ผลของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเติบโตและอัตราผลผลิตของผักสลัดอินทรีย์

นางสาววรรณธิรา รณะบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON GROWTH AND PRODUCTIVITY OF ORGANIC LETTUCE

Miss Wantira Ranabuht

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Botany

Department of Botany

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเติบโตและอัตราผลผลิตของผักสลัดอินทรีย์
โดย	นางสาววรรณธิรา รณะบุตร
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล คุณวาสี)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกินันทน์)

วรรณธิรา รณะบุตร : ผลของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเติบโตและอัตราผลผลิตของผักสลัดอินทรีย์ (EFFECTS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON GROWTH AND PRODUCTIVITY OF ORGANIC LETTUCE)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี, 77 หน้า.

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเติบโตและอัตราผลผลิตของผักสลัด (*Latuca sativa* L.) เพื่อใช้ปลูกพืชในเกษตรอินทรีย์ โดยสปอร์ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้มาจากแปลงปลูกผักสลัดอินทรีย์ที่สวนผักปลอดสารพิษลุงไกร ต.ไทยสามัคคี อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา เมื่อจำแนกไอโซเลทของสปอร์ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา สามารถจำแนกได้ 7 ไอโซเลท จาก 4 สกุล คือ *Acaulospora* sp. *Gigaspora* sp. *Glomus etunicatum Glomus geosporum Glomus mosseae Glomus multicaule* และ *Scutelluospora* sp. เมื่อนำสปอร์แต่ละไอโซเลทในปริมาณ 50 สปอร์ มาทดสอบการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค เทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกเชื้อด้วยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยประเมินผลจากจำนวนใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากพืช และปริมาณสปอร์ในดิน พบว่า *Scutellospora* sp. และ *G. mosseae* ให้ผล การเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊คมากที่สุดตามลำดับ โดยมีจำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากที่สุด จากนั้นนำราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้ง 2 ไอโซเลท มาทดสอบปริมาณที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค โดยใช้ปริมาณสปอร์ 5 ระดับ ได้แก่ 0 25 50 100 และ 200 สปอร์ต่อต้น พบว่าปริมาณสปอร์ของ *Scutellospora* sp. และ *G. mosseae* 200 สปอร์ต่อต้น ให้ผลการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊คมากที่สุดตามลำดับ โดยมีจำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากที่สุด อย่างไรก็ตามผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *G. mosseae* ในปริมาณ 50 และ 100 สปอร์ต่อต้น ให้ผลผลิตได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ปลูกด้วยเชื้อปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น ดังนั้นการใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการปลูกผักสลัดสามารถกระตุ้นการเติบโต รวมถึงเพิ่มอัตราผลผลิตของผักสลัดได้

ภาควิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2554

##5172432823 : MAJOR BOTANY
KEYWORDS : ARBUSCULAR MYCORRHIZA / LETTUCE / ORGANIC FARMING
WANTIRA RANABUHT : EFFECTS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI
ON GROWTH AND PRODUCTIVITY OF ORGANIC LETTUCE
ADVISOR : TEERADA WANGSOMBOONDEE Ph.D., 77 pp.

The present research aims to study the effects of different isolates of Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on growth and yield of lettuce (*Latuca sativa* L.) for using in organic farming system. AMF spores were obtained from a lettuce commercial organic farm in Wang Nam Keaw district, Nakorn Rachasima provice. They could be identified by using morphological characteristics into 7 isolates from 4 genera which were *Acaulospora* sp. *Gigaspora* sp. *Glomus etunicatum Glomus geosporum Glomus mosseae Glomus multicaule* and *Scutellospora* sp. Fifty spores of each isolates were tested for growth on 2 varieties of lettuce, green oak and red oak, compared with uninoculated treatment (control). Mature lettuces were collected and studied for leaf number, leaf fresh and dry weight and percentage of root infection. The result showed that *Scutellospora* sp. and *G. mosseae* were the best isolates for promoting growth and yield of green oak and red oak, respectively. The treaments significantly increased leaf number, leaf fresh and dry weight compared with control treatment. Beside, these two isolates also showed highest percentage of root infection on lettuces. Then, the variations of spore concentration at 25, 50, 100, and 200 spores/plant of each isolate were tested for growth of green oak and red oak. The result showed that at the concentration of 200 spores/plant, *Scutellospora* sp. and *G.* mosseae were the best concentrations for promoting growth and yield and also gave the highest percentage of root infection on green oak and red oak, respectively. However, growth and yield of 50 and 100 spores/plant inoculated with *G. mosseae* in red oak didn't have any significant differences from 200 spores/plant. In conclusion, the AMF application into lettuce cultivation can stimulate growth and yield of the plants.

Department : Botany Student's Signature .....
Field of Study : Botany Advisor's Signature .....
Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล คุณวาสี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ และรองศาสตราจารย์นันทนา อังกินันทน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาสนับสนุนเงินทุนและห้องปฏิบัติการวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2554 ภายใต้แผนงานวิจัยอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์ความหลากหลายทางชีวภาพ และศูนย์เชียวชาญเฉพาะทางด้านความหลากหลายทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาสนับสนุนเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่สนับสนุนด้านการศึกษา และมอบความรัก ความเข้าใจ และกำลังใจ ตลอดจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้าย ขอขอบคุณ คุณเพทาย จรูญนารถ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจที่ดีเสมอมาจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

ขอบเขตการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร 4

ไมคอร์ไรซา 5

เกษตรอินทรีย์ 22

ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในเกษตรอินทรีย์ 27

ผักสลัด 28

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

การเก็บตัวอย่างราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 31

การแยกชนิดและจำแนกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 31

การเพิ่มปริมาณราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 32

การทดสอบชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโต
ของผักสลัด 35

การทดสอบปริมาณของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโต
ของผักสลัด 37

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 37

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง
การแยกชนิดและจำแนกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 38
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 39
การทดสอบชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัด 46
การทดสอบปริมาณสปอร์ที่เหมาะสมของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัด 52
บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง 57
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 63
เอกสารอ้างอิง 65
ภาคผนวก 74
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การแบ่งราไมคอร์ไรซา 7 ชนิด ตามลักษณะโครงสร้าง	6
2	ลักษณะทั่วไปในการจัดจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	9
3	ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคในดิน	20
4	มูลค่าตลาดโดยประมาณในตลาดหลักของเกษตรอินทรีย์	23
5	ปริมาณและมูลค่าผลผลิตเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทยปี พ.ศ. 2546-2552	24
6	ตัวอย่างปัจจัยการผลิตที่ใช้เป็นปุ๋ยและสารปรับปรุงดินที่อนุญาตให้ใช้ได้ตามข้อกำหนดของมาตรฐานเกษตรอินทรีย์	25
7	ชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่จำแนกได้	38
8	อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คเมื่อปลูกด้วยเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ	48
9	อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คเมื่อปลูกด้วยเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ	49
10	เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection) และปริมาณสปอร์เฉลี่ยของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค	50
11	เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection) และปริมาณสปอร์เฉลี่ยของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินปลูกผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค	51
12	อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค เมื่อปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Scutellospora* sp. ในปริมาณต่างๆ	55
13	เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection) และปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่ปลูกผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค เมื่อปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Scutellospora* sp. ในปริมาณต่างๆ	55
14	อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค เมื่อปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Glomus mosseae* ในปริมาณต่างๆ	56

ตารางที่ **หน้า**

15 เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก(% root infection) และปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่ปลูกผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คเมื่อปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ*G. mosseae* ในปริมาณต่างๆ 56

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะโครงสร้างที่เกิดจากการอยู่ร่วมกันของพืชและราไมคอร์ไรซา	7
2	ตัวอย่างลักษณะการจัดจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	14
3	โครงสร้างของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เจริญภายในและภายนอกเซลล์รากพืช	16
4	การจริญของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ซาในรากพืช	16
5	กลไกการป้องกันตัวของพืชเมื่อมีราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืช	21
6	พื้นที่เกษตรอินทรีย์ในประเทศไทยปี พ.ศ. 2541-2552	24
7	ตรารับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์โดยสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ประเทศไทย (มกท.)	26
8	แสดงขั้นตอนในการแยกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากดิน	33
9	ตะกอนดินในตะแกรงขนาด 150 และ 75 ไมโครเมตร	34
10	ข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor*) อายุ 3 เดือน ทีมีการปลูกเชื้อด้วยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เพื่อเพิมจำนวนสปอร์	34
11	การย้อมสีรากเพื่อตรวจสอบการติดเชื้อในราก	36
12	การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก	36
13	แสดงลักษณะสปอร์ของ *Acaulospora* sp.	39
14	แสดงลักษณะสปอร์ของ *Gigaspora* sp.	40
15	แสดงลักษณะสปอร์ของ *Glomus etunicatum*	41
16	แสดงลักษณะสปอร์ของ *Glomus geosporum*	42
17	แสดงลักษณะสปอร์ของ *Glomus mosseae*	43
18	แสดงลักษณะสปอร์ของ *Glomus muticaule*	44
19	แสดงลักษณะสปอร์ของ *Scutellospora* sp.	45

ภาพที่ **หน้า**

20 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค 47

21 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค 47

21 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีการปลูกเชื้อ *Scutellospora* sp. ในปริมาณที่แตกต่างกัน 54

23 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คที่มีการปลูกเชื้อ *Glomus mosseae* ในปริมาณที่แตกต่างกัน 54

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผักสลัด (lettuce : *Lactuca sativa* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae เป็นพืชที่นิยมบริโภคสดและประกอบอาหารมากที่สุด รวมทั้งนำมาตกแต่งอาหารให้มีสีสันสวยงามน่ารับประทาน เนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ดังนั้นผักสลัดจึงจัดเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีแนวโน้มความต้องการบริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การเลือกบริโภคผักปลอดสารพิษจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้บริโภคให้ความสนใจ ดังนั้นผักอินทรีย์จึงได้รับความนิยมในการบริโภคมากขึ้น เนื่องจากผลิตโดยใช้วัสดุธรรมชาติ ไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์ ไม่ใช้พันธุ์พืชที่มีการตัดต่อสารพันธุกรรม แต่จะใช้ประโยชน์จากความหลากหลายทางชีวภาพ เพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง ตลอดจนลดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้การผลิตผักอินทรีย์จึงต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอันดับหนึ่ง และจะต้องได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของท้องตลาด (กรมวิชาการเกษตร, 2548) การพัฒนาวิธีการเพาะปลูกในเกษตรอินทรีย์เพื่อเพิ่มผลผลิตจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการทำวิจัย

การปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์นั้น นอกจากเป็นการใช้วัสดุที่ได้จากธรรมชาติแล้ว ยังสามารถใช้สิ่งมีชีวิตบางชนิดที่มีอยู่ในธรรมชาติมาช่วยส่งเสริมการเจริญของพืช จากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านพบว่า การใช้ราไมคอร์ไรซา (mycorrhizal fungi) ซึ่งเป็นราที่อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชโดยมีความสัมพันธ์แบบต่างฝ่ายต่างได้ประโยชน์ (mutualistic symbiosis) โดยราไมคอร์ไรซามีบทบาทในการเพิ่มการเติบโตของพืช ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของราก ทำให้ระบบรากมีความแข็งแรง สามารถดูดซึมน้ำ และธาตุอาหารดีขึ้น โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช และมักอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากลักษณะทางเคมีของดินทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเกลือฟอสเฟต โดยราไมคอร์ไรซาจะทำหน้าที่เปลี่ยนรูปของเกลือฟอสเฟตนี้ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำและ

พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที นอกจากนี้ราไมคอร์ไรซายังช่วยให้พืชมีความทนทานต่อสภาพพื้นที่และสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเติบโตของพืช รวมทั้งป้องกันโรคและแมลงในดิน (กิตติมา ด้วงแค , 2548; โสภณ บุญลือ, 2550; Brundrett et al., 1996)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาซึ่งเป็นราที่พบตามธรรมชาติร่วมกับการเพาะปลูกผักสลัด เพื่อส่งเสริมการเติบโตและเพิ่มผลผลิตของผักสลัดในระบบเกษตรอินทรีย์ให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม โดยทำการศึกษาและจำแนกไอโซเลทของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในธรรมชาติ และทดสอบไอโซเลทและปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค เพื่อเป็นแนวทางเลือกใหม่สำหรับเกษตรกร และนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาผลของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเติบโตและอัตราผลผลิตของผักสลัดอินทรีย์

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาและจำแนกไอโซเลทของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
2. ศึกษาไอโซเลทของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค
3. ศึกษาปริมาณของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ไอโซเลทและปริมาณสปอร์ของราไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค ที่สามารถนำไปใช้ในระบบเกษตรอินทรีย์

2. สามารถใช้เป็นความรู้พื้นฐานในการประยุกต์เพื่อประโยชน์ทางการเกษตรและเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ปัจจุบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์มากขึ้น รวมทั้งในส่วนของภาคเกษตรกรรม ได้มีการนำความรู้และความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้ปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค เช่น การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช การใช้ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งการเจริญเติบโต เป็นต้น แต่การใช้สารเคมีต่างๆ เหล่านี้ติดต่อกันเป็นเวลานาน และขาดความระมัดระวังในการใช้ย่อมก่อให้เกิดผลเสียตามมาอย่างแน่นอน โดยเฉพาะผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม เพราะการใช้สารเคมีดังกล่าวส่งผลให้เกิดสารพิษตกค้างในสภาพแวดล้อม แหล่งดินและน้ำ ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำเสื่อมเสียไป และเกิดความเสียสมดุลของระบบนิเวศ อีกทั้งการใช้สารเคมี ยังส่งผลให้เกิดสารพิษตกค้างในผลผลิตทางการเกษตร ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคและผู้ผลิต ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาว นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

ในขณะเดียวกันยังมีผู้บริโภคที่ตระหนักถึงปัญหาสุขภาพที่อาจเกิดจากสารพิษตกค้างในผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะพืชในกลุ่มผักที่มีการบริโภคสด ดังนั้นผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญในการเลือกบริโภคอาหารที่มีประโยชน์และปลอดสารพิษ ซึ่งการผลิตพืชปลอดสารพิษวิธีการหนึ่งคือ การปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ที่กำลังได้รับความนิยมและมีแนวโน้มความต้องการของตลาดขยายตัวมากขึ้น เนื่องจากเป็นพืชที่ผลิตโดยใช้วัสดุธรรมชาติ ไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์ ไม่ใช้พันธุ์พืชที่มีการตัดต่อสารพันธุกรรม แต่จะใช้ประโยชน์จากความหลากหลายทางชีวภาพ เพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง ตลอดจนลดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อม (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ทั้งนี้การผลิตผักอินทรีย์จึงคำนึงถึงความปลอดภัยจากสารพิษเป็นอันดับหนึ่ง และจะต้องได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของท้องตลาด

การทำเกษตรอินทรีย์นอกจากจะเป็นการใช้วัสดุที่ได้จากธรรมชาติ และไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์แล้ว ยังสามารถใช้สิ่งมีชีวิตบางชนิดที่มีอยู่ในธรรมชาติ เป็นตัวช่วยในการส่งเสริมการเจริญของพืชได้ การใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ เนื่องจากเป็นราที่พบตามธรรมชาติและอาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชในดิน โดยมีความสัมพันธ์แบบต่างฝ่ายต่างได้ประโยชน์ ซึ่งราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถส่งเสริมการเติบโตและเพิ่มผลผลิตของพืชได้หลายชนิด อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาสารพิษตกค้างในสภาวะแวดล้อม (Brundrett et al., 1996) รวมทั้งยังสามารถลดต้นทุนในการผลิต

ไมคอร์ไรซา

ไมคอร์ไรซา (Mycorrhiza) เป็นรูปแบบการอยู่อาศัยร่วมกันระหว่างราในดินกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Mutualistic symbiosis) โดยราจะส่งเสริมให้พืชดูดน้ำและธาตุอาหารจากดินได้มากขึ้น โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช ในขณะเดียวกันราจะได้รับน้ำตาลและคาร์บอนจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจากพืช (Brundrett et al., 1996) ซึ่งคำว่า “Mycorrhiza” มาจากภาษากรีก คือ “Mykes” แปลว่า “Mushroom” หรือ “Mycor” แปลว่า “Fungus” และ “rhiza” แปลว่า “root” เมื่อนำคำศัพท์ทั้งสองมารวมกัน จึงหมายถึง “Fungus-root” (กิติมา ด้วงแค, 2548)

ไมคอร์ไรซา แบ่งได้เป็น 7 ชนิด โดยแบ่งตามความแตกต่างของลักษณะโครงสร้าง ได้แก่ Ectomycorrhizas Ectendomycorrhizas Arbuscular endomycorrhizas Ericoid endomycorrhizas Arbutoid endomycorrhizas Monotropoid endomycorrhizas และ Orchidaceous endomycorrhizas ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ กลุ่มแรก คือ Ectomycorrhiza กลุ่มนี้จะมีโครงสร้างที่เรียกว่า Sheathing ห่อหุ้มบริเวณราก มีการสร้างเส้นใยและเจริญบริเวณนอกรากพืช ส่วนกลุ่มที่สอง คือ Endomycorrhiza สำหรับกลุ่มนี้จะสร้างเส้นใยและโครงสร้างพิเศษในเซลล์รากพืช เรียกว่า เวสสิเคิล (Vesicle) และอาบัสคูล (Arbuscule) ดังนั้นจึงเรียกเอนโดไมคอร์ไรซาอีกชื่อหนึ่งว่า อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular Mycorrhizal Fungi : AMF) ซึ่ง Arbuscular endomycorrhizas Ericoid endomycorrhizas Arbutoid endomycorrhizas Monotropoid endomycorrhizas และ Orchidaceous endomycorrhizas เป็นส่วนหนึ่งในกลุ่มของ Endomycorrhiza เนื่องจากเป็นราไมคอร์ไรซาที่มีการสร้างเส้นใยและเจริญภายในเซลล์รากพืช สำหรับ Ectendomycorrhiza เป็นราที่มีลักษณะคล้ายกับ

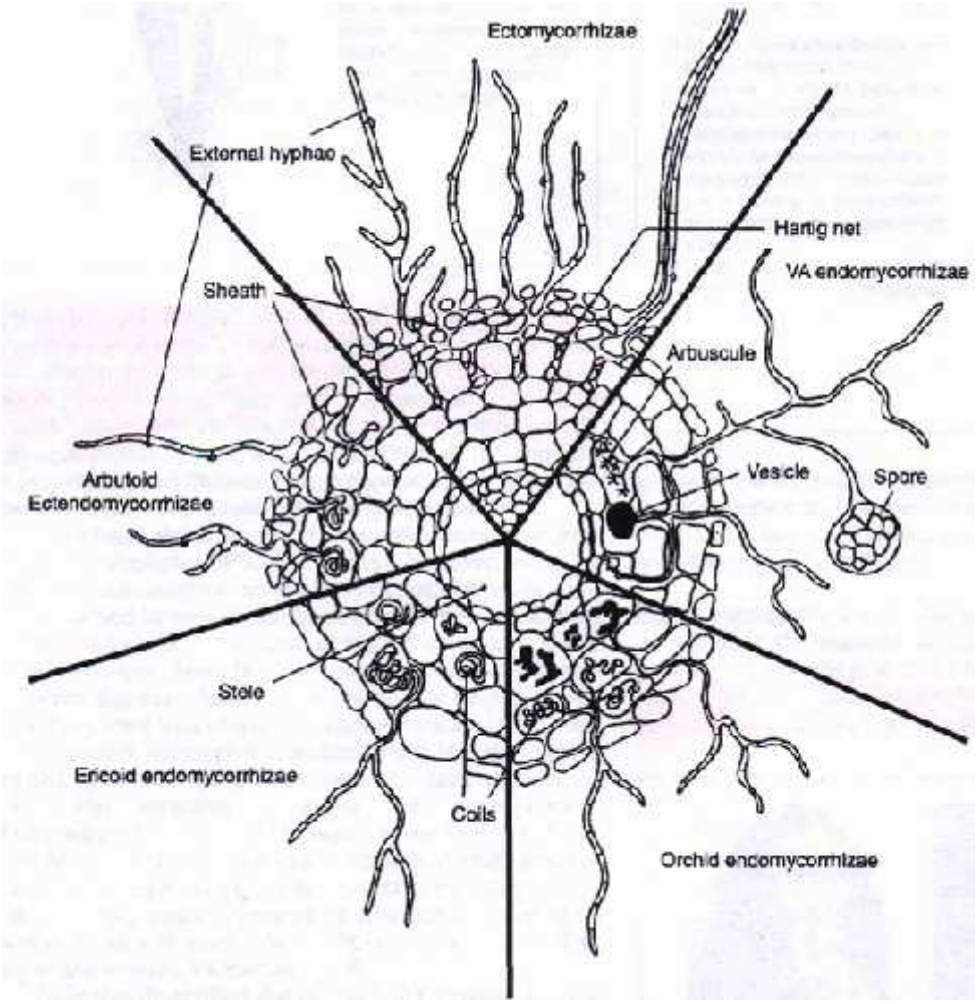
Ectomycorrhiza แต่จะพบว่ามีการสร้างเส้นใยและเจริญภายในเซลล์รากพืช ดังนั้นจึงเป็นได้ทั้ง Ectomycorrhiza และ Endomycorrhiza (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 1) (Selosse and Le Tacon, 1998; Taiz and Zeider, 2002; Moore et al., 2011)

ตารางที่ 1 การแบ่งราไมคอร์ไรซา 7 ชนิด ตามลักษณะโครงสร้าง (Moore et al., 2011)

ลักษณะ	**ชนิดของราไมคอร์ไรซา**						
	Endomycorrhiza					Ectomycorrhizas	
	AM	Ericoid	Aubutoid	Mono-tropoid	Orchid	Ecto mycorrhiza	Ectendo mycorrhiza
Fungi septate	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fungi aseptate	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Intracellular colonisation	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Fungal sheath	✗	✗	✓/ ✗	✓	✗	✓	✓/ ✗
Hartig net	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓
Vesicles	✓/ ✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Fungal taxa	Glomero-mycota	Asco-mycota	Basidio-mycota	Basidio-mycota	Basidio-mycota	Basidio-mycota Asco-mycota	Basidio-Asco-(Glomero-mycota)

✓ หมายถึง มี

✗ หมายถึง ไม่มี



ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างที่เกิดจากการอยู่ร่วมกันของพืชและราไมคอร์ไรซา Ectomycorrhizae Endomycorrhizae Orchid endomycorrhizae Ericoid endomycorrhizae และ Arbutoid ectendomycorrhizae (Selosse and Le Tacon, 1998)

การจัดจำแนกชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ซา

สำหรับการจัดจำแนกชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซานั้น สามารถจัดจำแนกโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานทางสันฐานวิทยา (morphology) โดยตรวจสอบลักษณรูปร่าง ขนาด สี และผนังของสปอร์ ตลอดจนลักษณะการสร้างและการเจริญของสปอร์ (Brundett et al.,1996) ซึ่งเดิมมีการจัดจำแนกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาให้อยู่ในไฟลัม Zygomycota คลาส Zygomycetes อันดับ Glomales แต่ต่อมาได้มีการศึกษาทางชีวโมเลกุลเพื่อจัดจำแนกชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งสามารถตรวจสอบจากสปอร์ รากพืชและดินที่มีสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยวิธี small subunit rRNA sequencing พบว่ามีความแตกต่างจากราในไฟลัม Zygomycota จึงจัดหมวดหมู่ใหม่ให้อยู่ในไฟลัม Glomeromycota คลาส Glomeromycetes แบ่งเป็น 4 อันดับ 9 วงศ์ และ 12 สกุล ดังนี้ (ภาพที่ 2 และ ตารางที่ 2) (Schüßler et al., 2001; Oehl and Sieverding, 2004; Walker and Schüßler, 2004; Sieverding and Oehl, 2006; Spain et al., 2006; Walker et al., 2007; Palenzuela et al., 2008; INVAM webpage, 2010 : online)

Kingdom	Fungi
Phylum	Glomeromycota
Class	Glomeromycetes
Order	Archaeosporales Diversisporales Glomerales Paraglomerales
Family	Ambisporaceae Archaeosporaceae Acaulosporaceae Diversisporaceae Entrophosporaceae Gigasporaceae Pacisporaceae Glomaeraceae Paraglomeraceae
Genera	*Ambispora Archaeospora Intraspora Acaulospora Kuklospora Diversispora Entrophospora Pacispora Gigaspora Scutellospora Glomus Paraglomus*

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปในการจัดจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
(Schüßler et al., 2001; Oehl and Sieverding, 2004; Walker and Schüßler, 2004; Sieverding and Oehl, 2006; Spain et al., 2006; Walker et al., 2007; Palenzuela et al., 2008; INVAM webpage, 2010 : online)

การจัดจำแนก	ลักษณะ
Order Archaeosporales	
Family Archaeosporaceae	
Genus *Archaeospora*	- มีลักษณะทางสัณฐาน 2 แบบ คือ acaulosporoid spore และ glomoid spore - acaulosporoid spore เป็นสปอร์ที่สร้างบริเวณส่วนก้านของ sporiferous saccule - glomoid spore เป็นสปอร์ที่เกิดปลายก้านของเส้นใย (sporogenous hypha) - ผนังสปอร์ มี 3-4 ชั้น - ไม่พบการสร้าง vesicle ในรากพืช
Family Ambisporaceae	
Genus *Ambispora*	- สปอร์รูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลม - มีลักษณะทางสัณฐาน 2 แบบ คือ - acaulosporoid spore - glomoid spore - ผนังสปอร์ มี 3 ชั้น - ผนังชั้นนอกสุดบาง และอาจสลายเมื่อสปอร์เจริญเต็มที ผนังชั้นที่สองและสาม มี 2 ชั้นย่อย - พบโครงสร้าง arbuscule และ vesicle ในรากพืช

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปในการจัดจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ต่อ)
(Schüßler et al., 2001; Oehl and Sieverding, 2004; Walker and Schüßler, 2004; Sieverding and Oehl, 2006; Spain et al., 2006; Walker et al., 2007; Palenzuela et al., 2008; INVAM webpage, 2010 : online)

การจัดจำแนก	ลักษณะ
Order Archaeosporales	
Family Archaeosporaceae	
Genus *Intraspora*	- สปอร์รูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลม - มีการสร้างสปอร์เดียวภายในส่วนของ sporiferous saccule - ผนังสปอร์ มี 2 ชั้น - ผนังชั้นนอกสุด มี 2 ชั้นย่อย - ผนังชั้นในมีลักษณะ semi-flexible - พบโครงสร้าง arbuscule และ vesicle ภายในรากพืช
Order Diversisporales	
Family Acaulosporaceae	
Genus *Acaulospora*	- สปอร์มีรูปร่างกลมหรือรี - มีการสร้างสปอร์บริเวณด้านข้างส่วนก้านของ sporiferous saccule - เป็นสปอร์ที่ไม่มีก้าน (sessile) - ผิวสปอร์มีลวดลาย เช่น เป็นรูหรือเป็นหลุม - ผนังสปอร์ มี 3 ชั้น - ผนังชั้นนอกสุด มีลักษณะเป็นเมือกใส และมักสลายเมื่อสปอร์เจริญเต็มที - ผนังชั้นที่สอง มีความแข็งแรง (rigid layer) - ผนังชั้นที่สาม มี 2 ชั้นย่อย - vescicle มีรูปร่างไม่แน่นอน

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปในการจัดจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ต่อ)
(Schüßler et al., 2001; Oehl and Sieverding, 2004; Walker and Schüßler, 2004; Sieverding and Oehl, 2006; Spain et al., 2006; Walker et al., 2007; Palenzuela et al., 2008; INVAM webpage, 2010 : online)

การจัดจำแนก	ลักษณะ
Order Diversisporales	
Family Acaulosporaceae	
Genus *Kuklospora*	- สปอร์มีรูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลม - ผนังสปอร์ มี 3 ชั้น - ผนังชั้นนอกสุด ไม่มีสี และมักจะสลายตัวเมื่อสปอร์เจริญเต็มที่ - ผนังชั้นที่สอง มีชั้นย่อยบางๆ หลายชั้น - ผนังชั้นที่สาม มี 2 ชั้นย่อย และมีลักษณะ flexible to semi-flexible
Family Diversisporaceae	
Genus *Diversispora*	- การจัดจำแนก genus *Diversispora* ยังไม่เป็นที่ยอมรับเท่าที่ควร เนื่องจากมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับ genus *Glomus* แต่จะอ้างข้อมูลจากการศึกษาทางด้านชีวโมเลกุล
Family Entrophosporaceae	
Genus *Entrophospora*	- สปอร์มีรูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลม - สปอร์สร้างเดียวๆ ภายใน sporiferous saccule - เป็นสปอร์ที่ไม่มีก้าน (sessile) - ผนังสปอร์ มี 2 ชั้น - ผนังชั้นนอกสุด - ผนังชั้นใน มี 3 ชั้นย่อย ซึ่งชั้นที่สองหนาที่สุด

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปในการจัดจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ต่อ)
(Schüßler et al., 2001; Oehl and Sieverding, 2004; Walker and Schüßler, 2004; Sieverding and Oehl, 2006; Spain et al., 2006; Walker et al., 2007; Palenzuela et al., 2008; INVAM webpage, 2010 : online)

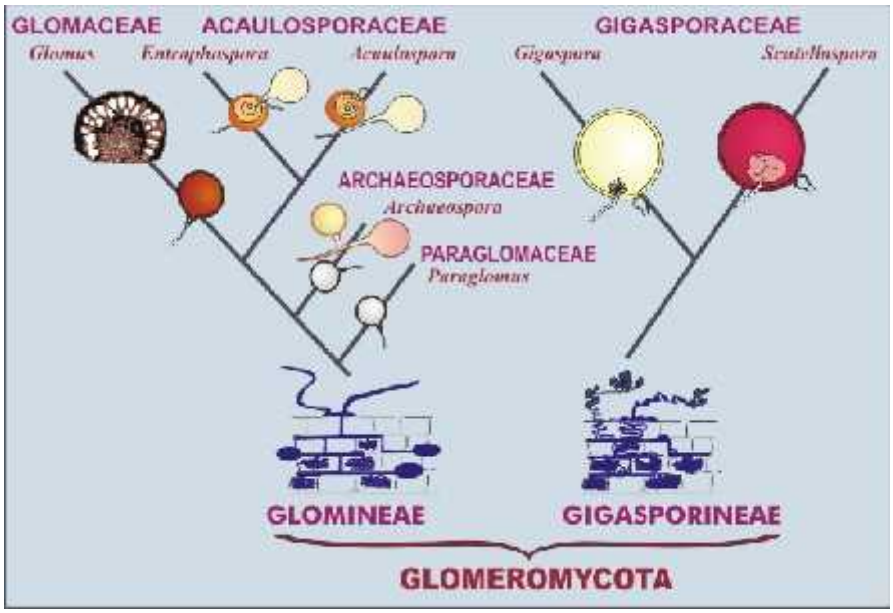
การจัดจำแนก	ลักษณะ
Order Diversisporales	
Family Gigasporaceae	
Genus *Gigaspora*	- สปอร์มีรูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลม บางครั้งพบรูปร่างไม่แน่นอน และขนาดใหญ่ - สปอร์เกิดบนก้านสปอร์ที่มีลักษณะโป่งที่ปลายก้าน (bulbous subtending hypha) - ผนังสปอร์ มี 2 ชั้น - ผนังชั้นนอก มีลักษณะผิวเรียบ - ผนังชั้นใน ค่อนข้างหนา เนื่องจากมีการสร้างผนังชั้นย่อย - ไม่มีการสร้าง vescicle ภายในราก แต่จะสร้าง auxiliary vesicle ภายในดิน
Genus *Scutellospora*	- สปอร์มีรูปร่างกลมหรือรี - สปอร์เกิดบนก้านที่มีลักษณะโป่งที่ปลายก้าน (bulbous subtending hypha) - ผนังสปอร์ มี 3 ชั้น และมี bilayered germination wall 2 ชั้น - พบโครงสร้าง germination shield บนผนังชั้นในของสปอร์ - ไม่มีการสร้าง vescicle ภายในราก แต่จะสร้าง auxiliary vesicle ภายในดิน

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปในการจัดจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ต่อ)
(Schüßler et al., 2001; Oehl and Sieverding, 2004; Walker and Schüßler, 2004; Sieverding and Oehl, 2006; Spain et al., 2006; Walker et al., 2007; Palenzuela et al., 2008; INVAM webpage, 2010 : online)

การจัดจำแนก	ลักษณะ
Order Diversisporales	
Family Pacisporaceae	
Genus *Pacispora*	- ผนังสปอร์ มี 3 ชั้น และมี bilayered germination wall 3 ชั้น - สปอร์ที่ยังเจริญไม่เต็มที่ จะพบผนังสปอร์เพียง 1 ชั้น - ผิวสปอร์เรียบ - มีการสร้าง vesicle และ arbuscule ภายในรากพืช
Order Glomerales	
Family Glomaeraceae	
Genus *Glomus*	- สปอร์เกิดบนปลายก้าน ซึ่งอาจเกิดเป็นสปอร์เดียวๆ หรือพบเป็นกลุ่ม (sporocarp) - ก้านสปอร์มีลักษณะผอมแคบ ลักษณะคล้ายรูปกรวย หรือลักษณะโค้ง และผนังของก้านสปอร์จะหนา - ผิวสปอร์เรียบ - ผนังสปอร์ มี 1-4 ชั้น - มีการสร้าง arbuscule และ vesicle ที่มีลักษณะรี ภายในรากพืช

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปในการจัดจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ต่อ)
(Schüßler et al., 2001; Oehl and Sieverding, 2004; Walker and Schüßler, 2004; Sieverding and Oehl, 2006; Spain et al., 2006; Walker et al., 2007; Palenzuela et al., 2008; INVAM webpage, 2010 : online)

การจัดจำแนก	ลักษณะ
Order Paraglomerales	
Family Paraglomeraceae	
Genus *Paraglomus*	- มีลักษณะค่อนข้างคล้าย genus *Glomus* - สปอร์มีรูปร่างกลม บางครั้งพบรูปร่างไม่แน่นอน - สปอร์เกิดบนปลายก้าน และสร้างเป็นสปอร์เดียวภายในดิน - ผนังสปอร์ มี 2-3 ชั้น - ไม่พบการสร้าง vesicle ภายในราก Arbuscule ติดสีจางมาก

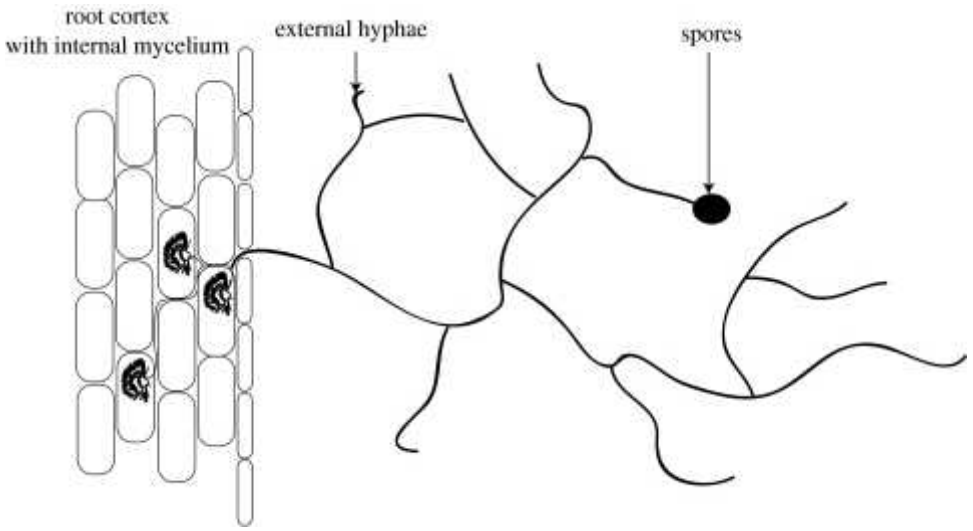


ภาพที่ 2 ตัวอย่างลักษณะการจัดจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
(INVAM webpage, 2010 : online)

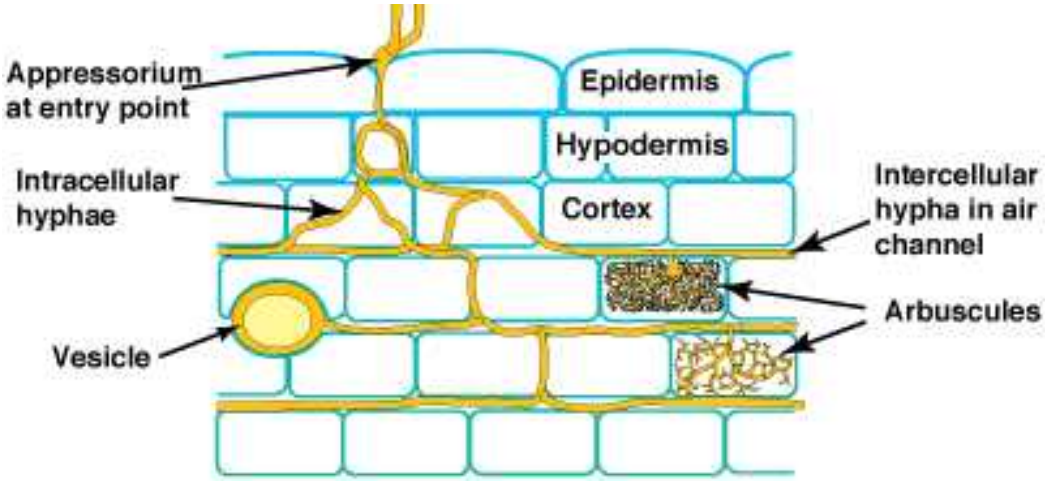
การเข้าสู่รากของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

การเข้าสู่รากพืชของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ประกอบด้วยระยะที่สำคัญ 2 ระยะ คือ ระยะที่หนึ่ง เป็นระยะที่ราเจริญภายนอกรากพืช และระยะที่สอง เป็นระยะที่ราเจริญอยู่ภายในเซลล์รากพืช (โสภณ บุญลือ, 2550) เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมต่อการงอกของสปอร์ ได้แก่ ลักษณะของดิน อุณหภูมิ ค่า pH ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และฟอสฟอรัส และมีสารบางอย่างที่ปล่อยออกจากรากพืช (root exudates) กระตุ้นการงอกของสปอร์ มีการเจริญของเส้นใยเข้าหารากพืช เมื่อเส้นใยสัมผัสบริเวณเนื้อเยื่อผิว (epidermis) จะเกิดลักษณะบวมและมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นโครงสร้างที่เรียกว่า appressorium โครงสร้างนี้จะแทงเส้นใยผ่าน epidermis เข้าสู่เนื้อเยื่อชั้นคอร์เทกซ์ (cortex) ของรากพืช โดยเจริญอยู่ระหว่างเซลล์ราก (intercellular space) หรือเจริญผ่านเข้าไปในเซลล์ของราก (intracellular) เส้นใยเจริญและแตกแขนงแบบ dichotomous branching ในชั้นคอร์เทกซ์ของรากพืช ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายต้นไม้ (tree – like cell) เรียก อาบัสคูล (arbuscule) ซึ่งมีหน้าที่ในการช่วยแลกเปลี่ยนสารอาหารระหว่างรากับพืช และมีการสร้างเวสสิเคิล (vescicle) ที่ปลายของเส้นใย (terminal) หรือระหว่างเส้นใย (intercalary) มีลักษณะเป็นถุง เป็นโครงสร้างที่ใช้เก็บสะสมอาหารของรา และสามารถพบโครงสร้างนี้อยู่ภายในเซลล์หรือระหว่างเซลล์ของรากพืช (ภาพที่ 3 และ ภาพที่ 4) (Brundrett et al., 1996; Schnepf et al., 2008; สมจิตร อยู่เป็นสุข, 2549)

การเข้าอยู่อาศัยของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับรากพืชนั้น ไม่ทำให้ลักษณะและรูปร่างของรากพืชเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ นอกจากรากพืชบางชนิด ได้แก่ ข้าวโพด ถั่วหอมหัวใหญ่ และมะเขือเทศ ที่พบการเปลี่ยนสีของรากเป็นสีเหลืองอ่อนและไม่มีรากขน โดยสีเหลืองจะจางหายไปเมื่อถูกแสงสว่าง และความเข้มของสีขึ้นอยู่กับปริมาณของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เข้าสู่รากพืช (Harley and smith, 1983 อ้างถึงใน โสภณ บุญลือ, 2550)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เจริญภายในและภายนอกเซลล์รากพืช (Schnepf et al., 2008)



ภาพที่ 4 การเจริญของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ซาในรากพืช (Brundrett et al., 1996)

ประโยชน์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

1. เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดน้ำและธาตุอาหารให้แก่พืชอาศัย

ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทในการเพิ่มการเติบโตของพืช โดยเส้นใยที่เจริญออกมาด้านนอกเซลล์รากพืชและแพร่กระจายในดิน จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของรากพืช ทำให้ระบบรากมีความแข็งแรงและความทนทานมากขึ้น และช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดีขึ้น โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช และมักอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากลักษณะทางเคมีของดินทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเกลือฟอสเฟต โดยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะทำหน้าที่เปลี่ยนรูปของเกลือฟอสเฟตนี้ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำและพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (กิตติมา ด้วงแค, 2548; โสภณ บุญลือ, 2550) และมีรายงานว่ารากพืชที่มีราไมคอร์ไรซา ที่เส้นใยของเชื้อเจริญออกจากผิวรากพืชเพียง 10 เซนติเมตร สามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในพืชได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (Li et al., 1991)

จากรายงานของ Chalk และคณะ (2006) พบว่าการใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการปลูกถั่ว สามารถเพิ่มการเติบโตของต้นถั่วได้ เนื่องจากเกิดการดูดไนโตรเจน และมีการนำไปใช้ได้ดีขึ้น และการใช้ *Glomus mosseae* ยังช่วยให้มะเขือเทศและมะเขือยาวสีม่วงสามารถดูดธาตุฟอสฟอรัสและไนโตรเจนได้ดีขึ้น ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผลผลิตเพิ่มขึ้น (Karagiannidis et al., 2002) และการใช้ *G. deserticola G. fasciculatum* และ *G. mosseae* ร่วมกับการปลูกผักสลัด (*Lactuca sativa* L.) ทำให้มีการทำงานของ nitrate reductase สูงกว่าการไม่ได้ใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมด้วย ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวทำให้มีการเปลี่ยนไนเตรทเป็นแอมโมเนียมได้ดีขึ้น และอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (Ruiz-Lozano and Azcon,1996)

นอกจากนี้ Marulanda และคณะ (2003) ได้ศึกษาราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 6 ชนิด ได้แก่ *Glomus coronatum G. intraradices G. claroideum G. mosseae G. constrictum* และ *G. geosporu*m กับผักสลัด (*L. sativa* L.) ภายใต้สภาวะแล้ง พบว่าราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชสามารถดูดน้ำในดินได้ดีขึ้น และราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด

มีความสามารถในการช่วยให้พืชมีการดูดน้ำแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

2. ช่วยให้พืชเติบโตได้ดีในสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม

ราไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชสามารถเติบโตได้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาวะดินเค็ม สภาวะแล้ง และดินเป็นพิษ เป็นต้น โดย Sheng และคณะ (2008) พบว่า *G. mosseae* ช่วยเพิ่มการเติบโตของข้าวโพดในสภาวะดินเค็มได้ โดยลำต้นและรากพืชมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้น รากสามารถดูดน้ำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใช้ *G. mosseae* นอกจากนี้มีรายงานว่าการใช้ราไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยหมัก ช่วยปรับปรุงดินได้ดีกว่าการใช้อนินทรีย์วัตถุ (Celik et al., 2004) และราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซายังช่วยลดปัญหาดินแข็ง ช่วยทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น มีผลให้ข้าวสาลีเติบโตได้ดี (Miransari et al., 2007) โดยมีรายงานว่าเส้นใยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีการสร้างและปลดปล่อยสาร glomalin ซึ่งเป็นสารจำพวก glycoprotein ที่ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น ทำให้เหมาะแก่การเติบโตของพืช (Rilling and Steinberg, 2002) และจากงานวิจัยของ Porras-Soriano และคณะ (2009) พบว่า การใช้ *G. mosseae* *G. intraradices* และ *G. claroideum* ช่วยให้ต้นมะกอกสามารถดูดธาตุอาหารที่จำเป็นได้ดีขึ้น ทำให้สามารถเติบโตได้ดีและมีความทนทานต่อสภาวะเค็ม

สำหรับการปลูก *Leucaena leucocephala* ร่วมกับการใช้ *G. etunicatum* ในสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของทองแดง พบว่าราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มความทนทานต่อพืช ทำให้การเติบโตของพืชดีกว่าพืชที่ไม่มีการปลูกเชื้อ (Lins et al., 2006) นอกจากนี้การใช้ *G. caledonium* ร่วมกับการปลูกข้าวโพด ในสภาวะดินที่มีการปนเปื้อโลหะหนักสองชนิด คือ Cu และ Cd พบว่า *G. caledonium* มีความทนทานต่อโลหะหนักทั้งสองชนิด และสามารถบำบัดดินจากการปนเปื้อนโลหะหนักได้ ทำให้ข้าวโพดเติบโตได้ดี ส่วน *Acaulospora laevis* พบว่า *A. laevis* มีความอ่อนแอต่อโลหะหนักทั้งสองชนิด (Liao et al., 2003)

3. ทำงานร่วมกับจุลชีพในดินในการส่งเสริมการเติบโตของพืช

ในการใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับจุลชีพในดิน มีรายงานว่าการใช้ราไมคอร์ไรซาร่วมกับไรโซเบียม สำหรับการปลูกพืชตระกูลถั่วที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ในสภาวะที่ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ ทำให้ถั่วมีการเติบโตสมบูรณ์ได้ผลผลิตใกล้เคียงกับการใช้ไรโซเบียมร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัส (นันทกร บุญเกิด, 2541)

ส่วนการใช้ *G. mossea* *Trichoderma hazianum* และ *Pseudomonas fluorescens* ในการควบคุมโรคโดยชีววิธี สำหรับควบคุมโรครากเน่าที่มีสาเหตุจากเชื้อ *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* ในมะละกอ (*Carica papaya* cv. Surya) พบว่าการใช้ *G. mossea* ร่วมกับ *Trichoderma hazianum* ช่วยเพิ่มการเติบโตและผลผลิตของต้นมะละกอ และช่วยลดความรุนแรงของโรคได้ดีที่สุด (Sukhada et al., 2011)

4. ทำให้พืชต้านทานโรคได้ดีขึ้น

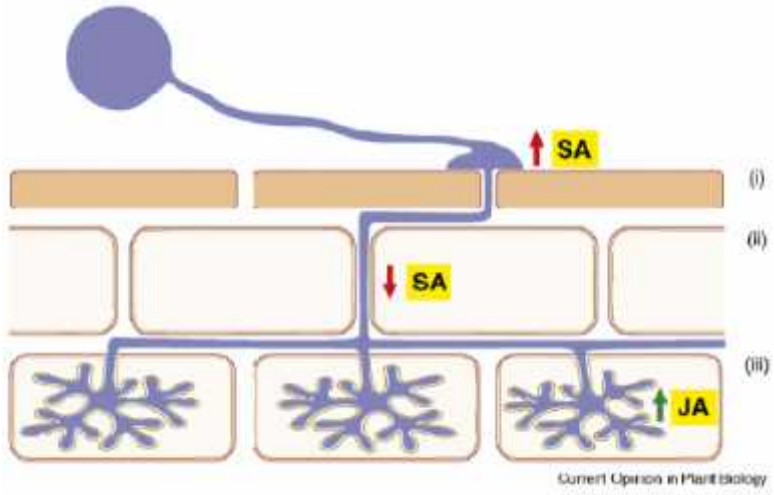
ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคในดินได้หลายชนิด เช่น *Aphanomyces Cylindrocladium Fusarium Macrophomina Phytophthora Pythium Rhizoctonia Sclerotinium Verticillium* และ *Thielaviopsis* เป็นต้น (Harrier and Watson, 2004) (ตารางที่ 3) จากการศึกษาของ Lioussanne และคณะ (2009) พบว่า *G. mosseae* และ *G. intradices* สามารถยับยั้ง *Phytophthora nicotianae* เชื้อสาเหตุโรครากเน่า ทำให้มะเขือเทศแสดงอาการโรคลดลง และราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซายังมีผลชักนำให้มะเขือเทศเกิดความต้านทานต่อ *Alternaria solani* เชื้อสาเหตุโรคไหม้ด้วย (Fritz et al., 2006) นอกจากนี้ *G. intraradices* มีผลยับยั้งการขยายพันธุ์ของ *Pratylenchus coffeae* ซึ่งเป็นไส้เดือนฝอยก่อโรค ทำให้แครอทมีความต้านทานต่อ *P. coffeae* มากขึ้น (Elsen et al., 2003) และ *G. intraradices* ยังช่วยลดอาการโรครากเน่าที่มีสาเหตุจาก *Macrophomina phaseolina* และโรครากปมที่มีสาเหตุจากไส้เดือนฝอย *Meloidogyne incognica* ใน chickpea ด้วย (Akhtar and Siddiqui, 2007)

การที่ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชมีความต้านทานต่อโรคนั้น เกียวข้องกับกลไกการป้องกันตัวในพืชโดยกระบวนการ Systemic Acquired Resistance (SAR) ซึ่งราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยกระตุ้นให้พืชสร้าง salicylic acid (SA) และ jasmonic acid (JA) ซึ่งเป็นสารสำคัญต่อกระบวนการกระตุ้นให้พืชเกิดความต้านทานต่อโรค (Pozo and Azcon-Aguilar, 2007) (ภาพที 5) รวมถึงเกิดการเปลียนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของระบบราก และการเปลียนแปลงของจุลชีพในดิน (Azcón-Aguilar and Barea, 1997)

จากทีกล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เป็นราทีพบตามธรรมชาติ และมีประโยชน์ในการส่งเสริมการเติบโตของพืช รวมทั้งมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงดิน และถือว่าเป็นชีววิธีอีกวิธีหนึงทีสามารถใช้ได้และตรงตามหลักการของเกษตรอินทรีย์ ซึงมุ่งเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติในการปรับปรุงดิน และเร่งการเติบโตของพืช ดังนั้นการใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจึงเป็นอีกทางเลือกหนึงสำหรับการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์

ตารางที 3 ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคในดิน

เชื้อสาเหตุโรคพืช	โรคพืช	พืชอาศัย	อ้างอิง
Sclerotium cepivorum	โรคเน่าจากราขาว (White rot)	หัวหอม (*Allium cepa*)	Torres-Barraga´n et al. (1996)
Fusarium oxysporum	โรครากเน่า (Fusarium root rot)	หน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis*)	Matsubara et al. (2002)
Verticillium dahliae	โรคเหียว (Verticillium wilt)	มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*)	Karagiannidis et al. (2002)
Helicobasidium mompa	โรครากเน่า (Violet root rot)	หน่อไม้ฝรั่ง	Kasiamdari et al. (2002)
Rhizoctonia solani	โรครากและโคนเน่า (Root and stem rots)	ถั่วเขียว (*Vigna radiate*)	Kjøller and Rosendahl (1996)
Aphanomyces euteiches	โรครากเน่า (Root rot)	ถั่ว (*Pisium sativum*)	Bødker et al. (2002)



ภาพที่ 5 กลไกการป้องกันตัวของพืชเมื่อมีราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืช (Pozo and Azcon-Aguilar, 2007)

(i) เมื่อสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซางอกและสัมผัสผิวรากมีการสร้าง appressorium เพื่อเจริญเข้าสู่รากพืช ที่ระยะนี้ระดับของ salicylic acid (SA) สูงขึ้น

(ii) เมื่อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าสู่ชั้น cortex ระดับของ salicylic acid (SA) ลดลง

(iii) เมื่อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสร้างอาบัสคูล (arbuscule) ภายในเซลล์รากพืช ระดับของ jasmonic acid (JA) สูงขึ้น

เกษตรอินทรีย์ (Organic Farming)

เกษตรอินทรีย์ เป็นระบบการผลิตที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม รักษาสมดุลของธรรมชาติและความหลากหลายทางชีวภาพ โดยมีระบบการจัดการนิเวศวิทยาที่คล้ายคลึงกับธรรมชาติและหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ที่อาจก่อให้เกิดมลพิษในสภาพแวดล้อม รวมถึงการนำภูมิปัญญาชาวบ้านมาใช้ประโยชน์ด้วย (กรมวิชาการเกษตร, 2548) โดยทางสมาพันธ์ผู้ผลักดันสินค้าเกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federation of Organic Farming Movement–IFOAM) ได้ให้คำนิยามว่า “เกษตรอินทรีย์ คือ ระบบการเกษตรที่ผลิตอาหารและเส้นใย ด้วยความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ โดยเน้นหลักการปรับปรุงดิน การเคารพต่อศักยภาพทางธรรมชาติของพืช สัตว์ และนิเวศการเกษตร ลดการใช้ปัจจัยการผลิตจากภายนอก และหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ แต่ในขณะเดียวกันก็พยายามประยุกต์ใช้ธรรมชาติในการเพิ่มผลผลิตและพัฒนาความต้านทานต่อโรคพืชและสัตว์เลี้ยง” (International Federation of Organic Farming Movement, 2011)

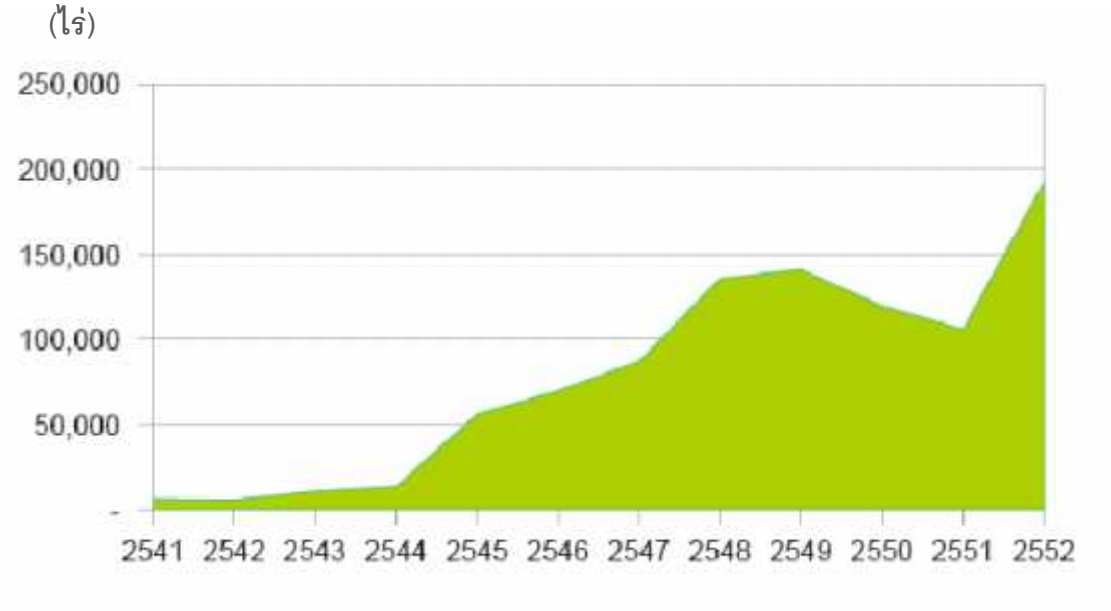
เนื่องจากเกษตรอินทรีย์เป็นระบบการผลิตที่ตระหนักถึงความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม สัตว์ และมนุษย์ ดังนั้นความต้องการบริโภคผลผลิตเกษตรอินทรีย์ หรือที่รู้จักกันในนาม “อาหารอินทรีย์” (Organic Food) ทั้งในและต่างประเทศจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากข้อมูลกรมส่งเสริมการส่งออก กระทรวงพาณิชย์ รายงานว่ามูลค่าตลาดโลกของอาหารเกษตรอินทรีย์มีมากกว่า 14,000 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือประมาณ 560,000 ล้านบาท (ตารางที่ 4) และอัตราการเติบโตโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 25 ต่อปี (สมคิด ดิสถาพร, 2547)

จากการสำรวจของมูลนิธิสายใยแห่งแผ่นดิน พบว่าพื้นที่เกษตรอินทรีย์ของไทยได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัวในช่วงปี 2552 (ภาพที่ 6) นอกจากนี้จำนวนฟาร์มเกษตรอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานในช่วงเวลาดังกล่าวก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน เป็น 5,358 ฟาร์ม และในส่วนของปริมาณและมูลค่าผลผลิตเกษตรอินทรีย์ของไทยนั้น ก็ได้ปรับตัวเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 5) (มูลนิธิสายใยแผ่นดิน, 2555)

ในปี พ.ศ. 2538 ประเทศไทยได้ก่อตั้งสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) เพื่อทำหน้าที่ให้บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ซึ่งมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของ มกท. เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปและมีมาตรฐานเท่าเทียมกับของสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ หรือ IFOAM ซึ่งการรับรองของ มกท. จะตรวจสอบตั้งแต่เริ่มปลูก ดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว การแปรรูป การบรรจุ และการขนส่ง จนกระทั่งถึงมือผู้บริโภค โดยให้ความสำคัญกับการห้ามใช้สารเคมี การฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงการปรับปรุงและควบคุมสารพิษตลอดจนระยะการปรับเปลี่ยนฟาร์ม (ตารางที 6) ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานของ มกท. จะมีสิทธิ์ใช้ตรา มกท. บนบรรจุภัณฑ์ (ภาพที 7) ซึ่งเป็นหลักประกันให้ผู้บริโภคเกิดความมั่นใจเมื่อเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อินทรีย์ (สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์, 2554)

ตารางที 4 มูลค่าตลาดโดยประมาณในตลาดหลักของเกษตรอินทรีย์
(กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ตลาด	**มูลค่าล้านเหรียญ US$**	**มูลลค่าล้านบาท**
สหรัฐอเมริกา	6,600	264,000
เยอรมนี	1,800	72,000
ญี่ปุ่น	1,500	60,000
ฝรั่งเศส	750	30,000
อิตาลี	750	30,000
อังกฤษ	700	28,000
สวิตเซอร์แลนด์	580	23,200
เนเธอร์แลนด์	350	14,000
เดนมาร์ก	250	10,000
ออสเตรีย	230	9,200
สวีเดน	188	7,520
ออสเตรเลีย	130	5,200
สเปน	83	3,320
เบลเยียม	75	3,000
1US$ = 40 บาท โดยประมาณ		



ภาพที 6 พื้นที่เกษตรอินทรีย์ในไทยประเทศไทยปี พ.ศ. 2541-2552
(มูลนิธิสายใยแผ่นดิน, 2555)

ตารางที 5 ปริมาณและมูลค่าผลผลิตเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทยปี พ.ศ. 2546-2552
(มูลนิธิสายใยแผ่นดิน, 2555)

ปี พ.ศ.	ปริมาณการผลิต (ตัน)	มูลค่าผลผลิต (ล้านบาท)
2546	9,756.05	375.13
2547	15,966.08	608.79
2548	29,415.10	920.39
2549	30,374.84	948.03
2550	33,677.48	976.84
2551	26,564.74	806.09
2552	44,688.49	1,354.42

ตารางที 6 ตัวอย่างปัจจัยการผลิตที่ใช้เป็นปุ๋ยและสารปรับปรุงดินที่อนุญาตให้ใช้ได้ตามข้อกำหนดของมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์, 2554)

รายการวัสดุ	**รายละเอียด/ข้อกำหนด**
กากน้ำตาล หรือ โมลาส	ใช้ในการหมักทำปุ๋ยน้ำชีวภาพ เพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์
เกลือยิปซั้ม (แมกนีเซียม ซัลเฟต)	จะต้องมาจากแหล่งธรรมชาติ และไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีหรือไม่มาจากกระบวนการสังเคราะห์
จุลินทรีย์	อนุญาตให้ใช้จุลินทรีย์ทุกชนิดกับปุ๋ยหมัก พืช เมล็ดพืช และดิน ยกเว้นจุลินทรีย์ที่ได้มาจากกระบวนการทางพันธุวิศวกรรม
โดโลไมท์ (แมกนีเซียม และ แคลเซียม คาร์บอเนต)	ต้องมาจากแหล่งธรรมชาติ ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี ใช้ปรับปรุงความเป็นกรดของดิน
ปุ๋ยจากถุงเห็ด	ขี้เลื่อยและเศษวัสดุเหลือทิ้งจากถุงเห็ดนางฟ้า นางรม ฯลฯ ควรผ่านการหมักซ้ำอีกครั้งก่อนนำมาใช้
ปุ๋ยน้ำชีวภาพ	ได้จากการหมักเศษพืช เพื่อให้เกิดจุลินทรีย์โดยธรรมชาติ ใช้เป็นปุ๋ยฉีดพ่นหรือเติมลงดินเพื่อให้พืชแข็งแรง
ปุ๋ยพืชสด	เช่น โสน ปอเทือง พืชตระกูลถั่วต่างๆ ฯลฯ
ปุ๋ยหมัก	การหมักปุ๋ยช่วยแก้ปัญหาวัชพืชที่ติดมากับมูลสัตว์ได้ แต่ห้ามใช้ปุ๋ยหมักจากขยะเมือง
พืชหมุนเวียน	ควรหมุนเวียนปลูกพืชต่างตระกูลกัน เพราะระดับรากต่างกัน การหมุนเวียนของธาตุอาหารในดินจะสมบูรณ์ขึ้น การใช้ธาตุอาหารของพืชชนิดต่างๆ จากน้อยไปมาก เป็นดังนี้ 1. พืชตระกูลถั่ว 2. พืชกินหัว 3. พืชกินใบ 4. พืชกินผล 5. ธัญพืช

ภาพที่ 7 ตรารับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ โดยสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ประเทศไทย (มกท.)

ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในเกษตรอินทรีย์

ในระบบเกษตรอินทรีย์พบว่ามีความหลากหลายของชนิดราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ปริมาณสปอร์ และการติดเชื้อในรากพืชมากกว่าในเกษตรแบบดั้งเดิม (Mäder et al., 2000; Oehl et al., 2002) โดยมีรายงานว่าจะพบราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสกุล *Glomus* มากทั้งในการทำการเกษตรทั้งสองแบบ แต่จะพบราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสกุล *Acaulospora* และ *Scutellospora* ในระบบเกษตรอินทรีย์มากกว่าในเกษตรแบบดั้งเดิม (Oehl et al., 2004) ซึ่งราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยให้พืชเพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุอาหารในดินมาใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส (Galvez et al., 2001) ดังนั้นราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจึงมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเติบโตและผลผลิตของพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งเป็นระบบที่หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ (Ryan and Tibbett, 2008)

แม้ว่าการทำเกษตรอินทรีย์จะมีขั้นตอนที่ค่อนข้างยุ่งยาก เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ตรงตามมาตรฐาน แต่ในปัจจุบันก็มีการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ตามแนวโน้มความต้องการบริโภคผลผลิตอินทรีย์ที่ขยายตัวมากขึ้นทั้งในและต่างประเทศ และจากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต เกษตรกรที่ทำการผลิตพืชอินทรีย์จะได้ผลตอบแทนสุทธิต่อไร่ต่อปีประมาณ 22,390 บาท เมื่อเทียบกับเกษตรกรที่ทำการผลิตพืชผักปลอดภัยจากสารพิษซึ่งจะได้ผลตอบแทนสุทธิต่อไร่ต่อปีประมาณ 20,530 บาท (สุดใจ จงวรกิจวัฒนา, 2554) ดังนั้นจึงมีการปลูกพืชผักหลากหลายชนิดในระบบเกษตรอินทรีย์ เช่น หน่อไม้ฝรั่ง แครอท ผักปวยเล้ง ผักตังโอ๋ ผักคะน้า และผักสลัด เป็นต้น สำหรับผักสลัดนั้น ถือว่าเป็นพืชผักอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการบริโภคสด ดังนั้นจึงมีการเพาะปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์อย่างแพร่หลาย และมีหลายพันธุ์ที่นิยมปลูก เช่น บัตเตอร์เฮด คอส กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค เป็นต้น (สมคิด ดิสถาพร, 2547)

ผักสลัด

ผักสลัด (Lettuce : *Lactuca sativa* L.) อยู่ในวงศ์ Asteraceae เป็นพืชที่นิยมบริโภคสดและประกอบอาหารมากที่สุด รวมทั้งนำมาตกแต่งอาหารให้มีสีสันสวยงามน่ารับประทาน เนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบด้วย น้ำ 95% คาร์โบไฮเดรต 1-2% โปรตีน 1-2% และไขมัน 0.25% นอกจากนี้ยังเป็นผักที่มีวิตามินซีสูง (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2547)

ดังนั้นผักสลัดจึงจัดเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีแนวโน้มความต้องการบริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ปัจจุบันผู้บริโภคมีความตระหนักถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การเลือกบริโภคผักปลอดสารพิษจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้บริโภคให้ความสนใจ ดังนั้นพืชอินทรีย์จึงได้รับความนิยมในการบริโภคมากขึ้น แม้ว่าจะมีราคาแพงก็ตาม

สำหรับผักสลัดที่ปลูกและใช้บริโภคในปัจจุบันสามารถแบ่งออกตามลักษณะของต้นและใบได้ 5 กลุ่ม ดังนี้ (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2547)

1. Leaf lettuce (*Lactuca sativar* var. *crispa* L.) บางครั้งเรียก bunching lettuce / loose-leaf (สลัดใบ/ผักกาดหอม) สายพันธุ์นี้จะมีลำต้นสั้นและใบเจริญเป็นกระจุก มีใบจำนวนมาก ลักษณะรูปร่างและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมากกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีใบสีเขียวอ่อน เช่น พันธุ์ Black seeded Simpson และ Grand Rapid เป็นต้น

2. Crisp-head (*L. sativa* var. *capitata* L.) บางครั้งเรียก head lettuce หรือ iceberg type (สลัดปลี ผักกาดหอมห่อ ผักกาดแก้ว หรือ สลัดแก้ว) มีใบขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ใบในจะม้วนและซ้อนกันคล้าย กะหล่ำปลี หัวแน่น ใบจะแข็ง กรอบกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ใบนอกจะมีสีเขียวเข้ม ใบในจะมีสีเหลืองปนขาว ทนทานต่อการขนส่ง

3. Butterhead (*L. sativa* var. *capitata* Lam.) บางครั้งเรียก Bibb หรือ Boston lettuce คือ สลัดกึงห่อหรือ สลัดบัตเตอร์ ใบจะอ่อนและนิ่ม ห่อปลีหลวม ใบในจะมีลักษณะคล้ายมีน้ำมันหรือเนยจับที่ผิวใบ การปลูกในฤดูหนาว จะให้หัวขนาดใหญ่และหัวแน่นกว่าฤดูร้อน การปลูกในฤดูร้อน ฤดูฝน ควรปลูกในโรงเรือน ที่สามารถลดอุณหภูมิ ความเข้มของแสง และป้องกันฝน บางสายพันธุ์ในกลุ่มนี้จะมีความต้านทานต่อโรคใบด่างของของสลัด (Lettuce Mosaic Virus: LMV) รสชาติดี แต่ไม่ทนทานต่อการขนส่ง

4. Cos **หรือ** Romaine (*L. sativa* var. *longefolia* Bailey) สลัดคอส หรือสลัดโรเมน หรือผักกาดหวาน ใบมีลักษณะต้งตรงยาวและห่อ สีเขียวเข้ม เนื้อใบหนามีเส้นใบนูนเด่นออกมาด้านหลัง ใบในจะมีปลายโค้งเข้าข้างในทำให้หัวกลมยาว

5. Stem (*L. sativar* var. *asparagina*) ในบางครั้งเรียก Asparagus หรือ Celtuce (Celery-Lettuce) มีลักษณะลำต้นสูง ใบจะเรียวยาว เจริญติดๆ กันขึ้นไปจนถึงช่อดอก อาจจะทยอยเก็บเกี่ยวโดยเริมจากใบล่าง เหมาะสำหรับใช้เป็นพืชผักสวนครัว ลำต้นสามารถนำไปประกอบอาหารและแปรรูปได้

สำหรับประเทศไทยนั้น ผักสลัดที่นิยมปลูกและบริโภค คือ Leaf lettuce หรือสลัดใบ เนื่องจากสามารถทนอากาศร้อนได้ดีกว่าผักสลัดชนิดอื่น ซึ่งผักสลัดเป็นพืชที่สามารถเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นดินเหนียว ดินร่วน หรือดินร่วนปนทราย แต่สามารถปลูกได้ดีที่สุดในดินร่วน ซึ่งมีการระบายอากาศดี ความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ระหว่าง 6.0-6.8 มีความชื้นในดินพอสมควร และพื้นที่ปลูกผักสลัดควรได้รับแสงเต็มที่ตลอดวัน ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผักสลัดใบจะอยู่ระหว่าง 21-26 องศาเซลเซียส แต่ผักสลัดห่อหัวจะอยู่ระหว่าง 15.5-21 องศาเซลเซียส หากปลูกในสภาพอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะทำให้มีรสขมและแทงช่อดอกเร็ว (เมฆ จันทร์ประยูร, 2548)

ในการดูแลรักษา ผักสลัดเป็นผักที่ใช้ประโยชน์จากส่วนยอดและใบ หากยอดถูกทำลาย ถึงแม้จะมียอดเกิดขึ้นใหม่ ยอดที่ได้ขนาดจะไม่เท่าเดิม และผักสลัดเป็นผักรากตื้น จึงไม่สามารถดูดน้ำในระดับลึกได้ โดยในระยะ 2 สัปดาห์แรก ควรให้น้ำทุกวันในตอนเช้าและเย็น และควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอ การให้น้ำไม่ควรมากเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดโรคโคนเน่า อายุการเก็บเกี่ยวของผักสลัดประมาณ 40-50 วัน หลังจากหว่านเมล็ด (เมฆ จันทร์ประยูร, 2548)

ผักสลัดนอกจากเป็นพืชที่นิยมปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์แล้ว ปัจจุบันการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) หรือระบบการปลูกพืชไร้ดิน เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมสำหรับการปลูกผักสลัด ซึ่งการปลูกพืชไร้ดิน คือวิธีการใดก็ตามที่ทำให้การปลูกพืชได้โดยไม่ต้องใช้ดิน แต่จะใช้วัสดุอื่นๆ แทน เช่น การปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ การปลูกพืชในสารละลาย หรือการปลูกพืชในวัสดุปลูก เช่น ทราย แกลบ และวัสดุอื่นๆ โดยให้สารละลายธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตแก่รากโดยตรง ในปริมาณที่เหมาะสมแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการปลูกในส่วนที่เกี่ยวข้องกับดิน เช่น ดินมีคุณภาพต่ำ มีความเค็มสูงหรือมีโรคระบาด อีกทั้งการปลูกพืชไร้ดินนี้ยังสามารถควบคุมคุณภาพและปริมาณของผลผลิตให้ได้ตาม

ต้องการ พืชจึงเจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตมากสม่ำเสมอ (ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และคณะ, 2548)

ถึงแม้ว่าการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์มีการจัดปัจจัยต่างๆ เช่น น้ำ แร่ธาตุ แสง และอุณหภูมิให้แก่พืชอย่างเหมาะสม พืชจึงเจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตมากสม่ำเสมอและมีคุณภาพดี สามารถปลูกได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี และปลูกได้ในพื้นที่ไม่มีดินหรือมีดินไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช การใช้น้ำใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมโรคแมลงศัตรูพืชทำให้ง่ายและใช้แรงงานน้อย แต่ทั้งนี้การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ก็ยังพบว่ามีข้อเสีย ดังนี้
(ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และคณะ, 2548)

1. เป็นระบบที่มีต้นทุนการผลิตเริ่มต้นค่อนข้างสูง เนื่องจากประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย และมีราคาแพง

2. จะต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญและประสบการณ์มากพอสมควรในการควบคุมดูแล

3. ต้องมีการควบคุมดูแลอย่างสม่ำเสมอ

4. ถ้าหากไม่มีความรู้และความสามารถในการจัดการที่ดีพอ อาจทำให้ผลผลิตมีปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตพืช เช่น ไนเตรทสูง จนเป็นอันตรายต่อการบริโภคได้

5. วัสดุปลูกบางชนิดเปื่อยหรือสลายตัวยาก ทำให้อาจมีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้สารอาหารพืชที่ใช้แล้วหากไม่มีการจัดการที่ดีก็อาจสร้างปัญหาให้น้ำ เช่น ไนเตรท เป็นต้น

จากข้อเสียที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าการผลิตพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ ยังมีความเสี่ยงสำหรับผู้บริโภค หากว่าไม่ได้รับการควบคุมและขาดความชำนาญในการผลิต เมื่อเทียบกับพืชที่ผลิตในระบบเกษตรอินทรีย์แล้ว ในด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมจะมากกว่า เนื่องจากผลผลิตจากระบบเกษตรอินทรีย์จะต้องผ่านการรับรองมาตรฐาน ซึ่งการรับรองมาตรฐานนี้จะมีการตรวจสอบตั้งแต่ขั้นตอนของการเพาะปลูก จนกระทั่งออกสู่ท้องตลาด ซึ่งทำให้ผู้บริโภคมีความมั่นใจได้ว่าผลผลิตนั้นมีความปลอดภัย

ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการเพาะปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ และควรได้รับการสนับสนุน ซึ่งการนำประโยชน์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ในระบบเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการปลูกผักสลัด ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกร เพื่อเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการผลิต และเป็นแนวทางสู่การพัฒนาระบบการเพาะปลูกไปสู่การทำเกษตรยั่งยืน

บทที 3
วิธีการทดลอง

1. การเก็บตัวอย่างราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

เก็บตัวอย่างรากและดินบริเวณรากพืช (Rhizospere) จากแปลงปลูกผักสลัดอินทรีย์ ที่สวนผักปลอดสารพิษลุงไกร ต.ไทยสามัคคี อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 5 แปลงของพื้นที่ปลูกทั้งหมด และกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ปลูก โดยกำหนดเก็บตัวอย่างรากและดินบริเวณรากพืชของแต่ละแปลงจำนวน 5 จุด คือ บริเวณตรงกลางและมุมทั้งสีของแปลง ขุดดินลงไปที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างดินจุดละประมาณ 1 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติก 1 จุดต่อ 1 ถุง และปิดปากถุงพลาสติกให้สนิทด้วยยางรัด แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาคัดแยกสปอร์ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสำหรับทำการทดลองต่อไป

2. การแยกชนิดและจำแนกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

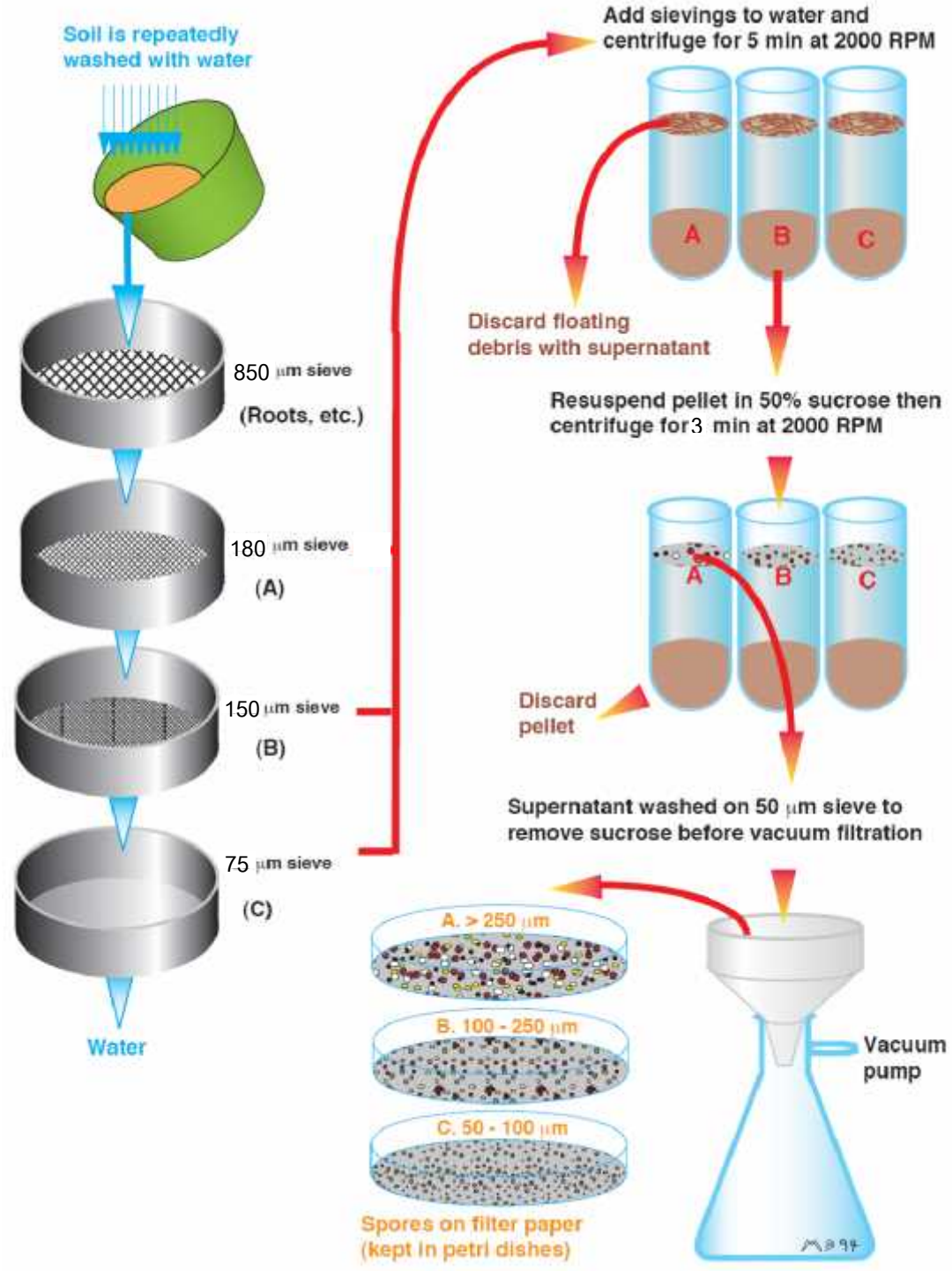
นำดินตัวอย่างมาแยกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยวิธี wet-sieving and sucrose centrifugation (ภาพที 8) (Brundett et al., 1996) โดยนำตัวอย่างดิน 100 กรัม แช่ในน้ำ 500 มิลลิลิตร นาน 30 นาที แล้วเทผ่านตะแกรงขนาด 850 180 150 และ 75 ไมโครเมตร ล้างตะกอนดินในตะแกรงขนาด 150 และ 75 ไมโครเมตร (ภาพที 9) ด้วยน้ำสะอาด ลงในหลอด centrifuge พลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นเหวียงทีความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เทส่วนที่เป็นน้ำและตะกอนที่ลอยอยู่ด้านบนทิ้ง

จากนั้นคัดแยกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยเทสารละลายซูโครส 50% ลงในหลอด centrifuge ที่มีตะกอนดิน แล้วเขย่าให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวียงที 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที สปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะลอยอยู่ในสารละลายซูโครส เทสารละลายซูโครสลงในตะแกรงขนาด 75 ไมโครเมตร แล้วล้างสปอร์ที่ติดบนตะแกรงด้วยน้ำสะอาด จากนั้นเทสปอร์ลงบนกระดาษกรอง ใช้เครื่องดูดสูญญากาศดูดของเหลวออกจากกระดาษกรอง แล้วใช้ปากคีบ คีบกระดาษกรองที่มีสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลงบนจานเพาะเชื้อ แล้วนำไปตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา ได้แก่ รูปร่าง ขนาด และสีของสปอร์ รวมทั้งนับจำนวนสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ และนำสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ยังไม่ได้ใช้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

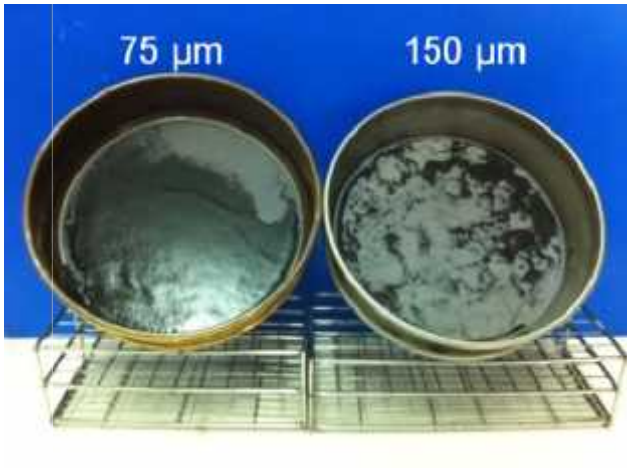
จากนั้นนำสปอร์ที่แยกได้จากตัวอย่างดินมาจัดจำแนกชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยการเตรียมสไลด์ (wet mount) ด้วยสารละลาย Polyvinyl-Lacto-Glycerol (PVLG) (ภาคผนวก) เพื่อตรวจสอบลักษณะของสปอร์ และสารละลายผสมของ PVLG + Melzer's reagent (1 : 1 v/v) (ภาคผนวก) เพื่อตรวจสอบปฏิกิริยาของสารต่อผนังของสปอร์และเปรียบเทียบการติดสีของสปอร์แต่ละชนิด (Brundett et al., 1996) โดยหยดสารละลายแต่ละชนิดลงบนแผ่นสไลด์คนละจุด แล้วใช้พู่กันเขี่ยสปอร์บนกระดาษกรอง ลงในสารละลายทั้งสองชนิด แล้วปิดด้วยแผ่นปิดสไลด์ สำหรับการย้อมสปอร์ด้วยสารละลายผสมของ PVLG + Melzer's reagent ให้กดแผ่นปิดสไลด์เบาๆ เพื่อให้สปอร์แตกและเห็นลักษณะของผนังสปอร์ชัดเจนขึ้น จากนั้นนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ และจัดจำแนกชนิดของราตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา ได้แก่ รูปร่าง ขนาด สี ลักษณะผิวของสปอร์ และจำนวนชั้นของผนังสปอร์ (Brundett et al., 1996; INVAM webpage, 2010 : online)

3. การเพิ่มปริมาณราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการแยกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา คัดเลือกสปอร์เดียวที่มีลักษณะแตกต่างกันจำนวน 21 ไอโซเลท จากนั้นเพิ่มปริมาณราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละไอโซเลทในข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor*) โดยนำวัสดุปลูกที่ประกอบด้วยดินและขุยมะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 ไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 1 ชั่วโมง ทั้งหมด 2 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง บรรจุวัสดุปลูกลงในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ที่ล้างด้วยน้ำสะอาด และเช็ดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70% จากนั้นวางกระดาษกรองขนาด 1x1 เซนติเมตร ที่มีสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาหนึ่งสปอร์ตรงกลางกระถาง แล้วโรยเมล็ดข้าวฟ่างกระถางละ 50 เมล็ด ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ผิวเมล็ด โดยแช่เมล็ดในคลอร็อกซ์ 5% นาน 5 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง จากนั้นนำไปแช่เอทิลแอลกอฮอล์ 70% นาน 1 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง (ศิริยาภรณ์ จุฑาพฤทธิ์, 2551) รดน้ำให้ชุ่มทุกวัน จนข้าวฟ่างอายุครบ 3 เดือน (ภาพที่ 10) เก็บตัวอย่างรากและดินบริเวณรากมาทำการแยกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยวิธี wet-sieving and sucrose centrifugation (Brundett et al.,1996) (ภาพที่ 8) สำหรับต้นข้าวฟ่างและวัสดุปลูกที่เหลือ หยุดการรดน้ำ 7-14 วัน เพื่อทำให้วัสดุปลูกในกระถางแห้ง จากนั้นตัดลำต้นเหนือดินของข้าวฟ่างออกและนำวัสดุปลูกในกระถางเก็บใส่ถุงพลาสติก เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้



ภาพที่ 8 แสดงขั้นตอนการแยกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากดิน (Brundett et al.,1996)



ภาพที 9 ตะกอนดินในตะแกรงขนาด 150 และ 75 ไมโครเมตร

ภาพที 10 ข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor*) อายุ 3 เดือน ทีมีการปลูกเชื้อด้วยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เพื่อเพิมจำนวนสปอร์

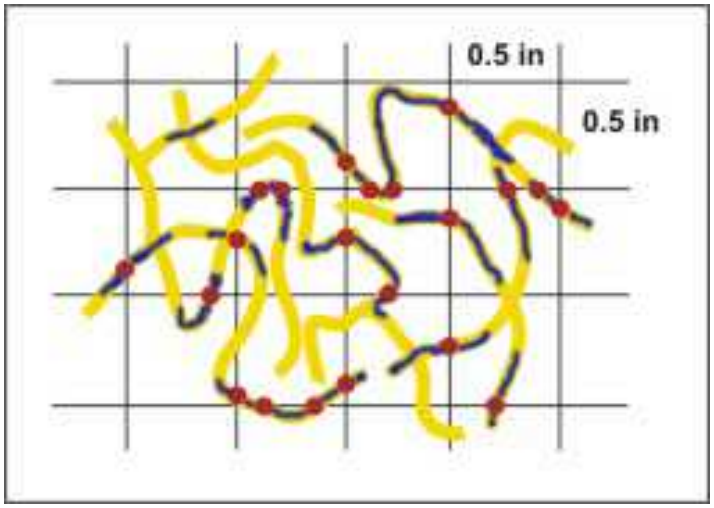
4. การทดสอบชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัด

เมื่อคัดแยกชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและเพิ่มปริมาณได้มากพอสำหรับทำการทดลอง จากนั้นทดสอบชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัด 2 พันธุ์ คือ กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค โดยนำเมล็ดผักสลัดเพาะลงบนกะบะเพาะกล้า เมื่อผักสลัดอายุได้ 2 สัปดาห์ ย้ายกล้าปลูกลงในกระถางทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ที่ล้างด้วยน้ำสะอาดและเช็ดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70% กระถางละ 1 ต้น แต่ละกระถางบรรจุด้วยวัสดุปลูกที่ประกอบด้วยดินและขุยมะพร้าว ในอัตราส่วน 1:1 ในปริมาณเท่าๆ กัน และมีการผสมสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด ปริมาณ 50 สปอร์ (ภาคผนวก) โดยออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น จากนั้นรดน้ำให้ชุ่มทุกวัน เมื่อครบอายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน เปรียบเทียบการเติบโตและผลผลิตของผักสลัด โดยนับจำนวนใบ วัดน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้นผักสลัด หาเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากผักสลัด (% root infection) และนับจำนวนสปอร์ในดินปลูก โดยทำการทดลองในโรงเรือนเพาะปลูก ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554

การหาเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection)

นำตัวอย่างรากผักสลัดมาล้างให้สะอาด ตัดรากให้มีความยาว 2-4 เซนติเมตร แล้วผ่านกระบวนการ clearing root โดยแช่รากในสารละลาย 10% KOH แล้วนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 20 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง นำรากมาแช่ในสารละลาย 0.05% trypan blue (ภาคผนวก) ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (Brundett et al., 1996) ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น จากนั้นตรวจสอบการติดเชื้อในรากภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และคำนวณเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก โดยนำรากที่ย้อมวางบนเพลทที่มีกระดาษกรองที่ตีตารางขนาด 0.5x0.5 นิ้ว (ภาพที่ 11) นับตำแหน่งรากที่มีการติดเชื้อที่พาดผ่านเส้นของตารางทั้งแนวตั้งและแนวนอน (R1) และนับตำแหน่งทั้งหมดที่รากพาดผ่านเส้นของตารางทั้งแนวตั้งและแนวนอน (R2) นำไปคำนวนหาเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อ (% root infection) ตามสูตร (INVAM webpage, 2010 : online) (ภาพที่ 12)

ภาพที 11 การย้อมสีรากเพื่อตรวจสอบการติดเชื้อในราก (% root infection)



ภาพที 12 การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection)

สีเหลือง คือ บริเวณรากพืชที่ไม่มีการติดเชื้อ

สีน้ำเงิน คือ บริเวณรากพืชที่มีการติดเชื้อ

สีแดง คือ ตำแหน่งที่รากพืชที่มีการติดเชื้อตัดผ่านเส้นตรงทั้งแนวตั้งและแนวนอน

$$\text{เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (\% root infection)} = \frac{R1}{R2} \times 100$$

(INVAM webpage, 2010 : online)

5. การทดสอบปริมาณของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัด

เมื่อทราบชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัดทั้ง 2 พันธุ์ คือ กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค จึงนำราอาบัสคูลารไมคอร์ไรซาชนิดนั้นๆ มาทดสอบปริมาณที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัด โดยใช้ปริมาณของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 5 ระดับ ได้แก่ 0 25 50 100 และ 200 สปอร์ (ภาคผนวก) ทำการทดลองและเก็บข้อมูลเช่นเดียวกับการทดสอบชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัด ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น โดยออกแบบการทดลองแบบ CRD โดยทำการทดลองในโรงเรือนเพาะปลูก ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0

บทที่ 4
ผลการทดลอง

1. การแยกชนิดและจำแนกสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการแยกตัวอย่างดินที่ทำการเก็บจากบริเวณสวนผักสลัดปลอดสารพิษลุงไกร ต.ไทยสามัคคี อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา พบสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจำนวนประมาณ 30 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสปอร์ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ย้อมด้วยสารละลาย PVLG และสารละลาย PVLG + Melzer's reagent (1 : 1 v/v) จำนวน 21 ไอโซเลท สามารถจำแนกราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาออกเป็น 7 ชนิด และจัดอยู่ใน 4 สกุล ได้แก่ *Acaulospora* sp. *Gigaspora* sp. *Glomus* spp. และ *Scutellospora* sp. (ตารางที่ 7) ซึ่งจากการแยกไอโซเลทของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการทดลองนี้ พบราในสกุล *Glomus* spp. มากที่สุด

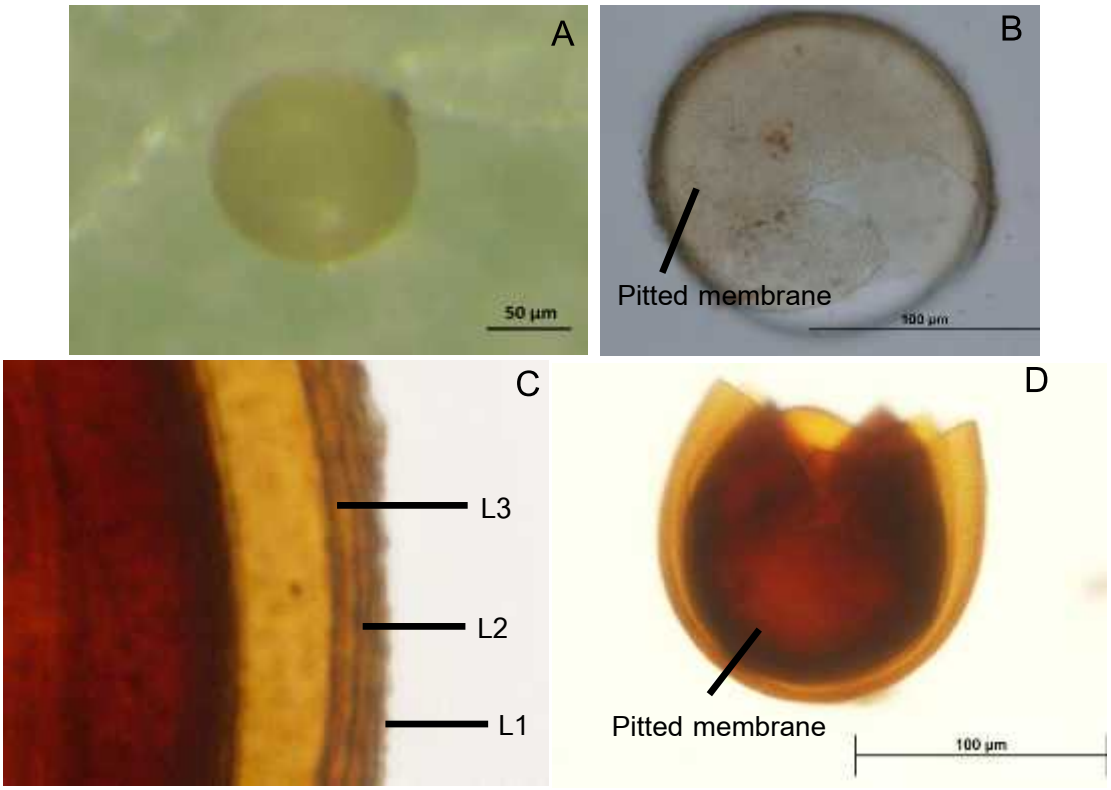
ตารางที่ 7 ชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่จำแนกได้

สกุล	ชนิด	จำนวน (ไอโซเลท)
Acaulospora	*Acaulospora* sp.	3
Gigaspora	*Gigaspora* sp.	3
Glomus	*Glomus etunicatum*	2
	Glomus geosporum	2
	Glomus mosseae	7
	Glomus muticaule	2
Scutellospora	*Scutellospora* sp.	2

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้ง 7 ชนิด จาก 4 สกุล

1. *Acaulospora* sp.

สปอร์มีรูปร่างกลม (globose) หรือค่อนข้างกลม (subglobose) เป็นสปอร์ที่ไม่มีก้านสปอร์ (sessile) ขนาดประมาณ 140-240 ไมโครเมตร ลักษณะใสไม่มีสี หรือสีเหลืองอ่อน บางครั้งพบสีน้ำตาลอ่อน ผนังสปอร์มี 3 ชั้น ผนังชั้นนอก (L1) ไม่มีสี และจะสลายตัวเมื่อสปอร์แก่ ผนังชั้นที่สอง (L2) เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG + Melzer's reagent ให้สีน้ำตาลส้ม ส่วนชั้นในสุด (L3) เป็นเยื่อสองชั้น ให้สีแดง สีม่วงแดง หรือสีน้ำตาลแดง และผิวของสปอร์มีลักษณะเป็นหลุม (pitted) (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 แสดงลักษณะสปอร์ของ *Acaulospora* sp.

A: ลักษณะรูปร่างสปอร์ของ *Acaulospora* sp. (57X)

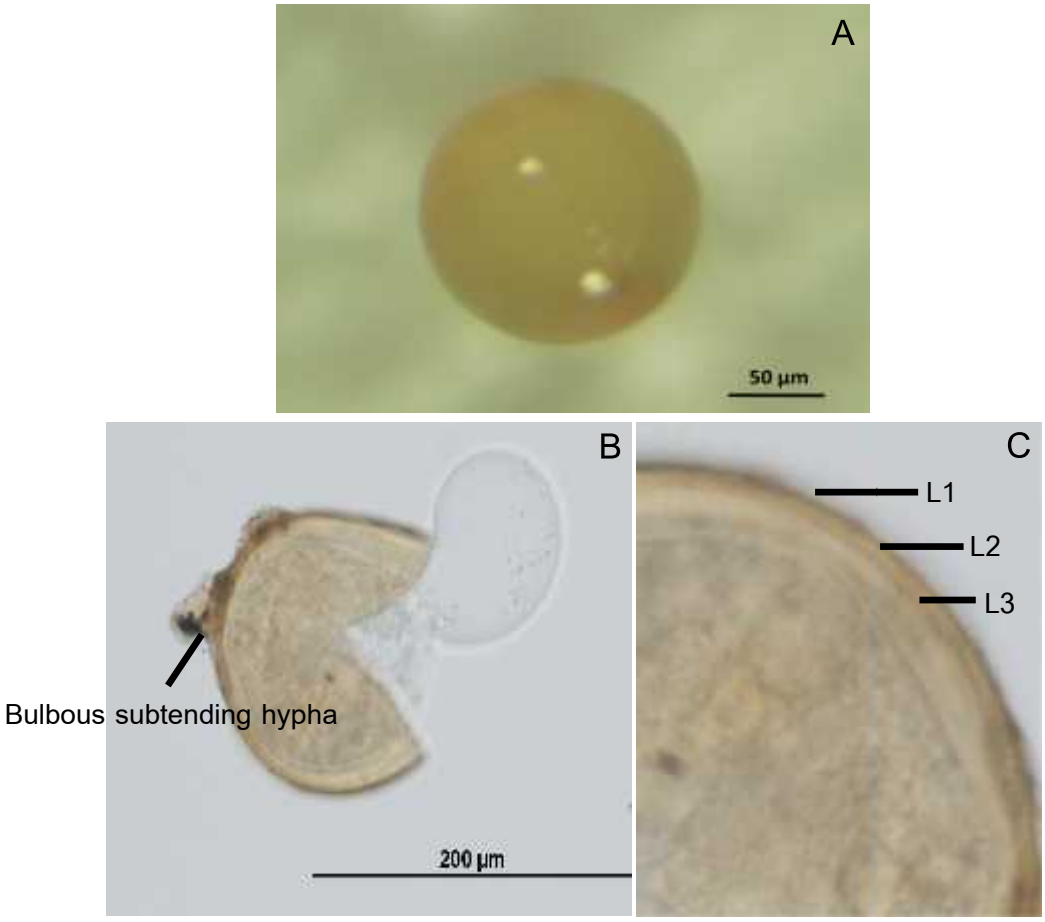
B: ลักษณะผิวสปอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG (40X)

C: ลักษณะผนังสปอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG+Melzer's reagent

D: ลักษณะผิวสปอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG+Melzer's reagent (40X)

2. *Gigaspora* sp.

สปอร์มีรูปร่างกลม (globose) หรือค่อนข้างกลม (subglobose) ขนาดประมาณ 260-400 ไมโครเมตร ส่วนใหญ่พบสีขาวถึงสีครีม บางครั้งพบสีเหลืองเข้ม มีผนังสปอร์ 3 ชั้น ผนังชั้นแรก (L1) มีลักษณะผิวเรียบ สีเหลืองอมน้ำตาล ผนังชั้นที่สอง (L2) ประกอบด้วยหลายชั้นย่อย (sublayers) เรียงกัน ทำปฏิกิริยากับ PVLG ให้สีเหลืองถึงเหลืองน้ำตาลอ่อน ส่วนผนังชั้นที่สาม (L3) เป็นชั้นที่มีการงอกของสปอร์ ซึ่งก้านสปอร์ (subtending hypha) มีลักษณะโป่งที่บริเวณปลายก้านสปอร์ (bulbous subtending hypha) และไม่มีการสร้าง vesicle ในรากพืช (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 แสดงลักษณะสปอร์ของ *Gigaspora* sp.

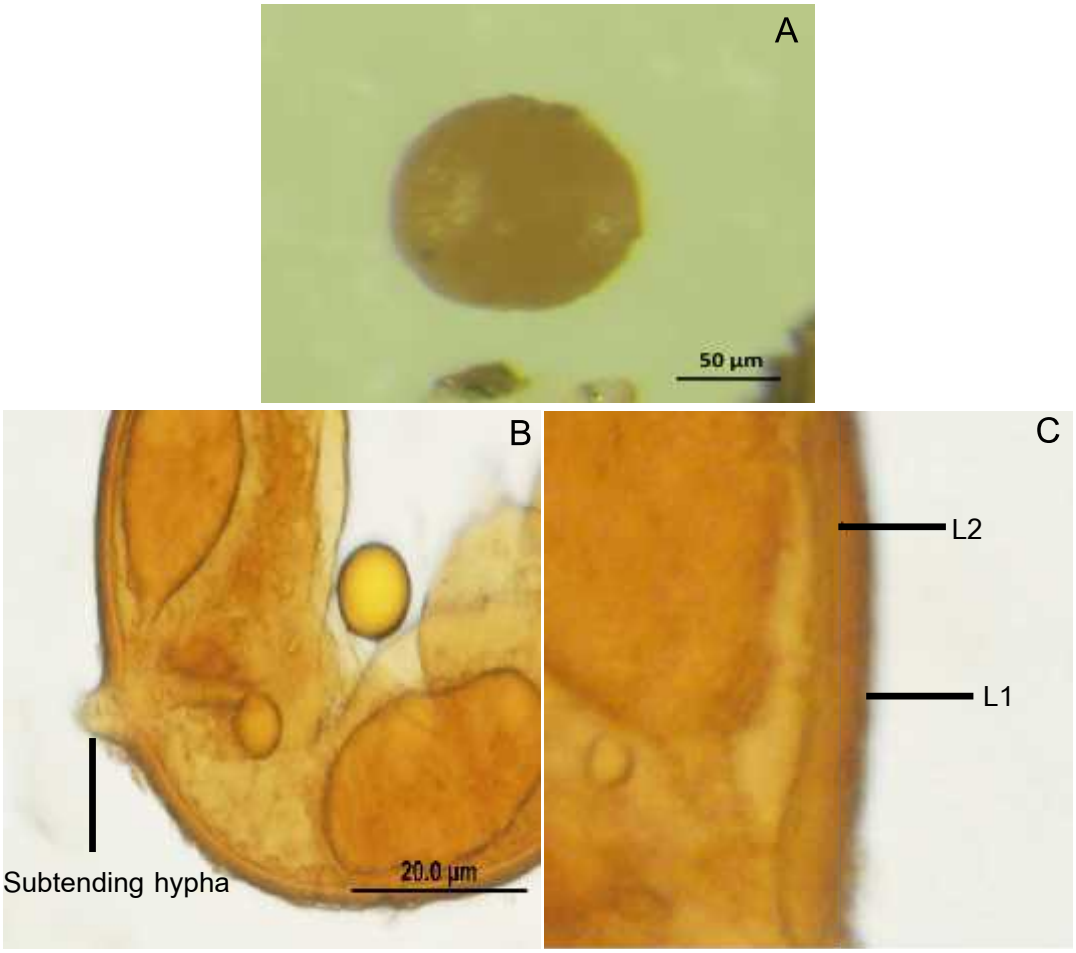
A: ลักษณะรูปร่างสปอร์ของ *Gigaspora* sp. (57X)

B: ลักษณะของ bulbous subtending hypha (20X)

C: ลักษณะผนังสปอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG

3. *Glomus etunicatum*

สปอร์มีรูปร่างกลม (globose) ถึงค่อนข้างกลม (subglobose) ขนาดประมาณ 60-160 ไมโครเมตร มีสีส้มถึงน้ำตาลแดง (orange to red brown) ผนังสปอร์มี 2 ชั้น ชั้นแรก (L1) ทำปฏิกิริยากับ PVLG + Melzer's reagent ให้สีชมพูถึงสีม่วงแดง ชั้นที่สอง (L2) ทำปฏิกิริยากับ PVLG + Melzer's reagent ให้สีส้มถึงสีน้ำตาลแดง (orange to red brown) ก้านสปอร์ (subtending hypha) มีผนังสปอร์ 2 ชั้น ลักษณะก้านตรงทรงกระบอก และหลุดง่าย (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 แสดงลักษณะสปอร์ของ *Glomus etunicatum*

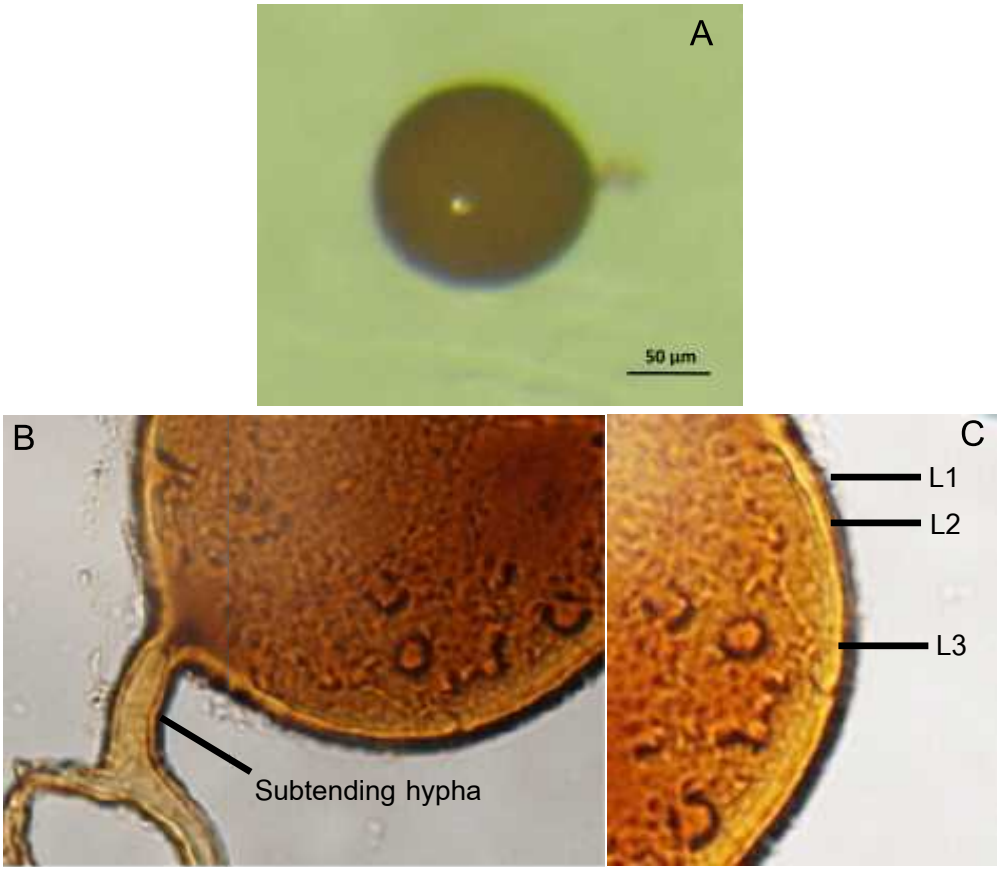
A: ลักษณะรูปร่างสปอร์ของ *G. etunicatum* (57X)

B: ลักษณะของ subtending hypha (100X)

C: ลักษณะผนังสปอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG+Melzer's reagent

4. *Glomus geosporum*

สปอร์มีรูปร่างกลม (globose) ถึงค่อนข้างกลม (subglobose) บางครั้งพบรูปร่างไม่แน่นอน (irregular) ขนาดประมาณ 120-240 ไมโครเมตร มีสีเหลืองถึงน้ำตาล ผนังสปอร์มี 3 ชั้น เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG + Melzer's reagent ผนังชั้นที่หนึ่ง (L1) ไม่มีสี (hyaline) หนาน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร ผนังชั้นที่สอง (L2) ให้สีเหลืองถึงน้ำตาลส้ม และผนังชั้นที่สาม (L3) ให้สีเหลืองถึงน้ำตาลส้ม ก้านสปอร์ (subtending hypha) มีลักษณะตรงถึงโค้ง (straight to recurved) (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 แสดงลักษณะสปอร์ของ *Glomus geosporum*

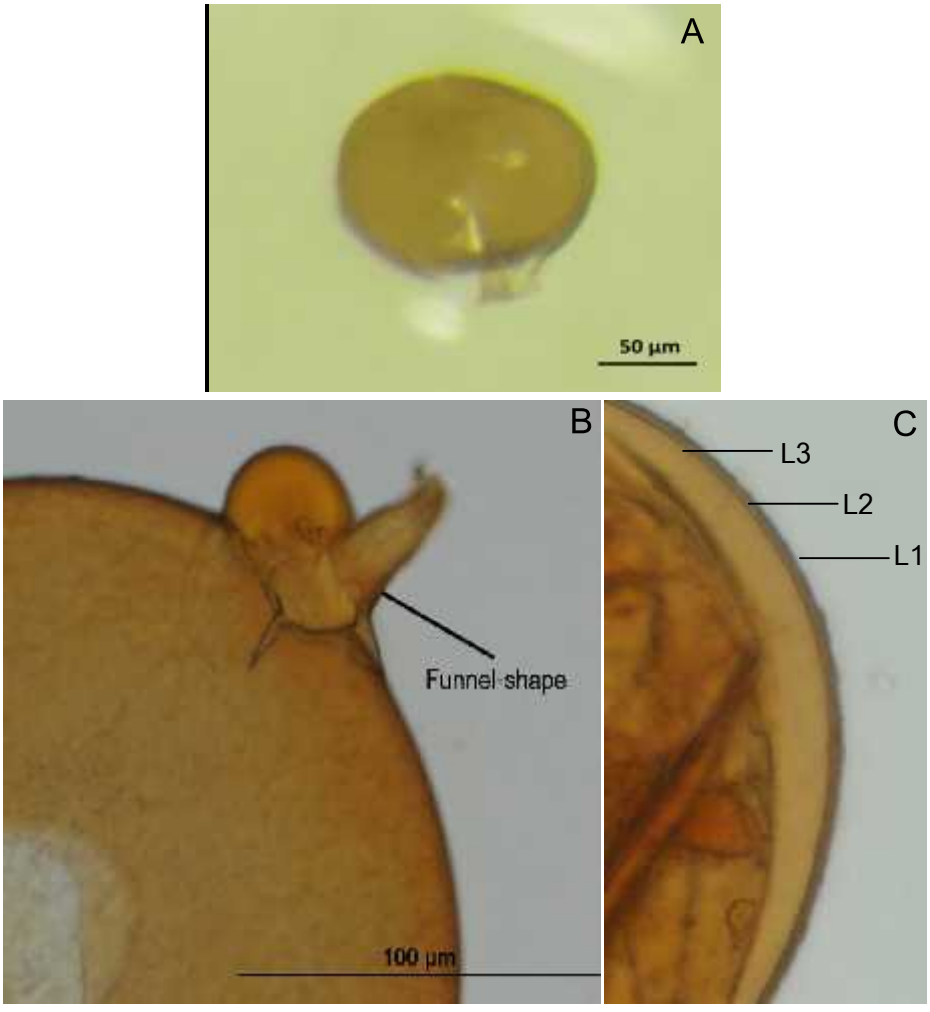
A: ลักษณะรูปร่างสปอร์ของ *G. geosporum* (57X)

B: ลักษณะของ subtending hypha

C: ลักษณะผนังสปอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG+Melzer's reagent

5. *Glomus mosseae*

สปอร์มีรูปร่างกลม (globose) ถึงค่อนข้างกลม (subglobose) บางครั้งพบรูปร่างไม่แน่นอน (irregular) ขนาดประมาณ 100-260 ไมโครเมตร โดยมากพบสีน้ำตาลเหลือง ผนังสปอร์มี 3 ชั้น ผนังชั้นแรก (L1) ทำปฏิกิริยากับ PVLG + Melzer's reagent ให้สีชมพูแดง ผนังชั้นที่สอง (L2) ไม่มีสี (hyaline) และผนังชั้นที่สาม (L3) ให้สีน้ำตาลเหลืองถึงสีน้ำตาลส้ม ก้านสปอร์ (subtending hypha) มีลักษณะคล้ายรูปกรวย (funnel-shape) (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 แสดงลักษณะสปอร์ของ *Glomus mosseae*

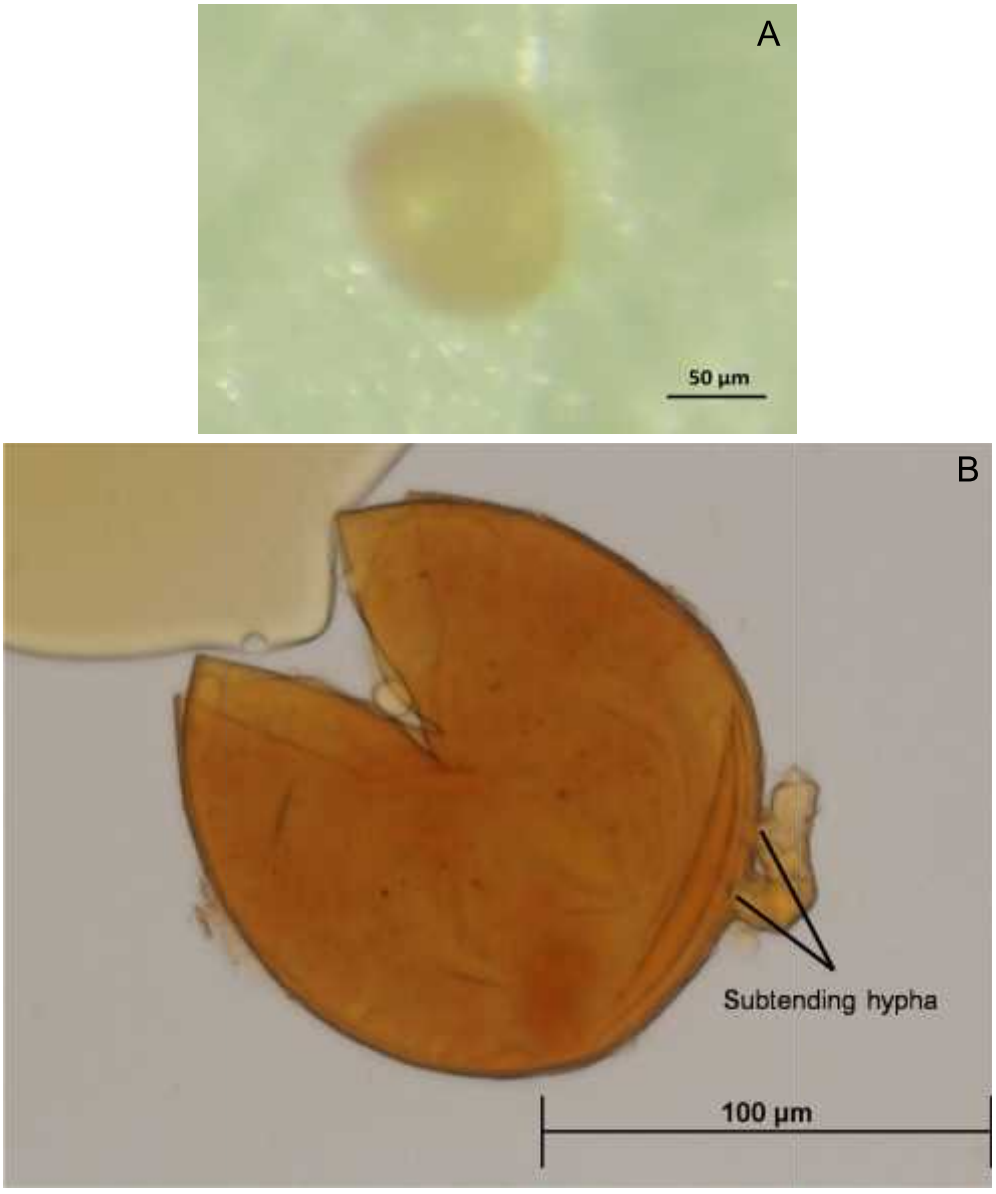
A: ลักษณะรูปร่างสปอร์ของ *G. mosseae* (57X)

B: ลักษณะของ subtending hypha (40X)

C: ลักษณะผนังสปอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG + Melzer's reagent

6. *Glomus muticaule*

สปอร์มีรูปร่างรี (ellipsoid) หรือค่อนข้างกลม (subglobose) ขนาดประมาณ 149-249 x 124-162 ไมโครเมตร ก้านสปอร์ (subtending hypha) มีหลายก้าน พบ 1-4 ก้าน (ภาพที่ 18)



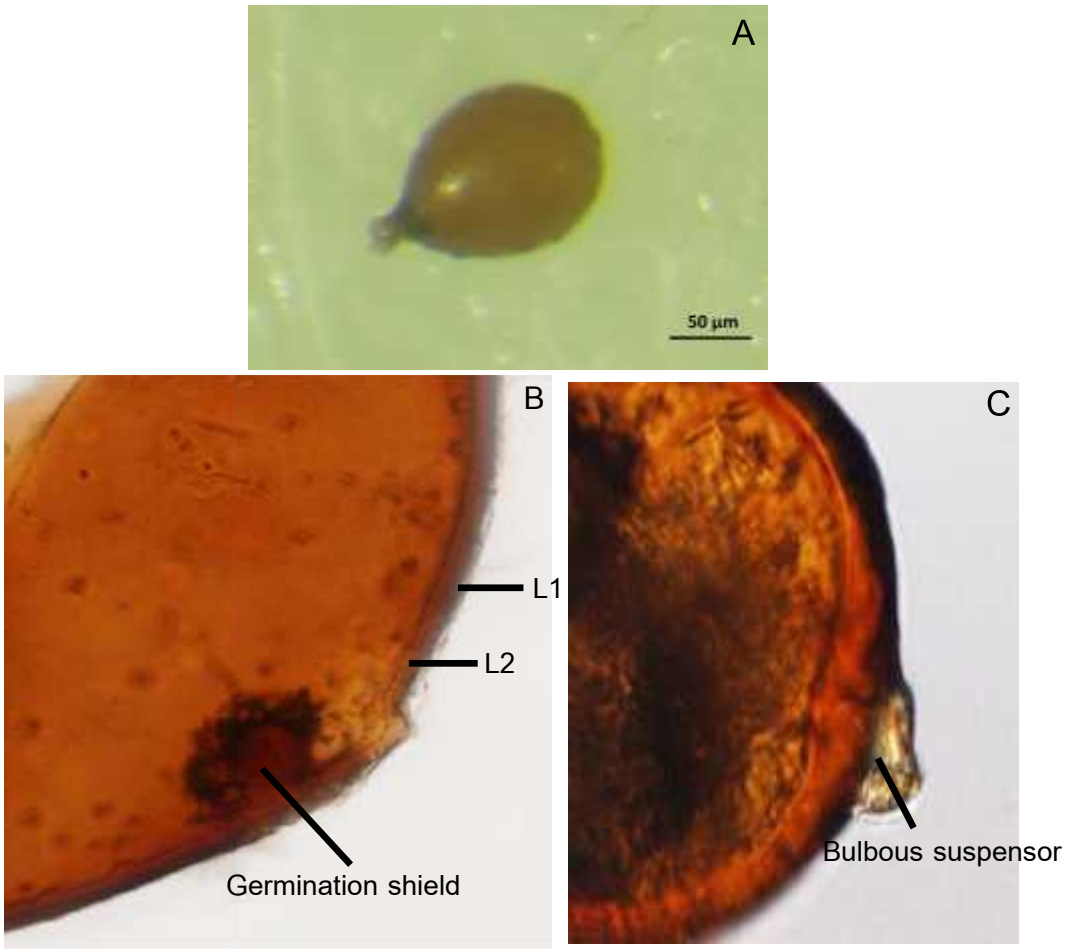
ภาพที่ 18 แสดงลักษณะสปอร์ของ *Glomus muticaule*

A: ลักษณะรูปร่างสปอร์ของ *G. muticaule* (57X)

B: ลักษณะของ subtending hypha ที่พบหลายก้าน (40X)

7. *Scutellospora* sp.

สปอร์มีรูปร่างกลม (globose) ถึงค่อนข้างกลม (subglobose) บางครั้งพบรูปร่างรี (elliptical) ขนาดประมาณ 140-220 ไมโครเมตร ก้านสปอร์มีลักษณะโป่งที่ปลายก้าน (bulbous subtending hypha) ผนังสปอร์มี 3 ชั้น เมื่อทำปฏิกิริยากับ PVLG + Melzer's reagent ผนังชั้นที่หนึ่ง (L1) ให้สีน้ำตาลเข้ม ผนังชั้นที่สอง (L2) ให้สีน้ำตาลแดง และผนังชั้นที่สาม (L3) ไม่มีสี และพบโครงสร้างเฉพาะที่เรียกว่า germination shield ที่อยู่บนผนังชั้นในของสปอร์ และโครงสร้างนี้คือ บริเวณที่สปอร์จะงอก (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 แสดงลักษณะสปอร์ของ *Scutellospora* sp.

A: ลักษณะรูปร่างสปอร์ของ *Scutellospora* sp. (57X)

B: ลักษณะของ germination shield

C: ลักษณะของ bulbous suspensor-like cell

2. การทดสอบชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัด

การทดสอบผลของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดต่อการเติบโตของผักสลัด โดยการปลูกเชื้อลงในดินปริมาณ 50 สปอร์ต่อต้น พบว่า *Scutellospora* sp. สามารถเพิ่มการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คได้มากที่สุด โดยมีจำนวนใบ 8.18 ใบ น้ำหนักสด 2.93 กรัม และน้ำหนักแห้ง 0.18 กรัม ซึ่งมีค่าสูงถึงสูงที่สุดและแตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่มีการปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดการทดลองที่สามารถเพิ่มการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ครองลงมา คือ *G. mosseae* *G. muticaule* *Gigaspora* sp. *G. etunicatum* *G. geosporum* และ *Acaulospora* sp. ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีการปลูกเชื้อด้วยด้วย *Gigaspora* sp. *G. etunicatum* *G. geosporum* และ *Acaulospora* sp. ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและการปลูกเชื้อด้วย *G. mosseae* และ *G. muticaule* ให้ผลของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการปลูกเชื้อด้วย *Scutellospora* sp. ซึ่งเป็นเชื้อที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมากที่สุด (ภาพที่ 20 และ ตารางที่ 8)

สำหรับการทดสอบชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค พบว่า *G. mosseae* เหมาะสมต่อการเติบโตมากที่สุด โดยมีจำนวนใบ 7.0 ใบ น้ำหนักสด 3.48 กรัม และน้ำหนักแห้ง 0.19 กรัม ซึ่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุม รองลงมา คือ *G. geosporum* *G. etunicatum* *Scutellospora* sp. *Gigaspora* sp. *Acaulospora* sp. และ *G. muticaule* ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการปลูกเชื้อด้วย *G. etunicatum* *Scutellospora* sp. *Gigaspora* sp. *Acaulospora* sp. และ *G. muticaule* ให้ผลของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 21 และ ตารางที่ 9)

การเพิ่มการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊คที่ได้รับการปลูกเชื้อข้างต้นนั้นยังสอดคล้องกับการติดเชื้อในรากของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค ซึ่งในชุดการทดลองควบคุมไม่พบสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ส่วนในผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกเชื้อด้วย *Scutellospora* sp. พบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากที่สุด คือ 69.90 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

และมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด สำหรับการปลูกเชื้อด้วย *G. mosseae* ในผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากที่สุด คือ 62.34 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 11) และให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุดเช่นกัน แต่จำนวนสปอร์ที่พบในดินหลังการเก็บเกี่ยวผักสลัดไม่สอดคล้องกับการเพิ่มการเติบโตของผักสลัด โดยดินที่ปลูกเชื้อด้วย *Acaulospora* sp. ในผักสลัดทั้ง 2 พันธุ์ พบสปอร์ในดินต่อดิน 100 กรัม มากที่สุด (ตารางที่ 10 และตารางที่ 11)

ภาพที่ 20 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค

A: *G. mosseae* B: *G. etunicatum* C: *Gigaspora* sp. D: *G. geosporum*

E: *Scutellospora* sp. F: *Acaulospora* sp. G: *G. muticaule*

ภาพที่ 21 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค

A: *G. mosseae* B: *G. etunicatum* C: *Gigaspora* sp. D: *G. geosporum*

E: *Scutellospora* sp. F: *Acaulospora* sp. G: *G. muticaule*

ตารางที่ 8 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คเมื่อปลูกเชื้อด้วยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ

ชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	**จำนวนใบ**	**น้ำหนักสด (กรัม)**	**น้ำหนักแห้ง (กรัม)**
ชุดควบคุม	4.75±0.48[a]	0.23±0.07[a]	0.01±0.00[a]
Acaulospora sp.	5.14±0.26[a]	0.24±0.05[a]	0.02±0.00[a]
Gigaspora sp.	6.77±0.30[abc]	1.10±0.18[a]	0.05±0.01[a]
Glomus etunicatum	5.69±0.29[ab]	0.67±0.13[a]	0.04±0.01[a]
Glomus geosporum	6.67±0.23[bc]	0.63±0.08[a]	0.03±0.00[a]
Glomus mosseae	7.50±0.50[cd]	2.70±0.63[b]	0.15±0.04[b]
Glomus muticaule	8.20±0.63[d]	2.43±0.48[b]	0.17±0.03[b]
Scutellospora sp.	8.18±0.60[d]	2.93±0.68[b]	0.18±0.04[b]

ค่าเฉลี่ยในแนวสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ทดสอบโดย Duncan's multiple range test ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 9 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คเมื่อปลูกเชื้อด้วยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ

ชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	**จำนวนใบ**	**น้ำหนักสด (กรัม)**	**น้ำหนักแห้ง (กรัม)**
ชุดควบคุม	7.20±0.92^{c}	0.83±0.23^{a}	0.06±0.02^{a}
Acaulospora sp.	5.45±0.28^{a}	0.46±0.12^{a}	0.03±0.01^{a}
Gigaspora sp.	5.54±0.43^{ab}	0.74±0.23^{a}	0.05±0.01^{a}
Glomus etunicatum	6.53±0.26^{abc}	1.42±0.19^{a}	0.08±0.01^{a}
Glomus geosporum	6.60±0.43^{abc}	2.03±0.71^{ab}	0.11±0.04^{ab}
Glomus mosseae	7.00±0.75^{bc}	3.48±1.58^{c}	0.19±0.10^{c}
Glomus muticaule	5.85±0.39^{abc}	0.39±0.07^{a}	0.03±0.00^{a}
Scutellospora sp.	5.92±0.38^{abc}	0.80±0.14^{a}	0.05±0.01^{a}

ค่าเฉลี่ยในแนวสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ทดสอบโดย Duncan's multiple range test ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection) และปริมาณสปอร์เฉลี่ยของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่ปลูกผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค

ชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	**เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection)**	**ปริมาณสปอร์ในดิน (ต่อดิน 100 กรัม)**
ชุดควบคุม	0	0
Acaulospora sp.	61.42±3.36[a]	8.00±1.34[a]
Gigaspora sp.	54.86±4.92[a]	5.00±1.05[a]
Glomus etunicatum	56.71±6.10[a]	7.60±1.03[a]
Glomus geosporum	55.23±4.96[a]	5.60±0.51[a]
Glomus mosseae	61.71±5.99[a]	7.20±2.35[a]
Glomus muticaule	56.41±3.41[a]	6.00±0.84[a]
Scutellospora sp.	69.90±4.76[a]	6.20±1.46[a]

ค่าเฉลี่ยในแนวสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ทดสอบโดย Duncan's multiple range test ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 11 เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection) และปริมาณสปอร์เฉลี่ยของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่ปลูกผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค

ชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	**เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection)**	**ปริมาณสปอร์ในดิน (ต่อดิน 100 กรัม)**
ชุดควบคุม	0	0
Acaulospora sp.	59.75±3.49[a]	12.6±2.25[b]
Gigaspora sp.	55.90±2.81[a]	6.40±0.74[a]
Glomus etunicatum	60.50±2.91[a]	8.20±1.07[ab]
Glomus geosporum	54.77±4.17[a]	7.80±1.53[ab]
Glomus mosseae	62.34±3.40[a]	11.60±1.03[ab]
Glomus muticaule	61.09±2.08[a]	11.20±2.82[ab]
Scutellospora sp.	60.38±3.60[a]	10.00±2.00[ab]

ค่าเฉลี่ยในแนวสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ทดสอบโดย Duncan's multiple range test ($P \geq 0.05$)

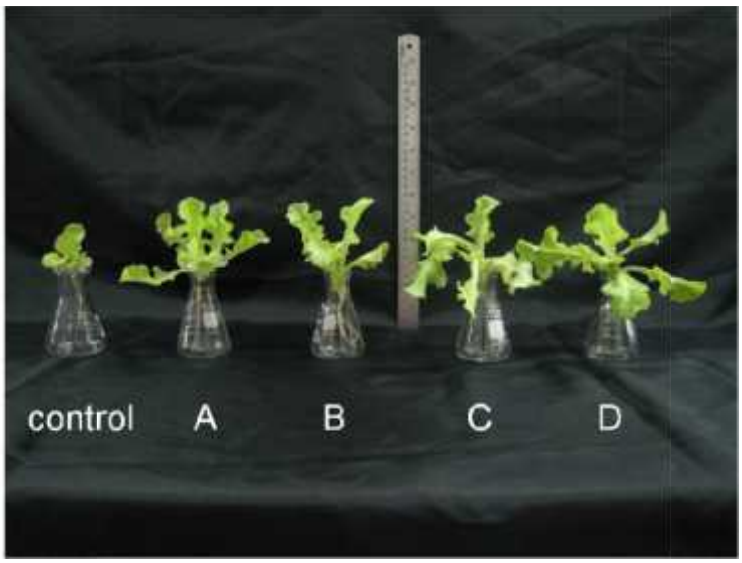
3. การทดสอบปริมาณสปอร์ที่เหมาะสมของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัด

จากการทดสอบข้างต้น พบว่าราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ให้ผลในการเพิ่มการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊คได้ดีที่สุด คือ *Scutellospora* sp. และ *G. mosseae* ตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบหาปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัดทั้ง 2 พันธุ์ โดยใช้ปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดใน 5 ระดับ ได้แก่ 0 25 50 100 และ 200 สปอร์ต่อต้น พบว่าการปลูกเชื้อ *Scutellospora* sp. ร่วมกับผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คในปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น มีผลให้ผักสลัดมีการเติบโตมากที่สุด โดยมีจำนวนใบ 9.07 ใบ น้ำหนักสด 1.76 กรัม และน้ำหนักแห้ง 0.12 กรัม ซึ่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองอื่นๆ รองลงมาได้แก่ การปลูกเชื้อ *Scutellospora* sp. ที่ปริมาณ 100 50 และ 25 สปอร์ต่อต้น ตามลำดับ โดยพบจำนวนใบ 9.53 8.47 และ 7.93 ใบ ตามลำดับ น้ำหนักสด 1.13 0.95 และ 0.85 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักแห้ง 0.07 0.06 และ 0.05 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 22 และ ตารางที่ 12)

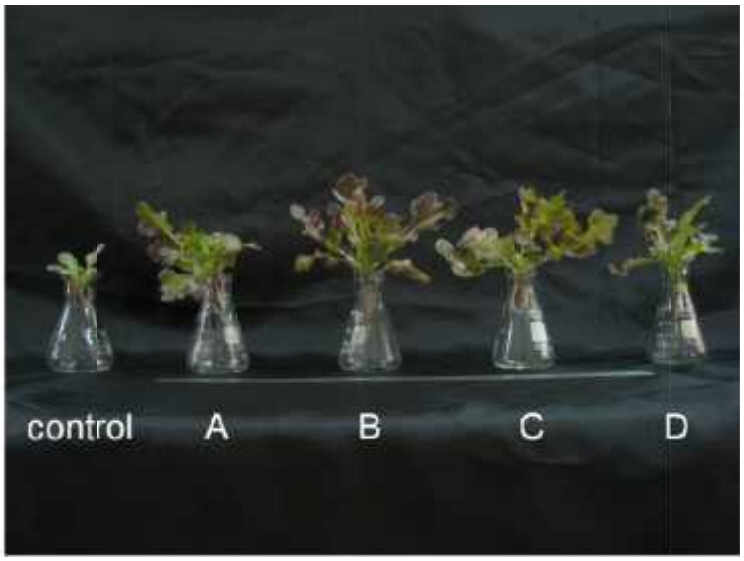
เมื่อตรวจสอบการติดเชื้อในรากของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกเชื้อ *Scutellospora* sp. ไม่พบการติดเชื้อในราก และเมื่อนำดินจากการปลูกผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมาแยกสปอร์เพื่อตรวจสอบปริมาณสปอร์ของ *Scutellospora* sp. ไม่พบสปอร์ของเชื้อเช่นกัน แต่เมื่อตรวจสอบการติดเชื้อในรากของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีการปลูกเชื้อด้วย *Scutellospora* sp. พบว่าการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น มีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากที่สุด คือ 69.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองอื่นๆ ในขณะที่การปลูกเชื้อที่ปริมาณ 100 50 และ 25 สปอร์ต่อต้น พบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก 63.99 46.68 และ 33.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการตรวจสอบปริมาณสปอร์ในดิน พบว่าการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น พบปริมาณสปอร์ 20 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม รองลงมาคือ การปลูกเชื้อที่ปริมาณ 100 50 และ 25 สปอร์ต่อต้น โดยพบปริมาณสปอร์ 19.67 14.67 และ 7.67 สปอร์ต่อดินร้อยกรัม ตามลำดับ ซึ่งการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 50 และ 100 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม มีปริมาณสปอร์ในดินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณ 200 สปอร์ (ตารางที่ 13)

สำหรับผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค ทดสอบโดยใช้สปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. mosseae* พบว่าการปลูกเชื้อด้วย *G. mosseae* ในปริมาณ 25 50 100 และ 200 สปอร์ต่อต้น ให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่มีการปลูกเชื้อ โดยพบว่าการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้นมีการเติบโตมากที่สุด พบจำนวนใบ 8.90 ใบ น้ำหนักสด 1.32 กรัม และน้ำหนักแห้ง 0.10 กรัม ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 100 และ 50 สปอร์ต่อต้น โดยพบจำนวนใบ 8.67 และ 8.47 ใบ ตามลำดับ น้ำหนักสด 1.21 และ 1.09 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักแห้ง 0.09 และ 0.08 ตามลำดับ (ภาพที่ 23 และตารางที่ 14)

ในการตรวจสอบการติดเชื้อในรากของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค พบว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการปลูกเชื้อด้วย *G. mosseae* ไม่พบการติดเชื้อในราก และไม่พบสปอร์ของเชื้อเมื่อนำดินจากการเพาะปลูกผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมาแยกสปอร์ ส่วนการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น พบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากที่สุดถึง 71.96 เปอร์เซ็นต์ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองอื่นๆ ส่วนการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 100 และ 50 สปอร์ต่อต้น พบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 52.42 และ 52.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 25 สปอร์ต่อต้น พบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก 33.34 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อตรวจสอบปริมาณสปอร์ในดิน พบว่าการปลูกเชื้อที่ปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น พบปริมาณสปอร์ 21.44 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม รองลงมาคือ การปลูกเชื้อที่ปริมาณ 100 50 และ 25 สปอร์ต่อต้น คือ 17.22 13.89 และ 4.22 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 15)



ภาพที่ 22 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค
ที่มีการปลูกเชื้อ *Scutellospora* sp. ในปริมาณที่แตกต่างกัน
A: 25 สปอร์ต่อต้น B: 50 สปอร์ต่อต้น
C: 100 สปอร์ต่อต้น D: 200 สปอร์ต่อต้น



ภาพที่ 23 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค
ที่มีการปลูกเชื้อ *Glomus mosseae* ในปริมาณที่แตกต่างกัน
A: 25 สปอร์ต่อต้น B: 50 สปอร์ต่อต้น
C: 100 สปอร์ต่อต้ D: 200 สปอร์ต่อต้น

ตารางที 12 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค เมื่อปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Scutellospora* sp. ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสปอร์ (ต่อต้น)	จำนวนใบ	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
0 สปอร์	7.93±0.42[a]	0.36±0.04[a]	0.02±0.00[a]
25 สปอร์	7.93±0.21[a]	0.85±0.85[b]	0.05±0.00[b]
50 สปอร์	8.47±0.40[ab]	0.95±0.10[b]	0.06±0.01[b]
100 สปอร์	9.53±0.40[b]	1.13±0.10[b]	0.07±0.01[b]
200 สปอร์	9.07±0.47[ab]	1.76±0.20[c]	0.12±0.02[c]

ค่าเฉลี่ยในแนวสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ทดสอบโดย Duncan's multiple range test ($P \geq 0.05$)

ตารางที 13 เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection) และปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่ปลูกผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คเมื่อปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Scutellospora* sp. ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสปอร์ (ต่อต้น)	เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection)	ปริมาณสปอร์ในดิน (ต่อดิน 100 กรัม)
0 สปอร์	0	0
25 สปอร์	33.50±1.07[a]	7.67±2.40[a]
50 สปอร์	46.68±1.63[b]	14.67±1.31[b]
100 สปอร์	63.99±2.96[c]	19.67±3.12[b]
200 สปอร์	69.63±1.50[d]	20.00±2.51[b]

ค่าเฉลี่ยในแนวสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ทดสอบโดย Duncan's multiple range test ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 14 อัตราการเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค เมื่อปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Glomus mosseae* ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสปอร์ (ต่อต้น)	จำนวนใบ	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
0 สปอร์	6.33±0.36[a]	0.31±0.05[a]	0.02±0.00[a]
25 สปอร์	7.84±0.22[b]	0.73±0.04[b]	0.05±0.00[b]
50 สปอร์	8.47±0.22[b]	1.09±0.09[c]	0.08±0.01[c]
100 สปอร์	8.67±0.32[b]	1.21±0.07[c]	0.09±0.01[c]
200 สปอร์	8.90±0.35[b]	1.32±0.12[c]	0.10±0.01[c]

ค่าเฉลี่ยในแนวสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ทดสอบโดย Duncan's multiple range test ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 15 เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection) และปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่ปลูกผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค เมื่อปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Glomus mosseae* ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสปอร์ (ต่อต้น)	เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก (% root infection)	ปริมาณสปอร์ในดิน (ต่อดิน 100 กรัม)
0 สปอร์	0	0
25 สปอร์	33.34±1.07[a]	4.22±0.52[a]
50 สปอร์	52.14±2.46[b]	13.89±2.34[b]
100 สปอร์	52.42±3.74[b]	17.22±1.34[bc]
200 สปอร์	71.96±2.27[c]	21.44±2.52[c]

ค่าเฉลี่ยในแนวสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ ทดสอบโดย Duncan's multiple range test ($P \geq 0.05$)

บทที่ 5
อภิปรายผลการทดลอง

ในการแยกและจำแนกไอโซเลทของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ซา โดยตรวจสอบจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งหมด 21 ไอโซเลท สามารถจำแนกออกเป็น 7 ชนิด ใน 4 สกุล คือ *Acaulospora* sp. *Gigaspora* sp. *Glomus etunicatum G. geosporum G. mosseae G. muticaule* และ *Scutellospora* sp. ซึ่งดินตัวอย่างเป็นดินจากแปลงปลูกผักสลัดอินทรีย์ จากรายงานของ Oehl และคณะ (2004) พบว่าในการทำการเกษตรแบบเกษตรอินทรีย์มีความหลากหลายของราอาบัสคูลาร์ไรซามากกว่าเกษตรแบบดั้งเดิม โดยพบราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซในสกุล *Glomus* มากทั้งในการทำการเกษตรทั้งสองแบบ แต่จะพบ *Acaulospora* และ *Scutellospora* ในพืชที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์มากกว่าเกษตรแบบดั้งเดิม เนื่องจากเกษตรอินทรีย์มีการจำกัดในเรื่องของการใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาน้อย ทำให้พบราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินมากขึ้น และราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเข้าอยู่ร่วมกับรากพืชได้ดีขึ้น

ความหลากหลายของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซายังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชอาศัย โดยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถอยู่ร่วมกับรากพืชได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของชนิดพืชทั้งหมด ยกเว้นพืชในวงศ์ Brasicaceae และ Chenopodiaceae ซึ่งไม่พบการอยู่ร่วมกันระหว่างรากพืชกับราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Newman and Reddell, 1987) จากการสำรวจความหลากหลายของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาใน *Prosopis cineraria* (Khejri) ภายใต้ระบบนิเวศเกษตรสภาวะแล้ง ในราชถาน ประเทศอินเดีย พบราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 6 สกุล คือ *Acaulospora* 3 สปีชีส์ *Entrophospora* 1 สปีชีส์ *Gigaspora* 2 สปีชีส์ *Glomus* 21 สปีชีส์ *Sclerocysis* 7 สปีชีส์ และ *Scutellospora* 3 สปีชีส์ ซึ่ง *Glomus* spp. มีความถี่ในการพบมากที่สุด โดย *G. fasciculatum G. aggregatum* และ *G. mosseae* เด่นที่สุด (Verma et al., 2008) และจากการเก็บดินบริเวณรากผักกาดหอม (*L. sativa* L.) เมื่อนำมาคัดแยกสปอร์ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่าส่วนใหญ่เป็นสปอร์ในสกุล *Glomus* spp. และ *Gigaspora* spp. (ศิวพร แสงภัทรเนตร, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ที่ *Glomus* spp. มีความถี่ในการพบมากที่สุดเช่นกัน

จากการนับปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากตัวอย่างดินที่เก็บมาจากสวนผักปลอดสารพิษลุงไกร พบสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจำนวนประมาณ 30 สปอร์ต่อดิน

100 กรัม ซึ่ง Gosling และคณะ (2010) รายงานว่าในเกษตรอินทรีย์ พบปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาตั้งแต่ 2-27 สปอร์ต่อดินหนึ่งกรัม ซึ่งมากกว่าตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบหลายเท่าตัว แต่สำหรับเกษตรอินทรีย์บางแห่งที่มีการจัดการดินที่มากจนเกินไป เช่น มีการให้ปุ๋ย การไถพรวนดิน รวมทั้งการปลูกพืชหมุนเวียนที่ไม่ใช่พืชอาศัย อาจส่งผลกระทบให้ความหลากหลายของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลงได้เช่นกัน (Gosling et al., 2006) เมื่อมีการสำรวจความหลากหลายของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่ที่มีการไถพรวนเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่มีการไถพรวน พบว่าพื้นที่ที่มีการไถพรวนมีความหลากหลายของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ (Brito et al., 2012) ดังนั้นการจัดการดินที่เหมาะสมและปฏิบัติอย่างถูกต้องด้วยความระมัดระวัง จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่เกษตรกรควรตระหนักถึง เพราะเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการอนุรักษ์ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีในธรรมชาติให้คงอยู่ สามารถเจริญและเพิ่มปริมาณได้มากขึ้น เพื่อพืชจะสามารถใช้ประโยชน์จากราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้มากที่สุดในการเพิ่มอัตราการเติบโตและผลผลิตของพืช และเพื่อลดการใช้ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช และลดต้นทุนในการผลิตด้วย

สำหรับการศึกษาความหลากหลายและการจัดจำแนกชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาปัจจุบันได้มีการนำความรู้ทางด้านอณูชีววิทยามาใช้ร่วมกับการตรวจสอบจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา เพื่อเป็นการยืนยันผลจากการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยการตรวจสอบลำดับนิวคลีโอไทด์ที่บริเวณ risomal DNA (rDNA) เทียบกับฐานข้อมูล ซึ่งปัจจุบันมีการใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการตรวจสอบชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Renker et al., 2005; Zarei et al., 2010) ซึ่งจะมีการนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ช่วยในการจำแนกไอโซเลทที่ใช้ในการทดลองในอนาคต

เมื่อนำราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้ง 7 ชนิด มาทดสอบผลต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค พบว่าชุดการทดลองที่มีการปลูกเชื้อด้วยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้ง 7 ชนิด คือ *Acaulospora* sp. *Gigaspora* sp. *Glomus etunicatum* *G. geosporum* *G. mosseae* *G. muticaule* และ *Scutelluospora* sp. ให้ผลการเติบโตของผักสลัดทั้งสองพันธุ์ดีกว่าชุดการทดลองควบคุมที่ไม่มีการปลูกเชื้อด้วยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา แต่จะเห็นว่าขนาดของต้นผักสลัดเล็กกว่าผักสลัดที่จำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด เนื่องจากในการทดลองนี้ดินที่ใช้ถูกนำไปฆ่าเชื้อและไม่ได้มีการใส่ปุ๋ยเร่งการเติบโต เพื่อจะได้มั่นใจว่าการเติบโตของผักสลัดมาจาก ผลของการใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเท่านั้น นอกจากนี้การเติบโตของผักสลัดยังขึ้นกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมด้วย ซึ่งระหว่างการเพาะปลูกผักสลัดสำหรับการทดลองครั้งนี้ อยู่ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน

2554 ซึงสภาพอากาศค่อนข้างแปรปรวน โดยมีอากาศร้อนสลับหนาว อุณหภูมิสูงสุดเฉลีย 33-35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลีย 24-26 องศาเซลเซียส และในเดือนพฤษภาคมมีฝนตกหนัก ปริมาณน้ำฝนเฉลีย 170-220 มิลลิเมตร (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2554) ซึงความแปรปรวนของสภาพอากาศนี้ส่งผลกระทบต่อการเติบโตของผักสลัดอย่างมาก เนืองจากผักสลัดจะสามารถเติบโตได้ดีทีระดับอุณหภูมิระหว่าง 21-26 องศาเซลเซียส จึงอาจเป็นสาเหตุหนึงทีทำให้ผักสลัดในการทดลองมีขนาดเล็กกว่าปกติ (เมฆ จันทร์ประยูร, 2548) อย่างไรก็ตาม ราอาบัสคูราไมคอร์ไรซามีผลในการส่งเสริมการเติบโตและเพิมผลผลิตของผักสลัด เพราะราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอยู่ร่วมกับรากพืชแบบต่างฝ่ายต่างได้ประโยชน์ โดยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชสามารถดูดน้ำและธาตุอาหารหลักได้ดีขึน โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส รวมถึงไนโตรเจน โพแทสเซียม และแมงกานีส (Clark and Zeto, 2000) จากการศึกษาการดูดธาตุอาหารของผักสลัดในสภาวะทีมีความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัส (0.1 และ 0.5 mM) และไนโตรเจน (1 5 และ 9 mM) ต่างกัน โดยปลูกเชือด้วย *G. mosseae* เปรียบเทียบกับชุดทดลองควบคุมทีไม่มีการปลูกเชือ พบว่าผักสลัดทีมีการปลูกเชือด้วย *G. mosseae* มีการเติบโตดีกว่า โดยผักสลัดทีมีการปลูกเชือจะสามารถดูดธาตุอาหารได้ดีในดินทีมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำ คือ 0.1 mM ทีทุกระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน แต่ถ้าในดินมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและไนโตรเจนสูง ความสามารถในการดูดธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมงกานีส และสังกะสีจะลดลง เมือเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม ซึงระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินมีผลต่อการสร้างและการเข้าสู่รากพืชของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Azcón et al., 2003)

ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดมีความสามารถในการเพิมอัตราการเติบโตและผลผลิตของพืชแตกต่างกัน จากการทดลองนีจะเห็นว่าในผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค การปลูกเชือด้วย *Scutellospora* sp. เหมาะสมต่อการเติบโตมากทีสุด โดยให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากทีสุด ซึงให้ผลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการปลูกเชือด้วย *G. mosseae* ส่วนในผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คพบว่าการปลูกเชือด้วย *G. mosseae* เหมาะสมต่อการเติบโตมากทีสุด ซึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marulanda และคณะ (2003) รายงานว่าความสามารถในการเพิมอัตราการเติบโตของพืชของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดแตกต่างกัน มีผลมาจากความสามารถในการเข้าสู่รากพืชและการสร้างเส้นใยของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดมีปริมาณต่างกัน โดยทำการศึกษาราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 6 สปีชีส์ คือ *Glomus coronatum G. intraradices G. claroideum G. mosseae G. constrictum* และ *G. geosporum* ในผักสลัดภายใต้สภาวะแล้ง พบว่าผักสลัดทีมีการปลูกเชือด้วย *G. coronatum G. intraradices G. claroideum*

และ *G. mosseae* มีการเติบโตดีกว่าผักสลัดที่มีการปลูกเชื้อด้วย *G. constrictum* และ *G. geosporum* และชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกเชื้อด้วยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และได้ศึกษาผลของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาท้ง 6 สปีชีส์เปรียบเทียบกับการใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่อัตราความเข้มข้นต่างกัน ร่วมกับการปลูกผักสลัด พบว่าผักสลัดที่มีการปลูกเชื้อด้วย *G. mosseae* มีน้ำหนักสดมากกว่าการใช้สปีชีส์อื่นๆ และการเพิ่มธาตุอาหารลงในดิน

จากผลการทดลองชนิดของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาท้ง 7 ชนิด โดยใช้สปอร์ในปริมาณ 50 สปอร์ พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊คมากกว่าการทดลองที่ใช้ *Scutellospora* sp. และ *G. mosseae* ในปริมาณ 200 สปอร์ ท้งนี้เนื่องจากในการทดลองที่ 1 และ 2 ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกเป็นดินที่มีลักษณะต่างกัน ซึ่งดินที่ใช้ในการปลูกสำหรับการทดลองที่ 1 ดินมีลักษณะร่วนซุย ซึ่งเป็นดินที่เหมาะสมแก่การระบายน้ำและอากาศ จึงทำให้เหมาะสมต่อการเติบโตมากกว่า ส่วนดินที่ใช้ในการทดลองที่ 2 ดินมีลักษณะค่อนข้างเหนียว การระบายน้ำและอากาศภายในดินอาจไม่ดีพอ และในช่วงการทดลองมีฝนตกและน้ำท่วมขัง จึงไม่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักสลัดท้ง 2 พันธุ์จึงน้อยกว่าการทดลองที่ 1

สำหรับการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊คน้ัน พบว่า *Scutellospora* sp. มีการติดเชื้อในรากผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คได้มากสุดถึง 69.90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คน้ัน พบว่า *G. mosseae* สามารถเข้าสู่รากพืชได้มากสุดถึง 62.34 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสามารถเข้าสู่รากพืชได้ต่างกัน จากผลการศึกษาของธงชัย มาลา และคณะ (2545) พบว่าราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดสามารถเข้าสู่รากถั่วเหลืองได้แตกต่างกัน โดยราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่สามารถเข้าสู่รากถั่วเหลืองได้รวดเร็วและมีความหนาแน่นมาก ได้แก่ *Entrophospora colombiana Glomus aggregatum G. geosporium Gigaspora* sp. No. 1 และ *Scutellospora* sp. และราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดสามารถสามารถส่งเสริมให้ถั่วมีการเติบโตและมีผลผลิตสูงกว่าการไม่ใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา รวมท้งสามารถดูดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ในปริมาณมากกว่า

นอกจากนี้มีการทดสอบการเข้าสู่รากพืชของ *Glomus* sp. และ *Gigaspora* sp. ในผักสลัด 4 พันธุ์ ได้แก่ Red leaf Asmerunda Cos และ Head พบว่า *Glomus* sp. มีเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากพืชได้ดีกว่า *Gigaspora* sp. ในผักสลัดท้ง 4 พันธุ์ (ศิวพร แสงภัทรเนตร, 2550) และในการปลูกผักสลัด (*L. sativa* var. *capitata*) ในระบบ nutrient film technique (NFT) ซึ่งเป็นระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินแบบให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นฟิล์มบางๆ และมีการปลูกเชื้อ

ด้วย *G. mosseae* เปรียบเทียบกับการปลูกในวัสดุปลูกเพอร์ไลต์ (perlite) ซึ่งเป็นแร่อุตสาหกรรมที่นำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เพื่อช่วยรักษาความสมดุลระหว่างปริมาณของน้ำและอากาศในดิน ที่ไม่มีการปลูกเชื้อด้วย *G. mosseae* พบว่าผักสลัดที่มีการปลูกเชื้อด้วย *G. mosseae* ในระบบ NFT มีน้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากกว่าการปลูกใน perlite (Lee and George, 2005) ซึ่งการติดเชื้อของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืชมีความสัมพันธ์กับปริมาณแร่ธาตุอาหารในดิน โดย Heooer และ O' shea (1984) รายงานว่า *G. caledonium* และ *G. mosseae* มีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากผักสลัด (*L. sativa* L.) ได้ดีที่ระดับความเข้มข้นของแคลเซียม 1 meq Ca l^{-1} ถ้าระดับความเข้มข้นของแคลเซียมเพิ่มขึ้น การเข้าสู่รากพืชของเชื้อจะลดลง

สำหรับการตรวจสอบปริมาณสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินของผักสลัด พบว่า *Acaulospora* sp. มีปริมาณสปอร์ในดินมากที่สุดในกรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค แต่พบว่า *Scutellospora* sp. และ *G. mossea* มีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากที่สุดในผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค ตามลำดับ ซึง Clark (1997) รายงานว่าการสร้างสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่มีความสัมพันธ์กับการเข้าสู่รากพืช และสอดคล้องกับการทดลองของวชิราภรณ์ เรือนแป้น (2548) เมื่อตรวจนับจำนวนสปอร์ในดินและเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากข้าวฟ่างที่อายุ 13 สัปดาห์ พบว่า *Entrophospora* sp. มีจำนวนสปอร์ในดินสูงสุดถึง 53 สปอร์ต่อดิน 20 กรัม แต่พบว่า *G. etunicatum* มีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากสูงสุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ *Entrophospora* sp. ซึงการสร้างสปอร์ที่มีน้อย อาจเกิดมาจากสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาบางชนิดมีระยะพักตัวนาน จึงทำให้การสร้างสปอร์เกิดได้ช้า (วชิราภรณ์ เรือนแป้น, 2548)

ในการทดสอบปริมาณสปอร์ของ *Scutellospora* sp. ที่มีผลต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่าการใช้สปอร์ปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น ทำให้ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมีการเติบโตดีที่สุด และมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากพืชมากที่สุด รวมถึงมีปริมาณสปอร์ในดินสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปริมาณในระดับอื่นๆ ส่วนในผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค พบว่าการใช้ *G. mosseae* ที่ปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น ก็ให้ผลการเติบโต เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากพืชและมีปริมาณสปอร์ในดินสูงสุดเช่นกัน แต่การใช้ปริมาณสปอร์ของ *G. mosseae* ในระดับ 50 และ 100 สปอร์ต่อต้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสปอร์ในระดับ 200 สปอร์ต่อต้น ดังนั้นในการนำมาใช้อาจเลือกใช้ที่ระดับสปอร์ 50 สปอร์ต่อต้นก็เพียงพอต่อการกระตุ้นการเติบโตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค ซึ่งจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการใช้

ปริมาณสปอร์ในระดับสูงสุด คือ 200 สปอร์ต่อต้น จะให้ผลการเติบโตดีที่สุดและมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิวพร แสงภัทรเนตร (2550) ที่ทำการทดสอบปริมาณสปอร์ของ *Glomus* sp. ที่ระดับ 25 50 75 100 และ 200 สปอร์ต่อต้น ในผักสลัดพบว่าผักสลัดพันธุ์ Red leaf และ Asmerunda ที่มีการปลูกเชื้อในปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น มีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากที่สุด ส่วนในผักสลัดพันธุ์ Head การปลูกเชื้อในปริมาณ 200 และ 100 สปอร์ต่อต้น ให้ผลของเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากพืชอยู่ในระดับเดียวกัน และมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากพืชสูงกว่าการปลูกเชื้อในปริมาณที่ต่ำกว่า

เมื่อสังเกตผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊คจากการทดลอง ไม่พบความเสียหายจากโรคพืชหรือจากการถูกทำลายของแมลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืชในดิน โดยเฉพาะโรครากเน่า หรือโรคเหี่ยวที่มีสาเหตุมาจากเชื้อโรคพืชในดิน เช่น *Rhizoctonia Fusarium Verticillium Phytophthora Pythium* และ *Aphanomyces* (Pozo and Azcón-Aguilar, 2007) ซึ่งมีรายงานว่า *G. mosseae* สามารถลดความรุนแรงของโรคไหม้ ที่มีสาเหตุจากเชื้อ *Phytophtora capsici* Leonian ในพริกไทย (*Capsicum annuum* L.) ได้ถึง 91.7 43.0 และ 57.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการปลูกในกระถาง เรือนกระจก และแปลงปลูก ตามลำดับ (Ozgozen and Erkilic, 2007) และการใช้ *G. mosseae* ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศและมะเขือสีม่วงที่มีการปลูกเชื้อด้วย *Verticillium dahliae* พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศเพิ่มขึ้น 33 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในมะเขือสีม่วงพบว่ามีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 32 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดย *G. mosseae* ช่วยส่งเสริมให้มะเขือเทศและมะเขือสีม่วงมีความทนทานต่อเชื้อ *V. dahliae* มากขึ้น (Karagiannidis et al., 2002) การที่พืชมีความต้านทานต่อโรคพืชได้นั้น เมื่อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเจริญเข้าสู่รากพืช และมีการสร้างโครงสร้างที่เรียกว่า appressorium บริเวณรากพืช ในขั้นตอนนี้พืชจะถูกกระตุ้นให้สร้าง salicylic acid มากขึ้น ซึ่งเป็นสารเคมีสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดกระบวนการ Systemic Acquired Resistance (SAR) จึงทำให้พืชมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของศัตรูพืชได้ (Pozo and Azcón-Aguilar, 2007)

จากความรู้ที่ได้ในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่าราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลในการส่งเสริมการเติบโตและอัตราผลผลิตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกผักสลัดอินทรีย์ เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรในการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อที่พบได้ในธรรมชาติ

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

จากการจำแนกตัวอย่างดินบริเวณรากผักสลัดที่เก็บจากแปลงปลูกผักสลัดอินทรีย์ที่สวนผักปลอดสารพิษลุงไกร ต.ไทยสามัคคี อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา พบราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้ 7 ชนิด จัดอยู่ใน 4 สกุล ได้แก่ *Acaulospora* sp. *Gigaspora* sp. *Glomus etunicatum G. geosporum G. mosseae G. muticaule* และ *Scutellospora* sp. เมื่อนำสปอร์ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้ง 7 ชนิด มาทดสอบความสามารถในการเพิ่มการเติบโตของผักสลัด 2 พันธุ์ คือ กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค โดยใช้สปอร์ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละไอโซเลท ในปริมาณ 50 สปอร์ พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีการปลูกเชื้อด้วย *Scutellospora* sp. มีการเติบโตดีที่สุด ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการปลูกเชื้อด้วย *G. mosseae* และ *G. muticaule* สำหรับการทดสอบในผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คนั้น พบว่าการปลูกเชื้อด้วย *G. mosseae* ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมีการเติบโตดีที่สุด และพบการติดเชื้อในรากมากที่สุด

เมื่อนำ *Scutellospora* sp. และ *G. mosseae* มาทดสอบปริมาณสปอร์ที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค ตามลำดับ โดยใช้สปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งสองไอโซเลทในปริมาณ 0 25 50 100 และ 200 สปอร์ต่อต้น พบว่าการใช้ *Scutellospora* sp. และ *G. mosseae* ในปริมาณ 200 สปอร์ต่อต้น เหมาะสมต่อการเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊คมากที่สุด และพบการติดเชื้อในราก และจำนวนสปอร์ในดินมากที่สุด

การใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Scutellospora* sp. และ *G. mosseae* ในปริมาณ 200 สปอร์ ร่วมกับการปลูกผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดโอ๊คตามลำดับ สามารถเพิ่มการเติบโตของผักสลัดได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการเพาะปลูก แต่การใช้ *G. mosseae* ในปริมาณ 100 และ 50 สปอร์ ก็สามารถเพิ่มการเติบโตของผักสลัดได้ โดยดูจากน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติจากการใช้ 200 สปอร์ จึงสามารถใช้ *G. mosseae* ได้ในปริมาณตั้งแต่ 50 ถึง 200 สปอร์ ขึ้นอยู่กับต้นทุนของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่นำมาใช้

ดังนั้นการใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อส่งเสริมการเติบโตและเพิ่มผลผลิตของผักสลัดในเกษตรอินทรีย์ให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกร แต่ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดียิ่งขึ้น จึงแนะนำให้ใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการใช้ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ หรือจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ได้รับการรับรองว่าสามารถใช้ได้ในเกษตรอินทรีย์ รวมทั้งควบคุมโรคและแมลงโดยชีววิธี นอกจากนี้ยังสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติมา ด้วงแค. 2548. ไมคอร์ไรซา : ความหลากหลายและแนวทางพัฒนา. **รายงานการประชุมความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้และสัตว์ป่า "ความก้าวหน้าขอผลงานวิจัยและกิจกรรมปี 2548"**. 187-201.

นันทกร บุญเกิด และ หนึง เตียอำรุง. 2541. **รายงานการวิจัยการใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมและไมโครไรซาเพือเพิมผลผลิตพืชตระกูลถัวทีใช้เป็นอาหารสัตว์**. สาขาวิชเทคโนโลยีชีวภาพสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

นิพนธ์ ไชยมงคล. 2547. **ผักกาดหอม** (Lettuce). สาขาพืชผัก, ภาควิชาพืชสวน, คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนยีการเกษตรแม่โจ้, เชียงใหม่.

มาตรฐานเกษตรอินทรีย์สำนักงาน. 2554. **มาตรฐานเกษตรอินทรีย์**. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์.

มูลนิธิสายใยแผ่นดิน. 2555. **ภาพรวมเกษตรอินทรีย์ไทย 2552-53**[ออนไลน์] เผยแพร่ใน : www.greennet.or.th [30 **มีนาคม** 2555]

เมฆ จันทร์ประยูร. 2548. **ผักสวนครัว**. กรุงเทพมหานคร : มิติใหม่.

ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์, สยาม สินสวัสดิ์, ศิริธรรม สิงห์โต และ ประธาน โพธิสวัสดิ์. 2548. **เทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน** (Soilless Culture). กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

วิชาการเกษตรกรม 2548. **มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทย**. กรุงเทพมหานคร : กรมวิชาการเกษตร.

ศิริยาภรณ์ จุฑาพฤทธิ์. 2551. **การบำบัดดินปนเปื้อนน้ำมันดีเซลโดยใช้ถัวพร้า** *Canavalia ensiformis* **ทีใส่เชือไรโซเบียมและอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา**. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิวพร แสงภัทรเนตร. 2551. **ศักยภาพการผลิตสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในระบบไฮโดรโพนิค**. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักงานพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. 2554. **การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน เดือนเมษายนถึงมิถุนายน 2554**[ออนไลน์] เผยแพร่ใน : http://www.tmd.go.th/aboutus/development.php [30 **กรกฎาคม** 2554]

สมคิด ดิสถาพร. 254. **แนวทางการผลิตพืชอินทรีย์**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

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

สุดใจ จงวรกิจวัฒนา. 2554. **เศรษฐกิจการผลิตการตลาดพืชผักอินทรีย์**[ออนไลน์]. เผยแพร่ใน : http://www.oae.go.th [30 **มีนาคม** 2011].

โสภณ บุญลือ. 2550. พัฒนาการเข้าอาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์มายคอร์ไรซาในรากพืช การดูดซับและการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัส. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข**. 35 : 73-81.

ภาษาอังกฤษ

Akhtar, M. and Siddiqui, Z. 2007. Biocontrol of a chickpea root-rot disease complex with *Glomus intraradices*, *Pseudomonas putida* and *Paenibacillus polymyxa*. **Australasian Plant Pathology** 36 : 175-180.

Azcón, R., Ambrosano, E. and Charest, C. 2003. Nutrient acquisition in mycorrhizal lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration. **Plant Science** 165 : 1137-1145.

Azcón-Aguilar, C. and Barea, J. 1997. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens–an overview of the mechanisms involved. **Mycorrhiza** 6 : 454-464

Bødker, L., Kjøller, R., Kristensen, K. and Rosendahl, S. 2002 Interactions between indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and *Aphanomyces euteiches* in field-grown pea. **Mycorrhiza** 12 : 7–12.

Brito, I., Goss, M.J., Carvalho, M.D., Chatagnier, O. and Tuinen, D.V., 2012. Impact of tillage system on arbuscular mycorrhiza fungal communities in the he soil under Mediterranean conditions. Soil and Tillage Research 121 : 63–67

Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. and Malajczuk, N. 1996. **Working with mycorrhizas in forestry and agriculture**. Murdoch University : ACIAR Monograph.

Celik, I., Ortas, I. and Kilic, S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a chromoxerert soil. **Soil and Tillage Research** 78 : 59–67.

Chalk, P.M., de F. Souza, R., Urquiaga, S., Alves, B.J.R. and Boddey, R.M. 2006. The role of arbuscular mycorrhiza in legume symbiotic performance. **Soil Biology and Biochemistry** 38: 2944–2951.

Clark, R. 1997. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. **Plant and soil** 192 : 15-22.

Clark, R., and Zeto, S. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. **Journal of Plant Nutrition** 23 : 867-902.

Elsen, A., Declerck, S. and de Waele, D. 2003. Use of root organ cultures to investigate the interaction between *Glomus intraradices* and *Pratylenchus coffeae*. **Applied and Environmental Microbiology** 69 : 4308-4311.

Fritz, M., Jakobsen, L., Lyngkjær, M.F., Thordal-Christensen, H. and Pons-Kühnemann, J. 2006. Arbuscular mycorrhiza reduces susceptibility of tomato to *Alternaria solani*. **Mycorrhiza** 16 : 413–419.

Galván, G.A., Parádi, I., Burger, K., Baar, J., Kuyper, T. W., Scholten, O. E. and Kik, C. 2009. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in onion roots from organic and conventional farming systems in the Netherlands. **Mycorrhiza** 19 : 317-328.

Galvez, L., Douds, D., Drinkwater, L. and Wagoner, P. 2001. Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize. **Plant and soil** 228 : 299-308.

Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G. and Bending, G. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. **Agriculture, ecosystems and environment** 113 : 17-35.

Gosling, P., Ozaki, A., Jones J., Turner, M., Rayns, F. and Bending, G.D. 2010. Organic management of tilled agricultural soils results in a rapid increase in colonization potential and spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 139 : 273–279.

Harrier, L.A. and Watson, C.A. 2004. The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. **Pest management science** 60 : 149-157.

Hepper, C.M. and O'Shea, J. 1984. Vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in lettuce (*Lactuca sativa*) in relation to calcium supply. **Plant and Soil** 82 : 61-67.

International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). 2011. **The Principles of Organic Agriculture** [Online]. Available from: **http://www.ifoam.org [5 February 2011].**

INVAM. 2010. **International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhiza Fungi**[Online]. Available from: **http://invam.caf.wvu.edu [1 January 2010].**

Karagiannidis, N., Bletsos, F. and Stavropoulos, N. 2002. Effect of Verticillium wilt (*Verticillium dahlia*e Kleb.) and mycorrhiza (*Glomus mosseae*) on root colonization, growth and nutrient uptake in tomato and eggplant seedlings. **Scientia Horticulturae** 94 : 145-156.

Kasiamdari, R.S., Smith, S.E., Smith, F.A. and Scott, E.S. 2002. Influence of the mycorrhizal fungus, *Glomus coronatum*, and soil phosphorus on infection and disease caused by binucleate *Rhizoctonia* and *Rhizoctonia solani* on mung bean (*Vigna radiata*). **Plant Soil** 238 : 235–244.

Kjøller, R. and Rosendahl, S. 1996. The presence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* influences enzymatic activities of the root pathogen *Aphanomyces euteiches* in pea roots. **Mycorrhiza** 6 : 487–491

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

Liao J.P., Lin X.G., Cao Z.H., Shi Y.Q. and Wong M.H. 2003. Interactions between arbuscular mycorrhizae and heavy metals under sand culture experiment. **Chemosphere** 50 : 847–853.

Lins, C.E.L., Cavalcante, U.M.T., Sampaio, E.V.S.B., Messias, A.S. and Maia, L.C. 2006. Growth of mycorrhized seedlings of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. in a copper contaminated soil. **Applied Soil Ecology** 31 : 181-185.

Lioussanne, L., Jolicoeur, M. and St-Arnaud, M. 2009. Role of the modification in root exudation induced by arbuscular mycorrhizal colonization on the intraradical growth of *Phytophthora nicotianae* in tomato. **Mycorrhiza** 19 :443–448.

Mäder, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wiemken, A. and Niggli, U. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. **Biology and Fertility of Soils** 31 : 150-156.

Marulanda, A., Azcón, R. and Ruiz-Lozano, J.M. 2003. Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. **Physiologia Plantarum** 119 : 526-533.

Matsubara, Y., Hasegawa, N. and Fukui, H. 2002. Incidence of Fusarium root rot in asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science** 71 : 370–374.

Miransari, M., Bahrami, H.A., Rejali, F., Malakouti, M.J. and Torabi, H. 2007. Using arbuscular mycorrhiza to reduce the stressful effects of soil compaction on corn (*Zea mays* L.) growth. **Soil Biology & Biochemistry** 39 : 2014–2026.

Moore, D., Robson, G. and Trinci, T. 2011. **21st century guidebook to fungi.** England : Cambridge University Press.

Newman, E. and Reddell, P. 1987. The distribution of mycorrhizas among families of vascular plants. **New Phytologist** 106 : 745-751.

Oehl, F., Oberson, A., Tagmann, H., Besson, J., Dubois, D., Mäder, P., Roth, H.R. and Frossard, E. 2002. Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 62 : 25-35.

Oehl F. and Sieverding E. 2004. *Pacispora*, a new vesicular arbuscular mycorrhizal fungal genus in the Glomeromycetes. **Journal of Applied Botany** 78 : 72-82.

Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T. and Wiemken, A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. **Oecologia** 138 : 574-583.

Ozgonen, H. and Erkilic, A. 2007. Growth enhancement and Phytophthora blight (*Phytophthora capsici* Leonian) control by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation in pepper. **Crop protection** 26 : 1682-1688.

Palenzuela, J., Ferrol, N., Boller, T., Azcón-Aguilar, C. and Oehl, F. 2008. *Otospora bareai*, a new fungal species in the Glomeromycetes from a dolomitic shrubland in the Natural Park of Sierra de Baza (Granada, Spain). **Mycologia** 100 : 296-305.

Porras-Soriano, A., Soriano-Martín, M.L., Porras-Piedra, A. and Azcón, R. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. **Journal of Plant Physiology** 166 : 1350-1359.

Pozo, M.J. and Azcon-Aguilar, C. 2007. Unraveling mycorrhiza-induced resistance. **Current Opinion in Plant Biology** 10 : 393-398.

Renker, C., Blanke, V. and Buscot, F. 2005. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in grassland spontaneously developed on area polluted by a fertilizer plant. **Environmental Pollution** 135 : 255-266.

Rillig, M.C. and Steinberg, P.D. 2002. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification. **Soil Biology and Biochemistry** 34 : 1371-1374.

Ruiz-Lozano, J.M. and Azcon, R. 1996. Mycorrhizal colonization and drought stress as Factors affecting nitrate reductase activity in lettuce plants. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 60 : 175-181.

Ryan, M.H. and Tibbett, M. 2008. The role of arbuscular mycorrhizas in organic farming. In H. Kirchmann and L. Bergstrom (eds.), **Organic Crop Production–Ambitions and Limitations**. Springer Publisher, United Kingdom. 189-229 p.

Schnepf, A., Roose, T. and Schweiger, P. 2008. Growth model for arbuscular mycorrhizal fungi. **Journal of The Royal Society Interface** 5 : 773-784.

Schüßler, A., Schwarzott, D. and Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota : phylogeny and evolution. **Mycological Research** 105 : 1413-1421

Schüßler, A., Martin, H., Cohen, D., Fitz, M., and Wipf, D. 2006. Characterization of a carbohydrate transporter from symbiotic glomeromycotan fungi. **Nature** 444 : 933-936.

Selosse, M.A. and Le Tacon, F. 1998. The land flora: a phototroph-fungus partnership. **Trends in Ecology & Evolution** 13 : 15-20.

Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F. and Huang, Y. 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. **Mycorrhiza** 18 : 287-296.

Sieverding, E. and Oehl, F. 2006. Revision of *Entrophospora* and description of *Kuklospora* and *Intraspora*, two new genera in the arbuscular mycorrhizal Glomeromycetes. **Journal of Applied Botany and Food Quality** 80 : 69-81.

Spain J.L., Sieverding E. and Oehl F. 2006. *Appendicispora*: a new genus in the arbuscular mycorrhiza-forming Glomeromycetes, with a discussion of the genus *Archaeospora*. **Mycotaxon** 97 : 163-182.

Sukhada M., Manjula R. and Rawal R.D. 2011. Evaluation of arbuscular mycorrhiza and other biocontrol agents against *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* infecting papaya (*Carica papaya* cv. *Surya*) and enumeration of pathogen population using immunotechniques. **Biological Control** 58 : 22–29.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. **Plant Physiology Third edition**. Sinauer Associates, Inc. Sunderland. USA.

Torres-Barragan, A., Zavale-Tamejia, E., Gonzalez-Chavez, C. and Ferrera-Cerrato, R. 1996. The use of arbuscular mycorrhizae to control onion white rot (*Sclerotium cepivorum*) under field conditions. **Mycorrhiza** 6 : 253–257.

Verma, N., Tarafdar, J.C., Srivastava, K.K., and Panwar, J. 2008. Arbuscular mycorrhizal (AM) diversity in *Prosopis cineraria* (L.) Druce Under Arid Agroecosystems. **Agricultural Sciences in China** 7 : 754-761.

Walker, C. and Schüßler, A. 2004. Nomenclatural clarifications and new taxa in the Glomeromycota. **Mycological Research** 108 : 981-982.

Walker, C., Vestberg, M., Demircik, F., Stockinger, H., Saito, M., Sawaki, H., Nishmura, I. and Schübler, A. 2007. Molecular phylogeny and new taxa in the *Archaeosporales* (Glomeromycota): *Ambispora fennica* gen. sp. nov., and emendation of *Archaeospora* and *Archaeospora*ceae. **Mycological Research** 111 : 137–153.

Zarei, M., Hempel, S., Wubet, T., Schäfer, T., Savaghebi, G., Jouzani, G.S., Nekouei, M. K. and Buscot, F. 2010. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to soil chemical properties and heavy metal contamination. **Environmental Pollution** 158 : 2757-2765.

Zhang, X.H., Zhu, Y.G., Lin, A.J., Chen, B.D., Smith, S.E. and Smith, F.A. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi can alleviate the adverse effects of chlorothalonil on *Oryza sativa* L. **Chemosphere** 64 : 1627-1632.

ภาคผนวก

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายสำหรับย้อมสปอร์ของราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

(Brundett et al.,1996)

1.1 Polyvinyl-Lacto-Glycerol (PVLG) mountant

Polyvinyl alcohol	8.33 g
Distilled water	50 ml
Lactic acid	50 ml
Glycerine	5 ml

ละลายสารละลาย Polyvinyl alcohol ด้วยน้ำ โดยให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นละลายส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน

1.2 Melzer's reagent

Iodine	1.5 g
Potassium iodine	5 g
Distilled water	100 ml

ละลายสารละลายทั้งหมดให้เข้ากัน แล้วผสม PVLG กับ Melzer's reagent ในอัตรา 1:1 (v/v)

2. สารละลายสำหรับย้อมราก

0.05% w/v trypan blue in lactoglycerol

Trypan blue	0.05 g
Lactic acid	
Glycerol	
น้ำ	

ละลาย trypan blue 0.05 g ใน lactoglycerol (1:1:1 lactic acid, glycerol และ น้ำ) 100 ml

การนับปริมาณสปอร์

1. ชั่งดินที่มีส่วนผสมของสปอร์ 100 กรัม แยกสปอร์ออกจากดิน โดยวิธี wet-sieving and sucrose centrifugation (Brundett et al.,1996)

2. นับจำนวนสปอร์ทั้งหมดที่แยกได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

3. คำนวณหาปริมาณดินที่ต้องชั่งให้ได้ต่ามปริมาณสปอร์ที่ต้องการ

ปริมาณสปอร์ที่ต้องการ คือ 25 50 100 200 สปอร์

$$\text{ปริมาณดินที่ต้องชั่ง (กรัม)} = \frac{\text{ปริมาณสปอร์ที่ต้องการ}}{\text{ปริมาณสปอร์ที่นับได้ทั้งหมด}} \times 100$$

4. ชั่งดินที่มีส่วนผสมของสปอร์จากการคำนวนเพื่อใช้ในการทดลอง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรณธิรา รณะบุตร เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ.2526 ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนเรยีนาเซลีวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2544 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์) ภาคเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551