จำนวนประชากรและความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และแบคทีเรียประจำถิ่นในดินบริเวณรอบรากมันสำปะหลัง

POPULATION AND DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND NATIVE BACTERIA IN RHIZOSPHERE SOIL OF CASSAVA PLANT

บุษราพร ไชยพันธ์
BOOTSARAPHON CHAIPAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2563
KMITL-2020-AG-M-065-318

จำนวนประชากรและความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และแบคทีเรียประจำถิ่นในดินบริเวณรอบรากมันสำปะหลัง

POPULATION AND DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND NATIVE BACTERIA IN RHIZOSPHERE SOIL OF CASSAVA PLANT

บุษราพร ไชยพันธ์

BOOTSARAPHON CHAIPAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-AG-M-065-318

POPULATION AND DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND NATIVE BACTERIA IN RHIZOSPHERE SOIL OF CASSAVA PLANT

BOOTSARAPHON CHAIPAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2020

KMITL-2020-AG-M-065-318

COPYRIGHT 2020

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	จำนวนประชากรและความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และแบคทีเรียประจำถิ่นในดินบริเวณรอบรากมันสำปะหลัง
นักศึกษา	นางสาวบุษราพร ไชยพันธ์
รหัสประจำตัว	59604022
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ภัทรารัตน์ เทียมเก่า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์

บทคัดย่อ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L. Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย นิยมปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงมักส่งผลให้ได้ผลผลิตมันสำปะหลังตกต่ำ มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ด้วยตามธรรมชาติซึ่งมีบทบาทช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชโดยเฉพาะฟอสฟอรัส งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาจำนวนประชากร ความหลากหลาย และความสัมพันธ์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียประจำถิ่นในดินบริเวณรอบรากมันสำปะหลัง สำรวจและเก็บตัวอย่างดินในไร่มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-30 cm บริเวณรอบรากพืชโดยใช้ soil tube วิเคราะห์สมบัติกายภาพ เคมีของดิน ธาตุอาหารในพืช ตรวจนับปริมาณเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน และประเมินการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืช ผลการศึกษาพบว่าความชื้นของดินทั้ง 9 แปลง อยู่ในระดับต่ำ ที่ระดับความลึก 0-15 cm ความชื้นของดินอยู่ในช่วง 4.39-9.04 % ระดับความลึก 15-30 cm ความชื้นของดินอยู่ในช่วง 3.23-9.09 % เนื้อดินแปลงที่ 1-3 มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (clay 15.67-17.53 % silt 10.85-11.97 % sand 71.29-73.49 %) และเนื้อดินแปลงที่ 4-9 มีเนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (clay 0.87-3.80 % silt 9.80-16.47 % sand 79.73-88.23 %) จากแผนที่ดินจัดว่าดินบริเวณที่ศึกษาอยู่ในชุดดินสัตหีบ (Sattahip soil series: Sh) สมบัติทางเคมีของดิน พบว่าทั้ง 9 แปลง ดินเป็นกรดปานกลางจนถึงกรดเล็กน้อย อินทรียวัตถุในดินต่ำ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินต่ำ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) ต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัส

(P) ที่เป็นประโยชน์ในดินสูงมาก ปริมาณโพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) ที่แลกเปลี่ยนได้ในดินต่ำ ปริมาณเหล็ก (Fe) ที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ มีแมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ที่เป็นประโยชน์ปริมาณปานกลางจนถึงสูง การวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลัง พบว่ามีปริมาณ P Ca Mg Fe Mn Zn Cu และโบรอน (B) อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง ยกเว้นโพแทสเซียมที่อยู่ในระดับต่ำ ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังที่ศึกษาอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังร่วมด้วยกลับไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน

การศึกษาเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่า ดินที่ระดับความลึก 0-15 cm พบจำนวนสปอร์ในช่วง 4.04-8.75 spore/g soil และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับ clay มีความสัมพันธ์ทางลบกับ silt และ Ca การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากพบในช่วง 14.15-32.70 % และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนสปอร์ และ clay มีความสัมพันธ์ทางลบกับ silt, P, K และ Ca ดินที่ระดับความลึก 15-30 cm พบจำนวนสปอร์ในช่วง 4.36 - 8.48 spore/g soil การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากพบในช่วง 14.46 -28.39 % และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนสปอร์ และ Clay แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับ Sand pH และ P การจำแนกสปอร์ตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอยู่ใน 2 จีนัสหลัก คือ *Glomus* และ *Acaulospora* การศึกษาลำดับเบสของเชื้อราพบว่าแบคทีเรียกลุ่ม Actinobacteria เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือ Proteobacteria และ Firmicutes จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ Acidobacteria Chloroflexi และ Ascomycota แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับเชื้อรากลุ่ม Zygomycota และ Glomeromycota ที่มีความสัมพันธ์กับแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สามารถจำแนกได้ (Unclassified) สปอร์ชนิด *Acaulospora* และ *Gigaspora* มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับเชื้อรากลุ่ม Neocallimastigomycota แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับสปอร์ชนิด *Glomus* ที่มีความสัมพันธ์กับเชื้อรากลุ่มที่ไม่สามารถจำแนกได้ (Unclassified) และแบคทีเรียกลุ่ม Cyanobacteria

Thesis	Population of arbuscular mycorrhizal fungi and native bacteria in rhizosphere soil of cassava plant
Student	Ms. Bootsaraphon Chaipan
Student ID.	59604022
Degree	Master of Science
Program	Agriculture
Year	2020
Thesis Advisor	Asst. Prof. Pattrarat Teamkao
Thesis co-advisor	Asst. Prof. Phakpen Poomipan

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz) is an important economic crop of Thailand. The plant usually grown in soil low fertility that result in low production potential. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) naturally lives with cassava root and increase nutrients uptake in plant, especially phosphorus. This research aim to study population diversity and correlation of AMF and native bacteria in rhizosphere soil of cassava plant. The soils were collected from cassava KU 50 variety from 0-30 cm deep around plant root using soil tube. The soils were analysis in physical and chemical properties, nutrients in plant, AMF spore abundance and AMF colonization in root. The result showed that soil moisture from 9 fields of study were in low level with 4.39-9.04 % between 0-15 cm deep and 3.23- 9.09 % between 15-30 cm deep. Soil texture was sandy loam in field 1-3 (15.67-17.53 % clay, 10.85-11.97 % silt, 79.73-88.23% sand) and loamy sand in field 4-9 (0.87-3.80 % clay, 9.80- 16.47 % silt, 79.73-88.23 % sand). The study areas are in Sattahip soil series. For soil chemical properties, pH of studied soils were moderate to slightly acid with low organic matter (OM), low total nitrogen (N), low cation exchange capacity (CEC) but high in available phosphorus (P). The extractable potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na) and iron (Fe) were low. The available manganese (Mn), copper (Cu) and zinc (Zn) were medium to high. Analysis of nutrient concentration in cassava leaves found that P, Cu, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu and boron (B) are at a sufficient level to meet the needs of cassava, without potassium which is

low. Nutrient concentration in cassava leaves studied is sufficient for growth. However, the analysis of nutrient in cassava leaf did not show clear direction. The study of AMF found that at 0-15 cm soil deep, spore abundance was between 4.04-8.48 spore/g soil and had positive correlation with clay content but had negative correlation with silt content and Ca. The colonization in root found between 14.15-32.70 % and had positive correlate with clay content and number of spore but had negative correlation with sand content, P, K and Ca. At 15-30 cm soil deep, spore abundance was between 4.36-8.48 spore/g soil. The colonization in root found between 14.46- 28.39 % and had positive correlation with clay content and number of spore, but had negative correlation with sand content, pH and P. The spores were identification based on morphology and found two main genus which were *Glomus* and *Acaulospora.* Fungi sequence studies showed that the highest Actinobacteria followed by Proteobacteria and Firmicutes. Number of spore and colonization had positive correlation with Acidobacteria, Chloroflexi and Ascomycota, but had negative correlation with Zygomycota and Glomeromycota, Acidobacteria Chloroflexi and Ascomycota had positive correlation with Unclassified. *Acaulospora* and *Gigaspora* had positive correlate with Neocallimastigomycota, but had negative correlation with *Glomus, Glomus* had positive correlate with Unclassified and Cyanobacteria.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ภัทรารัตน์ เทียมเก่า และอาจารย์พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน สำหรับข้อแนะนำและความช่วยเหลือในด้านการทำวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้องๆ ในห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาทุกคนที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนวิจัยจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 และทุนวิจัยจากโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา สำหรับคุณงานความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา และครอบครัวซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย

บุษราพร ไชยพันธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง VIII

สารบัญภาพ IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 สถานที่ทำการทดลอง 3

บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 มันสำปะหลัง 4

2.2 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ 6

2.3 บทบาทของจุลินทรีย์ดิน 9

2.4 ความสำคัญของจุลินทรีย์ในดิน 10

2.5 ความหลากหลายของไมคอร์ไรซาในดิน 10

2.6 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินในพื้นที่การเกษตร 13

2.7 ความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาไมคอร์ไรซาในดิน 15

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 21

3.1 การสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน 21

3.2 การวิเคราะห์สมบัติดิน 21

3.3 การศึกษาเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 24

3.4 การวิเคราะห์ DNA ของจุลินทรีย์ในดิน 26

3.5 การวิเคราะห์ลำดับเบส 27

3.6 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช 27

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 29

4.1 การสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน 29

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของดิน 30

4.3 ผลการศึกษาเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 40

4.4 ผลการจำแนกชนิดเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 42

4.5 ผลการวิเคราะห์ลำดับเบสของเชื้อราในรากพืช 43

4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติดินและเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 44

4.7 ผลการวิเคราะห์ DNA ของจุลินทรีย์ในดิน 47

4.8 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืช 49

4.9 ความสัมพันธ์ของจำนวนประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
และแบคทีเรียประจำถิ่นในดิน 51

4.10 วิจารณ์ผลการทดลอง 52

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 61

บรรณานุกรม 63

ภาคผนวก 71

ประวัติผู้เขียน 82

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดโดยใช้ชุดทดสอบแบบรวดเร็ว (Test kit)..... 30

4.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดด้วยน้ำ น้ำยาสกัด Bray II และ Mehlich I ที่ระดับความลึก 0-30 cm.....31

4.3 สมบัติทางกายภาพของดิน ที่ระดับความลึก 0-30 cm 33

4.4 ค่าวิเคราะห์สมบัติดิน pH EC CEC OM และ total N ที่ระดับความลึก 0-30 cm.....35

4.5 เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ที่ระดับความลึก 0-30 cm.....37

4.6 จุลธาตุในดิน ที่ระดับความลึก 0-15 cm.....39

4.7 การเข้าอยู่อาศัยในรากพืช และจำนวนสปอร์ในดินของ AMF ที่ระดับความลึก 0-30 cm.....41

4.8 การจำแนกชนิดของเชื้อรา AMF บริเวณรอบรากมันสำปะหลัง ที่ความลึก 0-30 cm 42

4.9 ความสัมพันธ์ของการเข้าอยู่อาศัยของ AMF ในรากพืช จำนวนสปอร์ และสมบัติของดินที่ระดับความลึก 0-15 cm.....45

4.10 ความสัมพันธ์ของการเข้าอยู่อาศัยของ AMF ในรากพืช จำนวนสปอร์ และสมบัติของดินที่ระดับความลึก 15-30 cm.....46

4.11 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลัง.....50

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ลักษณะต้นมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 6
4.1 แปลงมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง 29
4.2 แสดงโครงสร้างของเส้นใยแบบ arbuscule (A) และโครงสร้างเส้นใยแบบ vesicle (B) 40
4.3 แสดงลักษณะสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 41
4.4 ตัวอย่างสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่จำแนกเป็นจีนัสต่างๆ 43
4.5 ความชุกชุมสัมพันท์ของเชื้อราในรากจากการวิเคราะห์ลำดับเบสบนยีน ITS 44
4.6 ความชุกชุมสัมพัทธ์ของแบคทีเรียในดิน
จากการวิเคราะห์ลำดับเบสบนยีน 16s rDNA 48
4.7 ความสัมพันธ์ของจำนวนประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
และแบคทีเรียประจำถิ่นในดิน 51

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L. Crantz) เป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นพืชอาหารที่สำคัญอันดับ 5 ของโลก เป็นอาหารประเภทแป้ง หรือคาร์โบไฮเดรต ที่ให้พลังงานสำหรับมนุษย์และสัตว์ หรือใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มันสำปะหลังเป็นพืชไร่ที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทย ข้อดีคือปลูกได้ง่าย สามารถปลูกให้ขึ้นและลงหัวได้ในดินเกือบทุกประเภท ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังอันดับ 1 ของโลก มีพื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ย 8.82 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 31.08 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562ก) และมูลค่าการส่งออก 7.97 หมื่นล้านบาทต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562ข) ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมีหลายรูปแบบ เช่น มันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง ในรูปของแป้งดิบ และแป้งแปรรูป

พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ภาคตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นกลุ่มชุดดินที่มีคุณภาพต่ำ เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายหรือดินร่วนปนทราย ปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารในดินต่ำ ทำให้ปลูกมันสำปะหลังแล้วได้ผลผลิตต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน. 2558) และสาเหตุที่ทำให้ดินเสื่อมโทรมมากขึ้นเกิดจากการปลูกมันสำปะหลังเพียงชนิดเดียวติดต่อกันเป็นเวลานาน โดยไม่มีการปลูกพืชหมุนเวียน ขาดการบำรุงดิน รวมถึงการจัดการแปลงที่ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำลงเรื่อยๆ ปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำส่งผลต่อการดำเนินกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ดิน (พนิดา และคณะ. 2556) ซึ่งมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุอาหารพืช ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลงและอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และยังมีส่วนช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างดินให้ดีขึ้น (อานัฐ ตันโช. 2549)

อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อราที่อยู่ร่วมกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiosis) เส้นใยของเชื้อราที่อยู่ภายนอกรากจะดูดซับธาตุอาหารจากดิน และเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากดินมาสู่พืช (Poomipan *et al*. 2011) เส้นใยของเชื้อรามีขนาดเล็กมาก ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างต่างๆในดินได้มากกว่ารากของพืช จึงทำให้พืชที่มีเชื้อราเข้าอยู่อาศัยได้รับธาตุอาหารเพิ่มขึ้นเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทอย่างมากต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส (ทวีรัตน์ วิจิตร-สุนทรกุล. 2547) ดินที่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่ม

กิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตสเพื่อละลายฟอสฟอรัสให้ละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช และดูดซึมฟอสฟอรัสผ่านเส้นใยของเชื้อราเข้าสู่พืช เชื้อราจึงมีบทบาทอย่างมากในการดูดซึมฟอสฟอรัสให้แก่พืช (เอกรินทร์ ช่วยชู. 2558) นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ต่อพืชในด้านอื่นๆ เช่น ทำให้พืชทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ ความแห้งแล้ง ความเค็ม และช่วยลดการทำลายของศัตรูพืชในระบบรากพืชอีกด้วย (พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556) ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงมีผลยับยั้งการเข้าอยู่อาศัยในรากของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Balzergue et al.* (2013) รายงานว่า ระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่สูง ส่งผลต่อพืชอาศัยและมีผลต่อกระบวนการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในราก ซึ่งกระบวนการที่ควบคุมการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากพืชนั้นเกี่ยวข้องกับหลายกลไก อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินไม่มีผลโดยตรงต่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากพืช และทั้งปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่ได้มีผลในการทำลายเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา นอกจากนี้ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาไมคอร์ไรซาในรากพืช ได้แก่ ปริมาณเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเดิมในดิน ชนิดพืชอาศัย ปริมาณคาร์บอนในดิน ปริมาณไนโตรเจนในดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน ความเค็มของดิน ความชื้นในดิน และจุลินทรีย์อื่นๆ ที่เจริญอยู่ในดิน (Abbott and Lumley. 2014)

ปัจจุบันได้มีการศึกษาอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับการเจริญเติบโตของพืชจำนวนมาก แต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จมากนักในการใช้จริงในแปลงเกษตรกร และการใช้ในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง มีแนวโน้มว่าอาจเป็นเพราะเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีอยู่เดิมในดิน จุลินทรีย์ประจำถิ่นอื่นๆ ที่ทำให้การใช้อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในระดับแปลงปลูกไม่ได้ประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจำนวนประชากรและความหลากหลายของจุลินทรีย์ประจำถิ่นในดิน บริเวณรอบรากมันสำปะหลัง โดยมุ่งเน้นที่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีอยู่เดิมในดิน และเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาจำนวนประชากรและความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินบริเวณรอบรากมันสำปะหลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาจำนวนประชากรและความหลากหลายของแบคทีเรียประจำถิ่นในดินบริเวณรอบรากมันสำปะหลัง

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของจำนวนประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียประจำถิ่น

1.3 สถานที่ทำการทดลอง

1.3.1 แปลงมันสำปะหลังของเกษตรกร ที่ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง

1.3.2 ห้องวิจัยจุลชีววิทยาทางดิน (B 418) อาคารเจ้าคุณทหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกกันทั่วไปว่า Cassava หรือ Tapioca มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ เช่น ประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส และบราซิล ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมา 3,000 ถึง 7,000 ปีแล้ว ต่อมาได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆ ของโลกโดยชาวโปรตุเกส และสเปน มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้นมีอายุอยู่ได้หลายปี การปลูกมันสำปะหลังจะใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อนปักไปในดิน ตรงบริเวณรอยตัดที่ปักอยู่ในดินจะแตกเป็นรากฝอย หลังจากปลูกได้ประมาณ 2 เดือน รากจะค่อยๆ สะสมแป้ง และมีขนาดโตขึ้น เรียกว่าหัวมันสำปะหลัง และจะสามารถเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังหลังจาก 6 เดือน ผ่านไปแล้วโดยจะยืดอายุเก็บเกี่ยวไปได้ถึง 16 เดือน ส่วนตาที่อยู่ด้านข้างท่อนมันจะเจริญเติบโตออกมาเป็นลำต้นต่อไป (เจริญศักดิ์ โรจน์ฤทธิ์พิเชษฐ์. 2519)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Manihot esculenta* L. Crantz

วงศ์ : Euphorbiaceae

ชื่อสามัญ : Cassava Tapioca

ลำต้น มันสำปะหลังเป็นไม้เนื้อแข็ง ลำต้นตั้งตรง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-6 cm สีของลำต้นแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ส่วนที่อยู่ใกล้ยอดมีสีเขียว ส่วนแก่ที่ต่ำลงมาอาจมีสีน้ำเงิน สีเหลือง หรือสีน้ำตาล ความสูงของต้น 1- 1.5 m ขึ้นกับพันธุ์ โดยพันธุ์ที่ไม่แตกกิ่งต้นจะสูง ส่วนพันธุ์ที่แตกกิ่งต้นจะสูงน้อยกว่าการแตกกิ่งของมันสำปะหลังจะแตกออกเป็น 2 กิ่ง หรือ 3 กิ่ง กิ่งที่แตกออกจากลำต้นหลักเรียกว่า กิ่งชุดแรก (Primary branch) ส่วนกิ่งที่แตกออกจากกิ่งชุดแรก เรียกว่า กิ่งชุดที่สอง (Secondary branch)

รากมันสำปะหลัง มี 2 ชนิด คือ รากจริง และรากสะสมอาหาร รากจริงเป็นระบบรากแบบรากฝอย adventitious root system รากที่งอกจากท่อนพันธุ์สามารถงอกได้จาก 3 ส่วนคือ รากจากส่วนเนื้อเยื่อ (Root from cambium) รากจากส่วนตา (Root from bud) และรากจากส่วนรอยหลุดร่วงของใบ ส่วนหัวของมันสำปะหลัง คือส่วนรากที่ขยายใหญ่เพื่อสะสมอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ในส่วน Parenchyma cell รากสะสมอาหารมีปริมาณแป้งประมาณ 15 - 40 % มีกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) หรือ Prussic acid ซึ่งมีพิษ จะมีอยู่มากในส่วนของเปลือกมากกว่าเนื้อของหัว

ใบเป็นแบบใบเดี่ยว (Simple leaf) การเกิดของใบจะหมุนเวียนรอบลำต้นมีการจัดเรียงตัวค่อนข้างคงที่แน่นอนคือ 2/5 ก้านใบต่อระหว่างลำต้นหรือกิ่งกับตัวแผ่นใบ ก้านใบอาจมีสีเขียวหรือสีแดง ตัวใบหรือแผ่นใบจะเว้าเป็นหยักลึกเป็นแฉก จำนวนหยักมีตั้งแต่ 3-9 หยักที่โคนก้านใบติดกับลำต้นมีหูใบ

ช่อดอก และดอกมันสำปะหลัง เป็นแบบ panicle คือมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน แต่แยกกันอยู่คนละดอกในช่อเดียวกัน ช่อดอกจะเกิดตรงปลายยอดของลำต้นหรือกิ่ง หรือตรงรอยต่อที่เกิดการแตกกิ่ง ดอกตัวผู้ เกิดบริเวณส่วนปลายหรือยอดของช่อดอก มีกลีบเลี้ยง 5 กลีบ แต่ไม่มีกลีบดอก ภายในดอกมีเกสรตัวผู้ 10 อัน แบ่งเป็น 2 วง ๆ ละ 5 อัน เกสรตัวผู้วงในมีก้านชูเกสรตัวผู้สั้นกว่าวงนอก ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ มักเกิดอยู่บริเวณส่วนโคนของช่อดอก ไม่มีกลีบดอก แต่มีกลีบรองดอกหรือกลีบเลี้ยง 5 กลีบ เช่นเดียวกับดอกตัวผู้ ตรงกลางจะเป็นเกสรตัวเมีย ในช่อดอกเดียวกันดอกตัวเมียจะบานก่อนดอกตัวผู้ 7-10 วัน การบานของดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียจะบานในเวลา 11.30-12.30 น.

ผล และเมล็ด หลังการผสมเกสรแล้ว รังไข่ก็จะเจริญเติบโตขยายใหญ่กลายเป็นผลแบบ capsule ขนาดโตเต็มที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 cm ยาว 1-1.5 cm ภายในมี 3 ช่อง แต่ละช่องมีเมล็ด 1 เมล็ด รูปร่างยาวรี มีสีน้ำตาลลายดำ เมื่อแก่จะแตกดีดเมล็ดกระเด็นออกไป

มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1. ชนิดหวาน (Sweet Type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกต่ำ ไม่มีรสขมใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ มีทั้งชนิดเนื้อร่วนนุ่ม และชนิดเนื้อแน่น เหนียว แต่มีจำนวนน้อย

2. ชนิดขม (Bitter Type) เป็นมันสำปะหลังที่มีกรดไฮโดรไซยานิกสูง เป็นพิษ และมีรสขม ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์ หรือใช้หัวมันสำปะหลังสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่จะใช้สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปต่างๆเช่น แป้งมัน มันอัดเม็ด และแอลกอฮอล์ เป็นต้น เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง (เจริญศักดิ์ โรจน์ฤทธิ์พิเชษฐ์. 2519)

2.1.1 มันสำปะหลังพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 50

เป็นพันธุ์ลูกผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับพันธุ์ระยอง 90 เกิดจากการพัฒนาพันธุ์ร่วมกันโดยนักวิชาการจาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรมวิชาการเกษตร และศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT) มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (ภาพที่ 2.1) สามารถปลูกได้ทั่วประเทศมีความงอกดี ลำต้นสูงใหญ่ หัวดก และมีลักษณะเป็นกลุ่มสามารถเก็บเกี่ยวได้สะดวก และมีปริมาณแป้งในหัวมันสูง จากการสำรวจการปลูกมันสำปะหลังโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุดในประเทศ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกถึง 3,791,104 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 60.91 ของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังทั้งประเทศ

ลักษณะประจำพันธุ์ สีของลำต้น สีเขียวเงิน สีของก้านใน สีเขียว สีของยอด สีม่วง (ไม่มีขนอ่อน) ความสูงของต้น 200-300 cm เปลือกหัวสีน้ำตาล เนื้อหัวมีสีขาว ผลผลิตเฉลี่ย 3.67 ตัน/ไร่ (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2562)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะต้นมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

2.2 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดิน

จุลินทรีย์ (Microorganism) เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเซลล์เดียว ซึ่งสามารถเกิดกระบวนการต่างๆ ของชีวิตได้ภายในเซลล์เพียงเซลล์เดียว และมีคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิตทั้งด้านสรีระวิทยา ชีวเคมี และพันธุศาสตร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานของชีวิต นอกจากนี้ยังมีกระบวนการเมตาโบลิซึมเป็นแบบแผนเดียวกับสิ่งมีชีวิตชั้นสูง จุลินทรีย์มีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ช่วยขยายให้มองเห็นรูปร่างและลักษณะของเซลล์ จุลินทรีย์สามารถขยายพันธุ์ด้วยการแยกตัวโดยแยกจาก 1 เป็น 2 จาก 2 เป็น 4 ต่อเนื่องไปตลอด จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนโดยใช้น้ำตาล (คาร์บอน) เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน กิจกรรมของจุลินทรีย์จะช่วยย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ให้มีโมเลกุลเล็กลงอยู่ในรูปสารประกอบฮิวมิก กรดอะมิโน ธาตุอาหารในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ มีบทบาทอย่างมากในกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่หรือการแปรสภาพอินทรียวัตถุในดินให้กลายเป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืช โดยจุลินทรีย์จะมีขั้นตอนของความหลากหลายในกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ เพราะมีวงจรชีวิตที่สั้น และมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีปริมาณที่มาก ซึ่งมีหน้าที่และบทบาทต่อกระบวนการต่างๆ ในดินแตกต่างกันไป จุลินทรีย์

คือตัวการทำให้สารอินทรีย์จากซากพืชซากสัตว์ย้อนกลับไปเป็นธาตุอาหารพืชใหม่ได้อีกครั้ง จึงทำให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชในดิน (สายพิณ ไชยนันท์. 2547)

2.2.1 ประเภทของจุลินทรีย์

2.2.1.1 แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงส่องดูจึงมองเห็นประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว และเป็นพวกโปรคารีโอต มีผนังเซลล์ที่คงรูป (Rigid cell wall) ทำให้แบคทีเรียรักษารูปร่างได้ แบคทีเรียมีรูปร่างได้หลายแบบมีเพศและไม่มีเพศ โดยแบบมีเพศเกิดจากการรวมตัวของเซลล์ 2 เซลล์ ส่วนการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศโดยทั่วไปเป็นแบบ Binary fission บ้างก็เป็นการแตกหน่อ (Budding) แบคทีเรียสามารถพบได้ทั่วๆ ไปในดิน น้ำ อากาศ มีทั้งชนิดที่ให้ประโยชน์และบางชนิดก็เป็นโทษ เช่น *Bacillus* ssp. *Lactobacillus* spp. *Streptococcus* spp. *Staphylococcu*s spp. *Escherichia coli Proteus vulgaris Spirillum* spp. และ *Streptomyces* spp. เป็นต้น (ดวงพร คันธโชติ. 2545)

2.2.1.2 เชื้อรา (Fungi)

เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์แบบยูคารีโอต มีทั้งชนิดเซลล์เดี่ยวคือยีสต์ (Yeast) ซึ่งส่วนใหญ่สืบพันธุ์ โดยการแตกหน่อ และชนิดหลายเซลล์ซึ่งได้แก่ รา (Mold) โดยมีรูปร่างเป็นเส้นใย (Filamentous) ส่วนของเส้นใยเรียกว่า ไฮฟี (Hyphae) ถ้าไฮฟีมาอยู่รวมกันเป็นกลุ่มจะเรียกว่าไมซีเลียม (Mycelium) เส้นใยมีทั้งแบบมีผนังกั้นและไม่มีผนังกั้น ผนังเซลล์ของเชื้อราแตกต่างจากผนังเซลล์ของแบคทีเรียขนาดและรูปร่างของเชื้อราแตกต่างกันไป บางชนิดต้องใช้กล้องส่องดู เช่น เซลล์ยีสต์ ที่โตขึ้นมาได้แก่ พวกที่มีลักษณะเป็นเส้นใย และที่สามารถมองเป็นด้วยตาเปล่า ได้แก่ เห็ด (Mushroom) ซึ่งเกิดจากเส้นใยของเชื้อรามาอยู่รวมกันและอัดแน่นเป็นดอกเห็ด เชื้อราเจริญได้ดีในที่ที่มีความเป็นกรดสูง อาหารเลี้ยงเชื้อราจึงปรับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 4.0 ราทุกชนิดเป็นพวกที่ต้องการอากาศ ชอบอุณหภูมิปานกลาง การสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบมีเพศและไม่มีเพศ ตัวอย่างเชื้อราที่เป็นเซลล์เดียว เช่น ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เชื้อราหลายเซลล์ที่เป็นเส้นใย เช่น *Rhizopu*s spp. *Aspergillus* spp. *Penicillium* spp. และเห็ด (ดวงพร คันธโชติ. 2545)

2.2.1.3 โปรโตซัว (Protozoa)

ลักษณะเซลล์เป็นเซลล์เดียวและเป็นพวกยูคารีโอตแต่ไม่มีผนังเซลล์ เป็นจุลินทรีย์ที่มีวิวัฒนาการของเซลล์ไปมากที่สุด การแพร่พันธุ์มีทั้งแบบใช้เพศและไม่ใช้เพศ โดยแบบไม่มีเพศอาจจะเป็น Binary fission การแตกหน่อ หรือการสร้างสปอร์ เป็นต้น สามารถเคลื่อนที่ได้ในบางช่วงของวงจรชีวิต ขนาดและรูปร่างของโปรโตซัวมีความแตกต่างกันมาก เช่น รูปกลม รูปไข่ รูป

แท่งหรือท่อน บางชนิดมีรูปร่างหลายแบบในช่วงการเจริญ (ดวงพร คันธโชติ. 2545) พบได้ทั่วไปในดิน น้ำ อากาศ และในสิ่งมีชีวิต โปรโตซัวกินแบคทีเรียเป็นอาหาร ดังนั้นบริเวณที่มีแบคทีเรียมากย่อมมีโปรโตซัวมากตามไปด้วย และสำหรับโปรโตซัวที่เป็นปรสิตของสัตว์ พวกนี้จะเลี้ยงอย่างอิสระไม่ได้ต้องอยู่กับเซลล์เจ้าบ้าน (Host cell) เท่านั้น โปรโตซัวมีการเคลื่อนที่ 3 แบบ คือ

1. ใช้ขาเทียม (Pseudopodium) ซึ่งเกิดจากการยืดหดของไซโทพลาซึม การเคลื่อนไหวแบบนี้เรียกว่า Ameboid movement เช่น Amoeba

2. ใช้รยางค์ขนาดยาว (Flagella) เช่น Euglena

3. ใช้ขนเล็กๆ เรียกว่า ซีเลีย โบกพัด เช่น Paramecium

2.2.1.4 สาหร่าย (Algae)

เป็นจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสงได้ เพราะมีคลอโรฟิลล์ การสังเคราะห์แสงเหมือนพืชชั้นสูง นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุ (Pigment) อื่นๆ อีก ทำให้สาหร่ายมีสีต่างๆ กันไป เช่น สีเขียว สีแดง สีน้ำตาล สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะสำคัญในการจัดจำแนกหมวดหมู่ของสาหร่าย หรืออาจใช้ประเภทของคลอโรฟิลล์ในการจัดจำแนกก็ได้เช่นกัน ลักษณะของเซลล์เป็นพวกยูคารีโอต มีทั้งพวกที่เป็นเซลล์เดียวมีขนาดเล็กต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ บางชนิดมีหลายเซลล์ขนาดใหญ่อาจยาวถึง 100 ฟุต ลักษณะรูปร่างต่างกันไป เช่น รูปกลม รูปท่อน รูปเกลียว รูปแฉก รูปกระสวย บางชนิดเซลล์อาจอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเช่น Volvox บ้างต่อกันเป็นสาย เช่น Anabena บ้างเรียงกันเป็นแผ่น เช่น Ulva สาหร่ายพวกที่เคลื่อนที่ได้จะอาศัยแฟลกเจลลา หรือเท้าเทียม การสืบพันธุ์มีทั้งแบบมีเพศและไม่มีเพศ เนื่องจากสาหร่ายสังเคราะห์แสงได้ บริเวณที่แสงส่องถึงจึงสามารถพบสาหร่ายได้ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำ พื้นดิน และพื้นผิวที่ชื้นแม้กระทั่งหิน (ดวงพร คันธโชติ. 2545)

2.2.1.5 ไวรัส (Virus)

ไวรัสไม่สามารถจัดเป็นเซลล์ได้ เพราะขาดโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ อีกทั้งไม่สามารถอาศัยอยู่ได้อย่างอิสระได้ จำเป็นต้องอาศัยอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เพื่อดำรงชีวิตและเพื่อการเพิ่มจำนวนเรียกลักษณะนี้ว่า Obligate intracellular parasite โครงสร้างของไวรัสจะประกอบด้วยกรดนิวคลีอิกที่เป็น DNA หรือ RNA เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น และมีโปรตีนที่เรียกว่า Capsid หุ้มอยู่ นอกจากนี้อาจมีเยื่อหุ้มที่เรียกว่า Envelope ไวรัสมีขนาดเล็กมากประมาณ 20-25 nm จนถึง 200-300 nm จึงไม่สามารถมองเห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา หากแต่ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ตามธรรมชาติพบไวรัสได้ทั่วไปโดยอาศัยอยู่กับเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือมนุษย์ ตลอดจนจุลินทรีย์ (ดวงพร คันธโชติ. 2545)

2.3 บทบาทของจุลินทรีย์ดิน

จุลินทรีย์มีบทบาทที่สำคัญในแง่การเป็นประโยชน์และการเกิดโรค จุลินทรีย์หลายชนิดอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคพืชและสัตว์ ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตทางเกษตร แต่ในสภาพธรรมชาติจุลินทรีย์ที่มีอยู่อย่างหลากหลายจะมีการควบคุมกันเองในวัฏจักรของสิ่งมีชีวิต มีจุลินทรีย์หลายชนิดทำหน้าที่ป้องกัน กำจัด และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นรวมทั้งจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืช จุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนทรัพยากรให้ใช้ประโยชน์ได้ใหม่ในวงจรของธาตุอาหารโดยจุลินทรีย์ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ จึงเกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ของสารอินทรีย์ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมทางการเกษตรให้กลับมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยกระบวนการย่อยสลายหรือสังเคราะห์สารชนิดอื่นขึ้นมาใหม่ในธรรมชาติ เช่น การช่วยย่อยสลายเศษซากพืชซากสัตว์ในดินให้อยู่ในรูปฮิวมัส เปลี่ยนรูปสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ (Mineralization) เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ได้แก่ กระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixation) อานัฐ ตันโช (2549) กล่าวว่า จุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถสร้างอาหารเองได้โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เช่น แหนแดง และจุลินทรีย์ชนิดที่สามารถดึงไนโตรเจนจากอากาศและสร้างความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน เช่น เชื้อไรโซเบียม จุลินทรีย์หลายชนิดมีบทบาทในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน เช่น จุลินทรีย์บางชนิดสามารถสร้างกรดอนินทรีย์ที่สามารถละลายแร่ธาตุอาหารพืชในดินให้เป็นประโยชน์ต่อพืช บางชนิดสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชหรือฮอร์โมน (Plant Growth Regulation) ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและยังสามารถผลิตสารต่างๆ รวมถึงสารปฏิชีวนะ เอนไซม์ และกรดแลคติก เช่น แบคทีเรียบางชนิดสามารถสร้างสารพวก Gramicidine และ Tyrocidine เชื้อราบางชนิดสามารถสร้างสารพวก Penicillin และ Gliotoxin เชื้อแอคติโนมัยซีทสามารถสร้างสาร Actinomycin และ Aureomycin ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะสามารถใช้ในการยับยั้งเชื้อสาเหตุของโรคหรือเชื้อโรคชนิดต่างๆ และยังช่วยสนับสนุนปฏิกิริยาทางเคมีในดินให้เกิดขึ้นอย่างเป็นปกติ โดยถ้าปราศจากเอนไซม์ปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อนในดินก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ภายในระยะเวลาอันสั้น (อานัฐ ตันโช. 2549)

2.4 ความสำคัญของจุลินทรีย์ในดิน

2.4.1 ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง (Organic Decomposition) เปลี่ยนเป็นธาตุอาหาร เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ของสารอินทรีย์ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมทางการเกษตร ให้กลับมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

2.4.2 มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุอาหารพืช เช่น เปลี่ยนจากรูปที่เป็นสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ (Mineralization) เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช

2.4.3 ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยการสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Regulations) เช่น ออกซิน (Auxin) จิบเบอร์เรลลิน (Gibberellin) ไซโตไคนิน (Cytokinin) เป็นต้น

2.4.4 การตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixation) จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนได้ เช่น ไรโซเบียม (Rhizobium) อะโซโตแบคเตอร์ (Azotobacter) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue Green Algae)

2.4.5 จุลินทรีย์หลายชนิดมีบทบาทในการสร้างกรดอินทรีย์ (Organic Acid) ที่จะละลายแร่ธาตุอาหารพืชให้เป็นประโยชน์กับพืชต่อไป

2.4.6 จุลินทรีย์หลายชนิดมีหน้าที่กำจัดและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืช จึงมีผลทำให้ลดการระบาดของโรคพืชบางชนิดลงได้

2.4.7 จุลินทรีย์บางชนิดในดินสามารถผลิตและปลดปล่อยสารปฏิชีวนะ (Antibiotic Substance)

2.4.8 กิจกรรมของจุลินทรีย์มีส่วนช่วยในการปรับปรุงดินให้มีโครงสร้างดี มีลักษณะร่วนซุย และมีการระบายน้ำและอากาศดี เพิ่มการดูดซับน้ำและธาตุอาหารของพืชและช่วยรักษาสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (อานัฐ ตันโช. 2549)

2.5 ความหลากหลายของไมคอร์ไรซาในดิน

ไมคอร์ไรซา (Mycorrhiza) เป็นการอยู่ร่วมกันแบบภาวะพึ่งพากัน (Mutualism) ระหว่างเชื้อราและรากพืช โดยที่พืชได้รับน้ำและธาตุอาหาร เช่น ฟอสฟอรัสและไนโตรเจนจากเชื้อรา ในขณะที่เชื้อราได้รับสารอาหารที่จำเป็น เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และวิตามินจากพืชผ่านทางระบบราก ผ่านเส้นใยของเชื้อราหรือไฮฟา (Hypha) ที่เจริญอยู่ภายนอกรากและภายในรากจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมธาตุอาหารให้แก่พืช จึงทำให้พืชที่มีเชื้อราไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal fungi) อาศัยอยู่ที่

รากมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราไมคอร์ไรซา นอกจากนี้ไมคอร์ไรซายังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของราที่เป็นสาเหตุของโรคพืช จากการศึกษาพบว่า รากของพืชเกือบทุกชนิดมีเชื้อราไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ และมีส่วนช่วยให้พืชรอดชีวิตเมื่อดินมีสภาพไม่เหมาะสม เช่น ดินกรด ดินเค็ม และดินที่ขาดธาตุอาหาร (นิจพร ณ พัทลุง. 2556)

ไมคอร์ไรซาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.5.1 เอ็คโตไมคอร์ไรซา (Ectomycorrhiza) คือ เห็ดราไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่บริเวณเซลล์ผิวของรากภายนอกของพืชหรือต้นไม้ เชื้อราจำพวกเอ็คโตไมคอร์ไรซามีการเจริญเติบโตอยู่ร่วมกับรากของต้นไม้ยืนต้นแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน เส้นใยไม่มีสารสีเขียว (Chlorophyll) เหมือนกับพืช จึงไม่สามารถสร้างคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลและวิตามินได้ จึงต้องอาศัยดูดซึมเอาจากรากของพืช เส้นใยของเชื้อราเจริญห่อหุ้มรากของต้นไม้ไว้จะมีส่วนช่วยรักษาความชื้นให้ต้นไม้ในฤดูแล้ง และต้นไม้ก็ยังได้ธาตุฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งเชื้อราสามารถย่อยสลายธาตุอาหารออกมาจากดินให้เป็นธาตุอาหารในรูปที่ต้นไม้ใช้ประโยชน์ได้ทันที ทำให้ต้นไม้มีรากที่แข็งแรง เจริญเติบโตดี หาอาหารได้มากขึ้น (ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง. 2559) และเมื่ออยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมก็จะรวมตัวกันออกเป็นดอกบริเวณโคนต้นไม้ที่มีรากพืชกระจายอยู่ เราเรียกเห็ดราจำพวกนี้ว่า เอ็คโตไมคอร์ไรซา แต่ความพยายามในการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารที่สังเคราะห์จนถึงขั้นออกเป็นดอกเห็ดยังไม่ประสบผลสำเร็จ ได้ผลเพียงเพาะได้เป็นเส้นใย ซึ่งเป็นปัญหาให้นักวิชาการทำงานต่อไป ส่วนใหญ่เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเป็นราชั้นสูง จัดจำแนกอยู่ใน Phylum Basidiomycot Ascomycota และ Zygomycota ส่วนใหญ่เป็นราที่สร้างดอกขนาดใหญ่เหนือผิวดินใต้ร่มไม้ที่มันอาศัยอยู่ซึ่งอยู่ในพวก Basidiomycota และ Ascomycota ส่วน Zygomycota จะมีขนาดเล็กมาก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พวกราที่อยู่ในกลุ่ม Basidiomycota จะสร้างดอกเห็ด (Mushrooms) ขนาดใหญ่ มีทั้งที่กินได้ (Edible) ชนิดที่กินไม่ได้ (Non-edible) ชนิดที่มีพิษ (Poisonous) และเห็ดสมุนไพร (Medicinal) เชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซามีมากกว่า 5,000 ชนิด พืชหรือต้นไม้ที่สัมพันธ์กับรากลุ่มนี้มีไม่น้อยกว่า 2,000 ชนิด หรือประมาณ 10 - 20 % ของพืชชั้นสูง ในประเทศไทยเคยมีการสำรวจเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในป่าไม้เต็ง ป่าเบญจพรรณ และป่าร้อนชื้น พบว่าเชื้อราหลายชนิดที่เป็นเอ็คโตไมคอร์ไรซา เช่น *Amanita* spp. *Boletus* spp. *Lactarius* spp. *Russula* spp. *Pisolithus* spp. เป็นต้น เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในธรรมชาติสามารถนำมาทดสอบการเกิดเอ็คโตไมคอร์ไรซาในห้องปฏิบัติการ โดยการปลูกเชื้อบริสุทธิ์ของแต่ละชนิดที่สำรวจได้กับกล้าพืชทดสอบ หลังจากนั้นจึงนำรากพืชเหล่านั้นมาดูลักษณะการเกิด Hartig net ที่เกิดจากเส้นใยของเชื้อที่เจริญเข้าไปในชั้น cortex ของราก (ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง. 2559)

2.5.2 เอนโดไมคอร์ไรซา (Endomycorrhiza) บางทีเราเรียกเห็ดราไมคอร์ไรซากลุ่มนี้ว่า Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM) คือ เชื้อราไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ภายในเซลล์ผิวของราก พืชหรือต้นไม้ เชื้อราชนิดนี้ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าแต่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ จะเห็นลักษณะสปอร์รูปทรงกลม มีเส้นใย 2 ลักษณะ คือ เส้นใยรูปกระบอง (Vesicles) และเส้นใยขนาดเล็กประสานกันเป็นกระจุก (Arbusculars) เชื้อราไมคอร์ไรซาพวกที่มีความสำคัญต่อพืชเกษตรและพืชป่าไม้ มีประมาณ 80 %ของอาณาจักรพืช (Plant kingdom) ส่วนใหญ่จำแนกอยู่ในลำดับ (Order) Glomerales มีอยู่ด้วยกัน 5 สกุล (Genera) ได้แก่ *Acaulospora, Intorphospora Gigaspora Glomus (Sclerocysis)* และ *Scutellospora* (ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง. 2559) เชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่เป็นราน้ำ มักอาศัยอยู่ในดินทั่วไปมีอยู่ประมาณ 150 ชนิด สามารถสร้างเส้นใยและสปอร์ออกมานอกรากอยู่ในหน้าดินลึกประมาณ 10-20 cm สปอร์มีขนาดเล็กมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น แพร่กระจายพันธุ์ไปตามน้ำ มีการเคลื่อนย้ายไปตามดินโดยสัตว์และแมลงเป็นพาหนะ พืชที่สัมพันธ์กับรากลุ่มนี้มีประมาณ 300,000 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นพืชเกษตรและพืชป่าไม้ หรือกลุ่มไม้ผล (ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง. 2553)

ประโยชน์ของราไมคอร์ไรซาต่อพืช

1. ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว และปริมาณของรากต้นไม้ในการดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น
2. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำ และช่วยให้พืชเหี่ยวช้าในสภาวะที่ขาดน้ำ
3. ช่วยให้ต้นไม้ได้รับธาตุอาหารต่างๆ เช่น ฟอสฟอรัส (P) ไนโตรเจน (N) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และธาตุอื่นๆ ซึ่งอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะดูดซับและสะสมไว้ในราก
4. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลาย และดูดธาตุอาหารจากหินแร่ในดินที่สลายตัวยาก รวมทั้งพวกอินทรียวัตถุต่าง ๆ ที่ยังสลายตัวไม่หมด ทำให้พืชหรือต้นไม้นำไปใช้ได้
5. รากที่มีไมคอร์ไรซามีความสามารถป้องกันการเข้าทำลายรากของโรคพืชได้ดีกว่ารากที่ไม่มีอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทำให้ต้นพืชมีความต้านทานต่อโรคที่ระบบรากสูงขึ้น
6. ช่วยให้ต้นไม้มีความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพพื้นที่แห้งแล้ง หรือปัญหาของดินเค็ม ดินเปรี้ยว หรือดินมีระดับความเป็นกรดเป็นด่างไม่เหมาะสมได้
7. ช่วยเสริมสร้างระบบนิเวศให้ความอุดมสมบูรณ์ (จักรพงษ์ ไชยวงศ์ และคณะ. 2555)

2.6 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินในพื้นที่การเกษตร

พิกุล เกตุชาญวิทย์ และพนิดา ปรีเปรมโมทย์ (2556) ศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่เกษตรอินทรีย์ภาคใต้ ดำเนินการเก็บตัวอย่างจากพื้นที่เกษตรอินทรีย์ แหล่งเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 2 ปี ปีละ 2 ครั้ง คือ ฤดูร้อน และฤดูฝน วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในแต่ละฤดูกาล และคุณสมบัติของดิน พบว่า ปริมาณเชื้อราย่อยเซลลูโลส แบคทีเรียย่อยเซลลูโลส แอคติโนมัยซีสย่อยเซลลูโลส แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัสเชื้อราละลายฟอสฟอรัส แบคทีเรียย่อยโปรตีน และแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ เท่ากับ 3.98 - 7.01 4.94 - 7.51 5.45 - 7.94 3.51 - 6.93 0 - 5.33 0 - 8.42 และ 0 - 6.35 log no/g soil ตามลำดับ ค่าความชื้นดินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.59 - 82.70 % ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ย 4.55 - 6.57 และอุณหภูมิเฉลี่ย 25 - 35.6 องศาเซลเซียส แอคติโนมัยซีสย่อยเซลลูโลสมีปริมาณสูงที่สุดในทุกฤดูซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 16.52 - 20.01 % และผลจากการเปรียบเทียบลายพิมพ์ดีเอ็นเอจากตัวอย่างดินพื้นที่เกษตรอินทรีย์ภาคใต้ของประเทศไทย ในแต่ละฤดูกาล ด้วยเทคนิค DGGE พบว่าในฤดูร้อนปีที่ 2 มีจำนวนประชากรของแบคทีเรียมากที่สุด และในฤดูฝนปีที่ 1 มีความหลากหลายทางโครงสร้างประชากรของแบคทีเรียมากที่สุด

พนิดา ปรีเปรมโมทย์ และคณะ (2556) ทำการศึกษาปริมาณของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร และการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์แต่ละฤดูกาลในพื้นที่ป่าไม้ภาคใต้ของประเทศไทย โดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ป่าไม้ภาคใต้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ 8 แห่ง อุทยานละ 5 จุด ที่ความลึก 0-10 cm บริเวณรากพืชในฤดูร้อน และฤดูฝน เป็นระยะเวลา 2 ปี นำมาศึกษาสมบัติของดิน ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความชื้น และอุณหภูมิของดิน และแยกเชื้อและวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตรกลุ่มต่างๆ พบว่า ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.85 - 7.22 ความชื้น 6.56 - 40.77 % และอุณหภูมิ 24.00 - 30.94 องศาเซลเซียส มีปริมาณราย่อยเซลลูโลส แบคทีเรียย่อยเซลลูโลส ราละลายอนินทรีย์ฟอสเฟต แบคทีเรียละลายอนินทรีย์ฟอสเฟต แบคทีเรียย่อยโปรตีน และแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ เท่ากับ 1.88×10^{4} - 5.22×10^{6} 1.11×10^{5} - 3.81×10^{8} 0 - 2.67×10^{4} 8.17×10^{3} - 9.00×10^{6} 7.58×10^{2} - 1.74×10^{8} และ 0 - 5.97×10^{3} cell/g soil ตามลำดับ และพบแบคทีเรียย่อยเซลลูโลส มีปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ อยู่ในช่วง 61 - 85 % โดยในฤดูฝนมีปริมาณมากกว่าในฤดูร้อน

ชวิศา ทองรัตน์ และชนินันท์ พรสุริยา (2559) ศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินบริเวณรอบรากปาล์มน้ำมัน ในภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดตรัง ปัตตานี กระบี่ ภูเก็ต และสงขลา เมื่อนับปริมาณจุลินทรีย์ในแต่ละจังหวัด พบว่าจังหวัดตรังมีจุลินทรีย์บริเวณรอบรากปาล์มน้ำมัน

มากที่สุด รองลงมาได้แก่ จังหวัดพังงา ปัตตานี สงขลา และภูเก็ต แต่เมื่อเปรียบเทียบความหลากหลายของจุลินทรีย์ พบว่าจังหวัดพังงาและตรังมีชนิดของจุลินทรีย์มากที่สุด โดยจังหวัดสงขลามีการกระจายตัวของจุลินทรีย์สม่ำเสมอที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบดัชนีความหลากหลาย พบว่าจุลินทรีย์ในดินบริเวณรากปาล์มน้ำมันในจังหวัดปัตตานีมีค่าดัชนีความหลายหลากสูงสุด เมื่อนำมาจำแนกได้จุลินทรีย์ที่มีลักษณะสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน 35 สกุล โดยแบ่งเป็นรา 62.70 % แอคติโนมัยสีท 15.68 % และแบคทีเรีย 21.62 %

ปริมาณและความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดินเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยด้านพืช ซึ่งอายุของพืชและชนิดของพืชมีผลต่อการชักนำจุลินทรีย์ดินให้เจริญอยู่บริเวณรอบรากพืช ทำให้แต่ละพื้นที่ มีความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินที่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณธาตุอาหาร ความชื้นของดิน และฤดูกาลมีผลต่อปริมาณของจุลินทรีย์ดิน ทั้งในระบบนิเวศป่าไม้และระบบการเกษตร พบว่าในระบบนิเวศป่าไม้มีปริมาณและความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินมากกว่าในระบบการเกษตร ปริมาณธาตุอาหารในดินมีผลต่อการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เนื่องจากจุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานจากธาตุอาหารเพื่อใช้ในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ และเจริญได้ดีในดินที่มีปฏิกิริยาดินเป็นกลาง (pH 6.5 - 7) กลุ่มจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร ได้แก่ จุลินทรีย์ย่อยเซลลูโลส แอคติโนมัยซีสย่อยเซลลูโลส จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ

2.7 ความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน

Yantasarth and Poonsawat (1996) ได้ทำการศึกษาในแปลงทดลองบริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี โดยแบ่งพื้นที่ทดลองออกเป็น 5 แปลงทดลอง รายงานว่าในระบบนิเวศป่าไม้ที่มีหญ้าขึ้นปกคลุมพื้นดินจำนวนมาก พบราเวสสิคูลาร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปริมาณมากในแปลงทดลองที่เป็นทุ่งหญ้า มีปริมาณของราเวสสิคูลาร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาถึง 32 % ของปริมาณทั้งหมด รองลงไปได้แก่ แปลงสวนสักที่ยังอายุน้อย (Young teak plantation) พบ 26 % ป่าธรรมชาติ 22 % และสวนสักอายุมาก (Old teak plantation) พบ 18 % ทั้งนี้เป็นเพราะหญ้ามีปริมาณของรากหาอาหารในปริมาณสูงต่อหน่วยพื้นที่เมื่อเปรียบเทียบกับป่าไม้ที่มีต้นไม้ขนาดใหญ่มากๆ ปัจจัยแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราเวสสิคูลาร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซายังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชอาศัย และสมบัติของดิน เช่น ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (Soil pH) ความพรุนของดิน (Soil aeration) ธาตุอาหารในดิน (Soil nutrients) อุณหภูมิของดิน ปริมาณน้ำฝน ความชื้นในดิน และจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น

Azcon *et al.* (1997) ศึกษาประโยชน์ของการใช้เชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการปรับสภาพของเนื้อเยื่อมันสำปะหลัง จากการศึกษาพบว่า ในตำรับที่มีการปลูกเชื้อ ต้นมันสำปะหลังมีการอยู่รอดและมีพัฒนาการขึ้นหลังจากเปลี่ยนสภาวะใหม่ และพบว่ามีจำนวนรากเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของชนิดอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและสายพันธุ์มันสำปะหลัง ทำให้พืชมีการตอบสนองต่อการปลูกเชื้อและการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

Jemo *et al.* (2014) ศึกษาประโยชน์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ต่อการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในดินเขตร้อน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการอยู่ร่วมกันของประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์ความอุดมสมบูรณ์ของดินในเขตร้อน พื้นที่ทดลองคือพื้นที่ที่มีระบบการใช้ที่ดินแตกต่างกัน คือ พื้นที่ป่า พื้นที่รกร้าง (ที่มีหญ้าสาบเสือขึ้นปกคลุม) และพื้นที่การเกษตร จากการทดลองพบว่า ชีวมวลของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และปริมาณฟอสฟอรัสในพืชสูงทั้ง 3 พื้นที่การทดลอง ในตำรับที่ได้รับการปลูกเชื้อจากพื้นที่รกร้างและพื้นที่การเกษตร ชีวมวลของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่ำที่สุดในตำรับที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อ การตอบสนองของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของพืชและการตอบสนองต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัส พบว่าสูงที่สุดในพื้นที่รกร้างที่ได้รับการปลูกเชื้อจากแหล่งพื้นที่รกร้าง และพื้นที่การเกษตร การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในราก พบมากที่สุดในตำรับที่ได้รับเชื้อจากพื้นที่รกร้าง ชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบ ได้แก่ *Rhizophagus irregularis Claroideoglomus claroideum Funneliformis mosseae Gigaspora margarita* และ *Cetraspora pellucid*

นาฏยา แพทย์พิทักษ์ และคณะ (2560) ศึกษาประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาบริเวณเขตรากไผ่ในพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าธรรมชาติ พื้นที่เกษตรกรรม จ. สุพรรณบุรี และพื้นที่ป่าธรรมชาติ จ. กาญจนบุรี โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 cm รอบโคนพุ่มไผ่ เพื่อสำรวจจำนวนประชากร จำนวนชนิด ความหลากหลายทางชีวภาพ และความสามารถในการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชอาศัย ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบในบริเวณเขตรากไผ่ พบว่า ดินบริเวณเขตรากไผ่ในพื้นที่ป่าธรรมชาติมีจำนวนประชากรของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามากกว่าในพื้นที่เกษตรกรรม จึงทำให้ความสามารถในการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชอาศัยของเชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบในดินบริเวณรากไผ่ของพื้นที่ธรรมชาติมีมากกว่าในพื้นที่เกษตรกรรมด้วย นอกจากนี้จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานของสปอร์เพื่อจัดจำแนกชนิดของเชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่า ในพื้นที่ป่าธรรมชาติ มีจำนวนชนิดของเชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามากกว่าในพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความหลากหลายทางชีวภาพของเชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่ป่าธรรมชาติมีมากกว่าในพื้นที่เกษตรกรรม

ปริมาณและความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบในพื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ป่า และพื้นที่การเกษตร แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพบมากในพื้นที่ทุ่งหญ้า เนื่องจากหญ้ามีปริมาณของรากหาอาหารต่อหน่วยพื้นที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ป่าไม้ รวมถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ชนิดของพืชอาศัยมีผลต่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทำให้เมื่อศึกษาพืชที่แตกต่างกันจะพบชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ปัจจัยด้านสมบัติของดิน เช่น ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (Soil pH) ความพรุนของดิน (Soil aeration) ธาตุอาหารในดิน (Soil nutrients) อุณหภูมิของดิน ปริมาณน้ำฝน ความชื้นในดิน และจุลินทรีย์ในดิน มีผลต่อปริมาณและความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน ซึ่งในพื้นที่ป่าธรรมชาติจะพบว่ามีความหลากหลายทางชีวภาพของเชื้อราอาร์บัสคูล่าร์ไมคอร์ไรซามากกว่าในพื้นที่เกษตรกรรม

2.7.1 บทบาทของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร

Howeler *et al.* (1982) ศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังต่อการปลูกเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในระดับต่างๆ ทำการทดลองในโรงเรือนและภาคสนาม เพื่อศึกษาการปลูกเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ต่อการตอบสนองของมันสำปะหลัง ผลของการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ 0 50 200 400 800 1600 และ 3200 kg/ha ร่วมกับการปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ พบว่าน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังและปริมาณฟอสฟอรัสในดิน สูงที่สุดในตำรับที่ได้รับการปลูกเชื้อ ปริมาณฟอสฟอรัสในพืชสูงที่สุดในตำรับที่ได้รับการปลูกเชื้อร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 3200 kg/ha การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากพบมากในตำรับที่ได้รับการปลูกเชื้อ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 50 และ 100 kg/ha ปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด 0.67 % ในตำรับที่มีการฆ่าเชื้อดินและได้รับการปลูกเชื้อ

Sieverding and Leihner (1984) ศึกษาอิทธิพลของระบบการปลูกพืชที่แตกต่างกัน และศึกษาการอยู่ร่วมกันของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับมันสำปะหลัง ในรัฐเวอร์จิเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ระบบการปลูกพืชได้แก่ การปลูกพืชเชิงเดี่ยว การปลูกพืชหมุนเวียน และปลูกพืชแซมมันสำปะหลังร่วมกับพืชตระกูลถั่ว ร่วมกับการใส่ปุ๋ย N 60 P 44 K 62.5 Zn 10 และ B 1 kg/ha จากการศึกษาพบว่าการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากพบมากในตำรับที่ปลูกพืชหมุนเวียน ในตำรับที่ได้รับปุ๋ยตามอัตราที่กำหนด คือ 20.4 ± 3.7 % และไม่ได้รับปุ๋ยคือ 20.8 ± 0.2 % ผลผลิตรากหรือเมล็ดพบมากที่สุดในตำรับที่ปลูกพืชหมุนเวียนร่วมกับการใส่ปุ๋ยคือ 33.6 ± 2.4 t/ha และพบว่าความ

แตกต่างของชนิดเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีผลต่อการให้ผลผลิตของมันสำปะหลังและพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ *Glomus manihotis Glomus occultum* และ *Entrophospora colombiana*

Sieverding and Howeler (1985) ศึกษาอิทธิพลของชนิดเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การตอบสนองของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ต่อการให้ผลผลิตมันสำปะหลัง ทำการทดลองในไร่มันสำปะหลัง เพื่อศึกษาพื้นที่ที่เฉพาะเจาะจงและตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาประจำถิ่น พื้นที่ Agua Blance ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ M Col 113 และ Barranquena พื้นที่ Quilichao ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ M col 113 และ M Col 1684 พื้นที่ Carimagua ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ M Ven 77 และ M Col 638 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 4 อัตรา คือ 0 50 100 และ 200 kg/ha พบว่าน้ำหนักรากสูงที่สุด 39.4 t/ha ในพื้นที่ปลูก Quilichao ที่ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ M col 113 ร่วมกับการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 200 kg/ha พบว่าการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังสูงที่สุด 19.8 t/ha ในพื้นที่ Agua Blance ที่ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ Barranquena ชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบ ได้แก่ *Glomus fasciculatum* และ *Glomus manihotis*

Xiao *et al.* (2010) ศึกษาผลของการปลูกเชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในระบบการปลูกพืชแซมข้าวไร่และถั่วเขียว มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากที่ได้รับการปลูกเชื้อ ปริมาณธาตุอาหารในดิน ปริมาณธาตุอาหารในพืช และการตรึงไนโตรเจน ในระบบการปลูกพืชแซมข้าวและถั่วเขียว พบว่าในทรีตเม้นต์ที่ปลูกพืชเดี่ยวและมีการปลูกเชื้อ อัตราการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากถั่วเขียวมากกว่าในข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระบบการปลูกพืชแซมและมีการปลูกเชื้อ พบว่า มีการเกิดปมของถั่วเขียวสูง ชีวมวลของรากมากที่สุดทั้งในข้าวและถั่วเขียว ปริมาณฟอสฟอรัส เหล็ก และไนโตรเจนในส่วนเหนือดินและรากสูงกว่าทรีตเม้นต์อื่น จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าในระบบการปลูกพืชแซม ช่วยเพิ่มการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากถั่วเขียวและข้าว การปลูกเชื้อในข้าวเพื่อทดสอบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อนี้ แสดงให้เห็นว่าการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อในข้าวมี%ต่ำกว่าในถั่วเขียว ในระบบการปลูกพืชแซมข้าวและถั่วเขียว การปลูกเชื้อส่งผลให้พืชดูดธาตุอาหารจากดินได้มากขึ้น เพิ่มความสามารถในการตรึงไนโตรเจนและมีผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วเขียว

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ (2549) ระบุว่าปัญหาที่พบส่วนใหญ่คือดินขาดความอุดมสมบูรณ์มีฟอสฟอรัสในดินน้อย การใส่ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยอินทรีย์อื่น ๆ ร่วมกับหินฟอสเฟต และจุลินทรีย์ละลายหินฟอสเฟต จะช่วยป้องกันไม่ให้ฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุในดินและสูญเสียความเป็นประโยชน์ต่อพืชเร็วเกินไป อีกปัญหาหนึ่งคือ ดินมีสารประกอบฟอสฟอรัสมาก แต่ส่วนใหญ่อยู่ใน

รูปที่ละลายน้ำยาก นอกจากนี้ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีอยู่น้อยนั้นยังถูกตรึง (Immobilization) โดยจุลินทรีย์บางกลุ่ม หรือเกิดปฏิกิริยากับแร่ธาตุต่าง ๆ ในดิน และยังถูกดูดซับ (Adsorb)ได้โดยอนุภาคของดิน โดยเฉพาะดินเหนียว ซึ่งมีประจุบวก ในขณะที่ฟอสเฟตมีประจุลบ ทำให้เหลือฟอสเฟตที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้อยู่น้อยมาก พืชจึงขาดฟอสฟอรัส

เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อราที่อยู่ร่วมกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญคือทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากดินมาสู่พืชโดยผ่านเส้นใยของเชื้อรา เนื่องจากเส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีขนาดเล็กมาก ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างต่างๆ ในดินได้มากกว่ารากของพืช จึงทำให้พืชได้รับธาตุอาหารโดยผ่านเส้นใยของเชื้อรามากขึ้น และมีบทบาทอย่างมากต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน ในสภาวะที่ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตสเพื่อละลายฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงโดยจุลินทรีย์ดินหรือตกตะกอนอยู่ในดินให้ละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช ทำให้พืชที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ได้รับธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้นและมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว และเพิ่มปริมาณของรากพืชในการดูดธาตุอาหารต่างๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำ ช่วยให้พืชทนต่อสภาวะที่ขาดน้ำ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายแร่ในดินสลายตัวยากหรืออินทรียวัตถุ มีส่วนช่วยป้องกันการเข้าทำลายของโรคและศัตรูพืชในระบบราก ช่วยให้พืชมีความแข็งแรง ทนทานต่อความแห้งแล้ง ความเค็มของดิน หรือดินเปรี้ยว และช่วยเสริมสร้างระบบนิเวศป่าไม้ให้มีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น

2.7.2 ชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบในดิน

นภาพร คงตุก และจรัสลักษณ์ เพชรวัง (2560) สำรวจชนิดและจำนวนประชากรของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินรอบรากพริกไทย จากแปลงปลูกในจังหวัดสุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราช พบปริมาณสปอร์อยู่ในช่วง 275.60-1,242.00 spore/100 g soil เมื่อนำมาจัดจำแนกสปอร์ออกเป็นกลุ่มโดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสปอร์ สามารถจำแนกได้ 5 สกุล แบ่งเป็น 10 ชนิด คือ *Glomus* 4 ชนิด *Acaulospora* 3 ชนิด *Septoglomus, Racocetra* และ *Gigaspora* สกุลละ 1 ชนิด เมื่อนำสปอร์ที่แยกได้มาเพิ่มปริมาณในกระถางโดยใช้ข้าวฟ่างเป็นพืชอาศัย พบว่าสามารถเพิ่มจำนวนสปอร์ในกระถางได้ทั้งหมด 9 ชนิด คือ *Glomus* sp.1 *Glomus* sp.2 *Glomus* sp.3 *Glomus* sp.4 *Acaulospora* sp.1 *Acaulospora* sp.2 *Septoglomus* sp. *Racocetra* sp. และ *Gigaspora*

sp. เมื่อหาปริมาณสปอร์ทั้งหมดในดิน พบว่าเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่สามารถเพิ่มปริมาณในข้าวฟ่างได้มากที่สุดคือ *Glomus* เมื่อนำเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาทดสอบประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าพริกไทย พบว่า *Glomus* และ *Acaulospora* มีประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นกล้าดีที่สุด

Didier *et al.* (2016) ศึกษาองค์ประกอบของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เกี่ยวของกับมันสำปะหลัง ที่ได้รับผลกระทบจากการใส่ปุ๋ยเคมีและการไถพรวน ในประเทศแคเมอรูน จากการศึกษาพบว่าในภาคตะวันออกและภาตใต้ของประเทศแคเมอรูนพบ *Glomus* มีปริมาณมากในทุกพื้นที่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ *Glomus* และมันสำปะหลัง แต่การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืชมีความแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม สูงที่สุดในพื้นที่ Minkon Mingon ที่ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ Ngon Kribi และไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี พบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืช 66.67 % ต่ำสุดในพื้นที่ Mekoto ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ 8034 ร่วมกับการใส่ปุ๋ย พบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืช 23.33 % และพบสปอร์จำนวนมากในดินที่ไม่มีการไถพรวน

Yuan *et al.* (2015) ศึกษาความหลากหลายระดับโมเลกุลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในพื้นที่ขุดแร่พลวง (Sb) ขนาดใหญ่ทางภาคใต้ของประเทศจีน พบว่าความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลงเมื่อดินมีความเข้มข้นของ Sb สูงขึ้น การวิเคราะห์ PCA แสดงให้เห็นความแตกต่างของกลุ่มเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินและอินทรียวัตถุในดินมีผลต่อประชากรของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การวิเคราะห์ลำดับเบสพบสปีชีส์ *Glomus* มากที่สุด

Yuqing *et al.* (2015) ศึกษาความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในระดับโมเลกุล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยใช้ชิ้นส่วนยีน SSU rRNA ผลการศึกษาพบเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งหมด 11 ชนิด ได้แก่ชนิด *Rhizophagus Glomus Funneliformis Acaulospora Diversispora Glaroideoglomus Scutellopora Gigaspora Ambispora Praglomus* และ *Archaospora* ซึ่งพบ *Glomus* เป็นส่วนใหญ่

Jean *et al*. (2016) ศึกษาการคัดเลือกเชื้อราเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง และการเพิ่มผลผลิตในสภาพพื้นที่จริง (Field conditions) วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อเลือกชนิดพันธุ์พื้นเมืองของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพ และประเมินผลกระทบที่มีต่อผลผลิตมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นพืชอาหารที่สำคัญในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน จากการศึกษาสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่แปลงปลูกมัน

สำปะหลัง พบสปอร์ชนิด *Acaulospora colombiana* มากที่สุด และ *Ambispore appendicula* ตามลำดับ เมื่อนำเชื้อไปทดสอบร่วมกับการปลูกมันสำปะหลัง พบว่า *Acaulospora colombiana* ส่งเสริมการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และช่วยเพิ่มความทนทานต่อความเครียดของน้ำ

Mahdhi *et al*. (2018) ศึกษาระดับโมเลกุลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากสปอร์ที่อยู่บริเวณรอบรากพืช Retama raetam ในประเทศตรูนีเซีย จากการศึกษาสปอร์บริเวณรอบรากพืช พบว่าจำนวนสปอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกพื้นที่ที่ทำการศึกษา พบสปอร์ตั้งแต่ 633-1,062 spore/100 g soil การวิเคราะห์ลำดับเบสพบว่าสปอร์ส่วนใหญ่จัดอยู่ใน Glomeraceae และ Claroideoglomeraceae ซึ่งแสดงให้เห็นว่า *Glomus* มีจำนวนมากในพื้นที่ศึกษา และมีความสัมพันธ์กับค่า pH EC และ ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

Sang *et al.* (2017) ศึกษาผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและสภาพของดินต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยการศึกษาผลกระทบของพืชที่มีต่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินชนิดต่างๆ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมสำหรับการทำเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าสายพันธุ์ *Scutellospora heterogama Acaulospora longula* และ *Funneliformis mosseae* ที่ใช้ในแครอทมีผลในทางบวกต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่พบว่ามีผลต่อการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อยในต้นพริกไทยและต้นหอม ผลของการปลูกพืชร่วมกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพบว่ามีผลในเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตของแครอทและข้าวฟ่าง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

สำรวจและเก็บตัวอย่างดินในไร่มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 จากแปลงของเกษตรกร อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง เลือกแปลงมันสำปะหลังที่มีอายุต้นมันสำปะหลัง 3-4 เดือน และแปลงที่มีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแตกต่างกัน 3 ระดับ โดยการวิเคราะห์ภาคสนามด้วยชุดทดสอบแบบรวดเร็ว (Test kit) แบ่งระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินได้ดังนี้ คือ ฟอสฟอรัสในดินต่ำ (0-7 ppm) ฟอสฟอรัสในดินปานกลาง (7-17 ppm) และฟอสฟอรัสในดินสูง (> 17 ppm) เก็บตัวอย่างดิน 2 ระดับความลึกโดยใช้หลอดเจาะดิน (Soil tube) คือที่ความลึก 0-15 cm และ 15-30 cm บริเวณรอบรากพืช และเก็บดินโดยใช้ Soil core เพื่อวิเคราะห์ความชื้นในดิน และบันทึกจุดพิกัดที่เก็บตัวอย่างดิน

3.2 การวิเคราะห์สมบัติดิน

3.2.1 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน

การวัด pH ในน้ำอัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:1 (w/w) ชั่งดิน 20 g ใส่ในบีกเกอร์พลาสติก เติมน้ำกลั่น 20 ml คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว เป็นระยะ ๆ ให้บ่อยครั้งในระยะ 30 นาทีแรก หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที จึงวัด pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วยเครื่อง pH meter จดบันทึกค่าที่อ่านได้ (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก)

3.2.2 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดิน

การวัด EC ในน้ำอัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:5 (w/w) ชั่งดิน 10 g ใส่ในบีกเกอร์พลาสติก เติมน้ำกลั่น 50 ml คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว เป็นระยะ ๆ ให้บ่อยครั้งในระยะ 30 นาทีแรก หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที เทส่วนที่เป็นสารละลายใส่ถุงพลาสติก นำไปวัดหาค่าการนำไฟฟ้าของดินโดยใช้เครื่อง Electrical conductivity จดบันทึกค่าที่อ่านได้ (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก)

3.2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

ชั่งดิน 3 g ใส่หลอด centrifuge เติม 1 M NH_4OAc (pH 7.0) 30 ml เขย่าให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าที่ความเร็ว 120 rpm เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เมื่อครบ 16 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 rpm เวลา 10 นาที เทสารละลายที่อยู่เหนือตะกอน กรองใส่กระป๋องพลาสติกผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 (สารละลายที่ได้สามารถนำไปวัดค่า K Ca Mg และ Na ได้) เติม Ethyl alcohol

95 % 30 ml นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 rpm เวลา 10 นาที เทสารละลายที่อยู่เหนือตะกอนใส่ขวดทิ้ง เติม Acidified NaCl 10 % 30 ml เขย่าให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าที่ความเร็ว 120 rpm เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เมื่อครบ 16 ชั่วโมงนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 rpm เวลา 10 นาที เทสารละลายที่อยู่เหนือตะกอน กรองใส่กระป๋องพลาสติกผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 สารละลายที่ได้นำไปกลั่นหา CEC โดยปิเปตสารละลาย 10 ml ลงในหลอดกลั่น นำหลอดต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เติม 40 % NaOH ลงไป 50 ml ทำการกลั่นประมาณ 5 นาที โดยจุ่มก้านคอนเดนเซอร์ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ซึ่งบรรจุสารละลายบอริก 25 ml เพื่อจับ NH_3 ที่ได้จากการกลั่น สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว นำไปไทรเทรตด้วยสารละลายกรดเกลือ 0.01 *N* จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง ทำ Blank ตามขั้นตอนเดียวกันโดยไม่ต้องมีตัวอย่างดิน นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณ CEC ในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก)

3.2.4 การวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดิน

ใช้วิธี Lost on ignition ชั่งดินใส่ Crucible ตัวอย่างละ 5.XXXX g โดยใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง นำ Crucible ที่ชั่งดินใส่แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากอบแล้วนำ Crucible ไปใส่ใน Dessicators รอให้อุณหภูมิของ Crucible เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง หลังจากนั้นนำ Crucible ไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดให้ปิดเตาเผาและทิ้งไว้ในเตาเผา 12 ชั่วโมง เมื่อนำออกจากเตาเผาแล้วใส่ใน Dessicators ให้อุณหภูมิของ crucible เท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง นำข้อมูลของน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก)

3.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ใช้วิธี Kjeldahl method ทำโดยการชั่งดิน 1 g ใส่ในหลอดย่อยขนาด 100 ml เติมกรดย่อย (conc. H_2SO_4) 4 ml แกว่งเบาๆให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง เติม Catalyst 1 g (1.5 g K_2SO_4 + 0.0075 g Se) จากนั้นนำมาย่อยจนได้สารละลายใสและดินเป็นสีขาว วางไว้ให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำมาปรับปริมาตรเป็น 25 ml กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 เพื่อให้ได้สารละลายใส จากนั้นนำไปกลั่นหาปริมาณไนโตรเจนโดยปิเปตสารละลาย 10 ml ลงในหลอดกลั่น นำหลอดต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เติม 4 % NaOH ลงไป 50 ml ทำการกลั่นประมาณ 5 นาที โดยจุ่มก้านคอนเดนเซอร์ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ซึ่งบรรจุสารละลายบอริก 25 ml เพื่อจับ NH_3 ที่ได้จากการกลั่น สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว นำไปไทรเทรตด้วย 0.05 *N* H_2SO_4 จน

สารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง ทำ Blank ตามขั้นตอนเดียวกันโดยไม่ต้องมีตัวอย่างดิน นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก)

3.2.6 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ชั่งตัวอย่างดิน 2.5 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml เติมน้ำยาสกัด Bray II 25 ml เขย่า 40 วินาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ 1 ml เติม Reagent B ปริมาตร 4 ml และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 25 ml ทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง นำไปอ่านค่าความเข้มข้นของสารด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 882 nm ทำ Blank และสารละลายมาตรฐานเหมือนตัวอย่างทุกขั้นตอน (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก)

3.2.7 การวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม (NH_4OAc pH 7.0 และ Atomic Absorption Spectrophotometry) ชั่งดิน 10 g ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml เติมสารสกัด NH_4OAc pH 7.0 ปริมาตร 50 ml เขย่า 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 วัดปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก)

3.2.8 การวิเคราะห์จุลธาตุในดิน

ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี (DTPA eatraction และ Atomic Absorption Spectrophotometry) ชั่งดิน 10 g ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml เติมสารสกัด DTPA (0.005 M DTPA 0.01 M $CaCl_2.2H_2O$ และ 0.1 M Triethanolamine pH 7.30) 20 ml เขย่า 2 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 วัดความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก)

3.2.9 การวิเคราะห์ความชื้นของดิน

เก็บดินโดยใช้กระบอกเก็บดิน (Soil Core) ที่ทราบน้ำหนัก Core เมื่อเก็บดินเต็ม Core แล้วจึงนำมาชั่งหาน้ำหนักของดินสด นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าอุณหภูมิจะคงที่ จากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักแห้งของดิน เพื่อคำนวณหาความชื้นของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ข)

3.2.10 การวิเคราะห์เนื้อดิน

สารเคมี ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 50 % สารละลายโซเดียมอะซิเตท (NaOAc) pH 5.0 เตรียมดังนี้ ชั่ง NaOAc 82 g ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 1,000 ml เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 ml คนให้ละลาย เติม Glacial Acetic Acid 25 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml

ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ 5.0 โดย ใช้ Glacial Acetic Acid สารละลาย Calgon เตรียมดังนี้ ชั่ง Sodium Hexametaphosphate 35.7 g ใส่ใน Beaker ขนาด 1,000 ml เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 ml คนให้ละลาย เติม Sodium Carbonate 7.94 g ลงไป คนให้ละลายเข้ากันแล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml

วิธีการวิเคราะห์ขั้นตอนที่ 1 ชั่งตัวอย่างดินที่ผึ่งแห้ง (Air dried soil) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิm แล้ว 10 g ลงใน Beaker ขั้นตอนที่ 2 กำจัดอินทรียวัตถุ เติมน้ำกรองประมาณ 200 ml แล้วค่อยๆ เติม H_2O_2 ประมาณ 5 ml ลงใน Beaker โดยดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุมาก จะเกิดปฏิกิริยารุนแรง ทำให้ตัวอย่างดินล้นออกนอก Beaker ได้ ดังนั้นจึงต้องเติม H_2O_2 ทีละน้อยอย่างระมัดระวัง ถ้าเกิดปฏิกิริยารุนแรงสามารถลดปฏิกิริยาดังกล่าวโดยการนำ Beaker ไปแช่ในอ่างน้ำเย็น ขั้นตอนที่ 3 ทำให้ตัวอย่างดินเกิดการแตกตัว **ถ่าย**ตัวอย่างดินลงใน Beaker พลาสติกที่เตรียมไว้โดยมี Lab number เหมือนกันกับ Beaker แก้ว เติมสารละลาย Calgon ตัวอย่างละ 10 ml เพื่อช่วยให้อนุภาคดินกระจายอย่างอิสระ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ขั้นตอนที่ 4 แยกอนุภาคทราย ถ่ายตัวอย่างลงในถ้วย Stainless แล้วปั่นด้วย High speed stirrer ประมาณ 3 - 5 นาที ถ่ายตัวอย่างลงใน Cylinder ขนาด 1,000 ml ผ่านกรวยกรองที่มีตะแกรงขนาด 300 mesh อนุภาคทรายแป้ง และอนุภาคดินเหนียวจะผ่านลงไปใน Cylinder ล้างต่อไปด้วยน้ำกรองจนอนุภาคทรายแป้งและอนภาคดินเหนียวออกจากอนุภาคทรายจนหมดแล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml ถ่ายอนุภาคทรายที่แยกได้ลงใน Can ที่ทราบน้ำหนัก แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งหาน้ำหนัก ขั้นตอนที่ 5 แยกอนุภาคดินเหนียว ตัวอย่างที่อยู่ใน Cylinder จะมีเฉพาะอนุภาคทรายแป้ง และอนุภาคดินเหนียว กวนตัวอย่างให้ทั่วด้วย Plunger โดยจับเวลาเมื่อเริ่มกวน การตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ความลึกคงที่ ดังนั้นจึงต้องตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่กำหนด เมื่อถึงเวลาที่กำหนดใช้ Pipette ดูดตัวอย่างอนุภาคดินเหนียวซึ่งอยู่ในสภาพแขวนลอย 20 ml ใส่ลงใน Can ที่ทราบน้ำหนักแล้ว จากนั้นนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่แล้วจึงชั่งหาน้ำหนักอนุภาคดินเหนียว ในการวิเคราะห์ทุกครั้งจะต้องมี Blank เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ข)

3.3 การศึกษาเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

3.3.1 การตรวจนับปริมาณเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน

แยกสปอร์จากดินโดยนำตัวอย่างดินตัวอย่างละ 200 g ทำการแยกสปอร์จากดิน โดยวิธี Wet sieving and decanting method (Gerdeman and Nicolsan. 1963) ตามด้วยวิธี Modified sucrose centrifugation (Daniels and Skipper. 1982) นำดินตัวอย่าง 200 g ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 1,000 ml คน

ให้ดินแตกตัว แล้วทิ้งไว้ 10 วินาที เทดินผ่านตะแกรงร่อนขนาด 38 และ 500 mesh ตามลำดับ เทตะกอนดินบนตะแกรงร่อนขนาด 38 mesh ใส่จานเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ เทตะกอนดินบนตะแกรงร่อนขนาด 500 mesh เทใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 ml ปิดฝาแล้วนำไปปั่นเหวี่ยง (Modified sucrose centrifugation) ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเทน้ำใสเหนือตะกอนทิ้ง และเติมสารละลายซูโครสความเข้มข้น 40 % แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที เทสารละลายซูโครส 40 % เหนือตะกอนดินลงในตะแกรงร่อนขนาด 500 mesh โดยใช้กระบอกฉีดล้างน้ำตาลออกให้หมด เทสปอร์ของเชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าลงในจานเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ เพื่อทำการตรวจนับจำนวนสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

3.3.2 การประเมินการเข้าอยู่อาศัยในรากพืช

ประเมินการเข้าอาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากมันสำปะหลัง โดยใช้วิธีการของ Phillip and Hayman (1970) และ Trouvelet's method (1986) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างรากและล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น จากนั้นต้มรากมันสำปะหลังใน KOH ความเข้มข้น 5-10 % ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-10 นาที จากนั้นนำรากไปต้มในกรด HCl ความเข้มข้น 1 % เป็นเวลา 3-4 นาที แล้วนำรากไปอุ่นในสารละลายสีน้ำเงิน (Trypan blue) เป็นเวลา 10-20 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เพื่อย้อมสีราก จากนั้นตัดรากออกมาให้มีความยาว 1 cm จำนวน 30 ราก และนำกลุ่มตัวอย่างไปตรวจดูจำนวนการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราใต้กล้องจุลทรรศน์ (Light microscope) เพื่อดูโครงสร้าง Vesicle และ Arbuscule และประเมิน%ของการเข้าอยู่ของเชื้อรากพืชภายใต้กล้องจุลทรรศน์

3.3.3 การจำแนกชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

การจำแนกชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาซึ่งอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยนำสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่แยกโดยวิธีการปั่นเหวี่ยงด้วยน้ำตาลซูโครสแล้วมาวางบนสไลด์ที่หยด Polyvinyl Lacto Glycerol (PVLG) ไว้ ปิดทับด้วยกระจกปิดสไลด์ นำไปศึกษารูปร่างของสปอร์ ทั้งภายนอกและภายในสปอร์ของเชื้อรา ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ โครงสร้างที่ตรวจสอบได้แก่ สีของสปอร์ สิ่งตกแต่งที่ผิวสปอร์ จำนวนชั้นของผนังสปอร์ เส้นใยค้ำจุนสปอร์ (Hyphal attachment) เป็นต้น นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบ และจำแนกชนิดโดยใช้ฐานข้อมูล IN-VAM (http://invam.caf.wvu.edu)

3.3.4 การสกัด DNA ของเชื้อราในรากพืช

วิธีที่ใช้ในการสกัด DNA จากตัวอย่าง ประยุกต์จากวิธีการสกัด DNA จาก Tissue ของ Doyle and Doyle (1987) โดยมีขั้นตอนดังนี้ บดตัวอย่างรากด้วย Liquid Nitrogen ชั่งตัวอย่างพืช 1-5 g ใส่หลอด 1.5 ml Microcentrifuge tube เติม 1 ml ของ CTAB lysis buffet (2 % CTAB 1.4 M NaCl 0.2 % 2-mercaptoethanol 20 mM EDTA 100 mM Tris HCl) จากนั้นนำหลอดไปบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง โดยทุกๆ 10 นาที จะต้องทำการพลิกหลอดกลับไปกลับมา นำหลอดไป Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วเก็บส่วนใสที่ได้ใส่ลงในหลอด Centrifuge หลอดใหม่ จากนั้นเติม Equal volume ของ Chloroform / Isoamyl alcohol (24:1 v/v) เขย่าให้เข้ากันแล้ว นำหลอดไป Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วทำการเก็บส่วนใสชั้น Aqueous (ชั้นบนสุด) ใส่หลอดใหม่ ทำการตกตะกอน DNA ด้วย Equal volume ของ Isopropanal ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง หรือทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำหลอดไป Centrifuged ที่ความเร็ว 14,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 15 องศา-เซลเซียส เทส่วนใสทิ้ง ล้างตะกอน DNA ด้วย 85 % Ethanol และ 75 % Ethanol ตามลำดับ จากนั้น Air dry ตะกอน เป็นเวลา 30 นาที ทำการละลายตะกอน DNA ที่ได้ในน้ำกลั่นฆ่าเชื้อแล้วประมาณ 50 - 100 µl จากนั้นทำการ Purified DNA ที่ได้ ด้วยชุด Genomic DNA Clean & Concentrator-10 (Geneaid, Taiwan) หลังจากนั้นทำการรัน Genomic DNA ที่ได้บน 1 % Agarose gel เพื่อตรวจสอบคุณภาพ Genomic DNA วัดความเข้มข้นและดูค่าความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง NanoDrop 1,000 และเก็บ Genomic DNA ที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์ลำดับเบสต่อไป

3.4 การวิเคราะห์ DNA ของจุลินทรีย์ในดิน

วิธีที่ใช้ในการสกัด DNA จากตัวอย่าง ประยุกต์จากวิธีการสกัด DNA จาก Tissue ของ Doyle and Doyle (1987) โดยมีขั้นตอนดังนี้ ชั่งตัวอย่างดิน 0.2-0.5 g ใส่หลอด 1.5 ml Microcentrifuge tube เติม 1 ml ของ CTAB lysis buffet (2 % CTAB 1.4 M NaCl 0.2 % 2-mercaptoethanol 20 mM EDTA 100 mM Tris HCl) จากนั้นนำหลอดไปบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง โดยทุกๆ 10 นาที จะต้องทำการพลิกหลอดกลับไปกลับมา นำหลอดไป Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 8,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วเก็บส่วนใสที่ได้ใส่ลงในหลอด Centrifuge หลอดใหม่ จากนั้นเติม Equal volume ของ Chloroform / Isoamyl alcohol (24:1 v/v) เขย่าให้เข้ากันแล้ว นำหลอดไป Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วทำการเก็บส่วนใสชั้น Aqueous (ชั้นบนสุด) ใส่หลอดใหม่ ทำการตกตะกอน DNA ด้วย Equal volume ของ Isopropanal ที่

อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง หรือทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำหลอดไป Centrifuged ที่ความเร็ว 14,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เทส่วนใสทิ้ง ล้างตะกอน DNA ด้วย 85 % Ethanol และ 75 % Ethanol ตามลำดับ จากนั้น Air dry ตะกอน เป็นเวลา 30 นาที ทำการละลายตะกอน DNA ที่ได้ในน้ำกลั่นฆ่าเชื้อแล้วประมาณ 50 - 100 µl จากนั้นทำการ Purified DNA ที่ได้ ด้วยชุด Genomic DNA Clean & Concentrator-10 (Geneaid, Taiwan) หลังจากนั้นทำการรัน Genomic DNA ที่ได้บน 1 % Agarose gel เพื่อตรวจสอบคุณภาพ Genomic DNA วัดความเข้มข้นและดูค่าความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง NanoDrop 1,000 และเก็บ Genomic DNA ที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์ลำดับเบสต่อไป

3.5 การวิเคราะห์ลำดับเบส

การวิเคราะห์ลำดับเบสส่งตัวอย่างวิเคราะห์บริษัท Novogene Bioinformatics Technology Co., Ltd. การวิเคราะห์ลำดับเบสของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืชใช้ไพรเมอร์ ITS5-1737F 5’-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3’ และ ITS2-2043R 5’-GCTGCGTTCTTCATCGATGC-3’ การวิเคราะห์ลำดับเบสของจุลินทรีย์ในดินใช้ไพรเมอร์ 341F 5’-CCTAYGGGRBGCASCAG-3’ และ 806R 5’-GGACTACNNGGGTATCTAAT -3’ ประมวลผลโดยใช้โปรแกรม α- Diversity Analysis

3.6 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช

เก็บใบมันสำปะหลังที่อายุมันสำปะหลัง 3-4 เดือน โดยเก็บใบที่ 3-5 จากนั้นนำตัวอย่างใบที่ได้ตัวอย่างใบที่เก็บได้ไปล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นและซับให้แห้ง นำตัวอย่างใบไปชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักสด) จากนั้นนำใบไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ แล้วนำตัวอย่างใบไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง (น้ำหนักแห้ง) ตัวอย่างใบพืชที่แห้งแล้วนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืชต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบพืช วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และจุลธาตุ โดยการเผาให้เป็นเถ้า (Dry ashing) ชั่งตัวอย่างพืชใส่ Crucible 0.25xx g นำไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เติม Aqua regia (Hydrochloric acid และ Nitric acid อัตราส่วน 3:1) ปริมาตร 10 ml ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นเติมอีเทียม 1 ml (จากอีเทียมความเข้มข้น 50 ppm)ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 25 ml และเติมสารละลายตัวอย่างลงไป จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 25 ml กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นถ่ายตัวอย่าง

ลงในหลอดวัน ICP เพื่อนำสารละลายตัวอย่างที่ได้ไปวัดปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และจุลธาตุอาหารด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma spectrometry (ICP) (กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ค)

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้ Pearson correlation coefficient ด้วยโปรแกรม SAS และวิเคราะห์ Principal Component Analysis (PCA) ด้วยโปรแกรม Minitab version 17

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

พื้นที่ศึกษาคือแปลงปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง วิเคราะห์ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกมันสำปะหลังภาคสนาม โดยใช้ชุดทดสอบแบบรวดเร็ว (Test kit) ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิเคราะห์โดยเก็บดินทั้งหมด 9 แปลง แปลงละ 20 จุด พบว่าแปลงที่ 1-3 มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ แปลงที่ 4-6 มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง และแปลงที่ 7-9 มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง ตำแหน่งจุดพิกัดเก็บตัวอย่างดินทั้ง 9 แปลง แสดงในภาคผนวก (ภาคผนวกภาพที่ ก1-ก9) จากผลการวิเคราะห์ดินภาคสนามสามารถจัดกลุ่มจากระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (แปลงที่ 1-3) มีปริมาณฟอสฟอรัส 1-3 mg/kg ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ปานกลาง (แปลงที่ 4-6) มีปริมาณฟอสฟอรัส 4-6 mg/kg และระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง (แปลงที่ 7-9) มีปริมาณฟอสฟอรัส 7-9 mg/kg (ตารางที่ 4.1)

พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงปลูกมันสำปะหลัง ที่ปลูกมันสำปะหลังเพียงชนิดเดียวมาเป็นเวลานาน ใช้รถไถในการเตรียมพื้นที่และยกร่องสำหรับเพาะปลูก แปลงมันสำปะหลังส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก มีการจัดการดิน และใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของสำนักงานเกษตรอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง

ภาพที่ 4.1 แปลงมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง

ตารางที่ 4.1 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดโดยใช้ชุดทดสอบแบบรวดเร็ว (Test kit)

Field	P-Field
1	Low
2	Low
3	Low
4	Medium
5	Medium
6	Medium
7	High
8	High
9	High

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของดิน

ผลการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการพบว่า ระดับความลึก 0 - 15 cmฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดด้วยน้ำมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.00 - 0.90 mg/kg ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II พบว่าทั้ง 9 แปลงมีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ดินสูงมาก มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 28.01-133.95 mg/kg ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich I พบว่าทั้ง 9 แปลงมีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ดินสูงมาก มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 24.05-165.73 mg/kg และที่ระดับความลึก 15 - 30 cm มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินสกัดด้วยน้ำอยู่ในช่วง 0.00 - 2.25 mg/kg ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II พบว่าทั้ง 9 แปลงมีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ดินปานกลางจนถึงสูงมาก มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 16.59-108.07 mg/kg ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich I พบว่าทั้ง 9 แปลงมีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ดินสูงมาก มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 21.08-88.69 mg/kg (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดด้วยน้ำ น้ำยาสกัด Bray II และ Mehlich I ที่ระดับความลึก 0-30 cm

Field	0-15 (cm)			15-30 (cm)		
	P - water (mg/kg)	P - Bray II (mg/kg)	P - Mehlich I (mg/kg)	P - water (mg/kg)	P - Bray II (mg/kg)	P - Mehlich I (mg/kg)
1	0.00 e	34.82 def	34.96 ef	0.00 f	29.87 gf	27.15 ef
2	0.00 e	38.29 de	38.15 def	0.00 f	38.31 ef	36.49 e
3	0.00 e	20.01 efg	20.05 f	0.06 f	16.59 h	21.08 f
4	0.54 c	86.95 b	84.98 b	0.84 cd	89.20 b	62.25 cd
5	0.35 d	62.68 c	71.05 bc	0.48 e	60.05 c	65.75 bcd
6	0.38 d	26.70 fg	56.63 cde	0.61 de	24.05 gh	55.72 d
7	0.80 ab	22.66 g	55.23 cde	1.10 bc	47.00 de	69.89 bc
8	0.67 bc	133.95 a	59.64 cd	1.20 b	108.07 a	74.42 b
9	0.90 a	39.65 d	165.73 a	2.25 a	51.63 cd	88.69 a
F-test	**	**	**	**	**	**
CV (%)	29.42	11.78	19.82	24.69	11.37	10.48

** Significant at P<0.01 values followed by the same lowercase letter in the same column is not significantly difference at P<0.05

ความชื้นของดินทั้ง 9 แปลงพบว่าอยู่ในระดับต่ำ ที่ระดับความลึก 0 - 15 cm ความชื้นของดินอยู่ในช่วง 4.39 - 9.04 % ระดับความลึก 15 - 30 cm ความชื้นของดินอยู่ในช่วง 3.23 - 9.09 % การวิเคราะห์เนื้อดินที่ระดับความลึก 0 - 15 cm พบว่า แปลงที่ 1 - 3 มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (clay 15.66 - 17.53 % silt 10.84 - 11.95 % sand 71.29 - 73.48 %) และเนื้อดินแปลงที่ 4 - 9 มีเนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (clay 0.86 - 3.82 % silt 9.80 - 16.47 % sand 79.74 - 88.25 %) ที่ระดับความลึก 15 - 30 cm พบว่าแปลงที่ 1 - 3 มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (clay 13.22 -18.83 % silt 10.72 - 19.56 % sand 67.22 - 71.53 %) และเนื้อดินแปลงที่ 4 - 9 มีเนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (clay 1.57 - 4.22 % silt 8.54 - 19.34 % sand 77.96 - 87.25 %) (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของดิน ที่ระดับความลึก 0-30 cm

Field	0-15 (cm)				15-30 (cm)				Texture
	Moisture (%)	**Clay (%)**	**Silt (%)**	**Sand (%)**	**Moisture (%)**	**Clay (%)**	**Silt (%)**	**Sand (%)**	
1	6.87 c	15.66 c	10.84 h	73.48 g	9.09 a	15.14 b	13.26 d	71.53 g	Sandy Loam
2	7.59 b	16.73 b	11.95 e	71.29 i	6.55 d	13.22 c	19.56 a	67.22 i	Sandy Loam
3	6.86 d	17.53 a	10.89 g	71.55 h	6.12 e	18.83 a	10.72 g	70.46 h	Sandy Loam
4	6.65 f	1.83 g	14.09 c	84.07 d	3.23 i	1.57 i	12.76 e	85.72 c	Loamy Sand
5	6.21 g	0.86 h	15.95 b	83.17 e	3.48 h	2.17 h	15.04 c	82.81 e	Loamy Sand
6	4.80 h	3.82 d	16.47 a	79.74 f	6.70 c	2.67 f	19.34 b	77.96 f	Loamy Sand
7	4.39 i	1.95 f	9.8 i	88.25 a	4.15 g	2.52 g	11.53 f	85.95 b	Loamy Sand
8	9.04 a	2.02 e	13.33 d	84.69 c	8.13 b	3.09 e	11.51 f	85.48 d	Loamy Sand
9	6.81 e	3.81 d	11.29 f	84.91 b	4.95 f	4.22 d	8.54 h	87.25 a	Loamy Sand
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	-
CV (%)	0.43	0.37	0.2	0.03	0.41	0.35	0.16	0.03	-

** Significant at P<0.01 values followed by the same lowercase letter in the same column is not significantly difference at P<0.05

ระดับความลึก 0 - 15 cm พบว่าทั้ง 9 แปลงมีค่าความเป็นกรดด่างของดินอยู่ในช่วงกรดปานกลางจนถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.57 - 6.30) ดินไม่มีความเค็ม อยู่ในช่วง 0.34 - 0.66 mS/cm ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินต่ำ อยู่ในช่วง 3.18 - 8.50 cmol/kg อินทรียวัตถุและไนโตรเจนในดินทั้งหมดต่ำมาก มีค่าอยู่ในช่วง 0.18 - 0.49 % และ 0.02 % ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 15 - 30 cm พบว่าทั้ง 9 แปลงมีค่าความเป็นกรดด่างของดินอยู่ในช่วงกรดปานกลางจนถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.21 - 6.21) การนำไฟฟ้าของดินปานกลาง อยู่ในช่วง 0.34 - 0.57 mS/cm ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินต่ำ อยู่ในช่วง 2.86 - 7.75 cmol/kg อินทรียวัตถุและไนโตรเจนในดินทั้งหมดต่ำมาก มีค่าอยู่ในช่วง 0.14 - 0.39 % และ 0.02 % ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่าวิเคราะห์สมบัติดิน pH EC CEC OM และ total N ที่ระดับความลึก 0-30 cm

Field	0-15 cm					15-30 cm				
	pH	EC (mS/cm)	CEC (cmol/kg)	OM (%)	Total N (%)	pH	EC (mS/cm)	CEC (cmol/kg)	OM (%)	Total N (%)
1	5.72 b	0.49 bc	5.43 b	0.35 bc	0.02 a	5.21 c	0.44 ab	5.92 b	0.34 b	0.02 bc
2	5.70 b	0.48 bc	6.31 b	0.34 bc	0.02 b	5.29 bc	0.37 b	5.80 b	0.31 b	0.02 bc
3	5.73 b	0.44 bc	6.31 b	0.37 ab	0.02 b	5.27 bc	0.44 ab	6.10 b	0.39 a	0.02 abc
4	5.57 b	0.49 bc	4.18 c	0.31 bc	0.02 b	5.46 b	0.40 b	4.71 c	0.34 b	0.02 abc
5	5.63 b	0.49 bc	3.99 c	0.27 bcd	0.02 a	5.44 b	0.40 b	4.16 cd	0.32 b	0.02 a
6	5.66 b	0.66 a	8.50 a	0.49 a	0.02 a	5.45 b	0.57 a	7.75 a	0.36 ab	0.02 ab
7	6.24 a	0.58 ab	3.18 c	0.23 cd	0.02 d	6.21 a	0.56 a	2.86 e	0.20 c	0.02 c
8	6.30 a	0.59 ab	3.20 c	0.18 d	0.02 d	6.17 a	0.56 a	3.53 de	0.15 d	0.02 c
9	6.10 a	0.34 c	3.48 c	0.18 d	0.02 c	6.19 a	0.34 b	3.50 de	0.14 d	0.02 c
F-test	**	*	**	**	**	**	**	**	**	*
CV (%)	4.22	25.49	17.88	31.1	3.38	2.72	21.17	12.06	8.99	4.05

* Significant at P<0.05, ** Significant at P<0.01 values followed by the same lowercase letter in the same column is not significantly difference at P<0.05

ระดับความลึก 0 - 15 cm มีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมในดินต่ำ มีปริมาณอยู่ในช่วง 11.11-36.32 mg/kg 164.67 - 719.00 mg/kg 15.00-45.00 mg/kg และ 3.53 - 11.07 mg/kg ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 15 - 30 cm ทั้ง 9 แปลงมีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมในดินต่ำ มีปริมาณอยู่ในช่วง 1.55-27.07 mg/kg 158.67-674.44 mg/kg 10.77-47.88 mg/kg และ 2.20 - 10.51 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ที่ระดับความลึก 0-30 cm

Field	0-15 cm				15-30 cm			
	K (mg/kg)	**Ca (mg/kg)**	**Mg (mg/kg)**	**Na (mg/kg)**	**K (mg/kg)**	**Ca (mg/kg)**	**Mg (mg/kg)**	**Na (mg/kg)**
1	13.44 c	164.67 e	15.00 d	10.65 ab	22.44 b	158.67 f	13.77 c	9.35 a
2	11.11 c	200.67 de	15.50 d	8.18 b	15.44 cd	412.22 bc	13.77 c	8.27 a
3	19.77 bc	178.07 de	34.77 abc	9.92 ab	10.00 d	372.22 cd	26.25 b	9.84 a
4	14.45 ab	432.67 bc	23.25 cd	10.74 ab	26.71 b	302.78 de	28.33 b	10.43 a
5	20.11 bc	719.00 a	42.11 ab	8.99 ab	1.55 e	294.67 de	31.22 b	10.33 a
6	32.84 a	319.67 cd	30.77 bc	11.07 a	9.43 d	235.11 ef	28.66 b	10.51 a
7	36.32 ab	493.00 b	45.00 a	4.29 c	34.78 a	674.44 a	47.88 a	3.93 b
8	24.63 a**b**	438.33 bc	32.55 bc	3.53 c	27.07 b	499.44 b	37.88 ab	2.80 b
9	25.24 ab	499.00 b	30.55 b	4.47 c	20.55 bc	246.11 ef	10.77 c	2.20 b
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	25.31	29.10	22.34	24.95	20.04	15.36	24.14	27.90

** Significant at P<0.01 values followed by the same lowercase letter in the same column is not significantly difference at P<0.05

ปริมาณจุลธาตุในดิน ที่ระดับความลึก 0 - 15 cm พบว่าทั้ง 9 แปลง มีปริมาณเหล็ก และทองแดงในดินต่ำ มีปริมาณอยู่ในช่วง 3.24-8.49 และ 0.19 - 0.58 mg/kg ตามลำดับ มีปริมาณแมงกานีสในดินสูง อยู่ในช่วง 5.33-25.31 mg/kg ยกเว้นแปลงที่ 7 และ 8 ที่มีปริมาณแมงกานีสในดินต่ำ (4.75 และ 7.23 mg/kg) ปริมาณสังกะสีในดินแปลงที่ 1 - 8 อยู่ในระดับปานกลางคือ 1.13 - 2.88 และแปลงที่ 9 มีปริมาณสังกะสีในดินสูงที่สุด (6.88 mg/kg) ปริมาณจุลธาตุในดินที่ระดับความลึก 15 - 30 cm พบว่ามีปริมาณเหล็กในดินต่ำ อยู่ในช่วง 2.12-10.30 mg/kg แมงกานีสมีปริมาณปานกลางจนถึงสูง อยู่ในช่วง 4.56-22.35 mg/kg ปริมาณทองแดงในดิน อยู่ในระดับต่ำจนถึงปานกลาง อยู่ในช่วง 0.22-1.61 mg/kg ปริมาณสังกะสีในดินมีค่าปานกลางจนถึงสูง อยู่ในช่วง 0.57-8.11 mg/kg (ตารางที่ 4.6)

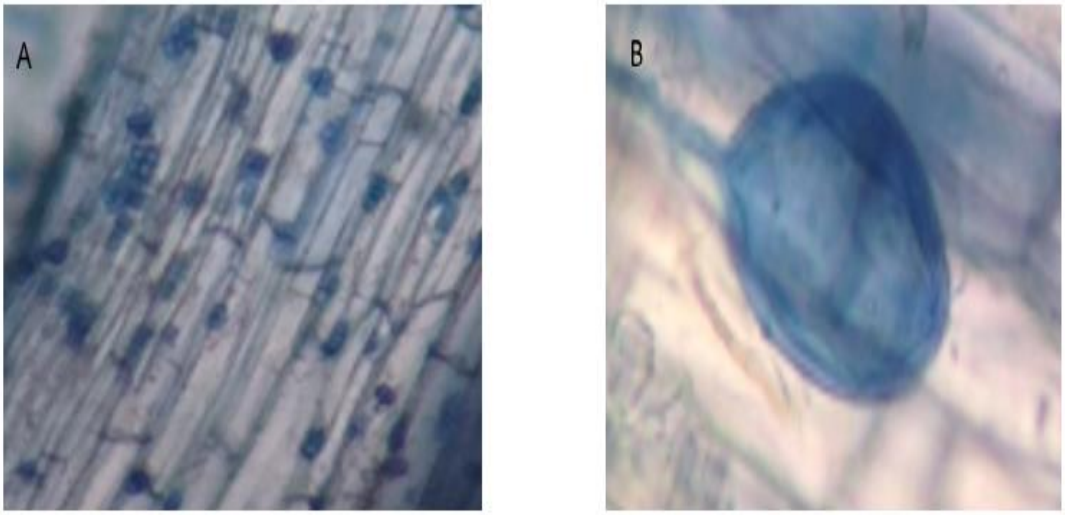
ตารางที่ 4.6 จุลธาตุในดิน ที่ระดับความลึก 0-30 cm

Field	0-15 cm				15-30 cm			
	Fe (mg/kg)	**Mn (mg/kg)**	**Cu (mg/kg)**	**Zn (mg/kg)**	**Fe (mg/kg)**	**Mn (mg/kg)**	**Cu (mg/kg)**	**Zn (mg/kg)**
1	3.74 de	16.33 bc	0.27 bcd	1.33 c	3.63 de	13.84 b	1.61 a	1.24 de
2	3.41 e	14.15 c	0.23 cd	1.13 c	4.20 d	11.68 bc	0.26 ef	0.80 ef
3	3.24 e	8.55 d	0.19 d	1.32 c	2.65 fg	5.66 cd	0.24 f	0.57 f
4	8.49 a	25.31 a	0.58 a	2.60 b	10.30 a	22.06 a	0.52 b	3.31 b
5	5.01 c	20.24 ab	0.51 a	2.37 b	7.74 b	15.42 b	0.47 c	2.57 c
6	3.55 e	21.64 ab	0.20 cd	1.35 c	2.72 efg	15.05 b	0.22 f	1.48 d
7	5.07 c	5.33 d	0.30 bc	1.24 c	5.31 c	4.56 d	0.29 de	1.53 d
8	6.32 b	6.46 d	0.33 b	1.53 c	3.29 def	12.44 bc	0.31 d	1.85 d
9	4.72 cd	20.46 ab	0.25 bcd	8.33 a	2.12 g	22.35 a	0.25 ef	8.11 a
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	12.83	21.09	21.06	13.84	11.13	29.19	5.73	16.07

** Significant at P<0.01 values followed by the same lowercase letter in the same column is not significantly difference at P<0.05

4.3 ผลการศึกษาเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ที่ระดับความลึก 0-15 cm พบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากในช่วง 14.15-32.70 % การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากสูงสุดในแปลงที่ 2 คือ 32.70 % พบจำนวนสปอร์ของเชื้อราในช่วง 4.04-8.75 spore/g soil และพบจำนวนสปอร์มากที่สุดในแปลงที่ 3 คือ 8.75 spore/g soil ระดับความลึก 15-30 cm พบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากในช่วง 14.46-28.39 % การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากสูงสุดในแปลงที่ 2 คือ 28.39 % พบจำนวนสปอร์ของเชื้อราในช่วง 4.36-8.48 spore/g soil และพบจำนวนสปอร์มากที่สุดในแปลงที่ 2 คือ 8.48 spore/g soil (ตารางที่ 4.7)

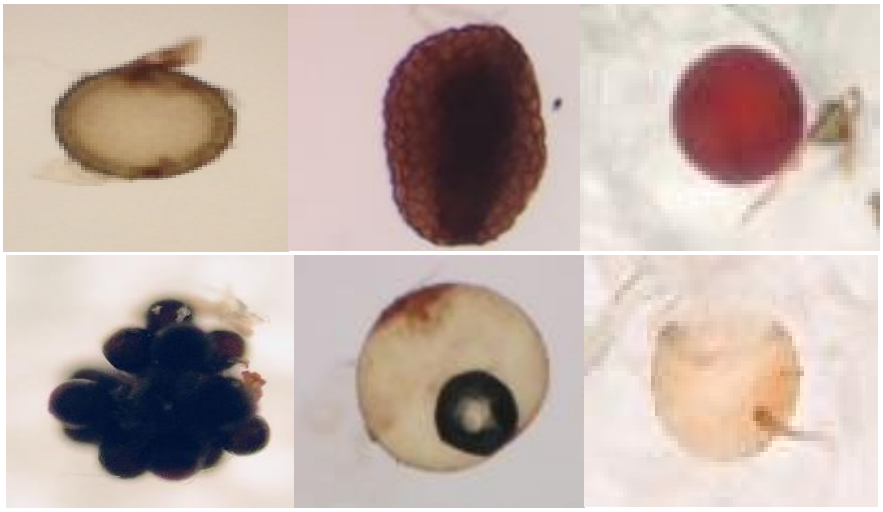


ภาพที่ 4.2 แสดงโครงสร้างของเส้นใยแบบอาร์บัสคูล (Arbuscule) (A) และโครงสร้างเส้นใยแบบเวสิเคิล (Vesicle) (B)

ตารางที่ 4.7 การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก ที่ความลึก 0 - 30 cm

Field	0 - 15 cm		15 - 30 cm	
	Colonization in root (%)	Number of spore (spore/g soil)	Colonization in root (%)	Number of spore (spore/g soil)
1	30.08 a	7.78 ab	27.13 ab	7.90 a
2	32.70 a	8.08 ab	28.39 a	8.48 a
3	32.44 a	8.75 a	26.57 ab	5.02 bc
4	18.95 b	5.38 cd	17.61 c	5.35 bc
5	18.00 b	4.04 d	19.41 bc	4.58 bc
6	16.73 b	4.80 d	17.09 c	4.36 c
7	14.82 b	6.98 b	14.67 c	5.99 bc
8	14.15 b	6.51 bc	14.46 c	5.20 bc
9	16.95 b	7.51 ab	16.51 c	6.11 b
F-test	**	**	**	**
CV (%)	25.15	16.79	29.26	20.31

** Significant at P<0.01 values followed by the same lowercase letter in the same column is not significantly difference at P<0.05



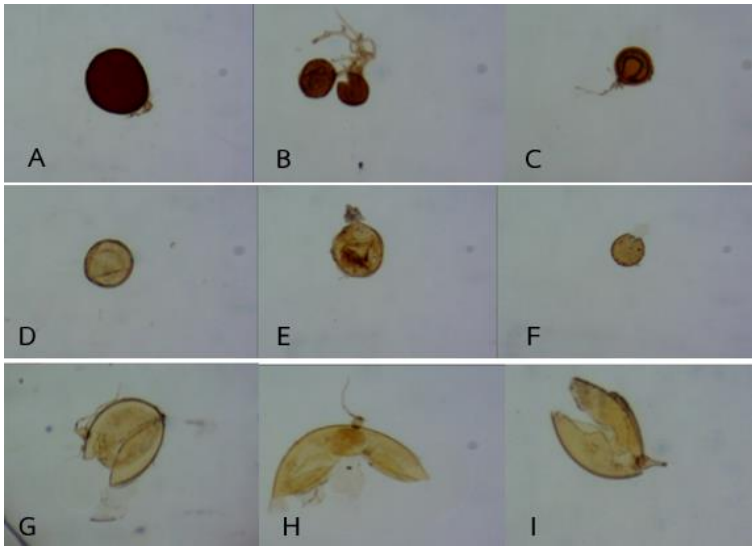
ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

4.4 ผลการจำแนกชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

การศึกษาชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินบริเวณรอบรากมันสำปะหลัง 9 แปลง โดยจำแนกสปอร์จากตัวอย่างสปอร์ ตัวอย่างละ 40 สปอร์ (ตารางที่ 4.8) พบว่าชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบมากที่สุดอยู่ในสกุล *Glomus* รองลงมาคือ *Acaulospora* และ *Gigaspora* ซึ่งพบ *Gigaspora* ในแปลงที่ 1 2 5 7 8 และ 9 เท่านั้น

ตารางที่ 4.8 การจำแนกชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูราไมคอร์ไรซาบริเวณรอบรากมันสำปะหลัง ที่ความลึก 0 - 30 cm

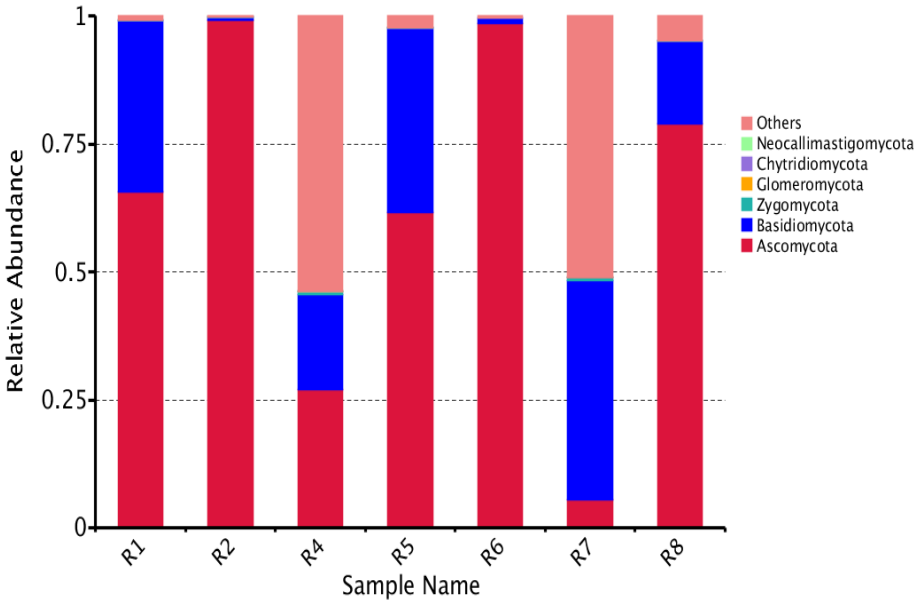
Field	0 - 15 cm			15 - 30 cm		
	Glomus **(spore)**	***Acaulospora*** **(spore)**	***Gigaspora*** **(spore)**	***Glomus*** **(spore)**	***Acaulospora*** **(spore)**	***Gigaspora*** **(spore)**
1	20	19	1	19	20	1
2	22	17	1	20	20	-
3	23	17	-	24	16	-
4	26	14	-	25	15	-
5	20	18	2	19	18	3
6	20	20	-	24	16	-
7	18	20	2	20	20	-
8	24	16	-	19	20	1
9	19	19	2	20	20	0



ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่จำแนกเป็นจีนัสต่างๆ : *Glomus* (A-C) *Acaulospora* (D-F) และ *Gigaspora* (G-I) กำลังขยาย 40X

4.5 การวิเคราะห์ลำดับเบสของเชื้อราในรากพืช

การวิเคราะห์ลำดับเบสของเชื้อราในรากมันสำปะหลัง (ภาพที่ 4.5) พบปริมาณเชื้อราในไฟลัม Ascomycota 0.00-98.67 % Basidiomycota 0.00-42.80 % Zygomycota 0.00-0.64 % Glomeromycota 0.00-0.10 % Chytridiomycota 0.00-0.10 % Neocallimastigomycota 0.00-0.10 % และ เชื้อราที่ไม่สามารถจำแนกได้ (Unclassified) แปลงที่ศึกษาส่วนใหญ่ไม่พบเชื้อราในไฟลัม Glomeromycota แต่พบว่าแปลงที่ 1 2 5 6 และ 8 พบเชื้อราส่วนใหญ่อยู่ในไฟลัม Ascomycota รองลงมาคือไฟลัม Basidiomycota แปลงที่ 4 และ 7 พบชนิดของเชื้อรากลุ่มที่ไม่สามารถจำแนกได้เป็นส่วน



ภาพที่ 4.5 ความชุกชุมสัมพัทธ์ของเชื้อราในรากจากการวิเคราะห์ลำดับเบสบนยีน ITS

หมายเหตุ: R1 ถึง R8 คือตัวอย่างรากแปลงที่ 1 ถึง แปลงที่ 8

4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติดินและเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

การศึกษาความสัมพันธ์ของสมบัติดินและเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ระดับความลึก 0-15 cm (ตารางที่ 4.9) พบว่าการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับจำนวนสปอร์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอไรซา (r = 0.65*) และอนุภาคดินเหนียว (r = 0.97**) มีความสัมพันธ์ในทางลบกับอนุภาคทราย (r = -0.95**) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (r = -0.63*) ปริมาณโพแทสเซียม (r = -0.70*) และแคลเซียม (r = -0.77*) จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสัมพันธ์ในทางบวกกับอนุภาคดินเหนียว (r = 0.77*) มีความสัมพันธ์ในทางลบกับอนุภาคดินร่วน (r = -0.87**) และแคลเซียม (r = -0.69*) ระดับความลึก 15-30 cm (ตารางที่ 4.10) พบว่าการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับจำนวนสปอร์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอไรซา (r=0.61*) อนุภาคดินเหนียว (r = 0.91**) จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสัมพันธ์ในทางบวกกับอนุภาคทราย (r = -0.94*) ความเป็นกรดด่างของดิน (r = 0.79*) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (r = -0.69*)

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของการเข้าอยู่อาศัยของ AMF ในรากพืช จำนวนสปอร์ และสมบัติของดิน ที่ระดับความลึก 0-15 cm

	Colonization	Spore	Moisture	Clay	Silt	Sand	pH	EC	CEC	OM	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
Colonization																				
Spore	0.65*																			
Moisture	0.25	0.32																		
Clay	0.97**	0.77*	0.26																	
Silt	-0.38	-0.87**	-0.08	-0.48																
Sand	-0.95**	-0.54	-0.26	-0.95	0.17															
pH	-0.50	0.26	0.16	-0.34	-0.46	0.55														
EC	-0.36	-0.45	-0.29	-0.30	0.43	0.18	0.14													
CEC	0.47	0.02	-0.24	0.50	0.32	-0.68*	-0.37	0.06												
OM	0.43	0.01	-0.36	0.42	0.37	-0.61	-0.34	0.13	0.74*											
N	0.36	-0.31	-0.30	0.24	0.55	-0.47	-0.68**	0.02	0.60*	0.55										
P	-0.63*	-0.26	0.68*	-0.51	0.28	0.47	0.28	0.06	-0.50	-0.38	-0.34									
K	-0.70*	-0.25	-0.59	-0.56	0.04	0.62	-0.07	0.17	-0.07	-0.14	-0.02	0.14								
Ca	-0.77*	-0.69*	-0.19	-0.86**	0.40	0.82**	0.14	-0.07	-0.48	-0.48	-0.12	0.31	0.29							
Mg	-0.49	-0.51	-0.49	-0.49	0.55	0.45	0.23	0.10	-0.09	-0.05	0.26	0.03	0.58	0.66						
Na	0.49	-0.15	-0.23	0.38	0.40	-0.57	-0.52	0.09	0.53	0.50	0.71	-0.33	0.02	-0.29	-0.24					
Fe	-0.55	-0.44	0.18	-0.68*	0.22	0.65	0.12	0.04	-0.60	-0.44	-0.30	0.72*	0.05	0.49	0.00	-0.17				
Mn	-0.09	-0.53	-0.17	-0.23	0.59	0.04	-0.65	-0.21	0.24	0.30	0.68	-0.01	0.29	0.20	0.03	0.56	0.24			
Cu	-0.38	-0.64	0.06	-0.58	0.42	0.49	-0.19	-0.02	-0.37	-0.11	0.14	0.47	0.22	0.42	0.06	0.06	0.48	0.35		
Zn	-0.30	-0.04	0.06	-0.29	-0.10	0.36	0.24	-0.69	-0.37	-0.50	-0.19	-0.01	0.08	0.37	0.39	-0.36	0.14	0.39	0.03	

* Significant at P<0.05, ** Significant at P<0.01

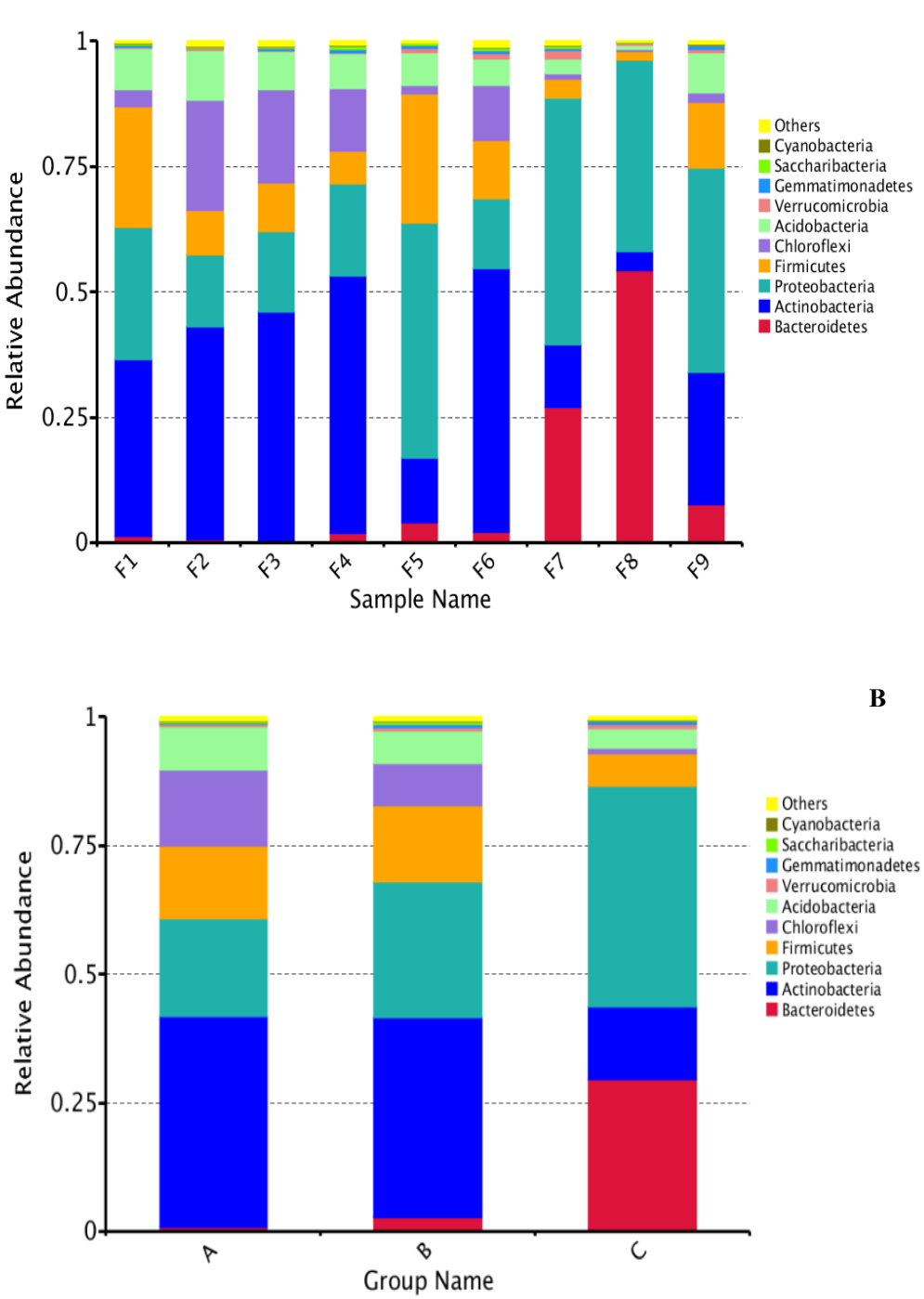
ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของการเข้าอยู่อาศัยของ AMF ในรากพืช จำนวนสปอร์ และสมบัติของดิน ที่ระดับความลึก 15-30 cm

	Colonization	Spore	Moisture	Clay	Silt	Sand	pH	EC	CEC	OM	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
Colonization																				
Spore	0.61*																			
Moisture	0.39	0.40																		
Clay	0.91**	0.52	0.52																	
Silt	0.32	0.17	0.16	0.03																
Sand	-0.94*	-0.53	-0.52	-0.87**	-0.51															
pH	-0.79**	-0.16	-0.18	-0.59	-0.56	0.78**														
EC	-0.06	-0.13	0.31	-0.28	0.14	0.17	0.17													
CEC	0.39	0.06	0.41	0.46	0.65	-0.71**	-0.68**	0.05												
OM	0.68	-0.16	0.00	0.46	0.56	-0.73	-0.95**	-0.07	0.79*											
N	0.13	-0.23	-0.21	-0.09	0.63	-0.23	-0.39	-0.07	0.40	0.36										
P	-0.69*	-0.20	-0.19	-0.62	-0.29	0.68*	0.49	0.08	-0.61	-0.52	-0.28									
K	-0.38	0.29	0.05	-0.22	-0.44	0.40	0.59	0.28	-0.54	-0.55	-0.84**	0.42								
Ca	-0.34	-0.03	-0.20	-0.19	-0.16	0.24	0.56	0.46	-0.55	-0.46	-0.52	0.27	0.51							
Mg	-0.61	-0.55	-0.30	-0.49	-0.11	0.48	0.43	0.74*	-0.38	-0.15	-0.10	0.35	0.31	0.73*						
Na	0.51	0.01	-0.08	0.29	0.57	-0.52	-0.80**	-0.08	0.60*	0.52	0.40	-0.18	-0.24	-0.36	0.03					
Fe	-0.17	-0.16	-0.67*	-0.42	-0.07	0.33	-0.17	-0.20	-0.26	0.24	0.28	0.47	0.08	0.05	0.29	0.39				
Mn	-0.24	-0.07	-0.23	-0.43	-0.04	0.39	0.01	-0.50	-0.02	-0.11	0.20	0.38	-0.07	-0.64	-0.48	0.03	0.30			
Cu	0.40	0.46	0.45	0.34	-0.04	-0.27	-0.40	-0.11	0.15	0.28	-0.00	-0.12	0.13	-0.48	-0.33	0.27	0.08	0.11		
Zn	-0.44	-0.10	-0.36	-0.42	-0.51	0.61	0.51	-0.49	-0.45	-0.56	-0.21	-0.25	0.11	-0.28	-0.34	-0.49	-0.02	0.72*	-0.15	

* Significant at P<0.05, ** Significant at P<0.01

4.7 ผลการวิเคราะห์ DNA ของจุลินทรีย์ในดิน

ผลการวิเคราะห์ลำดับเบสบริเวณ 16S rDNA ของจุลินทรีย์ในดิน (ภาพที่ 4.6A) พบว่า Bacteroidetes 0.52-54.32 Actinobacteria 3.66-52.57% Proteobacteria 13.94-49.23% Firmicutes 1.73-25.73% Chloroflexi 0.33-21.91% Acidobacteria 0.96-10.01% Acidobacteria 0.96-10.01% Verrucomicrobia 0.23-1.54% Gemmatimonadetes 0.14-0.80% Saccharibacteria 0.02-0.71% Cyanobacteria 0.06-0.35% และแบคทีเรียที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ (Others) 0.15-1.11% แปลงที่ 1 2 3 4 และ 6 พบแบคทีเรียกลุ่ม Actinobacteria เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือ Proteobacteria และ Firmicutes แปลงที่ 5 7 8 และ 9 พบแบคทีเรียกลุ่ม Proteobacteria รองลงมาคือ Bacteroidetes และ Actinobacteria จากการจัดกลุ่มแปลงมันสำปะหลังเป็น 3 กลุ่ม ตามระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภาคสนาม กลุ่ม A คือ แปลงที่ 1-3 (ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ) กลุ่ม B คือ แปลงที่ 4-6 (ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินปานกลาง) และกลุ่ม C คือ แปลงที่ 7-9 (ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูง) (ภาพที่ 4.6B) พบว่า Proteobacteria และ Bacteroidetes มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงขึ้น แต่ Actinobacteria Firmicutes Chloroflexi และ Saccharibacteria มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงขึ้น



ภาพที่ 4.6 ความชุกชุมสัมพัทธ์ของแบคทีเรียในดิน จากการวิเคราะห์ลำดับเบสบนยีน 16s rDNA

หมายเหตุ: F1 ถึง F9 คือตัวอย่างดินแปลงที่ 1 ถึง แปลงที่ 9

A คือตัวอย่างดินแปลงที่ 1 ถึง แปลงที่ 3 B คือตัวอย่างดินแปลงที่ 4 ถึง แปลงที่ 6 และ C คือตัวอย่างดินแปลงที่ 7 ถึง แปลงที่ 9

4.8 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืช

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.11) พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม สังกะสี และโบรอนทั้งหมดในพืชสูงที่สุดในแปลงที่ 9 พบความเข้มข้นของธาตุอาหาร 0.46 mg/kg 1.24 mg/kg 2.10 mg/kg 239.78 mg/kg และ 40.51 mg/kg ตามลำดับ ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในพืชสูงสุดในแปลงที่ 3 คือ 7.00 % ความเข้มข้นของแมกนีเซียมทั้งหมดในพืชสูงสุดในแปลงที่ 7 คือ 0.49 mg/kg ความเข้มข้นของเหล็กสูงสุดในแปลงที่ 1 คือ 100.90 mg/kg ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในพืชสูงสุดในแปลงที่ 2 คือ 1,370.39 mg/kg และความเข้มข้นของทองแดงทั้งหมดในพืชสูงสุดในแปลงที่ 6 คือ 15.74 mg/kg

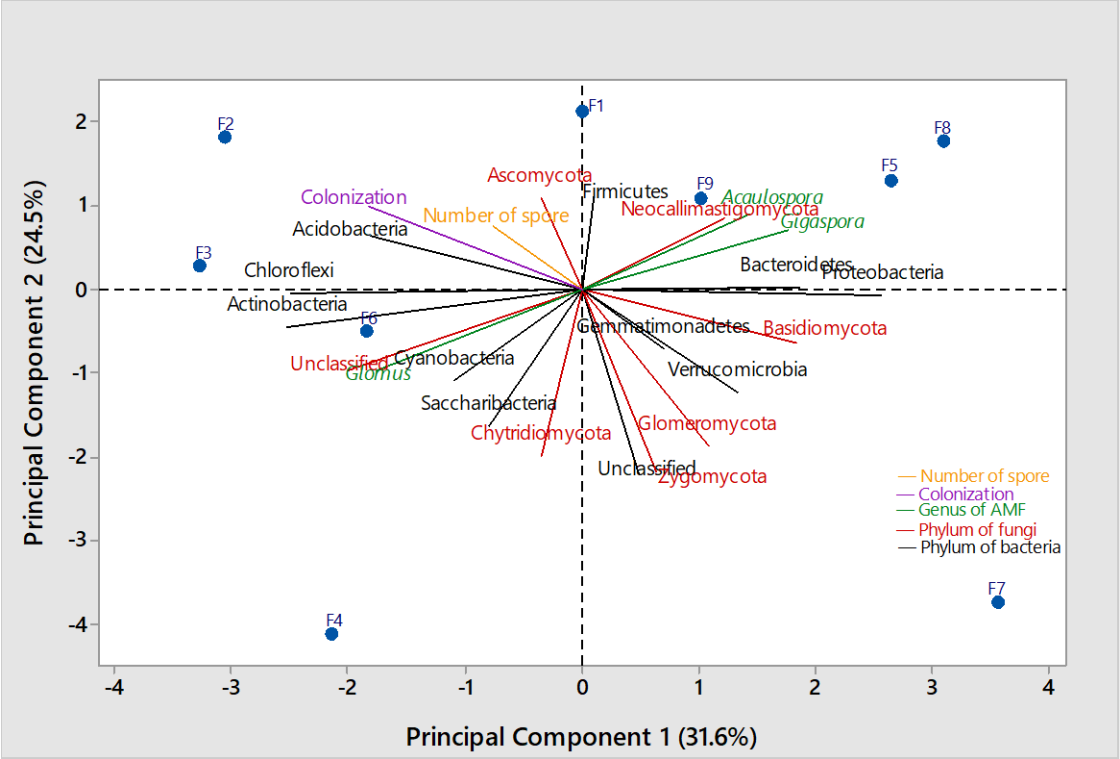
ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลัง

Field	Concentration (mg/kg)									
	Total N (%)	**Total P**	**Total K**	**Total Ca**	**Total Mg**	**Total Fe**	**Total Mn**	**Total Zn**	**Total Cu**	**Total B**
1	6.72 ab	0.33 cd	0.89 b	0.83 bc	0.33 b	100.90 bc	1102.33 ab	55.36 cd	7.54 de	38.72 a
2	6.65 ab	0.31 cd	0.77 b	0.95 bc	0.32 b	93.46 bc	1370.39 a	60.09 cd	7.07 e	43.26 a
3	7.00 a	0.38 b	1.19 a	0.64 c	0.32 b	90.17 cd	823.69 b	55.35 cd	7.64 de	37.59 a
4	6.30 b	0.31 cd	1.09 a	0.81 bc	0.33 b	99.06 bc	817.48 b	129.19 b	8.76 c	35.81 a
5	5.79 c	0.29 d	0.83 b	1.20 b	0.42 ab	94.34 bc	869.72 b	74.93 c	6.86 e	39.37 a
6	6.81 ab	0.34 bc	1.11 a	0.62 c	0.32 b	81.06 d	494.97 c	59.23 cd	15.74 b	33.59 a
7	4.48 d	0.35 bc	1.18 a	1.78 a	0.49 a	105.11 b	455.29 c	47.38 d	5.28 f	32.87 a
8	4.52 d	0.38 b	1.17 a	1.87 a	0.47 a	126.81 a	263.94 c	49.02 cd	17.65 a	20.96 b
9	4.33 d	0.46 a	1.24 a	2.10 a	0.46 a	100.83 bc	397.51 c	239.78 a	8.14 cd	40.51 a
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	6.26	9.78	12.67	31.98	20.59	6.29	29.30	17.03	6.19	21.92

** Significant at P<0.01 values followed by the same lowercase letter in the same column is not significantly difference at P<0.05

4.9 ความสัมพันธ์ของจำนวนประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียประจำถิ่นในดิน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน และชนิดของสปอร์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ภาพที่ 4.7) พบว่า PC1 มีเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวน 31.6 % และ PC2 มีเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวน 24.5 % จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ Acidobacteria Chloroflexi และ Ascomycota ซึ่งพบมากในแปลงที่ 2 และ 3 แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับเชื้อรากลุ่ม Zygomycota และ Glomeromycota ที่มีความสัมพันธ์กับแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สามารถจำแนกได้ (Unclassified) ซึ่งพบมากในแปลงที่ 7 สปอร์ชนิด *Acaulospora* และ *Gigaspora* มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับเชื้อรากลุ่ม Neocallimastigomycota ซึ่งพบมากในแปลงที่ 5 8 และ 9 แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับสปอร์ชนิด *Glomus* ที่มีความสัมพันธ์กับเชื้อรากลุ่มที่ไม่สามารถจำแนกได้ (Unclassified) และแบคทีเรียกลุ่ม Cyanobacteria ซึ่งพบมากในแปลงที่ 4 และ 6



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของจำนวนประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียประจำถิ่นในดิน

4.10 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.10.1 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกมันสำปะหลังภาคสนาม โดยใช้ชุดทดสอบแบบรวดเร็ว (Test kit) ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีความแตกต่างกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในภาคสนาม สุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบทั่วทั้งแปลงและนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในภาคสนาม ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการที่วิเคราะห์ดินตามจุดที่เก็บตัวอย่างดิน คือ 20 จุด โดยเก็บดินทั้งหมด 9 แปลง ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในระดับที่แตกต่างกัน พบว่าแปลงที่ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่าแปลงอื่นๆ ที่ศึกษาเมื่อใช้น้ำยาสกัด Bray II ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยาทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น Bray II และ Mehlich I ในแปลงที่ 1-3 มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าแปลงที่ 4-6 และช่วงฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุดคือแปลงที่ 7-9 จะเห็นได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการวิเคราะห์ในภาคสนาม ตำแหน่งจุดพิกัดเก็บตัวอย่างดินทั้ง 9 แปลง แสดงในภาคผนวก (ภาคผนวกภาพที่ ก1-ก9) ฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำเป็นฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้ (Water soluble) ฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II และ Mehlich I คือฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูป Available P_2O_5 การใช้น้ำยาสกัด Bray II และ Mehlich I เป็นวิธีที่สกัดเอาส่วน Acid soluble P และ Adsorbed P ออกมาให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่นิยมใช้วิธี Bray II ในการสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Angela. 2003) จากการศึกษาสารละลายสกัดฟอสฟอรัสในดินที่เหมาะสมในการใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนา และดินไร่ พบว่า สารละลาย Bray I Bray II Mehlich I และ Olsen สามารถใช้สกัดฟอสฟอรัสในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II จะถูกดูดกลับสู่ดินในระหว่างการกรอง ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่วัดได้ใน Bray II ต่ำกว่าค่าจริงในดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับฟอสฟอรัสสูง ซึ่งเป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับฟอสฟอรัสของดินและยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยวิธี water soluble Mehlich 3 และ Bray I มีความสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและไม่ขึ้นกับค่าความเป็นกรดด่างของดิน (Takahashi. 1999) จากการศึกษาของ อัญธิชา พรมเมืองคุก (2546) ที่ศึกษาชนิดของสารละลายสกัดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการหาค่าดัชนีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาและดินไร่บางชุดดินในเขตลุ่มแม่กลองใหญ่ พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินจากการสกัดด้วยสารละลาย 4 ชนิด มีความสัมพันธ์กับส่วนเหนือดิน

โดยฟอสฟอรัสที่สกัดโดยใช้ Bray I Bray II และ Mehlich I มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับส่วนเหนือดินเท่ากัน (r = 0.996**)

4.10.2 มันสำปะหลังกับสมบัติดิน

ดินบริเวณที่ศึกษาเป็นชุดดินสัตหีบ (Sattahip soil series: Sh) ทั้ง 9 แปลง มีความเป็นกรดด่างของดินเป็นกรดปานกลางจนถึงกรดเล็กน้อย มีอินทรียวัตถุในดินต่ำ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินต่ำ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงมาก ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินต่ำ ปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ มีแมงกานีส ทองแดง และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ปริมาณปานกลางจนถึงสูง ซึ่งเหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่ปรับตัวได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และทนต่อสภาพดินที่เป็นกรด ในดินที่มีความเป็นกรดด่าง 4.4 ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง แต่ในดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 8 จะส่งผลให้การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังลดลง ซึ่งความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมสำหรับมันสำปะหลังคือ 6.0-7.0 (กรมวิชาการเกษตร. 2545) มันสำปะหลังต้องการดินที่มีการระบายน้ำดี เนื่องจากสภาพดินที่มีน้ำขังจะทำให้หัวมันสำปะหลังเน่า และผลผลิตของมันสำปะหลังลดลง อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังคือ 18-23 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนที่มันสำปะหลังต้องการอยู่ในช่วง 1,200-1,500 มิลลิmต่อปี ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % สามารถเจริญเติบโตได้ในดินเกือบทุกชนิด ยกเว้นดินเหนียวจัด (สุรชัย สินธุประมา. 2526) ดินทั้ง 9 แปลงมีการระบายน้ำดี มีความชื้นในดินต่ำ เนื้อดินเป็นดินทรายจัด ความชื้นชลประทาน (Field Capacity; Fc) ของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง (% โดยน้ำหนักแห้งของดิน) ในดินทรายคือ 6-12 % ดินร่วนปนทรายคือ 10-18 % และในดินร่วนคือ 18-26 % ความชื้นจุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point; PWP) ที่เหมาะสม (% โดยน้ำหนักแห้งของดิน) ในดินทรายคือ 2-6 % ดินร่วนปนทรายคือ 4-8 % และในดินร่วนคือ 8-12 % (เกียรติคุณ ชินประสาทศักดิ์ และคณะ. 2551) ความชื้นของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 4-10 พื้นที่ศึกษาที่ระดับความลึก 0 - 30 cm มีความเหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์. 2551)

4.10.3 เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสมบัติดิน

ดินบริเวณที่ศึกษามีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซานี้ทำให้เชื้อราพักตัวอยู่ในรูปสปอร์ และเมื่อมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สปอร์จะงอกและเจริญเข้าสู่รากพืช ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันจะทำให้สปอร์มีรูปร่าง และขนาดที่แตกต่างกัน (ธงชัย มาลา. 2546) สปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาใน

ดินที่พบมีหลายขนาด หลายรูปร่าง เช่น กลมรี หรือรูปไข่ สีของสปอร์ที่พบ เช่น สีส้ม สีแดง สีดำ สีเหลือง และสีเทา (ภาพที่ 4.3) พบจำนวนสปอร์ในช่วง 4.04 - 8.75 spore/g soil ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของนิจพร ณ พัทลุง (2556) ที่ศึกษาความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย พบจำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในแปลงมันสำปะหลังคือ 0.6 - 15 spore/g soil มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของนภาพร คงตุก และจรัสลักษณ์ เพชรวัง (2560) ที่สำรวจชนิดและจำนวนประชากรของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินรอบรากพริกไทยจากแปลงปลูกในจังหวัดนครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี พบจำนวนสปอร์ 2.75 - 12.42 spore/g soil และใกล้เคียงกับการศึกษาของ Feng-xiu (2008) ที่ศึกษาความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในแปลงมันสำปะหลัง จำนวน 23 แปลง ในเขตปกครองตนเองกว่างซี ประเทศจีน พบจำนวนสปอร์ในแปลงมันสำปะหลัง 4.89 spore/g soil การอยู่แบบพึ่งพาอาศัยของเชื้อรากับพืช พืชจะปลดปล่อยสารออกมาจากรากพืช (Root exudate) ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน และเป็นตัวชักนำให้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซางอกและเจริญเข้าหารากพืช ในพืชที่มีอายุมากและมีทรงพุ่มขนาดใหญ่ทำให้บริเวณรากพืชมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงเหมาะสมต่อการงอกและการสร้างสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (สมจิตร อยู่เป็นสุข. 2549) เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเจริญเติบโตได้ในหลายช่วงความชื้น ไม่ว่าจะเป็นในดินที่มีความชื้นต่ำ หรือดินที่มีน้ำท่วม (Bagyaraj. 1991) เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเข้าอยู่อาศัยในรากพืชได้ในดินที่มีความเป็นกรดด่างของดินที่หลากหลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เช่น *Glomus fasciculatum* เข้าอยู่อาศัยในรากพืชสูงในดินที่มีความเป็นกรดด่างของดิน 4.4-5.5 (Heijne *et al*. 1996) การเข้าอยู่อาศัยของ *Glomus caledonium* ในรากข้าวโอ๊ตและรากมะเขือเทศสูงที่ความเป็นกรดด่างของดินมีค่า 5.5-7.5 การศึกษาการกระจายและความสมบูรณ์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในเขต Merredin ของรัฐเวสเทิร์นออสเตรเลีย เป็นการศึกษาสมบัติของดิน (pH ปริมาณดินเหนียว ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และฟอสฟอรัสที่สกัดได้) พบว่า *Acaulospora laevis* ถูกพบในดินที่มีค่าความเป็นกรดด่างต่ำในขณะที่ *Glomus sp*. WUM3 เข้าอยู่อาศัยในรากพืชได้เฉพาะในดินที่มีค่าความเป็นกรดด่างสูง การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพบโครงสร้างของเส้นใยแบบเวสิเคิล (Vesicle) มากกว่าโครงสร้างแบบอาร์บัสคูล (Arbuscule) และสามารถเห็นโครงสร้างของเส้นใยทั้งสองชนิดได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (ภาพที่ 4.2) ผลการศึกษาพบปริมาณการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากและจำนวนสปอร์สูงในแปลงที่ 1 ถึงแปลงที่ 3 ซึ่งเป็นแปลงที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ มีรายงานว่าดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำการเข้าอยู่อาศัย

ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากจะสูง และเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตสเพื่อละลายฟอสฟอรัสให้ละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช และดูดซึมฟอสฟอรัสผ่านเส้นใยของเชื้อราเข้าสู่พืช เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจึงมีบทบาทอย่างมากในการดูดซึมฟอสฟอรัสให้แก่พืช (เอกรินทร์ ช่วยชู. 2558) ผลการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Sieverding and Leihner (1984) ที่ศึกษาการปลูกมันสำปะหลังในระบบต่างๆ พบว่าการปลูกมันสำปะหลังเพียงชนิดเดียว มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์-ไรซาในราก 12.2 % การปลูกมันสำปะหลังหมุนเวียนกับพืชตระกูลถั่ว มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก 20.8 % และการปลูกมันสำปะหลังร่วมกับกับพืชตระกูลถั่ว มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก 18.1 % (Sieverding and Leihner. 1984) และใกล้เคียงกับการศึกษาของจารุณี มีจุ้ย (2558) ที่ทำการสำรจการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากพืช 8 ชนิด ได้แก่ ผักโขมเมล็ด ข้าวฟ่าง ข้าวฟ่างหางหมา ข้าวโพด ถั่วลิสง ถั่วดำ และ ถั่วสอด พบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในราก อยู่ในช่วง 9.29 - 63.89 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพืชชนิดที่ศึกษา

4.10.4 ความหลากหลายของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

การศึกษาชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยจำแนกสปอร์จากตัวอย่างสปอร์ตัวอย่างละ 40 สปอร์พบว่าชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบมากที่สุดอยู่ในสกุล *Glomus* รองลงมาคือ *Acaulospora* และ *Gigaspora* สอดคล้องกับการศึกษาของนิจพร ณ พัทลุง (2556) ที่ศึกษาความหลากหลายและประสิทธิภาพของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของมันสำปะหลังในสภาพไร่นา ผลการศึกษาพบเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไร-ซา 18 ชนิด โดยมี 15 ชนิดที่สามารถเข้าอยู่อาศัยในรากมันสำปะหลังได้ เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์-ไรซาที่พบจัดอยู่ใน genera ต่างๆ ดังนี้ *Gigaspora Scutellopora Glomus Acaulospora* และ *Entrophospora* ซึ่งมีความถี่ในการพบ *Glomus* และ *Acaulospora* มากที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาของ Feng-xiu (2008) ที่พบ *Glomus* และ *Acaulospora* มากที่สุดในแปลงมันสำปะหลัง การศึกษาของ Begoude *et al*. (2016) ที่ศึกษาองค์ประกอบของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เกี่ยวของกับมันสำปะหลัง ที่ได้รับผลกระทบจากการใส่ปุ๋ยเคมีและการไถพรวน ในประเทศแคเมอรูน พบว่าในภาคตะวันออกและในภาคใต้ของประเทศแคเมอรูนพบสปอร์ชนิด *Glomus* มีปริมาณมากในทุกพื้นที่ และการศึกษาของ Jean *et al.* (2016) ศึกษาการคัดเลือกเชื้อราเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง และการเพิ่มผลผลิตในสภาพพื้นที่จริง (Field conditions) พบสปอร์ชนิด *Acaulospora colombiana* มากที่สุด และ *Ambispore appendicula* ตามลำดับ การศึกษาในพืชชนิดอื่นๆ พบว่าผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของนภาพร คงตุก

และจรัสลักษณ์ เพชรวัง (2560) ที่ศึกษาการคัดแยกเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากสวนพริกไทยในจังหวัดนครศรีธรรมราชและสุราษฎร์ธานี พบว่าสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์-ไรซาที่พบบริเวณแปลงปลูกพริกไทยทั้ง 2 จังหวัดมีจำนวนและชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์-ไรซาแตกต่างกัน สปอร์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่อยู่ในสกุล *Glomus* รองลงมาคือ *Acaulospora* ในขณะที่ *Gigaspora* และ *Racocetra* พบเฉพาะดินบริเวณรอบรากพริกไทยในพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช เท่านั้น และ *Septoglomus* พบเฉพาะพื้นที่แปลงปลูกพริกไทยอำเภอไชยาจังหวัดสุราษฎร์ธานีเท่านั้น และสอดคล้องกับการศึกษาของ เมธาวีการณ์ พรหมลา และโสภณ บุญลือ (2554) ที่ศึกษาชนิดและผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของอ้อย พบว่าเชื้อราในสกุล *Glomus* และ *Acaulospora* มีความถี่ในการพบมากที่สุดในประเทศไทย เชื้อราในสกุล *Glomus* เป็นสกุลที่มีความทนทานต่อความหลากหลายของดิน มีความสามารถในการแข่งขันและการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมสูง (Songachan and Kayang. 2011)

การวิเคราะห์ลำดับเบสของเชื้อราในรากมันสำปะหลังพบว่า แปลงที่ศึกษาส่วนใหญ่ไม่พบเชื้อราในไฟลัม Glomeromycota เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ศึกษาอยู่ในไฟลัม Glomeromycetes จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ลำดับเบสที่พบ มีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่พบ เนื่องจากไพเมอร์ที่ใช้มีความจำเพาะต่อการศึกษาชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างจากงานวิจัยที่ใช้ชนิดไพเมอร์ที่แตกต่างกัน และไพเมอร์ที่ใช้อาจจะไม่จำเพาะกับกลุ่ม Glomeromycetes มีรายงานการใช้ไพรเมอร์หลากหลายชนิดในการจำแนกเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืช เช่น การทดลองของ Zaida (1999) ที่ศึกษาประชากรของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในทุ่งหญ้าแปลงพืชอาหารสัตว์แบบถาวร และการพัฒนาไพรเมอร์สำหรับการตรวจสอบและหาปริมาณของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไพเมอร์ที่ใช้ในการศึกษาคือ ITS1 (5’-TTCCGTAGGTGAA CCTGCG G-3’) และ ITS4 (5’-TCCTCCGCTTAT TGATATGC -3’) ซึ่งอ้างอิงวิธีการศึกษาและไพเมอร์ที่ใช้ตามวิธีของ White *et al.* (1990) พบเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2 ชนิด คือ *Glomus mosseae* และ *Gigaspora Margarita* ทั้ง 2 ชนิดนี้อยู่ในไฟลัม Glomeromycetes การศึกษาของ Peter and Bonfante (1993) ที่ศึกษาการเพิ่มจำนวนจีโนมบน DNA ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยใช้เทคนิค PCR และใช้ไพเมอร์แบบสั้น จากสปอร์เดี่ยวของ *Glomus versiforme* และ *Gigaspora margarita* ในการศึกษาใช้ไพเมอร์ OPA-02 (5’-TGCCGAGCTG-3’) และ OPA-04 (5’-AATCGG GCTG -3’) และการศึกษาของ Adolphe *et al.* (1996) ที่ศึกษาลักษณะของลำดับ DNA ที่มีการทำซ้ำจำนวนมากจากเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และการเข้าอยู่อาศัยภายในราก ไพเมอร์ที่ใช้ในการศึกษาคือ SC1-1 (5’-CACTTAGGTGTT

TAGCAGG-3') และ SC1-2 (5'-TTTCGCTCA ATGCATGCC -3') โดยใช้สปอร์ของ *Acaulospora laevis Gigaspora rosea* และ *Glomus caledonium* และในการศึกษาครั้งนี้ตัวอย่างจากแปลง R3 และ R9 มีคุณภาพของ DNA ไม่เพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์ลำดับเบส

4.10.5 ความหลากหลายของแบคทีเรียในดิน

การศึกษาพบแบคทีเรียกลุ่ม Actinobacteria เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือ Proteobacteria Firmicutes Bacteroidetes และ Actinobacteria ตามลำดับ จากการจัดกลุ่มแปลงมันสำปะหลังตามระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภาคสนาม พบว่า Proteobacteria และ Bacteroidetes มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงขึ้น แต่ Actinobacteria Firmicutes Chloroflexi และ Saccharibacteria มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงขึ้น คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Yu-Te *et al.* (2019) ศึกษาโครงสร้างและความหลากหลายของประชากรแบคทีเรียในเกาะนอกชายฝั่งของ Island พบว่าในพื้นที่ Matsu Island พบ Proteobacteria มากที่สุด รองลงมาคือ Actinobacteria และ กลุ่มที่ไม่สามารถจำแนกได้ (Unclassified) และการศึกษาของ Papa *et al*. (2017) ที่ประเมินผลของกลุ่มแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกมันสำปะหลังในประเทศแคเมอรูน พื้นที่ศึกษาคือ Andom และ Bityili พบว่าแบคทีเรียในพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ไม่สามารถจำแนกได้ (Unclassified) รองลงมาคือกลุ่ม Proteobacteria Chloroflexi Actinobacteria และ Acidobacteria ตามลำดับ Proteobacteria เป็นแบคทีเรียแกรมลบที่พบมากที่สุดและมีกระบวนการเมแทบอลิซึมที่หลากหลายบางกลุ่มสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้คล้ายพืช บางกลุ่มสามารถดำรงชีวิตโดยใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และให้ซัลเฟอร์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น เพอเพิลซัลเฟอร์แบคทีเรีย (Purple sulfur bacteria) บางกลุ่มมีบทบาทช่วยตรึงแก๊สไนโตรเจนในอากาศมาสร้างเป็นสารประกอบไนโตรเจนในดิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น *Rhizobium* sp. ในปมรากของพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น (สมาพร เรืองสังข์. 2557) Actinobacteria เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ลักษณะเฉพาะคือสร้างเส้นใย (Hyphae) ทั้งเส้นใยใต้ผิวอาหาร (Substrate mycelium) และเส้นใยเหนือผิวอาหาร (Aerial mycelium) ได้ ในจีโนมของแอคติโนแบคทีเรียจะมีปริมาณของเบสกัวนีนกับไซโตซีน (G+C) สูงประมาณ 55 - 78 โมล% อีกทั้งพบว่าเชื้อกลุ่มนี้ส่วนมากสามารถสร้างรงควัตถุสีต่างๆ ได้ เช่น ขาว เทา เขียว เหลือง ส้ม แดง น้ำตาล ชมพู และม่วง นอกจากนั้นแอคติโนแบคทีเรียส่วนใหญ่ สามารถรอดชีวิตในสภาพอุณหภูมิสูง มีความสามารถในการย่อยสลายองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุโดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบของพืชและสัตว์ที่ทนทานต่อการย่อยสลาย ในช่วงที่มีอินทรียวัตถุในดินมากจะมีพวกแบคทีเรียและเชื้อราเจริญอยู่มาก และแอคติโนแบคทีเรียจะเจริญตามมาใน

ภายหลัง เพราะว่าเชื้อแอคติโนแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ช้าและเจริญได้ดีก็ต่อเมื่อจุลินทรีย์ที่เป็นคู่แข่งลดปริมาณลงแล้ว คือในช่วงที่มีสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ทนทานต่อการย่อยสลายเหลืออยู่มาก แอคติโนแบคทีเรียที่มีหลายชนิดและหลายสายพันธุ์จะช่วยกันย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ เป็นจุลินทรีย์ที่มีลักษณะสารพันธุกรรมคล้ายแบคทีเรียและมีลักษณะของผนังเซลล์คล้ายเชื้อรา ในการจัดจำแนกยังคงจัดเป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิต ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ มักอยู่รวมกันเป็นเส้นสาย สามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่เป็นกรดถึงเป็นด่างประมาณ 5.5 - 10.0 ย่อยสลายสารที่แบคทีเรียและเชื้อราย่อยสลายได้ยาก เช่น ไขมัน ไคติน แอคติโนมัยสีทบางชนิดสามารถสร้างสารปฏิชีวนะออกฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราได้ เช่น เชื้อ *Streptomyces* sp. สามารถผลิตสารปฏิชีวนะที่เป็นประโยชน์แก่มนุษย์เป็นจำนวนมาก (จิตติ ท่าไว. 2557) Firmicutes เป็นแบคทีเรียแกรมบวกซึ่งมีชั้นของ Peptidoglycan ที่หนา ไม่มี Outer membrane DNA มีลักษณะที่ Low G+C content แบ่งเป็น Class Bacilli และ Class Clostridia กลุ่มของ Class Bacilli เป็นแบคทีเรียที่อาศัยในที่ๆ มีออกซิเจน (พฤกษา หล้าวงษา. 2562) การศึกษาของ โชคชัย กิตติวงศ์วัฒนา และคณะ (2559) ที่ทำการคัดแยกแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจากข้าว (*Oryza sativa*) ผลการทดลองพบว่าแบคทีเรียอยู่ในไฟลัมที่แตกต่างกัน 4 ไฟลัม ได้แก่ Proteobacteria (66.68%) Actinobacteria (27.95%) Firmicutes (3.22%) และ Bacteroidetes (2.15%) การทดสอบการส่งเสริมการเจริญเติบโตในข้าวโดยแบคทีเรียทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าข้าวที่ได้รับแบคทีเรีย มีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงกว่าตำรับควบคุมมากกว่า 1.5 เท่า และพบว่าแบคทีเรีย *Sphingobium* sp. 704 *Acidovorax* sp. 727 *Acidovorax* sp. 801 และ *Microbacterium* sp. 809 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Pyricularia grisea* ที่ก่อโรคไหม้ในข้าว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียเหล่านี้มีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพและตัวควบคุมทางชีวภาพในทางเกษตรกรรมได้ในอนาคต

4.10.6 ความสัมพันธ์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสมบัติดิน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าจำนวนสปอร์และการเข้าอยู่อาศัยในรากของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และอนุภาคทรายที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % แต่มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับอนุภาคดินเหนียวที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Aliasgharzadeh *et al.* (2001) ที่ศึกษาการเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินเค็ม ในพื้นที่ Tabriz Plain ของประเทศอิหร่าน พบว่าจำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินมีความสัมพันธ์กับการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในราก ความเป็นกรดด่างของดิน อนุภาคดินเหนียว อนุภาคทราย

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และความเข้มข้นของไอออนที่ละลายได้ในดิน การศึกษาชนิดสปอร์ของ Porter *et al*. (1987) พบว่าสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Gigaspora monosporum* มีความสัมพันธ์กันในทางบวกกับปริมาณดินเหนียว เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวและดินร่วนมีส่วนของก๊าซต่างที่แทรกอยู่ในดิน ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินส่วนที่ไม่มีน้ำอยู่ ก๊าซที่พบโดยทั่วไปคือ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ออกซิเจน (O_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งรากพืชและจุลินทรีย์ใช้ในการหายใจ และสร้างพลังงาน

4.10.7 เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในพืช

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังเมื่อเทียบกับปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในใบมันสำปะหลังช่วงอายุ 3-5 เดือน (Total N 5.1-5.8 mg/kg P 0.38-0.50 mg/kg Total K 1.42-1.88 mg/kg Total Ca 0.50-0.72 mg/kg Total Mg 0.24-0.29 mg/kg Total Fe 120-140 mg/kg Total Mn 50-150 mg/kg Total Zn 35-57 mg/kg Total Cu 6-10 mg/kg และ Total B 18-28 mg/kg) (Howeler. 2014) พบว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และโบรอนทั้งหมด อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง ยกเว้นโพแทสเซียมที่อยู่ในระดับต่ำ ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังที่ศึกษาอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช การแพร่กระจายของเส้นใยเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์-ไรซาในรากและในดินบริเวณรอบรากพืช เส้นใยของเชื้อราจะมีการเจริญแล้วแพร่กระจายไปในเซลล์ชั้นคอร์เทกซ์ของรากพืช และบางส่วนเจริญออกนอกรากพืช เส้นใยจะกระจายไปในดินช่วยการดูดธาตุอาหารต่างๆ ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ เข้าไปในพืช (ดวงใจ วัยเจริญ. 2546) งานวิจัยของ Powell (1976) แสดงให้เห็นว่าเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร เช่น สังกะสี และทองแดง เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความเกี่ยวข้องในกระบวนการ Mineralization ของไนโตรเจน จึงช่วยในการดูดสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนให้แก่พืช (สมจิตร อยู่เป็นสุข. 2549) การศึกษาของ Frey and Schuepp (1993) แสดงให้เห็นความสามารถของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยใส่เชื้อ *Glomus intraradices* ให้แก่ข้าวโพด พบว่าต้นข้าวโพดที่มีการใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีการเจริญเติบโตและมีปริมาณของไนโตรเจนมากกว่าต้นที่ไม่ใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา นอกจากนี้เชื้อราอาร์บัส-คูลาร์ไมคอร์ไรซายังช่วยดูดธาตุฟอสฟอรัสให้แก่พืช การใส่เชื้อ *Gigaspora margarita* ให้กับต้นกล้าท้อ พบว่าต้นกล้าที่ใส่เชื้อมีความเข้มข้นของโพแทสเซียม และสังกะสี ในพืชสูงกว่าที่ไม่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา (Rutto *et al*. 2002) การศึกษาของปรียานุช แก้ววงศ์วาน (2532) แสดงให้เห็นว่าปริมาณไนโตรเจนในใบลำไยที่ใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีปริมาณสูง เมื่อเทียบกับการไม่

ใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และปริมาณไนโตรเจนในใบหญ้าแฝกที่ใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์-ไมคอร์ไรซามีค่าสูงกว่าหญ้าแฝกที่ไม่ใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยหญ้าแฝกที่ปลูกร่วมกับเชื้อ *Acaulospora longula* และ *Gigaspora aggregatum* มีปริมาณไนโตรเจนในใบสูงกว่าการใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดอื่น (ภัทรวดี สุ่มทอง. 2543)

4.10.8 ความสัมพันธ์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียในดิน

พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Cao *et al*. (2015) ที่ศึกษาปฏิสัมพันธ์บริเวณรอบรากพืชระหว่างไส้เดือน (*Eisenia fetida*) และเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่า PC1 มี%ความแปรปรวน 75.7% ประกอบด้วยความสัมพันธ์ทางบวกโดย *Flavobacteriaceae* และทางลบโดย *Planctomyces Proteobacteria* และ *Paenibacillus* และพบว่า PC2 มี%ความแปรปรวน 15.7% ประกอบด้วยความสัมพันธ์ทางบวกโดย *Paenibacillus* และ *Variovorax* และทางลบโดย *Xanthomonades* เนื่องจากปริมาณและสารประกอบที่รากพืชหลั่งออกมา (Root exudate) ส่งผลต่อการกระจายและปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน (Cao *et al*. 2015) การศึกษาของ Hongwen (2019) ที่ศึกษาเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่เกี่ยวข้องกับธาตุคาร์บอนบริเวณรอบรากข้าวโพด พบว่าการทดลองที่ใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีปริมาณแบคทีเรียสูงขึ้นจาก 35.71% ถึง 50.00% เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีปริมาณ 19.61% ถึง 26.23% ตลอดการทดลองพบว่า Actinomyces ไม่มีความแตกต่างทั้งในการทดลองที่ใส่และไม่ใส่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลในทางบวกกับปริมาณจุลินทรีย์บริเวณรอบรากข้าวโพด

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ที่ความลึก 0-15 cm พบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในราก 14.15-32.70 % จำนวนสปอร์ 4.04-8.75 spore/g soil ที่ความลึก 15-30 cm พบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในราก 14.46-28.39 % จำนวนสปอร์ 4. 36-8.48 spore/g soil ชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบมากที่สุดอยู่ในสกุล *Glomus* รองลงมาคือ *Acaulospora* และ *Gigaspora* ตามลำดับ ชนิดของเชื้อราที่พบในรากมันสำปะหลังส่วนใหญ่อยู่ในไฟลัม Ascomycota รองลงมาคือไฟลัม Basidiomycota

5.1.2 จำนวนประชากรแบคทีเรียในดินส่วนใหญ่พบกลุ่ม Bacteroidetes Actinobacteria Proteobacteria Firmicutes และยังพบแบคทีเรียที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ (Unclassified) มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.15-1.11%

5.1.3 จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัส-คูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ Acidobacteria Chloroflexi และ Ascomycota แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับเชื้อรากลุ่ม Zygomycota และ Glomeromycota ที่มีความสัมพันธ์กับแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สามารถจำแนกได้ (Unclassified) สปอร์ชนิด *Acaulospora* และ *Gigaspora* มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับเชื้อรากลุ่ม Neocallimastigomycota แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับสปอร์ชนิด *Glomus* ที่มีความสัมพันธ์กับเชื้อรากลุ่มที่ไม่สามารถจำแนกได้ (Unclassified) และแบคทีเรียกลุ่ม Cyanobacteria

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในห้องปฏิบัติการและในภาคสนามมีความแตกต่างกันของระดับฟอสฟอรัส ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ น้ำยาสกัด หรือการใส่ปุ๋ยในแปลงมันสำปะหลังของเกษตรกร ทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์

5.2.2 ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มการทดลองในแปลงที่ควบคุมการปลูกมันสำปะหลังด้วยผู้วิจัยเอง ได้แก่ การจัดการแปลง การปลูก และการใส่ปุ๋ย เพื่อลดความแปรปรวนของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อาจทำให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก. **คู่มือการปฏิบัติงาน: กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี**. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ข. **คู่มือการปฏิบัติงาน: กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางกายภาพ**. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ค. **คู่มือการปฏิบัติงาน: กระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน**. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. **มันสำปะหลัง**. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical06013. (20 มกราคม 2560).

กรมวิชาการเกษตร. 2545. **เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับมันสำปะหลัง**. เอกสารลำดับที่ 13 กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 22 หน้า.

เกียรติคุณ ชินประสาทศักดิ์ อนุกูล กล่ำกล่อมจิตร และเอกรินทร์ ยอดคงดี. 2551. **การศึกษาแบบจำลองสมดุลในดิน Wasim ในแปลงข้าวโพด ภายใต้สภาวะการขาดน้ำชลประทาน**. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม. 79 หน้า.

จักรพงษ์ ไชยวงศ์ ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร และจีราภรณ์ อินทสาร. 2555. **การศึกษาผลของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาและพีจีพีอาร์ (PGPR) ต่อการดึงดูดธาตุ อาหาร การเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย**. รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

จารุณี มีจุ้ย. 2558. ราดาร์กเซฟเตทเอ็นโดไฟท์และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพืชอาหารบางชนิดที่ปลูกในจังหวัดลำปาง. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.** 20(1): 1-14.

จิตติ ท่าไว. 2557. **แอคติโนแบคทีเรีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แดเน็กซ์อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2519. **มันสำปะหลัง**. กรุงเทพฯ. ภาควิชาพืชไร่นา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชวิศา ทองรัตน์ และ ชนินันท์ พรสุริยา. 2559. ความหลากหลายของจุลินทรีย์จากดินบริเวณรอบรากปาล์มน้ำมัน ในภาคใต้ของประเทศไทย. **วารสารแก่นเกษตร**. 44 (ฉบับพิเศษ) : 930-935.

โชคชัย กิตติวงศ์วัฒนา ดุษณี ธนะบริพัฒน จำรูญ เล้าสินวัฒนา พรหมมาศ คูหากาญน์ นงลักษณ์ เภรินทวงศ์ และจิตติ ท่าไว. 2559. การคัดแยกแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจากข้าว (*Oryza sativa*). **วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง**. 25(1): 60-74.

ดวงใจ วัยเจริญ. 2546. **การผลิตฮอร์โมนจิบเอเลลิค แอซิค (GA_3) โดยเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในต้นมะละกอ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 81 หน้า.

ดวงพร คันธโชติ. 2545. **นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ธงชัย มาลา. 2546. **ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ: เทคนิคการผลิต และการใช้ประโยชน์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 300 หน้า

ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง. 2559. **เห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา: เห็ดสร้างป่า ป่าสร้างเห็ด.** กรุงเทพฯ: คณะวนศาสตร์, ศูนย์วิจัยป่าไม้, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทวีรัตน์ วิจิตรสุนทรกุล. 2547. **การคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตในดินเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ**. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.kmutt.ac.th/rippc/biofert.htm. (18 ธันวาคม 2560)

นาฏยา แพทย์พิทักษ์ ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก และพักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2560. **การสำรวจประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาบริเวณเขตรากไผ่ในพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าธรรมชาติ.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2302-2310.

นิจพร ณ พัทลุง. 2556. **การศึกษาความหลากหลายและประสิทธิภาพของอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของมันสำปะหลังในสภาพไร่นา.** สาขาวิชาเกษตรศาสตร์. คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. บุรีรัมย์.

นภาพร คงตุก และจรัสลักษณ์ เพชรวัง. 2560. การคัดแยกเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากสวนพริกไทยในจังหวัดนครศรีธรรมราชและสุราษฎร์ธานี. **วารสารแก่นเกษตร**. 45 (ฉบับพิเศษ), 481-486.

ปรียานุช แก้ววงศ์วาน. 2556. **การตอบสนองของกิ่งตอนลำไยพันธุ์อีดอ ต่อประสิทธิภาพของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน**. การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 3, 25-27 เมษายน. มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น.

พนิดา ปรีเปรมโมทย์ พิกุล เกตุชาญวิทย์ และ ดวงใจ วัยเจริญ. 2556. การสำรวจความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่ป่าไม้ภาคใต้ของประเทศไทย. **วารสารแก่นเกษตร**. 31 (ฉบับพิเศษ): 103-112.

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556. บทบาทของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 2(2): 91-101.

พิกุล เกตุชาญวิทย์ และพนิดา ปรีเปรมโมทย์. 2556. **การสำรวจจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่ป่าเกษตรอินทรีย์ภาคใต้ของประเทศไทย**. กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. 14 หน้า.

พฤกษา หล้าวงษา. 2562. **จุลินทรีย์ดิน**: [Online]. เข้าถึงได้จาก https://ag.kku.ac.th/land FileCours/1503591905002505.pdf. (8 ธันวาคม 2562)

ภัทรวดี สุ่มทอง. 2543. **ผลของเชื้อราเวสสิคูลาร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟตระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม แหล่งพันธุ์สุราษฎร์ธานี**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 192 หน้า.

เมธาวีการณ์ พรหมลา และโสภณ บุญลือ. 2554. **ชนิดและผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของอ้อย**. ภาควิชาจุลชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 7 หน้า.

ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์. 2551. **ประวัติมันสำปะหลัง**. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://web.sut.ac.th/cassava/?nahttp://web.sut.ac.th/cassava/?name= 1cas_source/ cas_inthailand/me=1cas_source/cas_inthailand. (20 มกราคม 2560).

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2549. **จุลชีววิทยาทางดิน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

สุรชัย สินธุประมา. 2526. **ประวัติความสำคัญ และดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมในมันสำปะหลัง**. เอกสารเล่มที่ 7 งานทะเบียนและประมวลผลสถิติ กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมาพร เรืองสังข์. 2557. **พันธุศาสตร์ของแบคทีเรีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. โอเดียร์สโตร์.

สมจิตร อยู่เป็นสุข. 2549. **ไมคอร์ไรซา**. เชียงใหม่: คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สายพิณ ไชยนันท์. 2547. **จุลินทรีย์ดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ภาควิชาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562ก. **มันสำปะหลังโรงงาน: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่รายอำเภอ ปี 2562**. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.oae.go.th/assets/portals/ 1/fileups/prcaidata/files/casava%20dit%2062.pdf. (17 กุมภาพันธ์ 2563).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562ข. **สถิติการส่งออกมันสำปะหลัง ตั้งแต่ปี 2562 ถึง 2563**. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2562&E_YEAR=2563&PRODUCT_GROUP=5263&PRODUCT_ID=&wf_search=&WF_SEARCH=Y. (17 กุมภาพันธ์ 2563).

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2562. **มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50**. [Online]. เข้าถึงได้จาก: https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=18089. (17 กุมภาพันธ์ 2563).

อัญธิชา พรมเมืองคุก. 2546. การหาชนิดของสารละลายสกัดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการหาค่าดัชนีความเป็นประโยชน์ของฟอสอรัสในดินนาและดินไร่บางชุดดินในเขตลุ่มแม่กลองใหญ่. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต** คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อานัฐ ตันโช. 2549. **เกษตรธรรมชาติประยุกต์: หลักการ แนวคิด เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย**. ศูนย์ข้อมูลเกษตรธรรมชาติแม่โจ้. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 371 หน้า.

เอกรินทร์ ช่วยชู. 2558. **มหัศจรรย์แห่งไมคอร์ไรซาสร้างเห็ด สร้างอาหาร**. [Online]. เข้าถึงได้จาก: https://thaigreenagro.wordpress.com. (18 ธันวาคม 2560)

Abbott, L.K. and Lumley, S. 2014. Assessing economic benefits of arbuscular mycorrhizal fungi as a potential indicator of soil health. 17-31. In Solaiman, Z.M., Abbott, L.K., Varma, A. (eds.). Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration. **Soil Biology**. Springer Berlin Heidelberg. Malaysia. 41.

Adolphe, Z., Hosny, V., Gianinazzi-Peason, V. and Dulieu, H. 1996. Characterization of a highly repeated DNA sequence (SC1) from the arbuscular mycorrhizal fungus *Scutellospora castanea* and its detection in planta. **Applied and Environmental Microbiology**. 62(7): 2443–2448.

Aliasgharzadeh, N., Rastin, S.N., Towfighi, H. and Alizadeh, A. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. **Mycorrhiza**. 11(15): 1909-1915.

Angela M.E., Leslie, R.C. and Larry, G.B. 2003. Phosphorus and forms of phosphorus in soil. Communication in soil science. **Plant analysis**. 34(13-14): 1897-1917.

Azon, A., Cantos, C., Troncoso, M.A. and Barea, J.M. 1997. Beneficial effect of arbuscularmycorrhizas on acclimatization of Micropropagated cassava Plantlets. **Scientia**

Horticulturae. 72(1): 63-71.

Bagyaraj, D.J. 1991. **Ecology of vesicular arbuscular mycorrhizae**. In: D.K. Arora, G. Raj, K.G. Mukerji and G.R. Kundsen, (eds). Handbook of Applied Mycology. New York: Marcel Dekker Inc.

Balzergue, C., Chabaud, M., Barker, D.G., Becard, G. and Rochange, S.F. 2013. High phosphate reduces host ability to develop arbuscular mycorrhizal symbiosis without affecting root calcium spiking responses to the fungus. **Plant Science**. 4: 1-35.

Begoude, D.A.B., Sarr, P.S., Mpon, T.L.Y., Owona, D.A., Kapeua, M.N. and Araki, S. 2016. Composition of arbuscular mycorrhizal fungi associated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars as influenced by chemical fertilization and tillage in Cameroon. **Journal of Applied Biosciences**. 98(1): 9270 – 9283.

Cao, J., Huang, Y. and Wang, C. 2015. Rhizosphere interaction between earthworms (*Eisenia fetida*) and arbuscular mycorrhiza fungus (*Funneliformis mosseae*) promote utilization efficiency of phytate phosphorus in maize. **Applied Soil Ecology**. 99: 30-39.

Daniels, B.A. and Skipper, H.D. 1982. Factors affecting spore germination of the vesiculararbuscular mycorrhizal fungus *Glomus epigaeus*. **Mycologia**. 72(3): 457-471.

Doyle, J.J. and Doyle, J.L. 1987. A rapid DNA isolation procedure from small quantities of fresh leaf tissue. **phytochemistry**. 19(1): 11–15.

Frey, B. and Schuepp, H. 1993. Acquisition of nitrogen by external hyphae of arbuscular mycorrhizal gungi associated with *Zae mays* L. **New phytologist journal**. 124: 221-230.

Gerdemann, J.W. and Nicolson, T.H. 1963. Spore of mycorrhizal endogone species extract from soil by wet sieving and decanting. Tran. Brit. **Mycologia**. 46 (2): 235-244.

Heijne, B., Van Dam, D., Heil, G.W. and Bobbink, R. 1996. Acidification effect on vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) infection, growth and nutrient uptake of established heathland herb species. **Plant and Soil**. 179(2): 197-206.

Hongwen, X., Shao, H. and Lu, Y. 2019. Arbuscular mycorrhiza fungi and related soil microbial activity drive carbon mineralization in the maize rhizosphere. **Excotoxicology and Environmental Safety**. 182(10): 1-7.

Howeler R.H., Cadavid L.F. and Burckhart, E. 1982. Response of cassava to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in greenhouse and field experiments.

Plant and Soil. 69(34): 327-339.

Howeler, R.H. 2014. Subtainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia. **Centeo International de Agricultural Tropical International Center for Tropical Agriculture**. CIAT Publication, Vietnam.

Jemo, M., Souleymanou, A., Frossard, E. and Jansa, J. 2014. Cropping enhances mycorrhizal benefits to maize in a tropical soil. **Soil Biology and Biochemistry**. 79: 117-124.

Jean, M.S., Kouadjo, Z.G.C., Rodrigue, B.R.V. and Adolphe, Z. 2016. Selecting native arbuscular mycorrhiza fungi to promote cassava growth and increase yield under field conditions. **Frontiers in Microbiology**. 7: 1-13.

Sang, J.K., Eo, J.K., Lee, E.H., Park, H. and Eom, A.H. 2017. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and soil conditions on crop plant growth. **Mycobiology**. 45(1): 20-24.

Mahdhi, M., Philippe, D.L. and Mohamed, M. 2018. Molecular identification of arbuscular mycorrhiza fungi spore associated to the rhizosphere of *Retama raetam* in Tunisia. **Soil science and Plant Nutrition**. 64(3): 335–341.

Papa, S.S., Akifumi, S., Aime, D.B.B., Kazufumi, Y., Shigeru, A. and Eiji, N. 2017. Molecular Assessment of the bacterial community associated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivation in Cameroon. **Microbiological research**. 197: 22-28.

Peter, W. and Bonfante, P. 1993. Amplification of genomic DNA of arbuscular-mycorrhizal (AM) fungi by PCR using short arbitrary primers. **Mycological Research**. 97(11): 1351–1357.

Phillip, J.M. and Hayman, D.S. 1970. Improve procedures for cleaning roots and staining parasitic and vasicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Brit. **Mycologia**. 53(1): 158-161.

Poomipan, P., Suwanarit, A., Suwanarit, P., Nopamornbodi, O. and Dell, B. 2011. Reintroduction of a native Glomus to a tropical Ultisol promoted grain yield in maize after fallow restored the density of arbuscular mycorrhizal fungal spores. **Plant Nutrition and Soil Science.** 174(2): 257-268.

Porter, W.M., Robson, A.D. and Abbott, L.K., 1987. Field survey of the distribution of vesiculararbuscular mycorrhizal fungi in relation to soil pH. **Applied Ecology**.

24(2): 659-662.

Powell, C.L.I. 1976. Development of mycorrhizal infections from Endogone spores and infected root segments. **Transactions of the British Mycological Society**. 439-445.

Rutto, K.L., Mizutani, F. and Kadoya, K. 2002. Effect of root-zone flooding on mycorrhizal and non-mycorrhiza peach (Prunus persica Batsch) seedlings. **Scientia horticulturae journal**. 94(3): 285-295.

Sieverding E. and Howeler, R.H. 1985. Influence of species of VA mycorrhizal fungi on cassava yield response to phosphorus fertilization. **Plant and Soil**. 88(2): 213-221.

Sieverding, E. and Leihner, D.E. 1984. Influence of cop rotation and intercropping of cassava with legumes on VA mycorrhiza symbiosis of cassava. **Plant and Soil**. 80(1): 143-146.

Songachan, L.S. and Kayang, H. 2011. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in pine forest of Meghalaya North East India. **Mycosphere**. 2(4): 497-505.

Feng-xiu, S. 2008. Investigation on arbuscular mycorrhiza fungi in main cassava producing area of guangxi autonomous region. **Journal of Anhui Agricultural Science**. 553: 1-34.

Takahashi, S. 1999. Repeated Bray-2 extraction of an Inceptisols and Andisola. Communication in soil science. **Plant analysis**. 30(3-4): 535-543.

Trouvelot, A., Kough, J.L. and Gianinazzi-Pearson, V. 1986. **Mesure du taux de mycorrhization VA d'un systeme radiculaire**. Recherche de methods d'estimation ayantune signification fonctionnelle. 217-221.

White, T., Bruns, T., Lee, S. and Taylor, J. 1990. **Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics, In PCR Protocols - A Guide to Methods and Applications**. New York. Academic Press. 315-322.

Xiao, J.J., Yang, Q.S., Ran, W. Xu, G.H. and Shem, Q.R. 2010. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus on nitrogen and phosphorus utilization in upland rice-mungbean intercropping system. **Agricultural Sciences in China**. 9(4): 528-535.

Yanthasath, K. and Poonsawat, S. 1996. The occurrence and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and its efficiency on forest tree seedlings. **In FORTROP Proceedings International Conference on Tropical Forestry in the 21st Century**. Kasetsart University, Bangkok. 87-99.

Yuan, W., Zhipeng, C., Fengchang, W., Hong, H., Jining, L., Yuxian, S., Juan, Z., Fasheng, L. and Qingru Z. 2015. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi at a large-scale antimony mining area in southern China. **Journal of Environmental Sciences**. 29: 18–26.

Yuqing, S., Xin, Z., Zhaoxiang, W., Yajun, H., Songlin, W. and Baodong, C. 2015. The molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the arsenic mining impacted sites in Hunan province of Chaina. **Journal of Environmental science**. 540: 1-9.

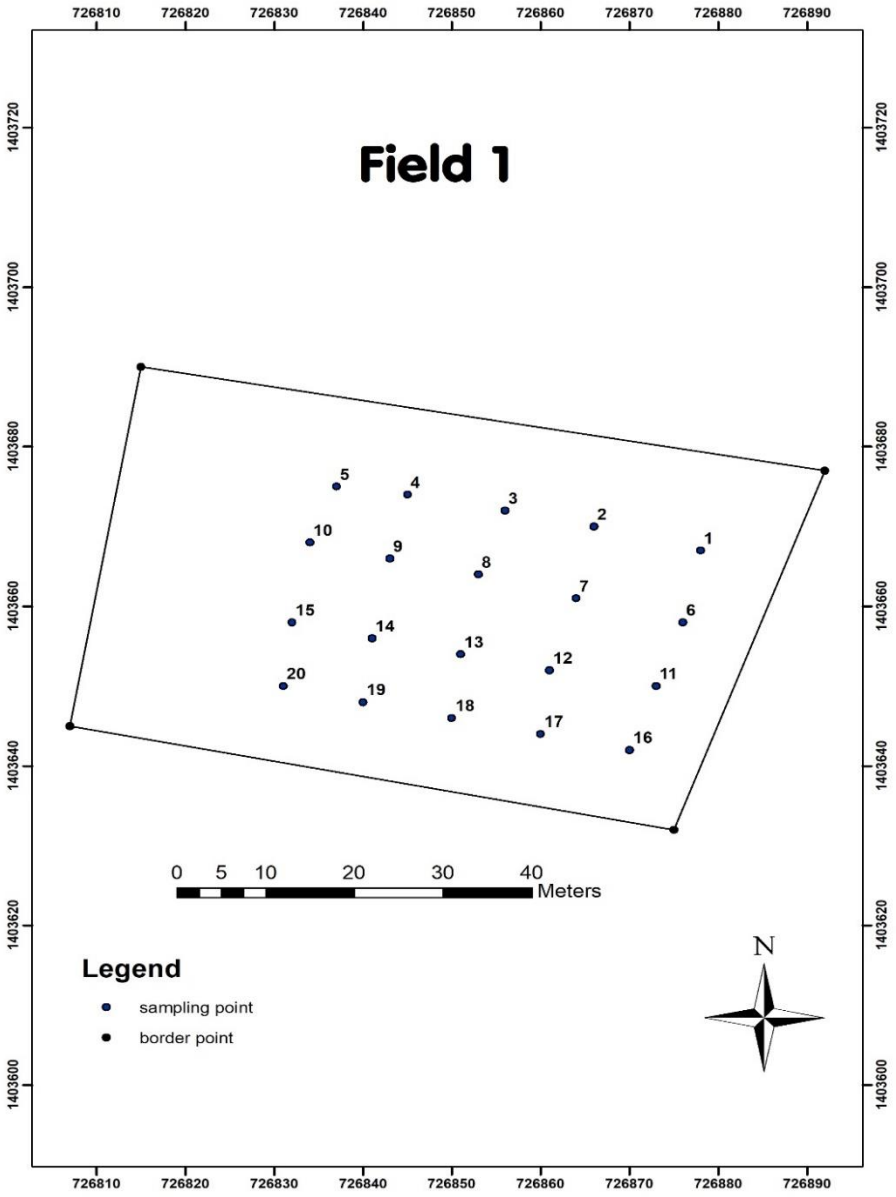
Lin, Y., Lin, Y.F., Tsai, I.J., Chang, E.H., Jien, S.H., Lin, Y.J. and Chin, C.Y. 2019. structure and Diversity of soil Bacterial Communities in Offshore Islands. **Scientific reports** 9(1): 1-9.

Zaida, I.A. 1999. **Arbuscular mycorrhizal community in a permanent pasture and development of Species-specific primers for detection and quantification of two AM fungi**. Doctor of Philosophy. Department of soil and water, waite campus. The university of Adelaide. 173.

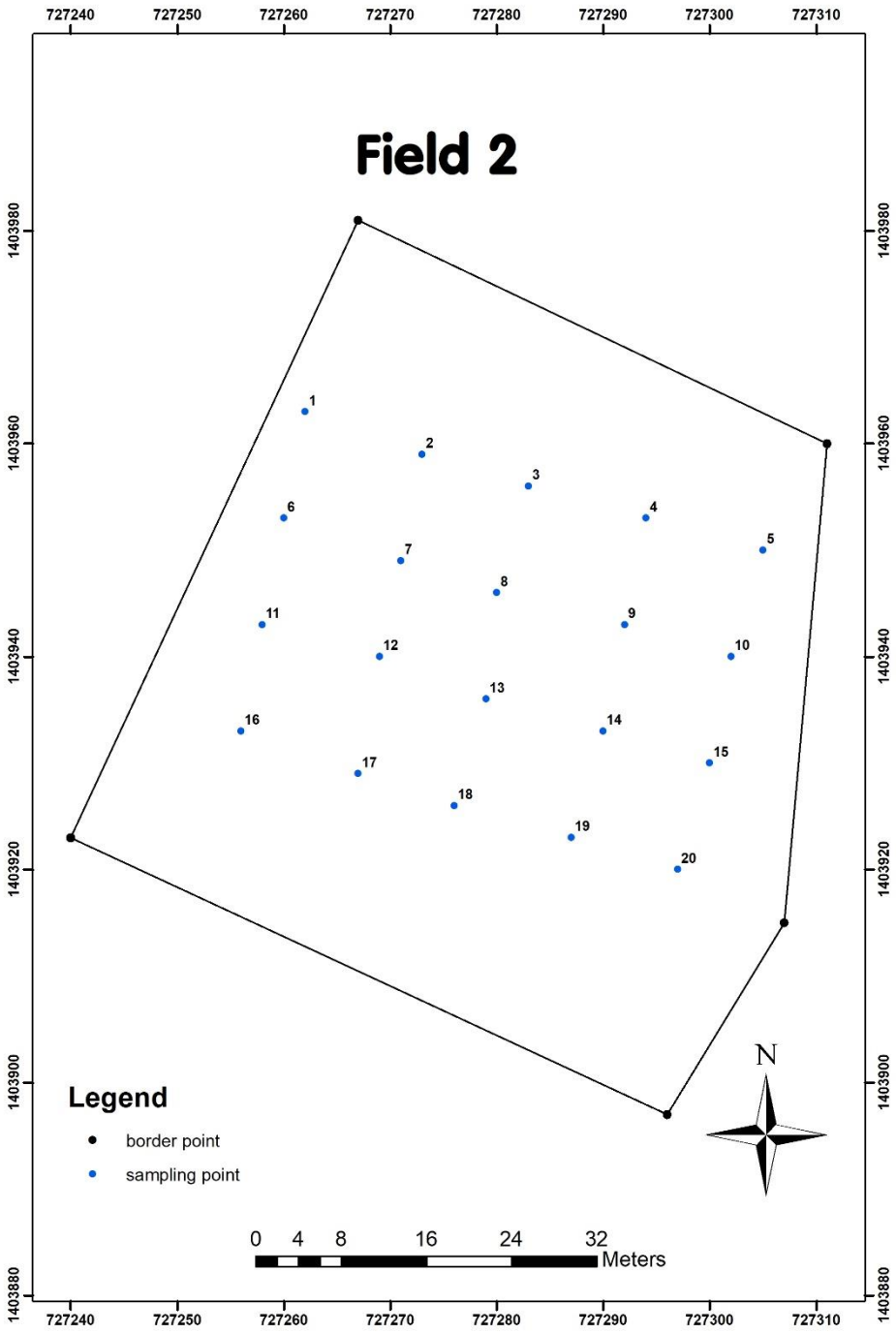
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

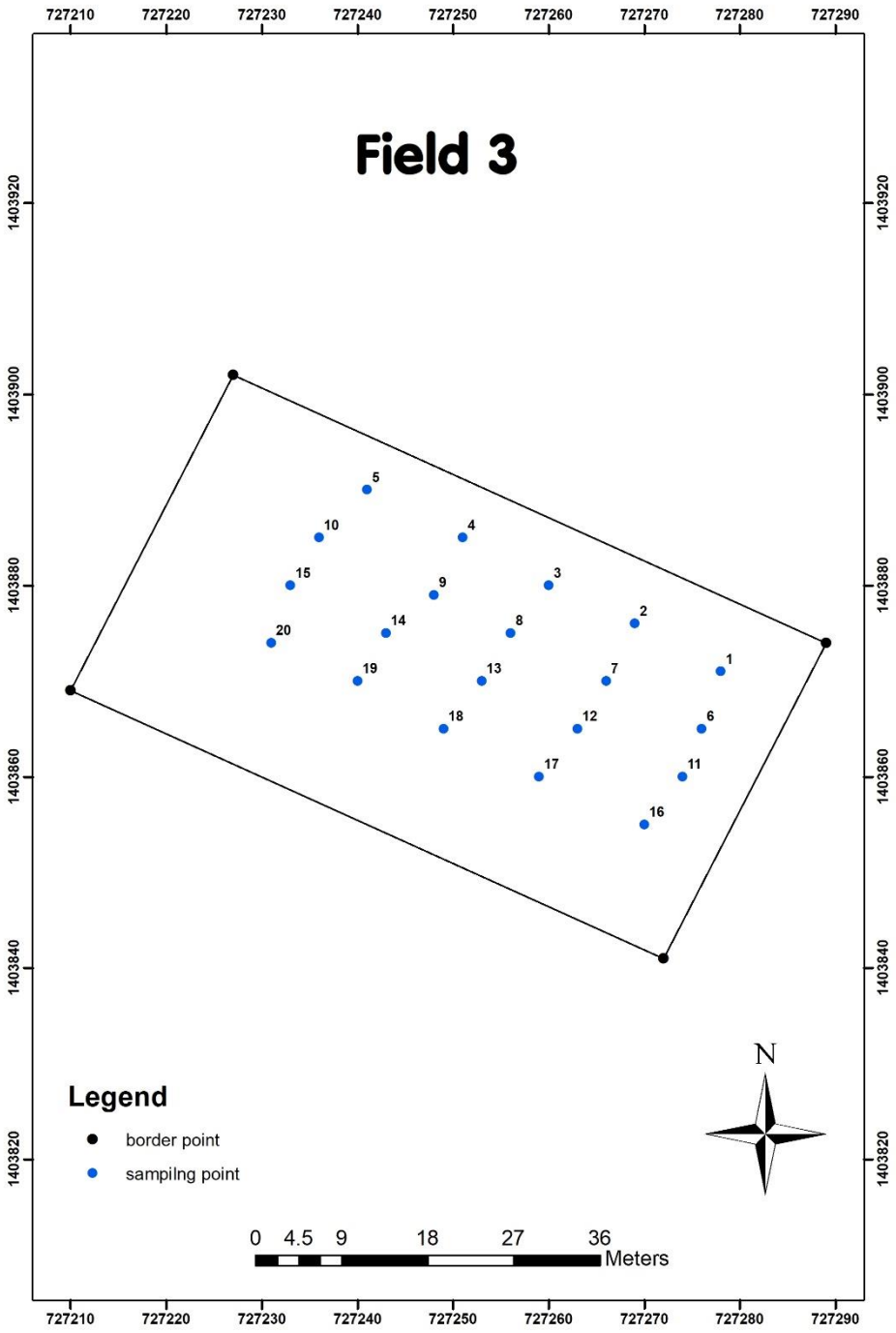
แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินในไร่มันสำปะหลัง



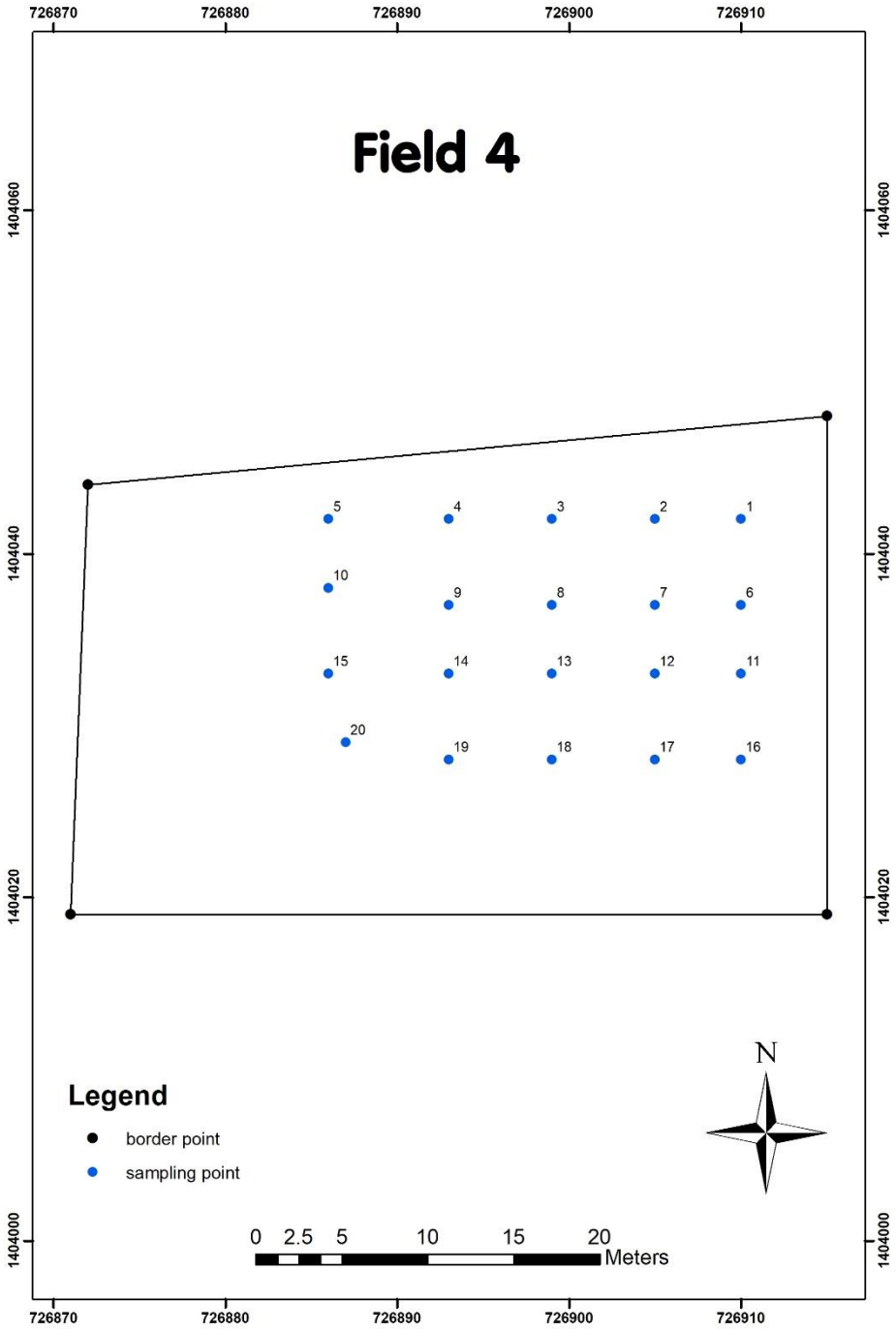
ภาพที่ ก 1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงที่ 1



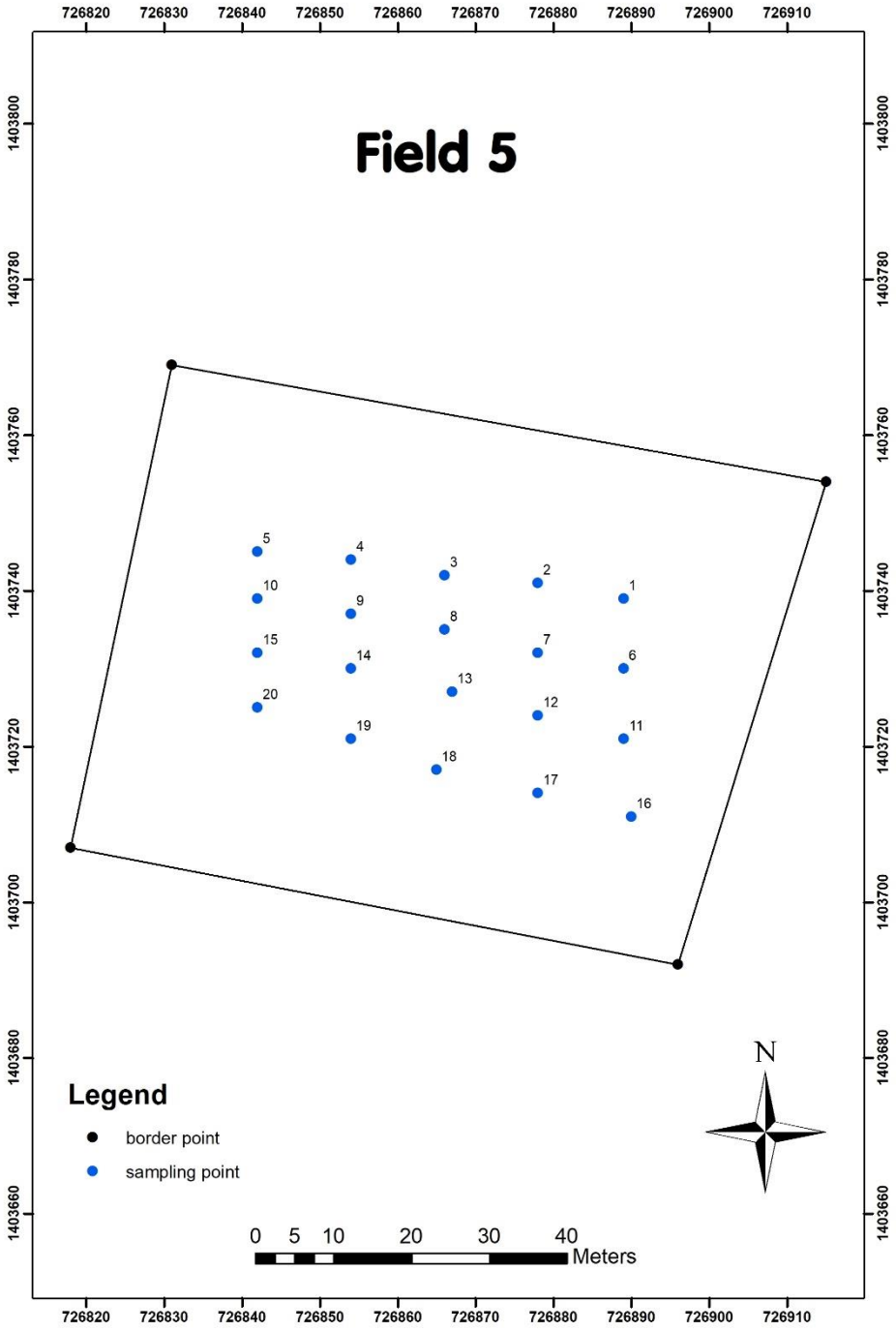
ภาพที่ ก 2 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงที่ 2



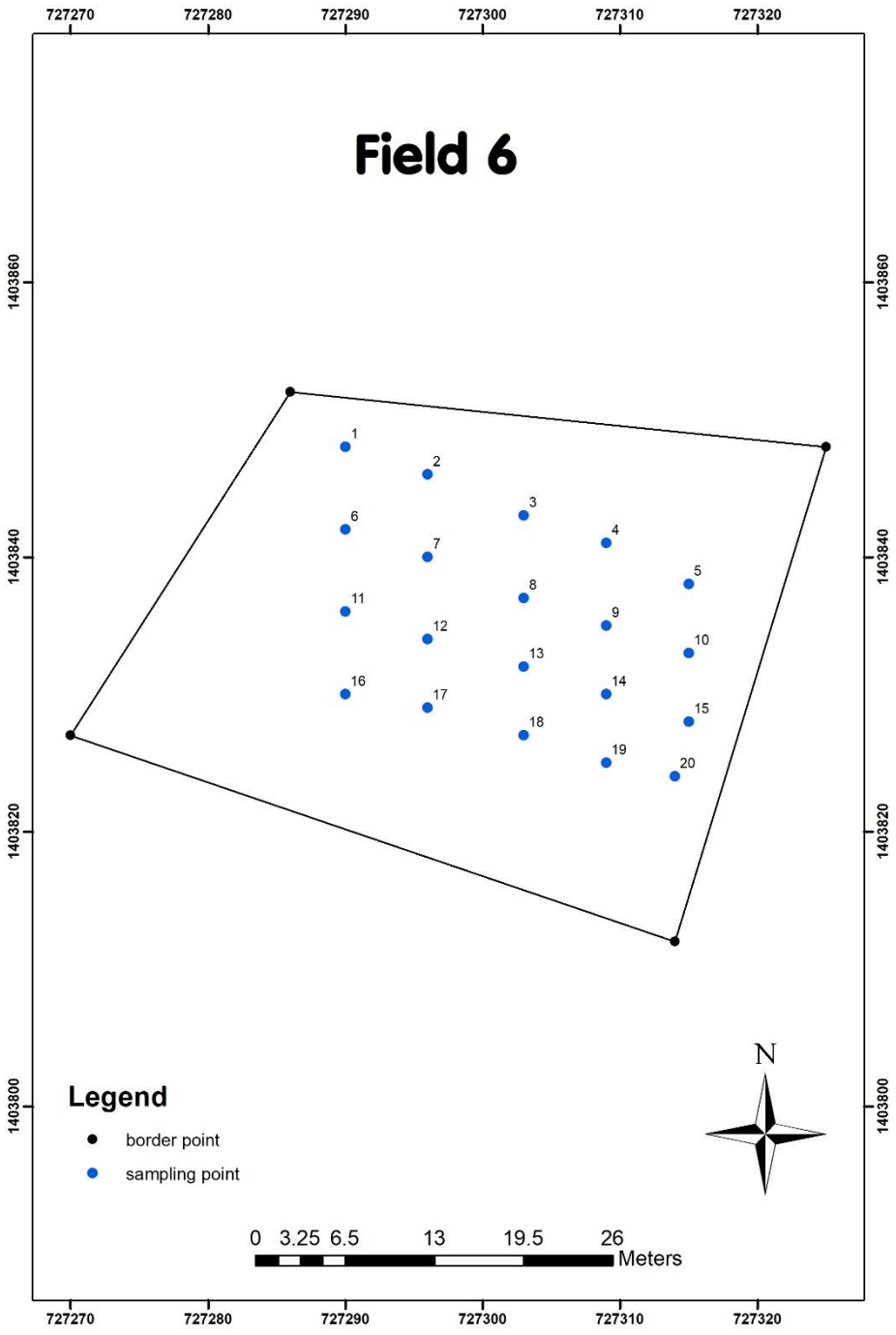
ภาพที่ ก 3 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงที่ 3



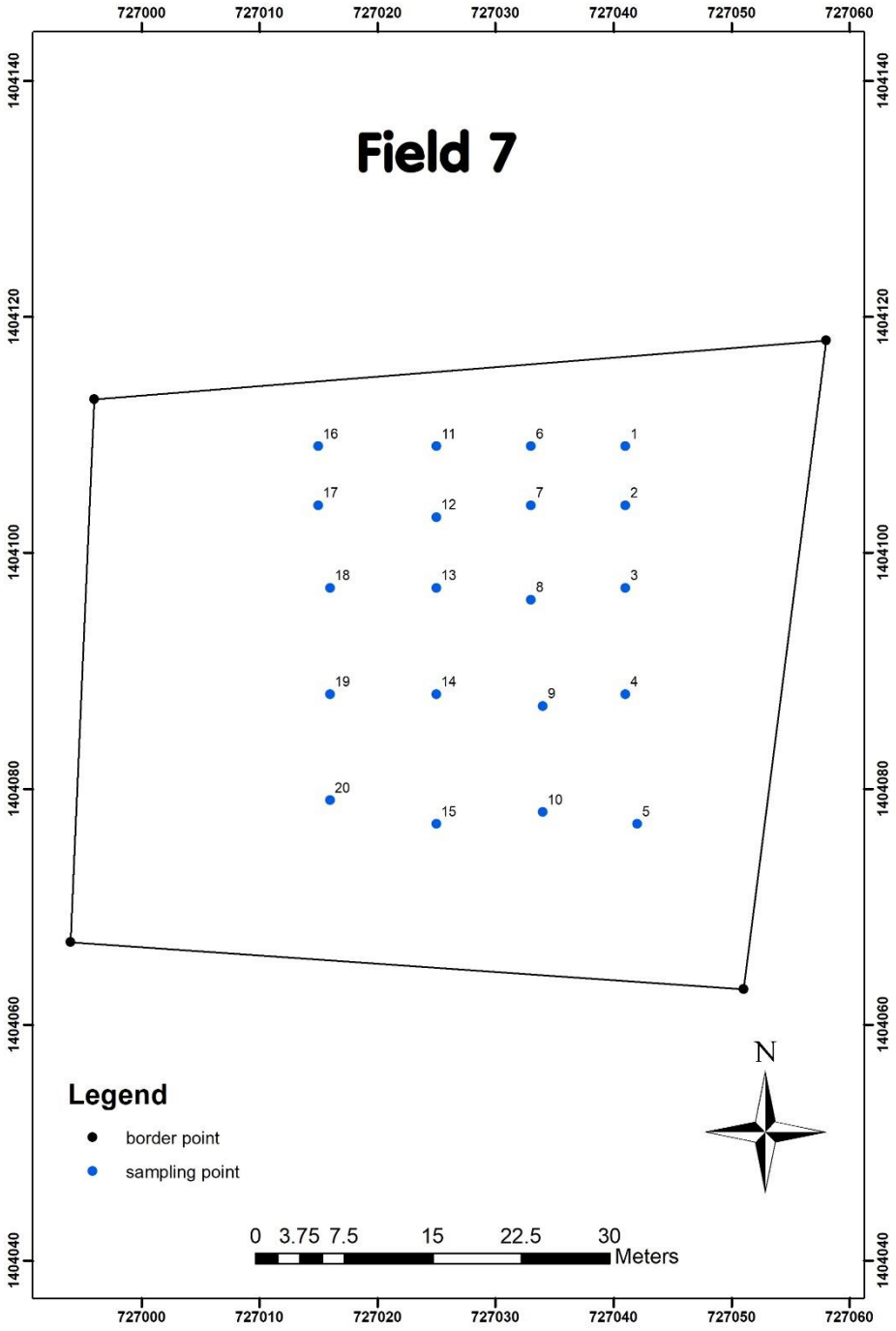
ภาพที่ ก 4 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงที่ 4



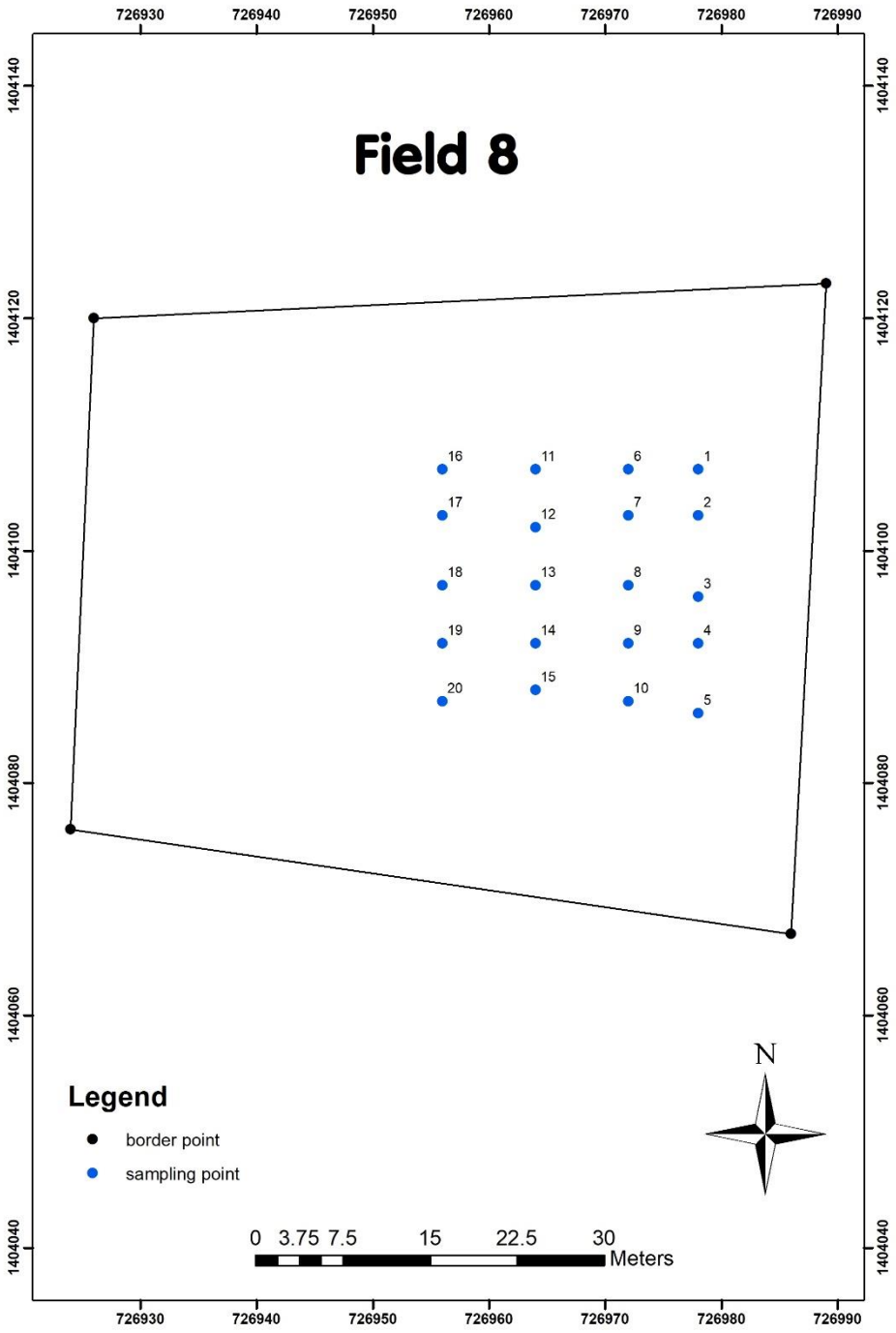
ภาพที่ ก 5 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงที่ 5



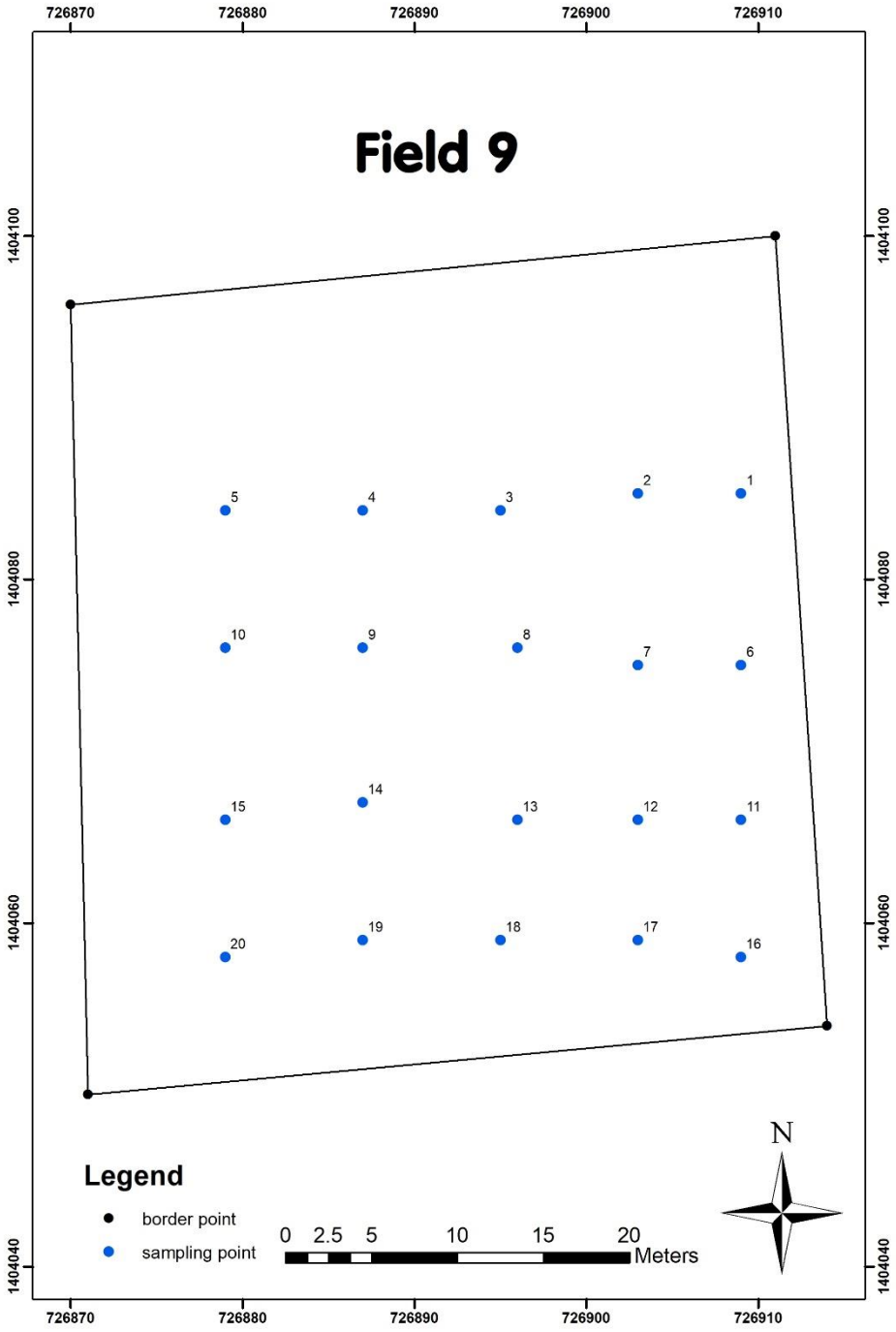
ภาพที่ ก 6 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงที่ 6



ภาพที่ ก 7 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงที่ 7



ภาพที่ ก 8 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงที่ 8



ภาพที่ ก 9 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงที่ 9

ภาคผนวก

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวก ข1. ตารางแสดงลักษณะดินทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินที่มันสำปะหลังต้องการ

Soil Parameter	Very low	Low	Sufficient	High	Very High
pH[1]	< 3.5	3.5-4.5	4.5-7.0	> 7-8	> 8
Organic matter[2] (g/100g)	< 1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	> 4.0	-
Available P[3] (mg/kg)	< 2	2-4	4-15	> 15	-
Exchangeable K[4] (mg/kg)	< 39.1	39.1-58.6	58.6-97.8	> 97.8	-
Exchangeable Ca[4] (mg/kg)	< 50	50-200	200-1000	> 1000	-
Exchangeable Mg[4] (mg/kg)	< 24	24-48	48-120	> 120	-
Available S[5] (mg/kg)	< 20	20-40	40-70	> 70	-
Extractable B[6] (mg/kg)	< 0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	> 1-2	> 2
Extractable Cu[7] (mg/kg)	< 0.1	0.1-3.0	0.3-1.0	> 1-5	> 5
Extractable Mn[7] (mg/kg)	< 5	5-10	10-100	> 100-250	> 250
Extractable Fe[7] (mg/kg)	< 1	1-10	10-100	> 100	-
Extractable Zn[7] (mg/kg)	< 0.5	0.5-1.0	1.0-5.0	> 5-50	> 50

[1] Soil:Water = 1:1 [2] Walkley and Black method [3]Bray II [4]1*N* NH_4-acetate [5]Ca-phosphate [6]Hot water [7]0.05*N* HCl+0.025*N* H_2SO_4

ที่มา: Howeler (2014)

ตารางภาคผนวก ข2. ตารางแสดงความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลัง ที่อายุ 3-4 เดือน : ข้อมูลเฉลี่ยของการทดลองภายในโรงเรือน

Nutrient	Very low	Low	Sufficient	High	Very High
Total N (g/100g)	< 4.0	4.1-4.8	5.1-5.8	> 5.8	-
Total P (g/100g)	< 0.25	0.25-0.36	0.38-0.50	> 5.0	-
Total K (mg/kg)	< 0.85	0.85-1.26	1.42-1.88	1.88-2.40	> 2.40
Total Ca (mg/kg)	< 0.25	0.25-0.41	0.50-0.72	0.72-0.88	> 0.88
Total Mg (mg/kg)	< 0.15	0.15-0.22	0.24-0.29	> 0.29	-
Total S (mg/kg)	< 0.20	0.20-0.27	0.30-0.36	> 0.36	-
Total B (mg/kg)	< 7	7-15	18-28	28-64	> 64
Total Cu (mg/kg)	< 1.5	1.5-4.8	6-10	10-15	> 15
Total Fe (mg/kg)	< 100	100-110	120-140	140-200	> 200
Total Mn (mg/kg)	< 30	30-40	50-150	150-250	> 250
Total Zn (mg/kg)	< 25	25-32	35-57	57-120	> 120

ที่มา: Howeler (2014)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวบุษราพร ไชยพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	30 ธันวาคม 2536
ที่อยู่	211 หมู่ 8 ตำบลสันมะค่า อำเภอป่าแดด จังหวัดเชียงราย 57190 โทร. 095-952-8204
ประวัติการศึกษา	2558 วิทยาศาสตรบัณฑิต เกษตรศาสตร์ (ปฐพีวิทยา) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	บุษราพร ไชยพันธ์ กรรณิกา มาลา และภัทรารัตน์ เทียมเก่า. 2560. การสำรวจปริมาณของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตรในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดชลบุรี. การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 5, วันที่ 1-2 สิงหาคม 2560, โรงแรมเซ็นทรา บาย เซ็นทารา แจ้งวัฒนะ, กรุงเทพมหานคร. 156-164. Chaipan, B., P. Poomipan and P. Teamkao. 2019. Relation of soil physical and chemical properties on relative abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in cassava, in Rayong province, Thailand. In Proceedings of 3 rd International Symposium on Agricultural Technology and 17 th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology, 2-5 July 2019, Krabi resort, Krabi, Thailand. 86-93.