ำหนักแห้งสูงกว่าดินที่ไม่มีการเติมหัวเชื้อลงไป โดยในข้าวที่ปลูกในดินที่รักษาความที่ 0.3 bar พบว่าการใส่หัวเชื้อ *A. foveata* มีน้ำหนักแห้งของส่วนต้นสูงที่สุด (2.21 กรัมต่อต้น) รองลงมาคือ *G. etunicatum (1.42 กรัมต่อต้น) และ G. geosporum (1.32 กรัมต่อต้น)* และไม่มีการใส่หัวเชื้อ (1.29 กรัมต่อต้น) ตามลำดับ (Table 2)

Table 12 Shoot dry weight, Zn concentration in shoot, Zn uptake, mycorrhizal responsiveness (MR) and mycorrhizal responsiveness based on Zn uptake (MZnR) of San Patowng 1

Water regime	Mycorrhiza	Shoot dry weight (g plant^{-1})	Zn in shoot (mg kg^{-1})	Zn uptake (µg plant^{-1})	MR (%)	MZnR (%)
0.3 bar	**No Mycorrhiza**	1.29	4.47 **B**	3.53 **B**	0.00	0.00
0.3 bar	***G. geosporum***	1.34	7.97 **AB**	6.29 **AB**	4.15	**78.36**
0.3 bar	***G. etunicatum***	1.42	10.67 **AB**	8.43 **AB**	10.36	**138.81**
0.3 bar	***A. foveata***	2.21	11.30 **AB**	8.93 **AB**	**72.02**	**152.99**
WL	**No Mycorrhiza**	1.33	7.67 **AB**	6.06 **AB**	0.00	0.00
WL	***G. geosporum***	1.45	9.13 **AB**	7.22 **AB**	9.05	19.13
WL	***G. etunicatum***	1.88	13.00 **AB**	10.27 **AB**	41.46	69.57
WL	***A. foveata***	1.97	15.50 **A**	12.25 **A**	48.74	102.17

Note: Per column means followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

WL= Continuous waterlogging, MR = Mycorrhizal responsiveness, MZnR = Mycorrhizal Zn responsivness

2.ผลของรูปแบบของการให้น้ำและการใส่หัวเชื้อดิน AMF ต่อการดูดใช้ Zn

ผลของรูปแบบการให้น้ำและการใส่หัวเชื้อAMFต่อการความเข้มข้นของ Zn ของข้าวพันธุ์สันป่าตอง1 พบว่าการขังน้ำ (WL) และระดับความชื้นของดินไว้ที่ 0.3 bar โดยการจัดการน้ำมีผลทำให้ความเข้มข้นของ Zn ในข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่สำหรับผลของการใส่หัวเชื้อ

AMF พบว่าข้าวที่ปลูกทั้งสองระบอบความชื้นที่มีการใส่หัวเชื้อ AMF ชนิดต่าง ๆ มีความเข้มข้นของ Zn ในข้าวสูงกว่าต้นข้าวที่ปลูกโดยไม่มีการใส่หัวเชื้อ AMF โดยในข้าวที่ปลูกในดินที่รักษาความที่ 0.3 bar พบว่า มีความเข้มข้นของ Zn ในข้าวที่มีการใส่หัวเชื้อ *A. foveata* สูงสุด 15.50 mg kg^{-1} (WL) และ 11.30 mg kg^{-1} (0.3 bar) รองลงมาคือ *G. etunicatum* 13.00 mg kg^{-1} (WL) และ 10.67 mg kg^{-1} (0.3 bar) และ *G. geosporum* มีการตอบสนองต่อการใส่หัวเชื้อต่ำที่สุด 9.13 mg kg^{-1} (WL) และ 7.97 mg kg^{-1} (0.3 bar) (Table 12 และ Figure 15)

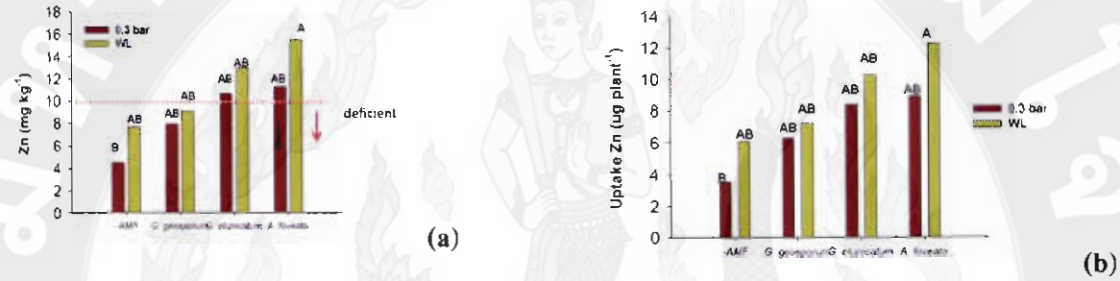


Figure 15 Effect of water managements combined with various inoculation of mycorrhizal fungi on (a) Zn concentration in shoot and (b) Zn uptake. WL = continuous flooding ,- **AMF=** No inoculation of mycorrhizal fungi **Note:** Per means (Bars) followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

3. ผลของรูปแบบของการให้น้ำและการใส่หัวเชื้อดิน AMF ต่อปริมาณ Zn ในดิน

ผลของรูปแบบการให้น้ำและการใส่หัวเชื้อ AMF ต่อปริมาณ Zn ในดินภายหลังเก็บเกี่ยวข้าว พบว่าการขังน้ำ (WL) และรักษาระดับความชื้นของดินไว้ที่ 0.3 bar มีผลทำให้ปริมาณเฉลี่ย Zn ในดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ 40.75 mg kg^{-1} (WL) และ 36.30 mg kg^{-1} (0.3 bar) และสำหรับผลของการใส่หัวเชื้อ AMF พบว่าดินที่ใช้ปลูกข้าวที่ปลูกทั้งสองระบอบความชื้นที่มีการใส่หัวเชื้อ AMF ชนิดต่าง ๆ มีปริมาณของ Zn ที่สกัดได้สูงกว่าในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่มีการใส่หัวเชื้อ AMF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในดิน 0.3 bar การใส่เชื้อ *G. etunicatum* มีปริมาณ Zn ในดินเท่ากับ 49.00 mg kg^{-1} (WL) และ 40.80 mg kg^{-1} (0.3 bar)) และ *G. geosporum* มีปริมาณ Znในดินคือ 38.90 mg kg^{-1} (WL) และ 45.7 mg kg^{-1} (0.3 bar) สำหรับการใส่หัวเชื้อ *A. foveata* มีปริมาณ Zn ในดินต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่มีการใส่หัวเชื้อด้วยกันคือ 37.90 mg kg^{-1} (WL) และ 33.40 mg kg^{-1} (0.3 bar) สำหรับในดินที่ไม่การใส่หัวเชื้อพบว่ามีปริมาณ Zn ต่ำที่สุด 33.70 mg kg^{-1}

(WL) และ 25.30 mg kg^{-1} (0.3 bar) (Figure 16) จะเห็นได้ว่าดินภายหลังเก็บเกี่ยวข้าวนั้นดินในสภาพน้ำขังมี Zn เหลืออยู่ในดินสูงกว่าดินที่มีระดับความชื้น 0.3 bar ยกเว้นดินน้ำขังที่มีการใส่เชื้อ *G. geosporum* ที่เหลือปริมาณ Zn ต่ำกว่าดินที่ระดับความชื้น 0.3 bar แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

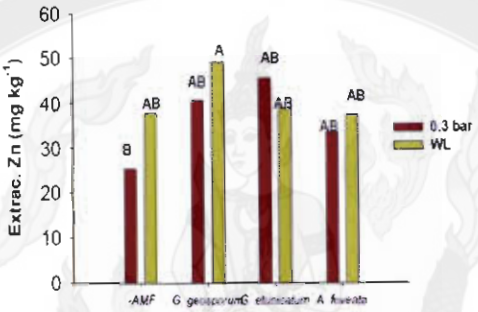


Figure 16 Effect of water managements combined with various of inoculation of mycorrhizal fungi on extractable Zn in soil. ;WL = continuous flooding ,- **AMF=** No inocolation of mycorrhizal fungi **Note :** Means (Bars) followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและผลของใส่หัวเชื้อ AMF โดยพิจารณาจากค่า Mycorrhizal responsiveness (MR) บ่งชี้เช่นเดียวกันว่าการใส่หัวเชื้อดินไมคอร์รไรซ่าในระบบการให้น้ำแก่ข้าวทั้ง 2 รูปแบบมีผลทำให้ค่า MR เพิ่มขึ้นอย่างเจน (Table 12) โดยค่า MR ของข้าวที่มีการใส่หัวเชื้อ *A. foveata* สูงสุด (72.02 % (WL) และ 48.74 % (0.3 bar)) รองลงมาคือ *G. etunicatum* (41.46 % (WL) และ 10.36 % (0.3 bar)) และ *G. geosporum* มีการตอบสนองต่อการใส่หัวเชื้อต่ำที่สุด (9.05 % (WL) และ 4.15 % (0.3 bar)) (Table 12) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใส่ดินหัวเชื้อ AMF มีผลทำให้น้ำหนักแห้งพืชสูงและมีการดูดใช้ Zn สูงกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อ AMF โดยพิจารณาจากค่า MR และ MZnR นอกจากนี้ผลของการใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ที่ระดับความชื้นที่ระดับ 0.3 bar มีค่า MR และ MZnR สูงกว่าดิน WL

4.การเข้ารากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าว (root colonization)

ผลการศึกษาพบว่าการเข้ารากข้าวของเชื้อรา AMF ที่ระดับความชื้น 0.3 bar มีค่าสูงกว่าดินที่มีระดับความชื้นแบบ WL ในทุกชนิดของ AMF โดยความชื้นที่ WLมีการเปอร์เซ็นต์การเข้าราก

เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ และ *G. geosporum, A.foveata ,G etunigatum* มีเปอร์เซ็นต์การเข้ารากเท่ากับ 61.53 ,43.59 ,41.02 % ตามลำดับ สำหรับดินที่ไม่มีการใส่เชื้อเท่ากับ 5.12% (Figure 17)

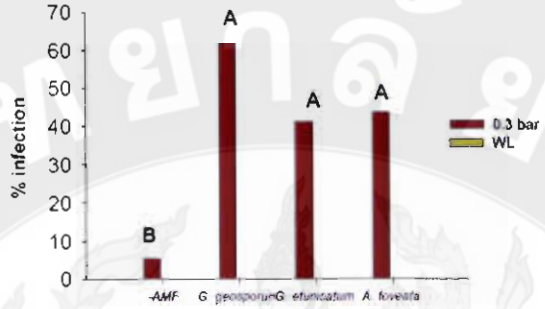


Figure 17 Effects of two water regimes and various of inoculation of AMF species on root colonization.
Note:Per means (Bars) followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

วิจารณ์

1.ระดับความชื้นของดินต่อความเป็นประโยชน์ของ Zn

จากการศึกษาครั้งนี้เมื่อพิจารณาปริมาณ Zn ที่สกัดได้ในดิน จะเห็นได้ว่าดินในสภาพที่ชื้นและมีอากาศ (0.3 bar) มีปริมาณ Zn ต่ำกว่าดิน WL เช่น ข้าวจะแสดงอาการขาด Zn ในดินที่ชื้นมากกว่าดินที่อยู่อยู่ในสภาพน้ำขัง (เมื่อ pH = 7.5) (Gao *et al.*, 2006) แต่บ่อยครั้งที่พบว่าดินในสภาพน้ำขังมีปริมาณ Zn ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำกว่าดินที่ในสภาพมีอากาศ และมีรายงานไว้ว่าดินที่ปริมาณ Zn เพียงพอสำหรับการปลูกข้าวสาลี แต่เมื่อนำดินนั้นมาปลูกข้าวภายใต้น้ำท่วมขังข้าวอาจจะขาด Zn ได้ (Van Breemen & Castro, 1980)

ดินที่สภาพที่มีอากาศ (aerobic soils) อาจจะเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของ Zn ให้มีค่าลดลง ตลอดจนการมีค่า Eh มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด Fe Oxidation พร้อมๆ กับการเกิดกรดของดิน เกิดการตกตะกอนของ $Fe(OH)_3$ และทำให้มีการดูดซับ Zn สารดังกล่าวนี้ อีกทั้งสภาพดังกล่าวนี้จะส่งเสริมการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ทำให้ข้าวดูดใช้ NO_3^- แทนการดูดใช้ NH_4^+ ซึ่งมีส่วนทำให้เกิด จากการที่ข้าวมีผลผลิตลดลงที่ปลูกในสภาพดินมีอากาศนั้น ซึ่งสภาพการขาดน้ำในดินเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลผลิตข้าวมีการเสียหาย ถึงแม้จะใช้พันธุ์ข้าวทนแล้งก็ตาม (Bouman *et al.*, 2005) เนื่องมาจากสาเหตุสภาพขาดน้ำนี้ยังทำให้การเคลื่อนที่ของ Zn เข้าสู่รากข้าวลดลงด้วย จากการที่ดินเมื่อมีความชื้นลดลงหรือดินอยู่ในสภาพมีอากาศนั้นมีรายงานกล่าวว่าความเป็นประโยชน์ของ Zn ลดลงเป็นผลมาจากมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น pH ของดินอาจจะมีเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับ pH เดิมของดิน (Liu, 1996) ค่า Eh (redox potential) ที่มีค่าสูงขึ้น (Gao *et al.*, 2007) ซึ่งทำให้เกิดเหล็กออกไซด์ $Fe(OH)_3$ เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการลดลงของ pH จึงทำให้มี

การดูดยึด Zn เกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้ข้าวแสดงอาการขาด Zn ในช่วง 2-4 สัปดาห์หลังการขังน้ำ ซึ่งจะมีอาการใบเป็นจุดสีน้ำตาลและเมื่อรุนแรงมากขึ้นจะพบในใบแก่ ต้นเตี้ยแคระ ทำให้ยืดเวลาของการเจริญเติบโตเต็มช้าออกไป (delay maturity) และผลผลิตลดลงในที่สุด

การปลูกข้าวที่พบได้ทั่วไปยังคงเป็นการปลูกข้าวภายใต้ระบบน้ำขัง ซึ่งอาจจะมีสภาพแห้งของดินเพียงชั่วคราวที่พบได้ในระบบการปลูกข้าวแบบอาศัยน้ำฝน โดยสภาพดินนาน้ำขังดังกล่าวนี้อาจจะเกิดการขาด Zn ในข้าวในบางช่วงเวลา เช่น ดินปลูกข้าวภายใต้ภาวะน้ำขังมีปริมาณ Zn ต่ำกว่า 1 mg kg^{-1} (DTPA-extractable Zn) (Sims and Johnson,1991) โดยมีสาเหตุมาจากดินมีสภาพ pH สูง เพราะปริมาณคาร์บอนเนตสูงและมีค่า Eh ต่ำ (Mandal *et al.*, 2000) นอกจากนี้ การเกิด Fe oxidation ในอาณาบริเวณรากพืชทำให้ pH ลดลงและยังทำให้ Zn มีความเป็นประโยชน์ลดลง (Forno *et al.*, 1975; Kirk & Bajita, 1995)

2. การส่งเสริมการดูดใช้ Zn โดย AMF และระดับของ Zn ในดิน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ Zn (Zn uptake) และ MR และ MZnR ภายใต้การให้น้ำสองรูปแบบ พบว่าในดิน WL มีสหสัมสัมพันธ์กันทางตรงอย่างนัยยิ่งสำคัญทางสถิติ แสดงว่าเมื่อค่า MR และ MZnR เพิ่มขึ้นซึ่งปริมาณ Zn uptake เพิ่มขึ้นด้วย (Figure 18 (a)) และเมื่อนำค่า MR และ MZnR ไปหาความสัมพันธ์กับค่า Zn uptake ดิน WL เพียงอย่างเดียวนั้น พบว่า MR และ MZnR มีสหสัมพันธ์ทางตรงกับ Zn uptake ($p = 0.0137$ และ< 0.0001 ตามลำดับ) โดยมีค่า r เท่ากับ 0.9539 และ 1.0000 ตามลำดับ (Figure 18 (a) และ (b)) ส่วนดินที่ความชื้น 0.3 bar พบว่า MR และ MZnR มีสหสัมพันธ์ทางตรงกับ Zn uptake ($p = 0.3254$ และ< 0.0001 ตามลำดับ) โดยมีค่า r เท่ากับ 0.6746 และ 1.0000 ตามลำดับ (Figure 18 (a) และ (b))

แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับบทบาทของเชื้อ AMF ต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ Zn ของข้าวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการปลูกข้าวระดับความชื้น 0.3 bar ซึ่งเป็นดินที่มีอากาศ จากข้อสังเกตในการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณ Zn ในดินและการดูดใช้ Zn ของข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อดิน AMF ทั้งในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ อาจเนื่องมาจากหัวเชื้อดินดังกล่าวได้ผ่านการให้สารละลายอาหาร Hougland ในระหว่างขั้นตอนการขยายสปอร์ของ AMF ของแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งอาจจะมีผลต่อการดูดใช้ Zn ของข้าวที่ปลูกภายใต้ทั้งสองระดับความชื้นเพิ่มขึ้น จึงทำให้การศึกษาครั้งนี้ไม่อาจจะกล่าวได้ว่าการใส่หัวเชื้อ AMF มีผลต่อการดูดใช้ Zn อย่างชัดเจน จึงควรต้องมีการทดสอบโดยใช้สปอร์ของ AMF และ/หรือส่วนของรากหัวเชื้อดินที่ไม่มีธาตุอาหารพืช เป็นต้น อย่างไรก็ตามไม่สามารถมองข้ามบทบาทของ AMF ต่อการดูดใช้ Zn ที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งจากการศึกษาของ Gao *et al.* (2007) ได้มีการทดสอบ AMF (โดยใช้ *G. mosseae และ G. etunicatum*) ในการดูดใช้ Zn ในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่มีความสามารถในการดูดใช้ Zn ที่แตกต่างกันและพบว่าข้าวที่มี

ความสามารถในการดูดใช้ Zn ต่ำนั้นมีการตอบสนองต่อการใส่เชื้อ AMF สายพันธุ์ดังกล่าวข้างต้น เพราะมีการดูดใช้ Zn เพิ่มขึ้น โดยจะเห็นผลชัดเจนในข้าวสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการดูด Zn ได้สูง ซึ่งอาจจะนำไปใช้ในระบบการปลูกข้าวเพื่อประหยัดน้ำได้ นอกจากนี้ Gao *et al.* (2007) ยังชี้ให้เห็นว่ายังมีกลไกอื่น ๆ ในส่งเสริมการดูดใช้ Zn ของข้าวด้วย (Gao *et al.*, 2007) จากการศึกษาครั้งนี้อาจจะกล่าวได้ว่าการดูดใช้ Zn ที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะมีการใส่หัวเชื้อดิน AMF สายพันธุ์ต่าง ๆ ที่เป็นผลมาจากดินหัวเชื้อมีธาตุอาหารต่างๆ โดยเฉพาะ Zn ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตข้าวและมีผลทำให้มีการดูดใช้ Zn เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งการศึกษาบทบาทของเชื้อ AMF ต่อการดูดใช้ Zn ของข้าวนั้นจำเป็นต้องใช้หัวเชื้อดินที่ผ่านการขยายหัวเชื้อที่ไม่มีการให้ธาตุอาหาร

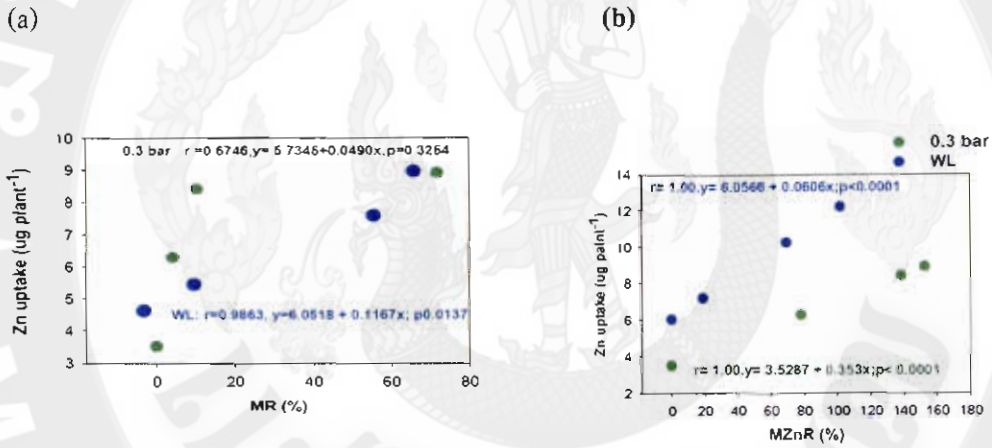


Figure 18 Correlation between Zn uptake when non mycorrhizal (a) mycorrhizal respons (b) mycorrhizal Zn response of San Patowng 1 for AMF three species.

Note: WL = continuous flooding

นอกจากนี้ การที่มีความแตกต่างของค่า MR และ MZnR ซึ่งดูเหมือนว่าจะไม่มีความสัมพันธ์กับการเข้าเชื้อของราก AMF นั้น รวมทั้งเมื่อพิจารณาการดูดใช้ Zn ในดินที่ไม่มีการใส่หัวเชื้อ ชี้ให้เห็นว่าสายพันธุ์ข้าวที่ศึกษาครั้งนี้มีความไวหรือการตอบสนองต่อหัวเชื้อดิน AMF หรือปริมาณ Zn ที่สูง และยังเป็นสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการดูดใช้ Zn ได้ต่ำ เช่นสายพันธุ์มะเขือเทศที่มีความสามารถในการดูดใช้ P ต่ำ จะมีการไวต่อการตอบสนองต่อการใส่เชื้อ AMF มากกว่าสายพันธุ์ที่มีความสามารถในดูด P ที่สูงกว่า (Bryla & Koide, 1998) อาจจะกล่าวได้ว่าเป็นเพราะความต้องการ P ที่ต่ำกว่าของพืชเป็นกลไกในการตอบสนองต่อการเข้ารากของชื้อ AMF ดังนั้นเมื่อ MR ที่เกิดขึ้นนั้น อาจจะมีสาเหตุมาจากความแปรปรวนของพืชในความต้องการธาตุอาหาร โดยพืชดังกล่าวสามารถที่จะเติบโตได้ดีในสภาพที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Kaeppler *et al.*, 2000)

3. อิทธิพลของรากข้าวต่อความเป็นประโยชน์ของ Zn

ในการนำเสนอบทความเรื่องนี้ผู้วิจัยจึงได้มีการทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติมถึงปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดใช้Znของข้าวโดยเฉพาะบทบาทของรากข้าวที่เจริญเติบโตทั้งในสภาพความชื้นทั้งสองระดับและยังมีความสัมพันธ์กับการเข้ารากของ AMF พบว่าอิทธิพลของรากพืช (rhizosphere) มีส่วนช่วยทำให้ความเป็นของ Zn (Kirk & Bajita, 1995) การปลูกข้าวแบบใช้อากาศ (0.3 bar) ทนในสภาพที่ความเป็นประโยชน์ของ Zn มีค่าต่ำ (Gao *et al.*, 2005) สำหรับในสภาพน้ำขังนั้น pH ของอาณาบริเวณรากพืชเป็นกรดเพราะมีการขับ H^+ ออกจากรากพืชเพื่อสร้างสมดุลในการดูดธาตุ cation และ Fe^{2+} จะถูกออกซิไดส์โดยรากข้าวทำให้มีการปลดปล่อย H^+ ออกมา ซึ่งสภาพ pH เป็นกรดนี้จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของ Zn เพิ่มขึ้นหรือไม่ลดลง และสามารถทำให้ข้าวดูดใช้ Zn ได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีสมมุติฐานว่า pH ของอาณาบริเวณรากพืชและสารอินทรีย์ที่ขับออกมาจากราก เช่น สารคีเลต (siderophores) และสารอินทรีย์ประจุลบที่โครงสร้างไม่สลับซับซ้อน low-molecular weight organic anions (LMWOAs) สามารถที่เพิ่มความเป็นประโยชน์และการดูดใช้ของ Zn โดยมีรายงานว่าสาร siderophores นั้นจะเพิ่มความด้านทานต่อการขาด Zn ให้กับพืชได้โดยเฉพาะพืชตระกูลหญ้า (graminaceous plant species) (Rengel & Romheld, 2000) สำหรับสาร LMWOAs นี้จะทำให้พืชทนการขาด Zn ได้เพิ่มขึ้นและยังเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ Zn ด้วย โดยประการแรกรากพืชจะขับสารLMWOAsออกมาพร้อมแคไอออนโดยเฉพาะโปรตอนเพื่อสร้างสมดุลทางไฟฟ้า (electrical neutrality) ซึ่ง H^+ เหล่านี้จะทำให้ pH ในอาณาบริเวณรากลดลงซึ่งจะไปเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ Zn โดยเฉพาะในดินด่าง แต่ในดินปลูกข้าวแบบน้ำขังการลดลงของ pH อาจจะเกิดไม่ชัดเจนเพราะ H^+ ถูกแพร่ออกไปสู่ดินภายนอกอาณาบริเวณรากข้าวตลอดจนดินภายใต้สภาพน้ำขังนั้น pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ H^+ ยังถูกนำไปใช้ในการดูดใช้ Zn ด้วย (Kirk & Bajita, 1995) ประการที่สอง LMWOAs มีสมบัติเป็นคีเลตอย่างอ่อนและรวมตัวกับ Zn เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งกระบวนนี้จะเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ Zn แต่สารอินทรีย์ดังกล่าวนี้จะร่วมตัวกับ Fe^{3+} ได้ดีเช่นกัน

สำหรับข้าวเป็นพืชที่มีรากพืชขับสารอินทรีย์ประเภท LMWOAs (Hoffland *et al.*, 2006) เช่น ซิเตรท (citrate exudation) ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพที่ดินมีการขาดฟอสฟอรัส (P) ซึ่งสารซิเตรทจะช่วยในในการดูดใช้ P ของข้าวโดยมีกลไกเช่นเดียวกับ Zn นอกจากนี้ P ที่เป็นส่วนของ Ca-P มีการละลายเพิ่มขึ้นจึงเป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการลดลงของ pH (Hoffland *et al.*, 2006) นอกจากนี้ อาจเกิดการตกตะกอนของ Ca เป็น Ca-Citrate (Geelhoed *et al.*, 1998) และ metal(hydrae) oxide-sorbed phosphate สามารถที่จะถูกละลายออกมาเป็นประโยชน์โดยแข่งขันกันระหว่าง Ca และ Zn โดยธาตุทั้งสองเข้าไปทำปฏิกิริยากับซิเตรท (Geelhoed *et al.*, 1998) หรือผ่าน

ทางกระบวนการคีเลตชั่น (Kirk *et al.*, 1999) นอกจากนี้การขาด Zn มักจะพบพร้อม ๆ กับการขาด P ในดินด่าง นอกจากนี้การที่รากข้าวมีคราบของเหล็กออกไซด์นั้นอาจจะทำให้เกิดการดูดซับ Zn และเกิดคีเลตของ Fe เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะปลดปล่อย Zn ที่ถูกดูดซับเหล่านี้ออกมาและเป็นประโยชน์ต่อข้าวเพิ่มขึ้น

สรุป

ข้าวที่ปลูกทั้งสองระดับความชื้นที่มีการใส่หัวเชื้อ AMF ชนิดต่าง ๆ มีแนวโน้มน้ำหนักแห้งสำหรับความเข้มข้นและการดูดใช้ Zn สูงกว่าดินที่ไม่มีการเติมหัวเชื้อลงไป โดยในข้าวที่ปลูกในดินที่รักษาความที่ 0.3 bar พบว่าการใส่หัวเชื้อ *A. foveata* มีน้ำหนักแห้งของส่วนต้นสูงที่สุด รองลงมาคือ *G. etunicatum* และ *G. geosporum* และไม่มีการใส่หัวเชื้อ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและผลของใส่หัวเชื้อ AMF โดยพิจารณาจากค่า MR ก็บ่งชี้เช่นเดียวกันว่าการใส่หัวเชื้อไมคอร์ไรซ่าในระบบการให้น้ำแก่ข้าวทั้ง 2 รูปแบบมีผลทำให้ค่า MR เพิ่มขึ้นอย่างเจน โดยค่า MR ของข้าวที่มีการใส่หัวเชื้อ *A. foveata* สูงสุด (72.02% (WL) และ 48.74% (0.3 bar)) รองลงมาคือ *G. etunicatum* (41.46% (WL) และ 10.36% (0.3 bar)) และ *G. geosporum* มีการตอบสนองต่อการใส่หัวเชื้อต่ำที่สุด (9.05% (WL) และ 4.15% (0.3 bar)) การใส่หัวเชื้อ AMF มีผลทำให้น้ำหนักแห้งพืชสูงและมีการดูดใช้ Zn สูงกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อ AMF โดยพิจารณาจากค่า MR และ MZnR นอกจากนี้ผลของการใส่หัวเชื้อ *A. foveata* ที่ระดับความชื้นที่ระดับ 0.3 bar มีค่า MR และ MZnR สูงกว่าดิน WL และผลจากความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ Zn และ MR และ MZnR โดยมีการให้น้ำสองรูปแบบแสดงว่าเมื่อปริมาณ MR และ MZnR เพิ่มขึ้น ทำให้มีดูดใช้ Zn ของข้าวเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้อาจจะกล่าวได้ว่าการดูดใช้ Zn ที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะมีการใส่หัวเชื้อดิน AMF สายพันธุ์ต่าง ๆ ที่เป็นผลมาจากดินหัวเชื้อมีธาตุอาหารต่างๆโดยเฉพาะ Zn ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตข้าวและมีผลทำให้มีการดูดใช้ Zn เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จึงไม่เห็นผลของเชื้อ AMF ได้ชัดเจน สำหรับแนวทางการศึกษาต่อไปควรจะมีการศึกษาหัวเชื้อดินหรือสปอร์ AMF ที่ไม่ผ่านการให้สารอาหาร

งานวิจัยที่ 4 ผลของชนิดดิน ระดับความชื้น และผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว

Effects of Soil Type, Moisture Level and Mycorrhizal Fungi on Available Phosphorus and Phosphorus Uptake of Rice

ผลการทดลอง

1. ผลของชนิดดิน ต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดิน(Available P)

จากผลการศึกษาพบว่า ผลของชนิดดิน ระดับความชื้น และผลของการใส่เชื้อไมคลอไรซาต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว มีความแตกต่างกัน โดยเมื่อเปรียบเทียบชุดดินแต่ละชุดดิน พบว่า ชุดหางดงมีค่า pH ที่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินมากที่สุด โดยมีค่า เท่ากับ 5.99ชุดดินสรรพยา มีค่า pH เท่ากับ6.05 และค่า EC เท่ากับ 0.02 **us/cm**มีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส0.18**mg kg**รองลงมาคือ ชุดดินน้ำพอง มีค่า pH เท่ากับ 6.10 และค่า EC เท่ากับ 0.01**us/cm**มีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส0.14 **mg kg** จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลงดังตารางที่ 13

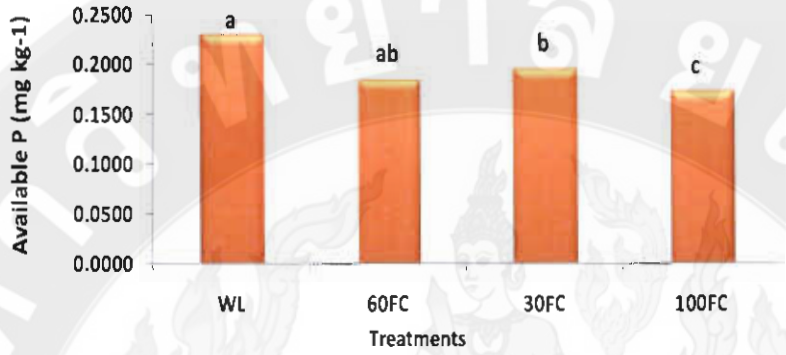
ตารางที่ 13 คุณสมบัติทั่วไปของชนิดดิน

ชนิดดิน	pH	EC	Available P Soil
		us/cm	mg kg
หางดง(Hd)	5.99	0.01	0.26
สรรพยา(Sa)	6.05	0.02	0.18
น้ำพอง(Ng)	6.10	0.01	0.14

2. ผลของระดับความชื้น ต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดิน(Available P)

จากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกข้าวที่ระดับความชื้น 4 ระดับ ได้แก่ การขังน้ำที่ระดับความสูง 2ซม.การขังน้ำที่ระดับความชื้น 60% การขังน้ำที่ระดับความชื้น 30% และการขังน้ำที่ระดับความชื้น-0.3 bar พบว่า การขังน้ำที่ระดับความสูง 2ซม.มีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.22mg kg รองลงมาคือ การขังน้ำที่ระดับความชื้น 30% โดยมีค่าเท่ากับ 0.19 **mg kg** และการขังน้ำที่ระดับความชื้น 60% โดยมีค่าเท่ากับ 0.18

mg kg และพบว่า การขังน้ำที่ระดับความชื้น -0.3 bar มีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ0.17 mg kgดังภาพที่ 19

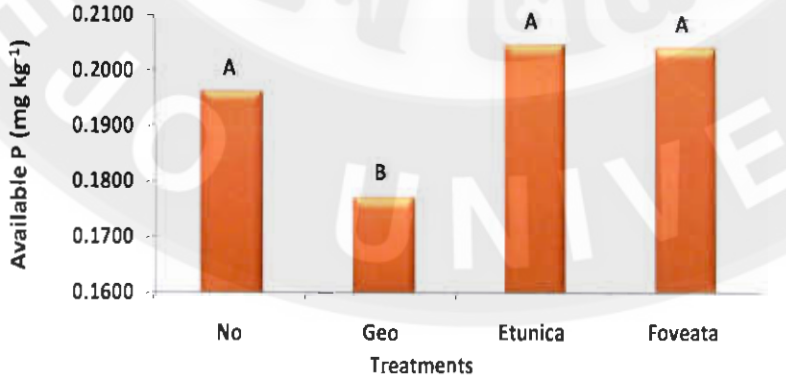


ภาพที่ 19 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P)

หมายเหตุ: WL=การขังน้ำที่ระดับความสูง 2ซม., 60FC =การขังน้ำที่ระดับความชื้น 60%, 30FC=การขังน้ำที่ระดับความชื้น30%, 100FC =การขังน้ำที่ระดับความชื้น -0.3 bar

3. ผลของเชื้อราไมคอร์ไรซา ต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดิน(Available P)

จากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยControl (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) ใส่หัวเชื้อดินG.geosporum ใส่หัวเชื้อดิน *G.etunicatum*และใส่หัวเชื้อดิน *A.foveata*พบว่า การใส่หัวเชื้อดิน *G.etunicatum* มีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.20 mg kgดังภาพที่ 20

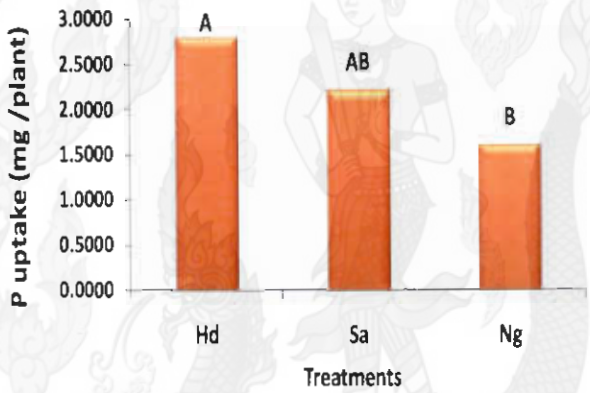


ภาพที่ 20 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P)

หมายเหตุ: No= Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา), Geo =หัวเชื้อดิน*G.geosporum*, Etunica=หัวเชื้อดิน *G.etunicatum*,Foveata =หัวเชื้อดิน *A. foveata*

4.ผลของชนิดดินต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว(P uptake)

จากการศึกษาการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว ในชนิดดิน 3 ชนิด ได้แก่ ชุดดินหางดง ชุดดินสรรพยา และชุดดินน้ำพอง พบว่าชุดดินหางดง มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 2.81 mg/plant รองลงมาคือ ชุดดินสรรพยาโดยมีค่าเท่ากับ 2.22 mg/plant และพบว่าชุดดินน้ำพองมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวต่ำที่สุดเท่ากับ 1.61mg/plantดังภาพที่ 21

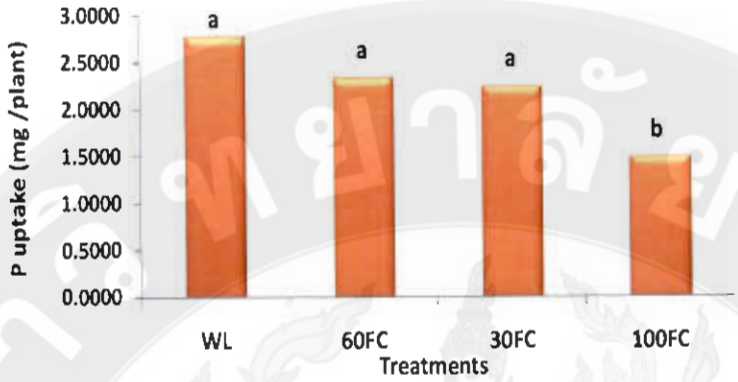


ภาพที่ 21 การดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว (P uptake)

หมายเหตุ: Sa=ชุดดินสรรพยา,Hd=ชุดดินหางดง, Ng=ชุดดินน้ำพอง

4. ผลของระดับความชื้นต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว(P uptake)

จากการศึกษาการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว การขังน้ำที่ระดับความชื้น 4 ระดับ ได้แก่ การขังน้ำที่ระดับความสูง 2ซม.การขังน้ำที่ระดับความชื้น 60% การขังน้ำที่ระดับความชื้น 30% และการขังน้ำที่ระดับความชื้น -0.3 bar พบว่าการขังน้ำที่ระดับความสูง 2 ซม. มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 2.77mg/plantรองลงมาคือ การขังน้ำที่ระดับความชื้น 60% โดยมีค่าเท่ากับ 2.34 mg/plant และรองลงมา คือการขังน้ำที่ระดับความชื้น 30% โดยมีค่าเท่ากับ 2.25 mg/plantและพบว่าการขังน้ำที่ระดับความชื้น -0.3 bar มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวต่ำที่สุดเท่ากับ 1.49mg/plantดังภาพที่ 22

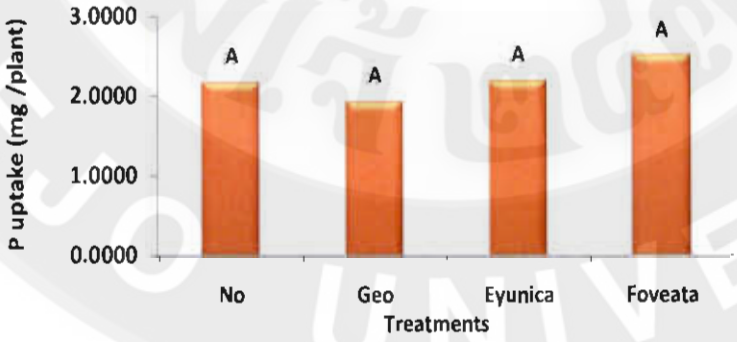


ภาพที่ 22 การดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว (P uptake)

หมายเหตุ: WL=การขังน้ำที่ระดับความสูง 2ซม., 60FC =การขังน้ำที่ระดับความชื้น 60%, 30FC=การขังน้ำที่ระดับความชื้น30%, 100FC =การขังน้ำที่ระดับความชื้น -0.3 bar

5. ผลของเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว(P uptake)

จากการศึกษาการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโดย Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา) ใส่หัวเชื้อดิน*G.geosporum* ใส่หัวเชื้อดิน *G.etunicatum*และใส่หัวเชื้อดิน *A. foveata*พบว่าหัวเชื้อดิน *A. foveata*มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 2.51 mg/plant ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 การดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว (P uptake)

หมายเหตุ: No= Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา), Geo =หัวเชื้อดิน*G.geosporum*, Etunica=หัวเชื้อดิน *G. etunicatum*,Foveata =หัวเชื้อดิน *A. foveata*

วิจารณ์ผลการทดลอง

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินจะลดลงเมื่อใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ อาจเนื่องมาจากการดูดใช้ฟอสฟอรัสของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาให้กับข้าว Harley and Smith (1983) รายงานว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอยู่จึงสามารถดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น เช่น ฟอสฟอรัส การอาศัยอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับพืชจะมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสให้กับพืช ซึ่งฟอสฟอรัสในพืช และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำและท่วมขังน้ำ แต่ในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในพืช และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืชจะสูงกว่าข้าวที่ปลูกในดินท่วมขังน้ำ เนื่องจากปริมาณเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าวที่ปลูกในดินปลูกข้าวไม่ขังน้ำยังมีชีวิตรอดสูงหลังปลูกข้าว 2 เดือน ส่งผลให้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเมื่ออยู่ร่วมกับพืชก็จะสามารถดูดธาตุฟอสฟอรัสจากดินสู่พืชได้ (Smith and Read, 1997) เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืช ในขณะที่ดินปลูกข้าวที่ท่วมขังน้ำไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซารอดอยู่เลยหลังจากปลูกข้าวขังน้ำ 2 เดือน แต่ยังพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสสูงอาจเนื่องจากเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขังทำให้ค่าพีเอชเป็นกลางซึ่งจะช่วยปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงไว้กับเหล็ก อะลูมินัมและแคลเซียมทำให้เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองชนิดดิน ระดับความชื้น และผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด ในชุดดินหางดง, การขังน้ำที่ระดับความชื้น2ซม.และการใส่หัวเชื้อ*G.etunicatum*

ผลต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว พบว่า การดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวที่สูงที่สุด ในชุดดินหางดง, การขังน้ำที่ระดับความชื้น 2 ซม. และการใส่หัวเชื้อ*A. foveata*

งานวิจัยที่ 5 Roles of Mycorrhizas, Soil Carbons and Soil Aggregate Stability under Various Land Uses on C Storage with Climate Changes

Results and discussion

1.C storage

The results of Fig.1 show the C storage in the surface soil from the replicated pedon (0–15 cm). The average C storage ranged from 3.48 to 7.36 kg m^2 according to land use, and was lowest in paddy soils (PAD) or soils that were intensively disturbed soil by managements e.g. FCVeg and URm (Fig.24).Meanwhile, primary forest (PF) was highest in C storage.

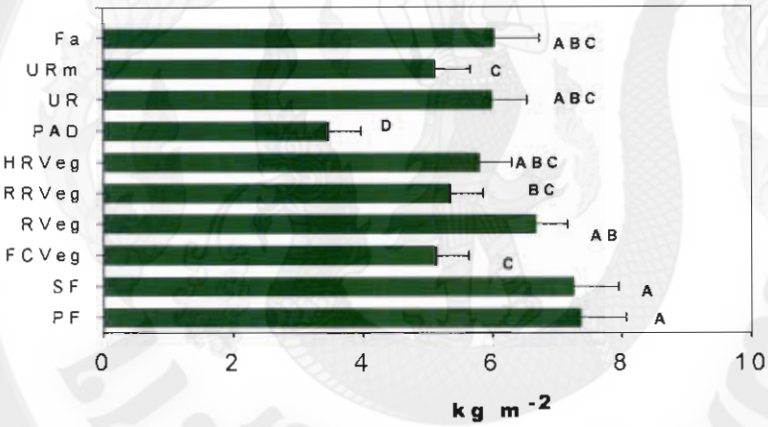


Fig. **24** Carbon storage in topsoil (0–15 cm depth) by land-use type.

The results also showed labile **C** storage that the amount of course POM was lowest in paddy soils, and SF was highest Meanwhile other labile carbon fractions were not significantly difference. The average permanganate oxidizable C content ranged from 11 to 18% of total C between various land-use classes with PAD the highest and PF the lowest content .For fine POM ranged from 29 to 45% of total carbon and was highest in SF ,and HWSC content ranged from 5 to 8 % of total carbon and was highest in FCVeg(Table 2.).For WSC content ranged from 0.09 to 0.20% of total carbon.

The particulate organic matter **(POM)** is mainly derived from plant material (Magid *et al.* 2002) and only to a limited extent derived from soil macrofauna. POM-C is defined as any organic fragments with a recognizable structure > 53 μm, as well as the light fraction. It is commonly assumed that POM-C is highly sensitive to land use changes compared to total soil organic carbon (Haynes

2005).POM-C is likely not sensitive to inherent soil properties but it is sensitive to land use change, presumably because land use largely explains the quality of the input litter and to some extent also its quantity. However, as discussed above, coarse particulate organic matter carbon (CPOM-C) was strongly affected by land use (Aumtong *et al.*,2009). In this study the SF areas which had clearly the highest coarse POM content (28.28 % of TOC) had an intermediate to highest fine POM content (45.28 % of TOC).Meanwhile, the PAD areas which lowest coarse POM content (9.46 % of TOC). This could reflect a higher degradability of the coarse POM in that area. From Table 3, % C in coarse POM and % C fine POM were closely related to glomalin and aggregate stability.

Table 14. Carbon fractions in topsoil (0–15 cm in depth) storage by land-use type from mountainous area northern Thailand.

	POC	WSC	HWSC	C-POM	F-POM
Land use			(% of total C)		
PF	11.99 ^{ns}	0.10 ^{ns}	5.77 ^{ns}	16.46 BC	36.07 ^{ns}
SF	15.12	0.20	8.43	28.28 A	45.28
FCVeg	16.19	0.11	8.49	13.14 BC	32.84
RVeg	13.82	0.13	7.02	14.33 BC	33.29
RRVeg	13.07	0.09	6.95	13.16 BC	29.88
HRVeg	13.14	0.11	6.41	16.47 BC	35.25
PAD	17.33	0.10	8.72	9.46 C	34.28
UR	13.86	0.16	7.02	15.30 BC	29.85
URm	15.46	0.13	6.99	17.27 B	30.97
Fa	14.58	0.09	6.49	13.35 BC	29.70

note: For each variable letters are indicative of statistical differences ($P<0.05$).

The average E-glo and T-glo content ranged from 0.02 to 0.06 % and 0.02 to 0.04 % of total C respectively between various land-use classes ,and E-glo content in paddy soils was the highest and fallow land was the lowest content (Fig.25a).For T-glo content was highest in rotation rainfed vegetable plantation (RRVeg) ,and primary forest was lowest (Fig.25b).

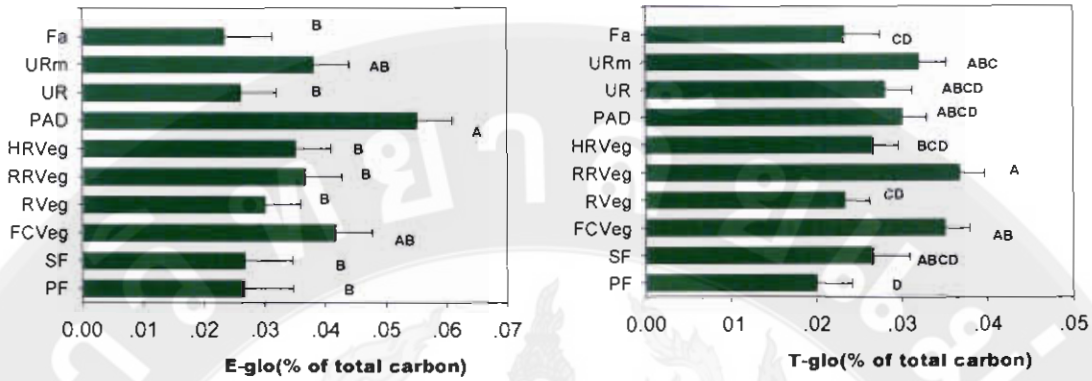


Fig.25 Glomalin related soil protein fractions in topsoil (0–15 cm depth) by land-use type.

2.The relationship between aggregate stability and C fractions

Table 15 presents results from analyses of relationship between aggregate stability with C fractions, glomalin and clay content that were shown to be dominantly important using the Pearson's correlation coefficients. The correlation coefficients (r) ranged between 0.6110 to 0.8242 for the various C fractions (Table 15),meanwhile r ranged was 0.3901 for E-glo and 0.5820 for T-glo (Table 15 and Fig. 15a) ,but clay content was not related with aggregate stability. In T-glo content relative to total C was positive with r = 0.6847 (*p=0.0001*)(Fig.15 (b)).This study indicated that C fractions and T-glo were related to aggregate stability significantly, and T-glo related total C and C fractions also.

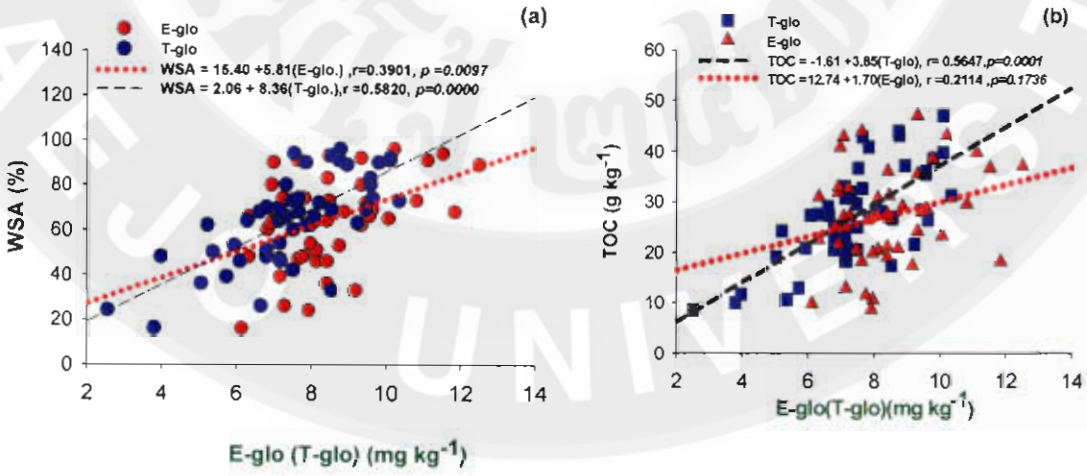


Fig.26 Relationships between glomalin related soil protein and stability of 1-2 mm-size aggregates (a) and between glomalin related soil protein and total soil carbon (b).

Table 15 Pearson's correlation coefficients of glomalin -related soil protein , organic carbon fractions and water aggregate stability and P-value in parenthesis

	E-glo	T-glo	WAS
WAS (%)	0.3901 (0.0097)	0.5820(0.0000)	
WSC	-0.0629 (0.6889)	0.3207 (0.0360)	0.4068 (0.0068)
HWSC	0.0532 (0.7346)	0.3781(0.0124)	0.6110 (0.0000)
POC	-0.0751(0.6320)	0.4555 (0.0021)	0.7822 (0.0000)
FPOM	0.3359(0.0277)	0.6114 (0.0000)	0.7796 (0.0000)
LPOM	0.2579 (0.0961)	0.6116 (0.0000)	0.7416 (0.0000)
TOC	0.2114 (0.1736)	0.5647 (0.0001)	0.8242 (0.0000)
Clay	0.4499 (0.0025)	0.0414 (0.7922)	-0.0190 (0.9037)

Conclusion

The average C storage ranged from 3.48 to 7.36 kg m^2 according to land use, and was lowest in paddy soils (PAD).Meanwhile; primary forest (PF) was highest in C storage. The average E-glo and T-glo content ranged from 0.02 to 0.06 % and 0.02 to 0.04 % of total C respectively between various land-use classes. In this study the SF areas which had clearly the highest coarse POM content (28.28 % of TOC) had a moderate to highest fine POM content (45.28 % of TOC).Meanwhile, the PAD areas which lowest coarse POM content (9.46 % of TOC). This could reflect a higher degradability of the coarse POM in that area. From Table 3, % C in coarse POM and % C fine POM were closely related to glomalin and aggregate stability. Land use type with primary forest (PF) that occurred in mountainous area showed the highest aggregate stability, and an amount of glomalin-related soil protein, due to lack of tillage and least disturbed managements. This study found a positive relationship between soil aggregate stability and glomalin content and carbon fractions content.

งานวิจัยที่ 6 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในระดับความชื้นต่างๆและชนิดของดินต่อการเจริญเติบโตของข้าวสันป่าตอง1

ผลการทดลอง

ตารางที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า pH, Ec, DW, %root

	pH	Ec	DW(g)	%root
Geo	6.08 A	0.02 A	1.15 A	0.97 A
Etunica	6.07 A	0.01 AB	1.03 A	1.00 A
Fovcata	6.05 A	0.01 B	1.26 A	1.00 A
No	6.01 A	0.01 B	1.10 A	0.00 B
T1	6.00 A	0.02 A	0.87 B	1.58 A
T2	6.06 A	0.01 A	1.27 A	0.47 C
T3	6.07 A	0.01 A	1.15 AB	0.91 B
T4	6.06 A	0.01 A	1.25 A	0.00 D
Geo T1	6.06 A	0.02 AB	0.97 A	2.00 A
Geo T2	6.09 A	0.02 A	1.27 A	0.66 C
Geo T3	6.12 A	0.02 AB	1.04 A	1.22 B
Geo T4	6.04 A	0.02 AB	1.30 A	0.00 D
Etunica T1	5.97 A	0.01 AB	0.82 A	2.22 A
Etunica T2	6.11 A	0.01 AB	1.07 A	0.55 C
Etunica T3	6.08 A	0.02 AB	1.13 A	1.22 B
Etunica T4	6.11 A	0.01 AB	1.09 A	0.00 D
Foveata T1	6.06 A	0.02 AB	0.81 A	2.11 A
Foveata T2	6.04 A	0.01 AB	1.49 A	0.66 C
Foveata T3	6.08 A	0.02 AB	1.28 A	1.22 B
Foveata T4	6.02 A	0.01 AB	1.46 A	0.00 D
No T1	5.91 A	0.01 AB	0.87 A	0.00 D
No T2	6.02 A	0.01 B	1.23 A	0.00 D
No T3	6.01 A	0.01 AB	1.17 A	0.00 D
No T4	6.07 A	0.01 AB	1.14 A	0.00 D

*หมายเหตุ No =ไม่ใส่เชื้อ, T1= น้ำขังที่ 2 ซม., T2=ระดับความชื้นที่ 60%, T3=ระดับความชื้นที่30%, T4=ระดับความชื้นที่ 0.3 bar

จากการศึกษาพบว่าชนิดของเชื้อ และระดับความชื้นทั้งสี่ระดับไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างของค่า pH ในดินอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของค่า Ecพบว่าเชื้อ *Glomus geosporum* มีผลให้มีค่า Ecมากสุดที่ 0.02 และพบว่าระดับความชื้นไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกัน เมื่อนำชนิดของเชื้อมาสหสัมพันธ์กับระดับความชื้น พบว่า เชื้อ *Glomus geosporum* ที่ระดับความชื้น 60%(T2) ให้ค่าสูงสุดที่ 0.02 ในส่วนของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งพบว่าชนิดของเชื้อไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ในส่วนของระดับความชื้น พบว่าที่ระดับความชื้น 60%(T2)และ 0.3 bar(T4)มีผลให้เกิดความแตกต่างของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุดที่ 1.27 , 1.27 g ตามลำดับ ในส่วนของ %root พบว่าชนิดของเชื้อมีผลให้เกิดการเข้ารากของเชื้อมากที่สุด โดยพบว่าเชื้อทั้งสามชนิดมีผลให้เกิดการเข้ารากไม่แตกต่างกัน และในส่วนที่ไม่มีการใส่เชื้อจะมีการเข้ารากน้อยที่สุดที่ 0.00 ที่ระดับความชื้นต่อการเข้ารากของเชื้อพบว่า ที่ระดับน้ำขังมีผลให้เกิดการเข้ารากมากที่สุดที่ 1.58 และพบว่าที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้เกิดการเข้ารากของเชื้อน้อยที่สุดที่ 0.00เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ความชื้นต่อการเข้ารากของเชื้อ พบว่า เชื้อทั้งสามชนิดที่ระดับน้ำขังมีผลให้เกิดการเข้ารากของเชื้อมากที่สุด โดยเชื้อ *Glomus geosporum* มีค่า 2.00 เชื้อ*Glomus etunicatum* มีค่า 2.22 เชื้อ *Acaulospora foveata* มีค่า2.11 และพบว่าเชื้อทั้งสามชนิดที่ระดับความชื้น 0.3bar และดินที่ไม่มีการใส่เชื้อมีผลให้เกิดการเข้ารากของเชื้อน้อยที่สุดที่ 0.00

ตารางที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า NH_4^+, NO_3^+, Urease, Avail.P

	NH_4^+ (mg kg^{-1})	NO_3^+ (mg kg^{-1})	Urease	Avail.P(mg kg^{-1})
Geo	0.60 AB	12.63 A	210.89 A	31.57 A
Etunica	0.76 A	12.95 A	209.17 A	34.95 A
Foveata	0.49 B	12.12 A	208.06 A	32.40 A
No	0.60 AB	12.97 A	208.30 A	30.78 A
T1	0.50 A	9.76 A	202.93 B	32.92 A
T2	0.64 A	12.83 A	209.82 A	32.74 A
T3	0.63 A	14.24 A	211.08 A	31.77 A
T4	0.66 A	13.84 A	212.58 A	32.26 A
Geo T1	0.53 A	9.61 A	205.24 BC	31.15 A
Geo T2	0.62 A	13.19 A	211.71 AB	35.76 A
Geo T3	0.61 A	13.04 A	208.39 ABC	29.24 A
Geo T4	0.63 A	14.70 A	218.23 A	30.13 A

EtunicaT1	0.58 A	9.58 A	206.70 ABC	39.07 A
EtunicaT2	0.82 A	12.11 A	206.82 ABC	32.81 A
EtunicaT3	0.71 A	15.10 A	212.48 AB	34.87 A
Etunica T4	0.92 A	15.00 A	210.68 ABC	33.03 A
FoveataT1	0.43 A	10.92 A	201.12 BC	32.26 A
FoveataT2	0.48 A	13.20 A	209.66 ABC	31.26 A
FoveataT3	0.56 A	11.56 A	210.77 ABC	31.67 A
Foveata T4	0.47 A	12.79 A	210.69 ABC	34.40 A
No T1	0.46 A	8.92 A	198.66 C	29.21 A
No T2	0.64 A	12.83 A	211.10 ABC	31.12 A
No T3	0.63 A	17.25 A	212.69 AB	31.31 A
No T4	0.61 A	12.86 A	210.73 ABC	31.48 A

***หมายเหตุ** No =ไม่ใส่เชื้อ, T1= น้ำขังที่ 2 ซม., T2=ระดับความชื้นที่ 60%, T3=ระดับความชื้นที่30%, T4=ระดับความชื้นที่ 0.3 bar

จากการศึกษาพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus etunicatum* มีผลให้มีค่า NH_4^+ มากที่สุดที่ 0.76 mg kg^{-1} ในส่วนระดับความชื้นและความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนของ NO_3^+ พบว่า ชนิดของเชื้อ ระดับความชื้นและความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนของ Urease พบว่าชนิดของเชื้อไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติ และระดับความชื้นพบว่า ที่ระดับน้ำขังมีผลให้ค่า Urease มีน้อยที่สุด มีค่า 202.93 mg kg^{-1} เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่า การใส่เชื้อ *Glomus geosporum* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) ให้ค่า มากที่สุดที่ 218.23 mg kg^{-1} และพบว่าการไม่ใส่เชื้อที่ระดับน้ำขังมีผลให้มีค่า Urease น้อยที่สุดที่ 198.66 mg kg^{-1} ในส่วนของความเป็นประโยชน์ของ P ในดินพบว่า ชนิดของเชื้อ และระดับความชื้น ไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า C in soil, C-smb, poc, toc,wsc, hwsc, soc

	Csol	C smb	poc(g kg^{-1})	toc(mg kg^{-1})	wsc(mg kg^{-1})	hwsc(mg kg^{-1})	soc(%)
Geo	58.347 A	65.84 A	4.15 A	1.41 B	29.88 B	68.72 A	1.22 A
Etuniea	62.736 A	43.16 A	3.71 C	1.39 B	29.61 B	64.27 A	1.17 B
Foveata	67.391 A	44.71 A	3.33 D	1.42 B	33.77 A	63.44 A	1.16 B
No	59.813 A	47.23 A	3.98 B	1.88 A	27.11 B	64.55 A	1.24 A
T1	61.88 A	42.32 A	3.53 B	1.57 AB	26.55 B	65.94 A	1.21 AB

T2	58.81 A	50.92 A	4.01 A	1.36 B	27.66 B	64.55 A	1.17 B
T3	61.46 A	51.98 A	4.03 A	1.40 B	32.38 A	64.00 A	1.18 B
T4	66.124 A	55.73 A	3.59 B	1.77 A	33.77 A	66.50 A	1.24 A
Geo T1	60.85 A	70.03 A	3.86 DE	1.51 BC	27.11 CD	75.11 A	1.26 AB
Geo T2	55.61 A	56.78 A	4.55 A	1.19 C	26.00 D	64.00 BC	1.20 ABCDE
Geo T3	56.41 A	74.08 A	4.39 AB	1.42 BC	36.00 AB	66.22 ABC	1.19 BCDEF
Geo T4	60.50 A	62.47 A	3.78 EF	1.50 BC	30.44 BCD	69.55 AB	1.25 ABC
EtunicaT1	67.65 A	28.58 A	3.36 GH	1.42 BC	28.22 CD	62.88 BC	1.20 ABCDE
EtunicaT2	60.14 A	47.34 A	4.04 C	1.35 BC	29.33 CD	62.88 BC	1.13 F
EtunicaT3	60.99 A	49.09 A	4.01 CD	1.29 BC	26.00 D	65.11 ABC	1.18 CDEF
EtunicaT4	62.14 A	47.64 A	3.45 G	1.48 BC	36.00 AB	66.22 ABC	1.17 DEF
FoveataT1	66.68 A	26.91 A	3.46 G	1.51 BC	32.66 BC	60.66 BC	1.12 F
FoveataT2	59.56 A	56.34 A	3.36 GH	1.29 BC	27.11 CD	66.22 ABC	1.13 EF
FoveataT3	70.01 A	45.66 A	3.28 H	1.22 BC	36.00 AB	58.44 C	1.13 EF
Foveata T4	73.30 A	49.94 A	3.23 H	1.65 BC	39.33 A	68.44 ABC	1.27 A
No T1	52.32 A	43.75 A	3.71 EF	1.82 B	19.33 E	65.11 ABC	1.24 ABC
No T2	59.92 A	43.21 A	4.25 B	1.60 BC	28.22 CD	65.11 ABC	1.24 ABC
No T3	58.45 A	39.10 A	4.28 B	1.67 BC	31.55 BCD	66.22 ABC	1.23 ABCD
No T4	68.54 A	62.85 A	3.68 F	2.44 A	29.33 CD	61.77 BC	1.27 A

*หมายเหตุ No =ไม่ใส่เชื้อ, T1= น้ำขังที่ 2 ซม., T2=ระดับความชื้นที่ 60%, T3=ระดับความชื้นที่30%, T4=ระดับความชื้นที่ 0.3 bar

จากการศึกษาพบว่า ชนิดของเชื้อและระดับความชื้นไม่มีผลให้ปริมาณ Carbon in soil solution และ ปริมาณ Carbon in SMB มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนของ poc พบว่าเชื้อ *Glomus geosporum* มีผลให้ค่า poc มีปริมาณสูงสุดที่ 4.15 g kg^{-1} รองลงมาคือการมาใส่เชื้อมีค่า 3.98 g kg^{-1} และพบว่าเชื้อ *Acaulospora foveata*มีผลให้มีปริมาณ poc น้อยที่สุดที่ 3.33 g kg^{-1} ที่ระดับความชื้นต่างๆพบว่า ที่ระดับความชื้น 60%(T2) และความชื้น 30%(T3)มีผลให้มีปริมาณ poc มากที่สุดที่ 4.01 , 4.03 g kg^{-1} ตามลำดับ รองลงมาคือที่ระดับน้ำขัง (T1) และที่ระดับ 0.3 bar (T4) 3.53, 3.59 g kg^{-1} ตามลำดับ 93 เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้น พบว่า การใส่เชื้อ *Glomus geosporum* ที่ความชื้น 60% (T2) มีผลให้ค่า poc มากที่สุดที่ 4.55 g kg^{-1} และพบว่าเชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น 30% (T3) และความชื้นที่ 0.3 bar (T4) มีผลให้มีปริมาณ poc น้อยที่สุดที่3.28 , 3.23 g kg^{-1} ตามลำดับ ในส่วนของ toc พบว่าการไม่ใส่เชื้อมีผลให้มีค่า toc มากที่สุดที่ 1.88 mg kg^{-1} และพบว่าที่ระดับความชื้น 0.3 bar มีค่า toc มากที่สุดที่ 1.77 mg kg^{-1} และพบว่าความชื้นที่ 60% (T2) และความชื้นที่ 30% (T3) มีผลให้ค่า toc น้อยที่สุดที่ 1.36 ,

1.40 mg kg^{-1} ตามลำดับเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการไม่ใส่เชื้อที่ความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้มีค่า toc มากที่สุดที่ 2.44 mg kg^{-1} และพบว่าการใส่เชื้อ*Glomus geosporum* ที่ความชื้น60% (T2) มีผลให้ค่า toc น้อยที่สุดที่ 1.19 mg kg^{-1} ในส่วนของ wsc พบว่าเชื้อ *Acaulospora foveata* มีผลให้ค่า wsa มากที่สุดที่33.77 mg kg^{-1} และพบว่าที่ระดับความชื้น 30% (T3) และความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้ค่า wsc มากที่สุดที่ 32.38 , 33.77 mg kg^{-1} ตามลำดับ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้ค่า wsc มีค่ามากที่สุดที่ 39.33 mg kg^{-1} และพบว่าการไม่ใส่เชื้อที่ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้มีปริมาณ wsc น้อยที่สุดที่ 19.33 mg kg^{-1} ในส่วนของhwsc พบว่าชนิดของเชื้อและระดับความชื้นไม่มีผลให้ปริมาณ hwsc มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus geosporum* ที่ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้มีค่า hwsc มากที่สุดที่ 75.11 mg kg^{-1} และพบว่าการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น30% (T3) มีผลให้มีค่า hwscน้อยที่สุดที่ 58.44 mg kg^{-1} ในส่วนของ socพบว่า เชื้อ *Glomus geosporum* และที่ไม่มีการใส่เชื้อ มีผลให้ปริมาณ soc มากที่สุดที่ 1.22 , 1.24 % ตามลำดับ ที่ระดับความชื้นพบว่า ที่ระดับ 0.3 bar (T4) มีผลให้มีค่า socมากที่สุดที่ 1.24% เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) และการไม่ใส่เชื้อที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) ให้ปริมาณ soc มากที่สุดที่ 1.27, 1.27% ตามลำดับและพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus etunicatum*ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) และ การใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้ปริมาณ soc ในดินมีน้อยที่สุดมีค่า 1.13, 1.12% ตามลำดับ

ตารางที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า N concentrations, P concentrations, K concentrations, N uptake, P uptake, K uptake

	nc(mg kg^{-1})	pc(mg kg^{-1})	kc(mg kg^{-1})	nup(mg $plant^{-1}$)	pup(mg $plant^{-1}$)	kup(mg $plant^{-1}$)
Geo	1.12 A	0.17 B	3.06 A	13.91 A	1.94 A	34.16 A
Etunica	1.17 A	0.20 A	2.46 D	12.12 A	2.21 A	24.59 B
Foveata	1.14 A	0.20 A	2.75 B	14.71 A	2.51 A	34.24 A
No	1.09 A	0.19 A	2.68 C	12.28 A	2.18 A	30.08 AB
T1	1.20 A	0.17 C	2.67 B	11.26 A	1.49 B	22.93 B
T2	1.12 A	0.18 BC	2.68 B	14.53 A	2.34 A	34.34 A
T3	1.09 A	0.19 B	3.28 A	13.02 A	2.25 A	36.72 A
T4	1.11 A	0.22 A	2.32 C	14.21 A	2.78 A	29.09 AB
Geo T1	1.25 A	0.14 F	3.03 C	13.44 A	1.49 BC	28.91 ABC

Geo T2	1.09 A	0.17 EF	2.86 DE	15.36 A	2.04 BC	37.13 ABC
Geo T3	1.11 A	0.17 EF	3.82 A	12.33 A	1.69 BC	37.33 ABC
Geo T4	1.06 A	0.21 BC	2.51 G	14.50 A	2.55 ABC	33.28 ABC
EtunicaT1	1.32 A	0.19 CDE	2.62 F	11.39 A	1.54 BC	21.36 BC
EtunicaT2	1.14 A	0.18 CDE	2.40 H	12.29 A	2.11 ABC	25.38 BC
EtunicaT3	1.08 A	0.21 BC	2.92 D	12.16 A	2.75 ABC	32.03 ABC
EtunicaT4	1.15 A	0.22 AB	1.90 K	12.65 A	2.43 ABC	19.58 C
FoveataT1	1.09 A	0.16 EF	2.76 E	9.40 A	1.29 C	21.74 BC
FoveataT2	1.20 A	0.19 CDE	2.64 F	17.37 A	2.80 AB	40.13 AB
FoveataT3	1.06 A	0.20 BCD	3.55 B	14.22 A	2.37 ABC	44.27 A
FoveataT4	1.22 A	0.24 A	2.06 J	17.84 A	3.57 A	30.84 ABC
No T1	1.16 A	0.17 DE	2.26 I	10.82 A	1.62 BC	19.71 C
No T2	1.05 A	0.18 CDE	2.81 E	13.10 A	2.40 ABC	34.72 ABC
No T3	1.12 A	0.18 CDE	2.84 DE	13.37 A	2.16 ABC	33.24 ABC
No T4	1.02 A	0.23 AB	2.81 E	11.85 A	2.55 ABC	32.67 ABC

*หมายเหตุ No=ไม่ใส่เชื้อ, T1=น้ำขังที่ 2 ซม., T2=ระดับความชื้นที่ 60%, T3=ระดับความชื้นที่30%, T4=ระดับความชื้นที่ 0.3 bar

จากผลการทดลองพบว่าชนิดของเชื้อ และระดับความชื้นไม่มีผลให้ปริมาณ N Con.มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ในส่วนของ P Con.พบว่า เชื้อ *Glomus etunicatum* เชื้อ *Acaulospora foveata* และการไม่ใส่เชื้อมีผลให้ปริมาณ P Con. มีค่ามากที่สุดที่ 0.20 , 0.20 ,0.19 mg kg^{-1} ที่ระดับความชื้นต่างๆ พบว่า ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้ปริมาณP Con. มีค่ามากที่สุดที่ 0.22 mg kg^{-1} และพบว่าที่ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้ปริมาณP Con. มีค่าน้อยที่สุด 0.17 mg kg^{-1} เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้ค่า P Con. มีค่ามากที่สุดที่ 0.24 mg kg^{-1} และพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus geosporum* ที่ระดับการขังน้ำ (T1) มีผลทำให้ปริมาณ P Con. มีค่าน้อยที่สุด 0.14 mg kg^{-1} ในส่วนของ K Con. พบว่าชนิดของเชื้อ*Glomus geosporum* มีผลให้ปริมาณ K Con. มีค่ามากที่สุดที่ 3.06 mg kg^{-1} รองลงมาคือเชื้อ *Acaulospora foveata* มีค่า 2.75 mg kg^{-1} และพบว่าการไม่ใส่เชื้อมีผลให้ปริมาณK Con. มีค่าน้อยที่สุดที่ 2.68 mg kg^{-1} ที่ระดับความชื้นพบว่าที่ความชื้น 30% (T3) มีผลให้มีปริมาณK Con.มีค่ามากที่สุดที่ 3.28 mg kg^{-1} และพบว่าความชื้นที่ 0.3 bar (T4) มีผลให้มีปริมาณK Con. มีค่าน้อยที่สุดที่ 2.32 mg kg^{-1} เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการ ใส่เชื้อ *Glomus geosporum* ร่วมกับความชื้นที่ 30% (T3) มีผลให้ปริมาณ K Con. มีค่ามากที่สุดที่ 3.82 mg kg^{-1} รองลงมาคือการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น

30% (T3) มีผลให้ปริมาณ K Con มีค่า 3.55 mg kg^{-1} และพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus etunicatum* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้ค่าปริมาณ K Con. มีค่าน้อยที่สุด1.90 mg kg^{-1} ในส่วนของ N uptake พบว่าชนิดของเชื้อ และระดับความชื้นไม่มีผลให้ปริมาณ N uptake มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ในส่วนของ P uptake พบว่า ชนิดของเชื้อ ไม่มีผลให้ปริมาณ Puptake มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนระดับความชื้นพบว่า ที่ระดับความชื้น 60% (T2) 30% (T3) 0.3 bar (T4) มีผลให้การดูดใช้ของ P เพิ่มมากขึ้นที่ 2.34, 2.25,2.78 mg $plant^{-1}$ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้ปริมาณ Puptake มีค่ามากที่สุดที่ 3.57 mg $plant^{-1}$ และพบว่าการใส่เชื้อ*Acaulospora foveata* ที่ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้ปริมาณ Puptake มีค่าน้อยที่สุด1.29 mg $plant^{-1}$ ในส่วน K uptake พบว่าเชื้อ *Glomus geosporum* และเชื้อ *Acaulospora foveata* มีผลให้ปริมาณ K uptake มีมากที่สุดที่ 34.16, 34.24 mg $plant^{-1}$ ตามลำดับ ในส่วนของระดับความชื้นพบว่าที่ความชื้น 60% (T2) และ 30% (T3) มีผลให้ปริมาณ K uptake มีมากที่สุดที่ 34.34 , 36.72 mg $plant^{-1}$ ตามลำดับ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น30% (T3) มีผลให้ปริมาณ K uptake มีมากที่สุดที่ 44.27 mg $plant^{-1}$ และพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus etunicatum* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) และไม่ใส่เชื้อที่ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้ปริมาณK uptake มีน้อยที่สุด19.58, 19.71 mg $plant^{-1}$ ตามลำดับ

ตารางที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า Fe, Cu, Zn, Mn

	Fe(mg kg^{-1})	Cu(mg kg^{-1})	Zn(mg kg^{-1})	Mn(mg kg^{-1})
Geo	125.48 B	2.12 A	4.23 A	58.347 A
Etunica	149.06 AB	2.43 A	4.31 A	62.736 A
Foveata	172.13 A	2.15 A	4.55 A	67.391 A
No	160.30 AB	1.86 A	4.43 A	59.813 A
100%	144.55 A	2.34 A	4.27 A	61.88 A
60%	157.70 A	2.00 A	4.32 A	58.81 A
30%	153.35 A	2.05 A	4.41 A	61.46 A
1000%	151.37 A	2.16 A	4.52 A	66.124 A
Geo 100	124.65 A	2.57 A	3.88 B	60.85 A
Geo 60	130.12 A	2.00 A	4.24 AB	55.61 A
Geo 30	121.36 A	1.94 A	4.28 AB	56.41 A
Geo 1000	125.80 A	1.98 A	4.50 AB	60.50 A

Etunica 100	157.18 A	2.74 A	4.39 AB	67.65 A
Etunica 60	142.47 A	2.47 A	4.25 AB	60.14 A
Etunica 30	154.92 A	2.05 A	4.44 AB	60.99 A
Etunica 1000	130.83 A	2.46 A	4.18 AB	62.14 A
Foveata 100	168.03 A	2.38 A	4.68 AB	67.65 A
Foveata 60	189.85 A	1.94 A	4.48 AB	59.56 A
Foveata 30	169.67 A	2.34 A	4.59 AB	70.01 A
Foveata 1000	171.80 A	1.93 A	4.45 AB	73.30 A
No 100	128.34 A	1.68 A	4.13 AB	52.32 A
No 60	168.38 A	1.61 A	4.30 AB	59.92 A
No 30	167.45 A	1.85 A	4.32 AB	58.45 A
No 1000	177.05 A	2.28 A	4.95 A	68.54 A

*หมายเหตุ No =ไม่ใส่เชื้อ, T1= น้ำขังที่ 2 ซม., T2=ระดับความชื้นที่ 60%, T3=ระดับความชื้นที่30%, T4=ระดับความชื้นที่ 0.3 bar

จากการทดลองพบว่าเชื้อ*Acaulospora foveata* มีผลทำให้ปริมาณ Fe ในดินสูงที่สุดที่ 172.13 mg kg^{-1} และพบว่าเชื้อ*Glomus geosporum* มีผลให้มีปริมาณ Fe ในดินน้อยที่สุดที่ 125.48 mg kg^{-1} ส่วนของระดับความชื้น และความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนของ Cu ในดินพบว่าชนิดของเชื้อ ระดับความชื้นและความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนของปริมาณ Zn ในดินพบว่าชนิดของเชื้อและระดับความชื้น ไม่มีผลให้มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่า ดินที่ไม่มีการใส่เชื้อที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) พบว่ามีผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีมากที่สุดที่ 4.95 mg kg^{-1} รองลงมาคือการใส่เชื้อ *Glomus geosporum* ที่ระดับน้ำขัง (T1) มีค่า 3.88 mg kg^{-1} ในส่วนของ Mn ในดิน พบว่า ชนิดของเชื้อ ระดับความชื้นและความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อ ระดับความชื้น ต่อค่า Fe Concentration, Cu Concentration, Zn Concentration, Mn Concentration, Fe uptake, Cu uptake, Zn uptake และ Mn uptake

	fee	euc	znc	mnc	feu	cuu	znu	mnu
Geo	268.06 C	4.54 AB	39.88 A	531.32 C	0.29 B	5.19 A	0.04 AB	0.63 A
Etunica	298.06 B	4.70 A	32.68 B	594.37 A	0.33 B	5.27 A	0.03 B	0.64 A
Foveata	342.50 A	4.36 AB	41.31 A	512.78 D	0.48 A	5.36 A	0.05 A	0.65 A
No	250.90 D	4.28 B	30.78 B	567.64 B	0.27 B	4.74 A	0.03 B	0.61 A
T1	245.35 C	3.96 C	33.00 B	509.72 C	0.20 B	3.50 B	0.02 B	0.44 C

T2	270.28 B	5.42 A	43.54 A	545.56 B	0.42 A	6.96 A	0.05 A	0.70 AB
T3	326.74 A	4.64 B	42.67 A	512.99 C	0.36 A	5.37 AB	0.04 A	0.57 BC
T4	317.15 A	3.86 C	25.46 C	637.85 A	0.39 A	4.73 B	0.02 B	0.81 A
Geo T1	168.06 G	4.55 CDE	38.02 C	510.00 GH	0.16 D	4.57 BC	0.03 BCD	0.51 BC
Geo T2	285.00 D	4.52 CDE	50.91 A	430.28 J	0.39 BCD	5.86 ABC	0.06 AB	0.54 BC
Geo T3	343.33 C	5.11 BC	45.94 B	489.44 HI	0.29 CD	5.53 ABC	0.04 BC	0.48 BC
Geo T4	275.83 D	4.00 E	24.66 F	695.56 A	0.32 BCD	4.80 BC	0.03 CD	0.98 A
Etunica T1	202.50 F	4.41 CDE	25.47 EF	512.22 GH	0.16 D	3.63 C	0.01 D	0.41 BC
Etunica T2	170.00 G	7.00 A	44.55 B	544.44 F	0.18 D	8.68 A	0.05 BC	0.61 ABC
Etunica T3	326.67 C	4.33 CDE	38.75 C	653.33 BC	0.37 BCD	5.36 ABC	0.04 BC	0.75 AB
Etunica T4	493.06 A	3.05 F	21.97 F	667.50 B	0.59 AB	3.40 C	0.02 CD	0.79 AB
Foveata T1	273.33 D	2.91 F	39.41 C	416.67 J	0.20 CD	2.16 C	0.03 CD	0.32 C
Foveata T2	402.50 B	5.80 B	54.38 A	638.33 C	0.81 A	7.90 AB	0.08 A	0.98 A
Foveata T3	400.56 B	4.83 CD	39.41 C	470.28 I	0.48 BC	5.84 ABC	0.04 BC	0.55 BC
Foveata T4	293.61 D	3.91 E	32.05 D	525.83 FG	0.41 BCD	5.53 ABC	0.04 BCD	0.75 AB
No T1	337.50 C	3.97 E	29.08 DE	600.00 D	0.28 CD	3.65 C	0.02 CD	0.51 BC
No T2	223.61 EF	4.36 CDE	24.30 F	569.17 E	0.29 CD	5.40 ABC	0.02 CD	0.69 ABC
No T3	236.39 E	4.30 DE	46.58 B	438.89 J	0.29 CD	4.74 BC	0.05 BC	0.50 BC
No T4	206.11 F	4.50 CDE	23.16 F	662.50 BC	0.23 CD	5.18 ABC	0.02 CD	0.74 ABC

*หมายเหตุ No =ไม่ใส่เชื้อ, T1= น้ำขังที่ 2 ซม., T2=ระดับความชื้นที่ 60%, T3=ระดับความชื้นที่30%, T4=ระดับความชื้นที่ 0.3 bar

จากการทดลองพบว่าเชื้อ *Acaulospora foveata* มีผลให้ปริมาณFe Con. มีค่ามากที่สุดที่ 342.50 mg kg^{-1} รองลงมาคือเชื้อ*Glomus etunicatum* มีค่า 298.06 mg kg^{-1} และพบว่าการไม่ใส่เชื้อมีผลให้ปริมาณ Fe Con.มีค่าน้อยที่สุดที่ 250.90 mg kg^{-1} ที่ระดับความชื้นต่างๆพบว่าที่ระดับความชื้น 30% (T3), 0.3 bar (T4) มีผลให้ปริมาณ Fe Con.ในดินมีมากที่สุดที่ 326.74, 317.15 mg kgและพบว่าที่ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้มีปริมาณ Fe Con. ในดินน้อยที่สุดที่ 245.35 mg kg^{-1} เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus etunicatum* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้ปริมาณ Feในดินมีมากที่สุดที่ 493.06 mg kg^{-1} และพบว่าใส่เชื้อ *Glomus geosporum* ที่ระดับน้ำขัง (T1)และ เชื้อ*Glomus etunicatum* ที่ระดับความชื้น 60% (T2) มีผลให้ปริมาณ Fe Con. ในดินน้อยที่สุดที่ 168.06 ,170.00 mg kg^{-1} ตามลำดับในส่วนของ Cu Con. พบว่าเชื้อ *Glomus etunicatum* มีผลให้มี Cu Con. ในดินมีปริมาณมากที่สุดที่ 4.70mg kg^{-1} และพบว่าการไม่ใส่เชื้อมีผลให้มีปริมาณ Cu Con. ในดินน้อยที่สุดที่ 4.28 mg kg^{-1} ที่ระดับความชื้นต่างๆพบว่า ที่ระดับความชื้น60% (T2) มีผลให้ปริมาณCu Con. ในดินมีมากที่สุดที่ 5.42 mg kg^{-1} และพบว่า ที่ระดับน้ำขัง (T1) และ 0.3 bar (T4)มีผลให้ Cu Con. ในดินมีน้อยที่สุดที่ 3.96 , 3.86 mg kg^{-1} ตามลำดับเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus etunicatum* ระดับความชื้น 60% (T2) มีผลให้ปริมาณCu Con. ในดินมีค่ามากที่สุดที่ 7.00 mg kg^{-1} รองลงมาคือการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ความชื้น 60% (T2) มีค่า 5.80 mg kg^{-1} และ

พบว่าการใส่เชื้อ*Glomus etunicatum* ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) และการใส่เชื้อ*Acaulospora foveata*ที่ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้มีค่า Cu Con.น้อยที่สุด 3.05 , 2.91 mg kg^{-1} ตามลำดับในส่วนของ Zn Con. พบว่า เชื้อ *Glomus geosporum* และเชื้อ *Acaulospora foveata* มีผลทำให้ค่า Zn Con. ในดินมีค่ามากที่สุด 39.88 , 41.31 mg kg^{-1} ตามลำดับที่ระดับความชื้นต่างๆพบว่าที่ระดับความชื้น60% (T2) และ 30% (T3) มีผลให้มีปริมาณ Zn Con. ในดินมีค่ามากที่สุด43.54 , 42.67 mg kg^{-1} ตามลำดับเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น 60% (T2) มีผลให้มี Zn Con. ในดินมากที่สุด54.38 mg kg^{-1} ในส่วนของ Mn Con. พบว่าเชื้อ*Glomus etunicatum* มีผลให้มีปริมาณ Mn Con. มากที่สุด 594.37 mg kg^{-1} รองลงมาคือการไม่ใส่เชื้อ 567.64 mg kg^{-1} และ เชื้อ*Acaulospora foveata* มีผลให้มีค่า Mn Con. น้อยที่สุดที่ 512.78 mg kg^{-1} ที่ระดับความชื้นพบว่าที่ความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้มีค่า Mn Con. มากที่สุด 637.85 mg kg^{-1} และพบว่า ที่ระดับน้ำขัง (T1) และความชื้น 30% (T3) มีผลให้มีค่า Mn Con. น้อยที่สุด ที่ 509.72, 512.99 mg kg^{-1} ตามลำดับ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus geosporum* ที่ความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้มีปริมาณ Mn Con. มากที่สุดที่ 695.56 mg kg^{-1} ในส่วนของการดูดใช้ Fe พบว่าเชื้อ *Acaulospora foveata*มีผลให้มีการดูดใช้ Fe มากที่สุดที่ 0.48 mg kg^{-1} ที่ระดับความชื้นต่างๆพบว่า ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้การดูดใช้ Fe ต่ำสุด มีค่า0.20 mg kg^{-1} เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ Foveataที่ระดับความชื้น 60% (T2) มีผลให้มีการดูดใช้ Fe มากที่สุดที่ 0.81 mg kg^{-1} ในส่วนของการดูดใช้ Cu พบว่า ชนิดของเชื้อไม่มีผลต่อการดูดใช้ Cu ในดินที่ระดับความชื้นต่างๆพบว่า ความชื้น60% (T2) มีผลให้มีการดูดใช้ Cu ในดินมากที่สุด 6.96 mg kg^{-1} รองลงมาคือระดับน้ำขัง (T1) และความชื้นที่ 0.3 bar (T4)3.50 , 4.73 mg kg^{-1} ตามลำดับ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ *Glomus etunicatum* ระดับความชื้น 60% (T2)มีผลให้มีการดูดใช้ Cu ในดินมากที่สุดคือ8.68 mg kg^{-1} ในส่วนของการดูดใช้ Zn พบว่าเชื้อ *Acaulospora foveata* มีผลให้มีการดูดใช้ Zn มากที่สุด0.05 mg kg^{-1} ที่ระดับความชื้นต่างๆพบว่า ที่ความชื้น 60% (T2) และ 30% (T3) มีผลให้การดูดใช้ Zn ในดินมีค่ามากที่สุดที่ 0.05, 0.04 mg kg^{-1} ตามลำดับ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่าการใส่เชื้อ*Acaulospora foveata*ที่ระดับความชื้น 60% (T2) มีผลให้มีการดูดใช้ Zn มากที่สุด 0.08 mg kg^{-1} และพบว่าการใส่เชื้อ*Glomus etunicatum* ที่ระดับน้ำขัง (T1)มีผลให้การดูดใช้ Zn ในดินมีค่าน้อยที่สุดที่0.01 mg kg^{-1} ในส่วนของการดูดใช้ Mnพบว่า ชนิดของเชื้อไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความชื้นต่างๆพบว่า ที่ระดับความชื้น 0.3 bar (T4) มีผลให้ปริมาณการดูดใช้ Mnในดินมีค่ามากที่สุด 0.81 mg kg^{-1} และพบว่าที่ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้มีการดูดใช้ Mn

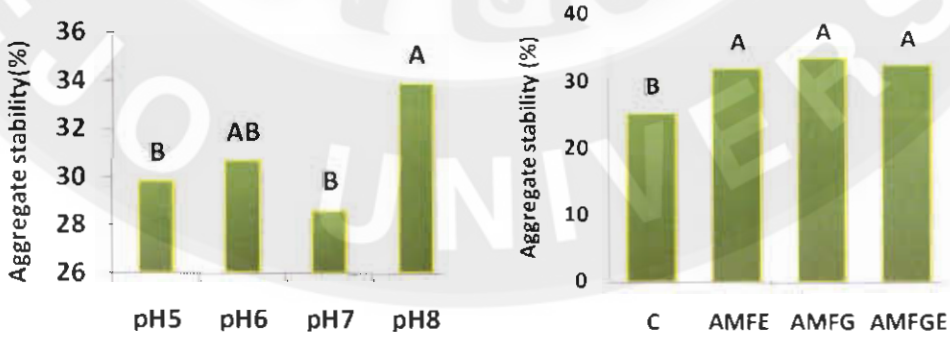
น้อยที่สุดที่ 0.44 mg kg^{-1} เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อต่อระดับความชื้นพบว่า การใส่เชื้อ *Glomus geosporum* ที่ความชื้น 0.3 bar (T4)และ เชื้อ *Acaulospora foveata* ที่ระดับความชื้น 60% (T2) มีผลให้มีการดูดใช้ Mnในดินมากที่สุด0.98, 0.98 mg kg^{-1} ตามลำดับและพบว่าการใส่เชื้อ *Acaulospora foveata*ที่ระดับน้ำขัง (T1) มีผลให้มีการดูดใช้ Mnในดินน้อยที่สุดที่ 0.32 mg kg^{-1}

งานวิจัยที่ 7 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน ความคงทนเม็ดดิน และ อะลูมินัม (Al) ในดิน

ผลการศึกษา

ผลของการใส่สปอร์ AMFและระดับ pH ของดินต่อความคงทนของเม็ดดิน (Soil Aggregate Stability)

ความคงทนของเม็ดดินเป็นตัวชี้วัดโครงสร้างของดิน ทั้งขนาดของอนุภาค ความพรุนของดิน โครงสร้างดินจะเป็นตัวบงชี้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Paul and Clark, 1989) และมีบทบาทต่อการลดกัดกร่อนและ ลดการชะหน้าดิน ผลการศึกษาพบว่าผลของระดับ pH ของดินมีผลทำให้ความคงทนของเม็ดดินมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าความคงทนของเม็ดดินที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ pH8 เท่ากับ 33.87% และความคงทนของเม็ดดินที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่มี pH7 เท่ากับ 28.67%**(รูปที่27)** และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้ความคงทนของเม็ดตินมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าความคงทนของเม็ดดินที่มีค่าสูงสุดคือตินที่ใส่สปอร์ AMFG เท่ากับ 33.42% และความคงทนของเม็ดดินที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่ - AMF เท่ากับ 25.33% **(รูปที่27)**



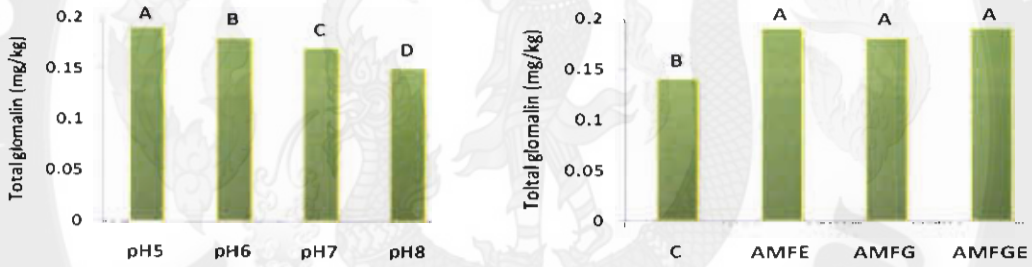
รูปที่ 27 ความคงทนของเม็ดดิน ของระดับ pH ต่างๆและการใส่สปอร์ AMF

Note: Per means (Bars) followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

ผลของการใส่สปอร์ AMF และระดับ pH ของดินต่อสารโกลมาลินที่สกัดได้

ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด

จากการศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด พบว่าผลของระดับ pH ของดินมีปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดสูงที่สุดคือ pH5 มีค่าเท่ากับ 0.197 mg/kg ขณะที่ โกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดต่ำที่สุดคือ pH8 มีค่าเท่ากับ 0.153 mg/kg และปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดในแต่ละ pH มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% **(รูปที่ 28)** และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่สปอร์ AMFโดยพบว่าปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ใส่สปอร์ AMFE เท่ากับ 0.19 mg/kg และปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมดที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่ไม่ใส่สปอร์ AMF เท่ากับ 0.13 mg/kg

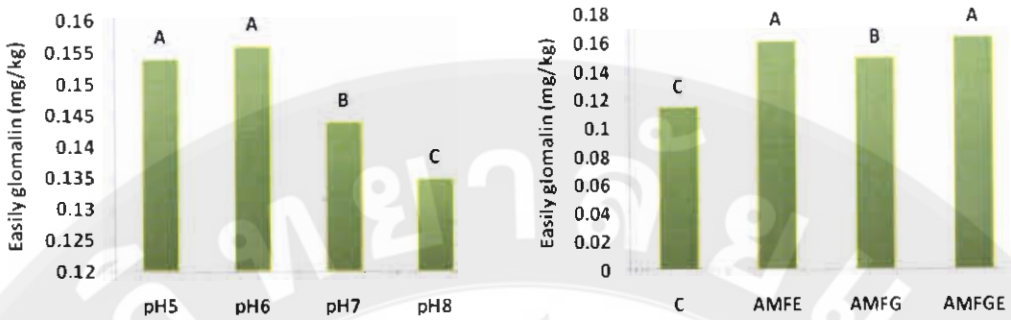


รูปที่ 28 ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ทั้งหมด ของระดับ pH ต่างๆและการใส่สปอร์ AMF

Note: Per means (Bars) followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย

จากการศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆต่อปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย พบว่าผลของระดับ pH ของดินมีปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย สูงที่สุดคือ pH6 มีค่าเท่ากับ 0.156 mg/kg ขณะที่ โกลมาลินที่สกัดได้ง่าย ต่ำที่สุดคือ pH8 มีค่าเท่ากับ 0.135 mg/kg และปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายใน pH ต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% **(รูปที่ 29)** และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ใส่สปอร์ AMFGE เท่ากับ 0.163 mg/kg และปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่ายที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่ไม่ใส่สปอร์ AMF เท่ากับ 0.113 mg/kg **(รูปที่ 29)**

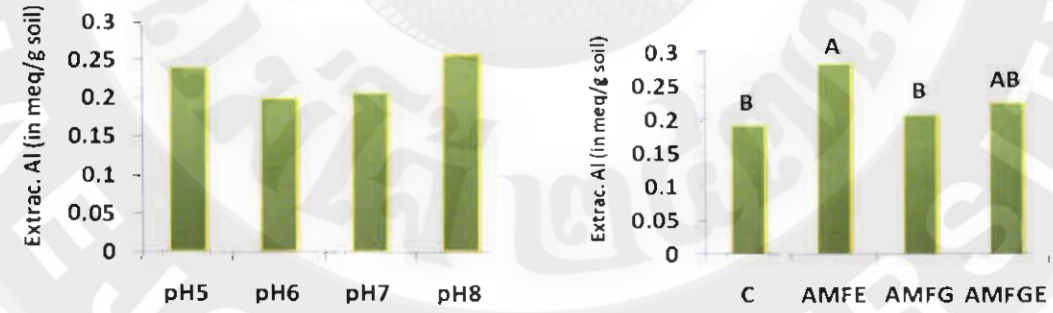


รูปที่ 29 ปริมาณสารโกลมาลินที่สกัดได้ง่าย ของระดับ pH ต่างๆและการใส่สปอร์ AMF

Note: Per means (Bars) followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

ผลของการใส่สปอร์ AMFและระดับ pH ของดินต่ออะลูมินัม (Al) ที่สกัดได้ในดิน

ผลการศึกษาพบว่าผลของระดับ pH ของดินมีผลทำให้อะลูมินัมที่สกัดได้ในดิน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และผลของการใส่สปอร์ AMF มีผลทำให้อะลูมินัมที่สกัดได้ในดินมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าอะลูมินัมที่สกัดได้ในดินที่มีค่าสูงสุดคือดินที่ใส่สปอร์ AMFE เท่ากับ 0.283 meq/g soil และอะลูมินัมที่สกัดได้ในดินที่มีค่าต่ำสุดคือดินที่ - AMF เท่ากับ 0.191 meq/g soil **(รูปที่30)**



รูปที่ 30 อะลูมินัม (Al) ที่สกัดได้ในดิน ของระดับ pH ต่างๆและการใส่สปอร์ AMF

Note: Per means (Bars) followed by the same letter are not significantly different (LSD, $P = 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาบทบาทเชื้อราอาบัสคูลาไมคอร์ไรซาต่อโกลมาลิน ความคงทนเม็ดดินและอะลูมินัมในดินพบว่าการใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาส่งผลต่อปริมาณโกลมาลินที่สกัดได้เพิ่มมากขึ้น การใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาส่งผลต่อปริมาณความคงทนเม็ดดินเพิ่มมากขึ้น และจากการศึกษาพบว่าการใส่เชื้อราไมคอร์ไรซามีผลต่อปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ในดินด้วย ดังนั้นการศึกษาบทบาทของเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อปริมาณของอะลูมินัมในดิน ซึ่งจะมีการศึกษาต่อไป

งานวิจัยที่ 8 ผลของดินที่ปลูกข้าวภายใต้เกษตรเคมีและอินทรีย์ต่อความหลากหลายและชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าในดินที่มีการปลูกข้าวภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ จะพบว่ามีปริมาณชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามากที่สุดที่ 392 สปอร์ ในส่วนดินที่มีการปลูกข้าวภายใต้เกษตรเคมีพบว่ามีปริมาณเชื้อราไมคอร์ไรซา 81 สปอร์ และพบว่าเชื้อ *Glomus etunicatum* ในดินที่มีการปลูกข้าวภายใต้เกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์มีปริมาณเชื้อราไมคอร์ไรซามากที่สุดถึง 139 สปอร์ รองลงมาคือเชื้อ *Glomus geosporum* พบถึง 121 สปอร์ และพบว่าเชื้อ *Acaulospora tuberculata, Gigaspora decipiens, Gigaspora rosea* พบปริมาณเชื้อราไมคอร์ไรซาน้อยที่สุดจำนวน 1 สปอร์

ตารางที่22 ผลของดินที่ปลูกข้าวภายใต้เกษตรเคมีและอินทรีย์ต่อจำนวนและชนิดของอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่า

ชนิดของเชื้อ	OR1	OR2	OR3	OR4	OR5	OR6	CR1	CR2
Acaulospora foveata	5	3						4
Acaulospora mellea	2		2					
Acaulospora scrobiculata	2							
Acaulospora spinosa				2				
Acaulospora tuberculata				1				
Gigaspora albida		2	2					
Gigaspora decipiens				1				
Gigaspora rosea						1		
Glomus claroideum	4		1			2		
Glomus clarum		1	1	1	3			
Glomus eburneum		3						
Glomus etunicatum	19	15	13	23	20	17	14	18
Glomus fistulosum		2						
Glomus geosporum		21	17	15	26	24	8	10
Glomus intraradices		1	6					
Glomus lamellosum			2			3		

Glomus luteum	6		1		2			
Glomus manihotis		2	1	2	1	1		
Glomus mosseae	10	7		7	3	6		
Glomus sinuosum			1		1			
Glomus spurcum		3				1		
Glomus verruculosum			2			1		
Glomus viscosum						2		
Scutellospora calospora		1		1				
Scutellospora coralloidea	14	10	8	8	6	10	6	6
Scutellospora dipurpurascens					2			
Scutellospora erythropa			1	2	1	5	5	3
Scutellospora gregaria							4	3
Total	62	71	58	63	65	73	37	44

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าระบบการปลูกข้าวภายใต้เกษตรอินทรีย์จะพบปริมาณเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมโครไลซามากกว่าการปลูกข้าวภายใต้ระบบเกษตรเคมี และพบว่าเชื้อที่พบมากที่สุดคือเชื้อ *Glomus etunicatum* รองลงมาคือเชื้อ *Glomus geosporum* และพบว่ามีปริมาณของเชื้อ *Acaulospora tuberculata, Gigaspora decipiens, Gigaspora rosea* น้อยที่สุด

งานวิจัยที่ 9 การคัดเลือกและการขยายสปอร์เชื้อราไมคอร์ไรซาในข้าวโพดและข้าวฟ่าง

ผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการใส่ฟอสฟอรัสต่อจำนวนสปอร์ในพืชอาศัยพบว่า ผลของการใส่ Sorghum + P จะมีปริมาณเชื้อราไมคอร์ไรซามากที่สุดที่ 95 spore/25g รองลงมาคือการใส่ Corn + P มีปริมาณสปอร์ 94 spore/25g และพบว่าการไม่ใส่ P ต่อพืชอาศัยจะพบปริมาณสปอร์น้อยที่สุด โดย Corn – P พบจำนวนสปอร์ 88

spore/25g และ Sorghum – P พบเพียง 83 spore/25g ในส่วนชนิดของเชื้อ พบว่า เชื้อ *Glomus etunicatum* มีปริมาณสปอร์มากที่สุดที่ 98.91 spore/25g และพบว่าเชื้อ *Glomus mosseae* พบปริมาณสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซาน้อยที่สุดที่ 81.86 spore/25g

ตารางที่23 ผลของการใส่ P และชนิดของพืชอาศัยต่อปริมาณสปอร์ที่ขยายได้

	G.geosporum	*G. mosseae*	*G.etunicatum*	*G.caledonium*	*A. foveata*	**Mean of (P)**
Corn + P	104	81	106	85	95	94
Sorghum + P	99	85	109	91	96	95
Corn - P	91	83	90	87	89	88
Sorghum - P	85	77	91	81	83	85
Mean of AMF	**94.91 AB**	**81.86 D**	**98.91 A**	**85.83 CD**	**90.75 BC**	

สรุปผล

จากการศึกษาการคัดเลือกละและการขยายสปอร์เชื้อราไมคอร์ไรซาในข้าวโพดและข้าวฟ่าง เราสามารถนำการศึกษาดังกล่าวไปเป็นหลักเกณฑ์ ในการขยายสปอร์ไมคอร์ไรซาในครั้งต่อๆไปได้ และในการศึกษาต่อไปควรที่จะศึกษาถึงปัจจัยของคุณสมบัติของดินที่นำมาขยายโดยละเอียดเพื่อที่จะทำให้ได้ปริมาณสปอร์ในปริมาณมาก

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย มาลา. 2550.**ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ. 300 น.

สมจิตร อยู่เป็นสุข. 2549. **ไมคอร์ไรซา Mycorrhiza**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.101น.

สมพร คนยงค์. 2534. อิทธิพลของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส เทคนิคการย่อยตัวอย่างพืชด้วยสารละลายกรดกำมะถันโซเดียมซัลเฟตและซีเลียมและเทคนิคการวัดทองแดงในพืช โดยวิธี Addition ที่มีต่อปริมาณการดูดดึงเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงใน แพงพวยฝรั่ง. ปัญหาพิเศษวิชาเทคนิคขั้นสูงในการวิเคราะห์ ดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Anderson, J.M. and J.S.I. Ingram. 1993. **Tropical Soil biology and Fertility**: A Handbook of Methods. Second edition. CAB International. Wallingford, UK. pp. 37.

Aumtong, S., J. Magid, S. Bruun and A. de Neergaard. 2009. Relating soil carbon fractions to land use in sloping uplands in northern Thailand. Agriculture, **Ecosystems & Environment**, 131: 229-239.

Bedini, S., L. Avio, E. Argese, and M. Giovannetti. 2007. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. **Agric Ecosyst Environ** 120:463–466.

Bouman,B.A.M., S. Peng, A.R. Castaneda and R.M. Visperas. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. **Agric Water Manag**. 74:87-105.

Bryla,D.R. and R.T. Koide.1998. Mycorrhizal response of two tomato genotypes relates to their ability to acquire and utilize phosphorus. **Annals of Botany**. 82: 849-857.

Danial, B.A., and H.D. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitive 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**.

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

Forno,D.A., C.J. Asher andS. Yoshida. 1975. Zinc deficiency in rice. **Plant Soil**. 42 : 551-563.

Gao,X., T. Kuyper, C. Zou and F. Zhang, E. Hoffland. 2007. Mycorrhizal responsiveness of aerobic rice genotypes is negatively correlated with their zinc uptake when nonmycorrhizal. **Plant Soil**. 290: 283-291.

Gao,X., C. Zou, X. Fan, F. Zhang and E. Hoffland. 2006. From flooded to aerobic conditions in rice cultivation: consequences for zinc uptake. **Plant Soil**. 280: 41-47.

Gao,X., C. Zou,F. Zhang, S. Zee and E. Hoffland. 2005. Tolerance to zinc deficiency in rice correlates with zinc uptake and translocation. **Plant Soil**. 278 : 253-261.

Geelhoed, J. S., T. Hiemstra and W. H. Van Riemsdijk. 1998. Competitive interaction between phosphate and citrate on goethite. **Environ. Sci. Technol**. 32:2119–2123.

Geremann, J.W., and T.H. Nicolson. 1963. Spore of mycoorrhizal endoogone 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.

Haynes, R. J. 2005. Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: **An Overview Advances in Agronomy**. Academic Press.

Hetrick,B.A.D., G.W.T. Wilson and T.S. Cox. 1992. Mycorrhizal dependence of modern wheat varieties, landraces, and ancestors. **Can. J. Bot**. 70: 2032-2040.

Hoffland,E., C. Weia and M. Wissuwa. 2006. Organic Anion Exudation by Lowland Rice (Oryza sativa L.) at Zinc and Phosphorus Deficiency. **Plant Soil.** 283: 155-162.

Jackson, M. L. 1973. **Soil Chemical Analysis.** Prentice Hall of India, New Delhi.173 p.

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

Kaeppler, S.M., J.L. Parke, S.M. Mueller, L. Senior, C. Stuber and W.F. Tracy. 2000. Variation among maize inbred lines and detection of quantitative trait loci for growth at low phosphorus and responsiveness to arbuscular mycorrhizal fungi work supported by USDA-Hatch, University of Wisconsin University-Industry relations, and Cargill Fertilizer. **Crop Sci**. 40; pp 358-364.

Kemper, N. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution in Klute, A. (ed) **Methods of soil analysis**.Part 1. SSSA, Madison,Wisconsin.

Kirk, G.J.D. and J.B. Bajita. 1995. Root-induced iron oxidation, pH changes and zinc solubilization in the rhizosphere of lowland rice. **New Phytologist**. 131: 129-137.

Kirk, G.J.D., E.E. Santos and G.R. Findenegg. 1999. Phosphate solubilization by organic anion excretion from rice (Oryza sativa L.) growing in aerobic soil. **Plant and Soil**. 211: 11-18.

Liu, Z. 1996. **Microelements in Soils of China.Jiangsu Science and Technology Publishing House**, Nanjing, China. 188 pp.

Loeppert, R.H. and W.P. Inskeep. 1996. Iron. In Method of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods (ed.D.L.Sparks), pp.639-664. **Soil Science Society of America and America Society of Agronomy**.Madson.USA.

Magid, J., G. Cadisch and K. E. Giller. 2002. Short and medium term plant litter decomposition in a tropical Ultisol elucidated by physical fractionation in a dual 13C and 14C isotope study. **Soil Biology and Biochemistry**, 34: 1273-1281.

Mandal, B., G.C. Hazra and N. Mandal,L. 2000. Soil management influences on zinc desorption for rice and maize nutrition. **Soil Sci. Soc. Am.** J. 64 : 1699-1705.

Mathimaran, N., R. Ruh, B. Jama, L. Verchot, and E. Frossard. 2007. Impact of agricultural management on arbuscular mycorrhizal fungal communities in Kenyan ferralsol. **Agric ecosyst environ** 119:22–32

McGonigle, T.P., Miller, M.H., Evans, D.G., Fairchild, G.L. and Swan, J.A. 1990. A new method which gives an objective of colonization of root by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist.** 115:495-501.

Morton, J.B. and G.L. Benny. 1990. **Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes)** : A New Order, Glomales, two new suborders, Golmineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an amendation of Glomaceae. Mycotaxon. 37: 471-491.

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

Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1986. Total C ,organic C and organic matter in Page, A. L. (ed)**Methods of soil analysis**. SSSA, Madison,Wisconsin.

Oehl, F., E. Sieverding, K. Ineichen, E.A. Ris, and T. Boller. 2005. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. **New Phytol** 165:273–283.

Ortas, I. 2003. Effect of selected mycorrhizal inoculation on phosphorus sustainability in sterile and non-sterile soils in the Harran Plain in South Anatolia. J. **Plant Nutr.** 26:1–17.

Ortas, I. 2008. **The effect of mycorrhizal inoculation on forage and non forage plant growth and nutrient uptake under the field conditions.** In: Options Mediterranean's.Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-functions. CIHEAM, Zaragoza, pp.463–469.

Ortas, I. 2010. Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. **Spanish Journal of Agricultural Research 8**, S116–S122.

Ortas, I., N. Sari, C.D. Akpinar and H. Yetisir. 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae.**128: 92–98.

Paul, E. A., and Clark, F. E. 1989. **Soil biology and biochemistry**. Academic Press, San Diego, CA.

Rengel, Z. and V. Romheld. 2000. Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. **Plant and Soil.** 222: 25-34.

Rillig, M.C., P.W. Ramsey, S. Morris, and E. A. Paul. 2003. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungi soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil.** 253: 293-299.

Rillig, M. C. 2004. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. **Ecology Letters**, 7: 740- 754.

Rillig. M.C. 2005. Polymer and Microorganisms. **In cyclopedia of soil Science**. p.287-294.

Toljander, J.F., J.C. Santos-González, A. Tehler, and R.D Finlay. 2008. Community analysis of arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria in the maize mycorrhizosphere in a long-term fertilization trial. FEMS Microbiol Ecol 65:323–338. Rothamsted and Woburn. **New Phytologist** 124: 465-472.

Sims, J. T. and G. V. Johnson. 1991. In J. J. Mortvedt, F. R. Cox,L. M. Shuman and R. M. Welch. Micronutrient soil tests. **In Micronutrient in Agriculture**. Madison,Wisconsin, pp. 427–472.

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.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. In Sparks, D.L. (ed.) Method of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. **Soil Science Society of America and American Society of Agronomy**.Madison. pp. 475-490.

Van Breemen, N. and R. U. Castro.1980. Zinc deficiency in wetland rice along a toposequence of hydromorphic soils in The Philippines. **Plant Soil.** 57: 215–221.

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.

Weil, R. R., Islm K.R., Stine M.A., Gruver J.B. and Samson-Liebig S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use . **American journal of alternative agriculture**, 18: 3-17.

Wright, S. F. and A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**161:575-586.

Wright, S. F., M. Franke-Snyder, J. B. Morton, and A. Upadhyaya. 1996.Time-course study and partial characteriza-tion of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil 181**: 193–203.

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

Wright, S.F. 2002. Glomalin Hiding Place for a Third of the world's stored soil carbon. **Agricutural Research**. p. 4-7

ภาคผนวก

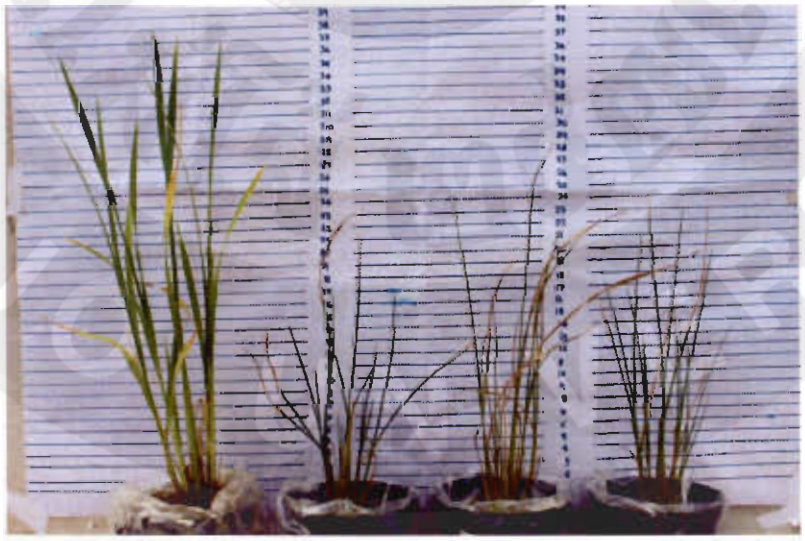
W11T1 W11T2 W11T3 W11T4

Controlชุดดินหางดง(ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W11T1

Controlชุดดินหางดง(ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ความชื้น 60% W11T2

Control ชุดดินหางดง (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ความชื้น 30% W11T3

Control ชุดดินหางดง (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W11T4



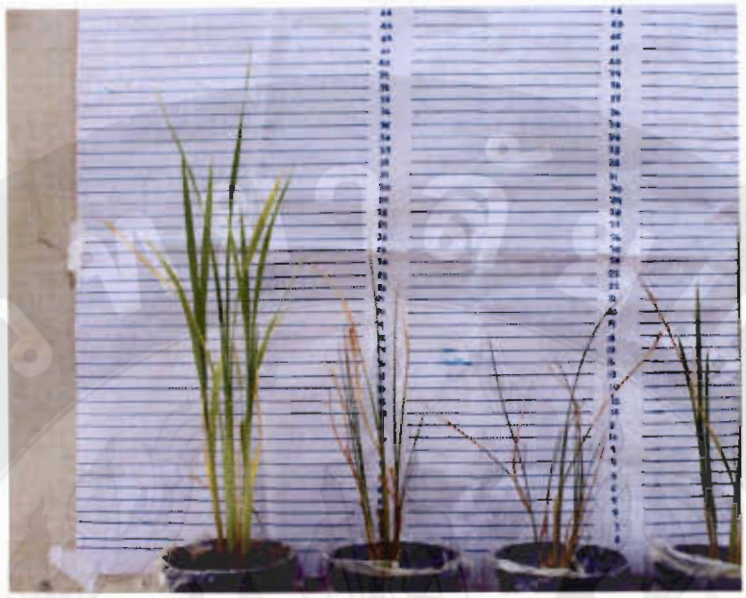
W5T1 W5T2 W5T3 W5T4

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W5T1

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 60% W5T2

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 30% W5T3

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W5T4



W6T1 W6T2 W6T3 W6T4

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W6T1

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 60% W6T2

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 30% W6T3

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W6T4

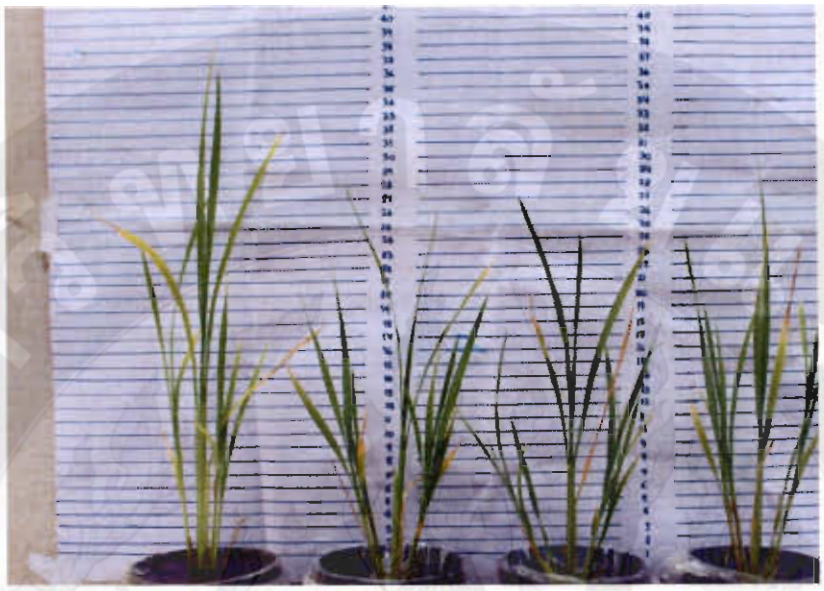
W7T1 W7T2 W7T3 W7T4

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W7T1

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 60% W7T2

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 30% W7T3

ชุดดินหางดง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W7T4



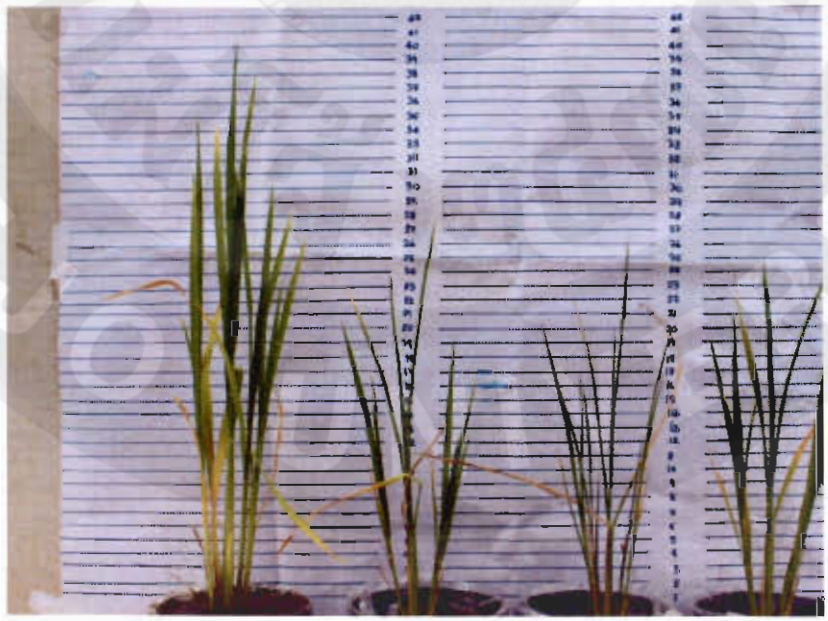
W1T1 W1T2 W1T3 W1T4

Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W1T1

Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ความชื้น 60% W1T2

Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ความชื้น 30% W1T3

Control (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W1T4



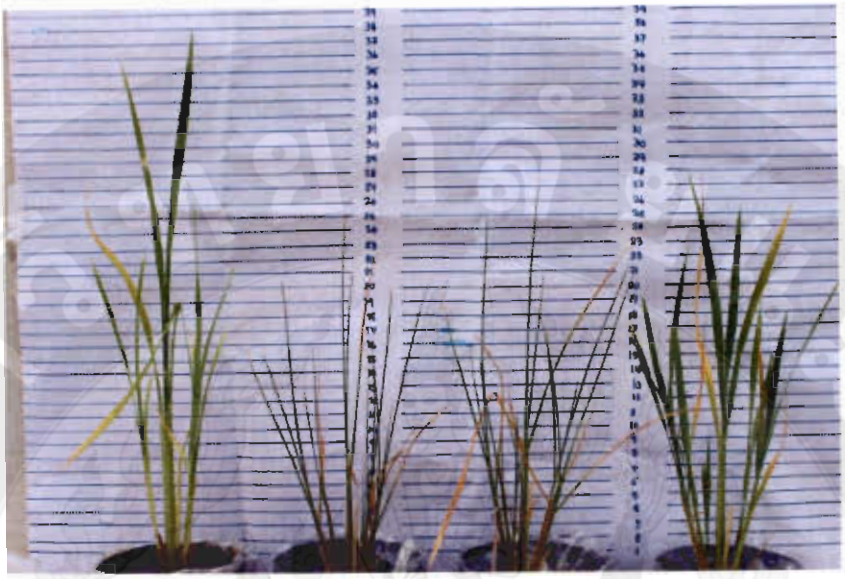
W2T1 W2T2 W2T3 W2T4

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W2T1

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 60% W2T2

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 30% W2T3

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W2T4



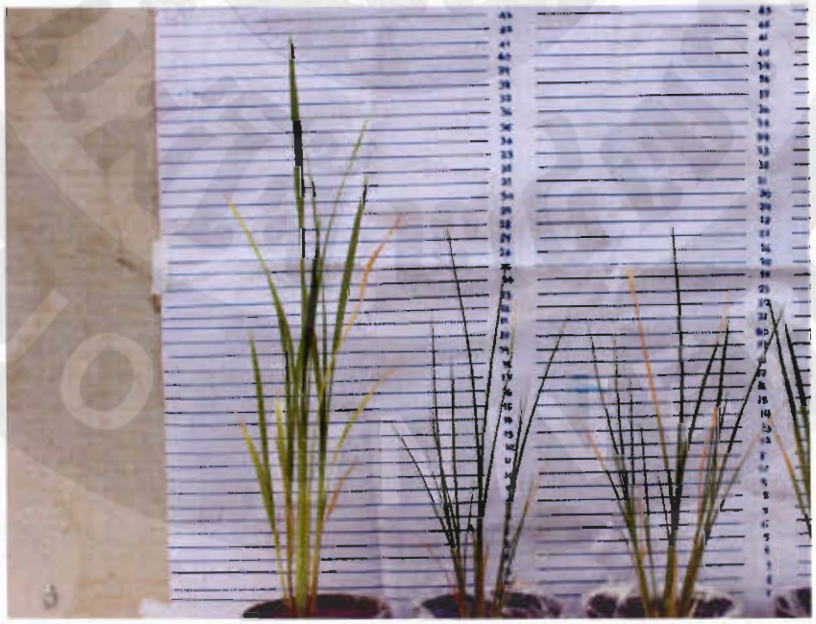
W3T1 W3T2 W3T3 W3T4

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W3T1

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 60% W3T2

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 30% W3T3

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W3T4



W4T1 W4T2 W4T3 W4T4

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W4T1

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 60% W4T2

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 30% W4T3

ชุดดินสรรพยา ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W4T4

W10T1 W10T2 W10T3 W10T4

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W10T1

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 60% W10T2

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 30% W10T3

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *A. foveata* +ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W10T4

W8T1 W8T2 W8T3 W8T4

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W8T1

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 60% W8T2

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 30% W8T3

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. geosporum*+ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W8T4

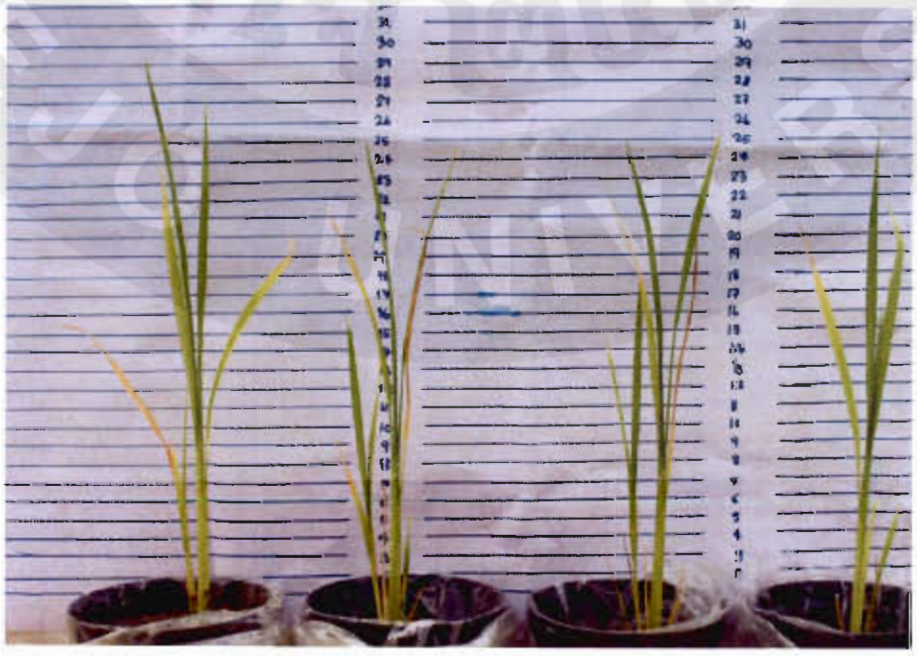
W9T1 W9T2 W9T3 W9T4

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W9T1

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 60% W9T2

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 30% W9T3

ชุดดินน้ำพอง ใส่เชื้อ *G. etunicatum* + ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W9T4



W12T1 W12T2 W12T3 W12T4

Controlชุดดินน้ำพอง (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ระดับสูง 2 ซม. W12T1

Controlชุดดินน้ำพอง (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ความชื้น 60% W12T2

Controlชุดดินน้ำพอง (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ความชื้น 30% W12T3

Controlชุดดินน้ำพอง (ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา)+ ขังน้ำที่ความชื้น 0.3 bar W12T4