รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การศึกษาผลของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาและพีจีพีอาร์ (PGPR) ต่อการดึงดูดธาตุอาหาร การเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย

Effects of Abucular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Nutrients Uptake, Growth and Yield of Longan

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2554

จำนวน 233,300 บาท

หัวหน้าโครงการ นายจักรพงษ์ ไชวงศ์

ผู้ร่วมโครงการ นายปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร

นางสาวจีราภรณ์ อินทสาร

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

3 ธันวาคม 2555

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาและพีจีพีอาร์ (PGPR) ต่อการดึงดูดธาตุอาหาร การเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย (Effects of Abucular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Nutrients Uptake, Growth and Yield of Longan) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2554 ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ นายทอง ฝั้นสิม เจ้าของสวนลำไยอินทรีย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ศึกษาทำงานวิจัย และให้ความร่วมมือด้วยดีเสมอมา

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
บทคัดย่อ	1
ABSTRACT	2
คำนำ	4
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	20
ผลการวิจัย	23
สรุปผลการวิจัย	32
วิจารณ์ผลการวิจัย	33
เอกสารอ้างอิง	35

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ปริมาณสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินบริเวณใต้ทรงพุ่มลำไย	22
ตารางที่ 2	ลักษณะของสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา ในดินบริเวณใต้ทรงพุ่มลำไย	23
ตารางที่ 3	คุณสมบัติของดินก่อนการทดลอง	25
ตารางที่ 4	คุณสมบัติของดินหลังการทดลองปีที่ 1	27
ตารางที่ 5	คุณสมบัติของดินหลังการทดลองปีที่ 2	30

การศึกษาผลของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาและพีจีพีอาร์ (PGPR) ต่อการดึงดูดธาตุอาหาร การเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย

EFFECTS OF ABUCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGPR) ON NUTRIENTS UPTAKE, GROWTH AND YIELD OF LONGAN

จักรพงษ์ ไชยวงศ์ จีราภรณ์ อินทสาร และ ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร

Chackpong Chaiwong Jiraporn Inthasan and Pathipan Sutigoolabud

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาและพีจีพีอาร์ (PGPR) ต่อการดึงดูดธาตุอาหาร การเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย โดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินบริเวณใต้ทรงพุ่มจากสวนลำไย 6 อำเภอ เขตจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ได้แก่ อำเภอสันป่าตอง, อำเภอหางดง, อำเภอสารภี, อำเภอแม่ออน, อำเภอแม่ทา และอำเภอทุ่งหัวช้าง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณโคนต้นลำไยเพื่อตรวจสอบหาจำนวนสปอร์และลักษณะของสปอร์ในดิน ด้วยการวางแผนในการหาปริมาณเชื้อของแต่ละสวนเป็น 3 ซ้ำ แบบซุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized design) โดยเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณโคนต้นลำไยไปตรวจสอบหาจำนวนและชนิดสปอร์ในดิน จากการศึกษาและทดลองพบว่า ปริมาณเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาของตัวอย่างดินทั้ง 6 อำเภอมีค่าเฉลี่ย 17.0 สปอร์/ดิน 10 กรัม โดยพบว่าที่อำเภอสารภีมีปริมาณเชื้อหนาแน่นสูงที่สุดคือ 19.67 สปอร์/ดิน 10 กรัม และไม่แตกต่างในทางสถิติกับอำเภออื่น รูปร่างลักษณะสปอร์โดยทั่วไปค่อนข้างกลม แต่มีความหลากหลายของสีสปอร์ เช่นสีดำ ขาว เหลือง ส้ม ส้มแดง และขาวเหลือง เป็นต้น สำหรับผลของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาและพีจีพีอาร์ (PGPR) ต่อการดึงดูดธาตุอาหาร การเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย ในสภาพแปลงปลูกพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินระดับบน โดยเฉลี่ยลดลงเล็กน้อย โดยการใช้ PGPR มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าตำรับอื่น ขณะที่พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับดินก่อนการทดลอง สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สกัดได้ ลงต่ำลงทั้งในปีการทดลองที่ 1 และปีการทดลองที่ 2 เหลือเพียง 15.5 และ 7.5 mgP/kg และปริมาณโพแทสเซียม เหลือเพียง

361 และ 392 mgK/kg ตามลำดับ สำหรับผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีของดินในดินระดับล่างเกือบจะไม่มีความแตกต่างเมื่อเทียบกับดินก่อนการทดลองยกเว้นปริมาณอินทรียวัตถุที่เพิ่มขึ้นจาก 3.11% เป็น 3.58% หลังการใส่ตำรับทดลองในปีที่ 1 แต่กลับลดลงเหลือเพียง 2.85% เมื่อเสร็จสิ้นงานทดลองในปีที่ 2 โดยพบว่าการใช้เชื้อไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวใต้ทรงพุ่มลำไย มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สกัดได้สูงกว่าตำรับอื่นๆ ทั้งในดินระดับบนและดินระดับล่าง

คำสำคัญ: ไมคอร์ไรซา พีจีพีอาร์ ลำไย ธาตุอาหารพืช

Abstract

To study the effects of abucular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on nutrients uptake, growth and yield of Longan was surveyed and collected samples of abucular mycorrhizal fungi under Longan canopies at 6 districts in Chiang mai and Lamphun provinces such as Sapatong, Hong Dong, Saraphee, Mae On, Mae Tha and Thung Hua Chang. Soil samples were analyzed to count the population and characteristic of abucular mycorrhizal spores by complete randomized design with 3 replications. The result shows the average of population of mycorrhizal as 17.0 spores/ 10 g soil. At Saraphee district, the population of mycorrhizal got the peak at 19.67 spores/10 g soil but not significant with others. Normally, the shape of spores reported in often circle or oval shape, and they have many colors like black, white, yellow, orange, orange-red, white-yellow, etc. For the effects of abucular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on nutrients uptake, growth and yield of Longan in field experiment, it found that the average of soil pH in topsoil slightly decreased and the applied only PGPR caused the soil pH higher than other treatments. Organic matter was slightly increased compared with soil sample before treated. Extractable phosphorus and potassium were reduced in the end of experiment on the first and second years after application of treatments to 15.5 and 7.5 mgP/kg, 361 and 392 mgK/kg respectively. On subsoil level, the soil chemical properly showed in rarely non significant compared with soil samples before started experiment. However, organic matter was increased from 3.11% to 3.58% at the first year experiment, but reduced to 2.85% in the end of second year. The application of only

mycorrhizal under Longan canopy caused majority of extractable phosphorus and potassium higher than other treatments both in top and subsoil.

Key word : Mycorrhizal, PGPR, Longan, Nutrition

คำนำ

ลำไยเป็นไม้ผลเศรษฐกิจของไทย ปัจจุบันนอกจากมีการเพิ่มราคาของผลผลิตโดยการผลิตลำไยนอกฤดูแล้วการผลิตลำไยอินทรีย์ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพในการส่งออกทั้งในปัจจุบันและอนาคต แต่ด้วยการผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ (organic agricultural system) เป็นระบบการจัดการการผลิตพืชแบบองค์รวมที่เกื้อหนุนต่อระบบนิเวศรวมถึงความหลากหลายทางชีวภาพ และวงจรชีวภาพ โดยเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้วัตถุจากการสังเคราะห์และสารเคมีสังเคราะห์ ส่วนใหญ่การจัดการธาตุอาหารพืชในระบบอินทรีย์มักใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยหมัก นอกจากนี้การอาศัยกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน (soil microorganisms) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะกล้าไม้โตเร็วและไม้ป่าก็มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ต้นไม้ส่วนใหญ่มักมีปฏิสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งมีมากมายหลายชนิด กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินนับว่ามีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชชั้นสูง นอกจากนี้จุลินทรีย์ดินยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสลายตัวของอินทรียวัตถุ กระบวนการแปรสภาพของสารอนินทรีย์ รวมไปถึงการตรึงไนโตรเจน ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการดังกล่าวได้แก่ เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา (micorrhizal fungi) และอะโซโตแบคเตอร์แบคทีเรีย (*Azotobacter chroococcum*) เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซามีประโยชน์ต่อพืชป่าไม้ หรือต้นไม้โดยตรง คือช่วยให้ต้นไม้มีอัตราการอยู่รอดและการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยเชื้อราจะผลิตฮอร์โมนบางอย่างออกมา กระตุ้นให้รากแขนงแตกยืดยาวออกไปช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดธาตุอาหารและน้ำของราก และเส้นใยที่แผ่ไปไกลๆ นี้สามารถดูดธาตุอาหารและน้ำในบริเวณรากไปไม่ถึงส่งมาให้กับรากด้วย นอกจากนี้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซายังช่วยยืดอายุของรากที่ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหาร โดยเชื้อราที่อยู่รอบๆ รากในลักษณะที่เป็นแผ่นแมนเทิล และใยฮาร์ติก (Hartignet) ช่วยห่อหุ้มราก ทำให้เชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคพืชไม่สามารถเข้าไปทำลายเซลล์ของรากได้ หรือรากที่หุ้มอยู่รอบรากอาจจะปล่อยสารพวกแอนตี้ไบโอติค (antibiotic) ออกมาคุ้มครองรากที่มีเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา และรากที่ไม่มีเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาแต่อยู่ใกล้เคียงกันให้ปลอดภัยจากการเข้าทำลายของเชื้อโรค (สิทธิชัย, 2541) นอกจากราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาแล้วยังมีพวกแบคทีเรียในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเรียกว่า Plang Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) ตัวอย่างเช่น *Azotobacter, Beijerinckia* และ *Azospirillum* ซึ่งมีบทบาทในการตรึงไนโตรเจนเป็นประโยชน์ต่อพืช *Azotobacter chroococcum* เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญในระบบนิเวศแบบ non-symbiotic และ free living ต้องการอากาศในการตรึงไนโตรเจน (N) สามารถเพิ่มไนโตรเจนแก่ดินโดยส่งเสริมการดึงดูด (uptake) ไนเตรท (NO^-_3) แอมโมเนียม (NH^+_4) ฟอสเฟต ($H_2PO^-_4$) และเหล็ก (Fe) รวมทั้งส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส(nitrate

reductase) (Wani, 1990) จุลินทรีย์นี้จึงมีผลต่อการช่วยสะสมไวตามิน กรดอะมิโน และฮอร์โมนพืช ออกซิน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อกลไกการพัฒนาราก และการเจริญเติบโตของพืช (Akbari *et al*., 2007)

ดังนั้นการศึกษาวิจัยผลของกิจกรรมจุลินทรีย์ดินพวก เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา และ PGPR ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตลำไยจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการผลิตลำไยอินทรีย์ และ คัดเลือกเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพ ผลของเชื้อราไมคอร์ไรซา และ PGPR ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย ผลงานวิจัยที่ได้จากโครงการสามารถนำไปกำหนดแนวทางและวิธีการใช้จุลินทรีย์ดินในการผลิตลำไยอินทรีย์ ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างมูลค่าของรายได้จากการส่งออกลำไยอินทรีย์ ช่วยลดปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมี รวมทั้งสร้างเสริมสุขภาพของผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อให้ได้สายพันธุ์ของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาที่เพิ่มประสิทธิภาพการดึงดูดธาตุอาหารและส่งเสริมการเจริญเติบโตของลำไย

2. เพื่อให้ได้วิธีการส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตลำไย ด้วยการใส่จุลินทรีย์ดิน

3. เพื่อศึกษาผลของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา และ Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารหลักในใบ การเจริญเติบโต และผลผลิตของลำไย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เทคโนโลยีการใช้จุลินทรีย์ดินเพื่อการจัดการธาตุอาหารลำไยอินทรีย์ ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกลำไยอินทรีย์ในภาคเหนือโดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2. ได้สายพันธุ์ของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาตามธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นลำไย

3. ได้องค์ความรู้แก่เกษตรกรผู้ปลูกลำไย และประชาชนทั่วไป การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ของเกษตรกร โดยผ่านกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากโครงการ จะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของผลผลิตและคุณภาพลำไยอินทรีย์ ส่งผลต่อการเพิ่มรายได้แก่เกษตรกร และมูลค่าการส่งออกของลำไยอินทรีย์ รวมทั้งสร้างเสริมสุขภาพที่ดีต่อเกษตรกรและผู้บริโภค

4. ได้องค์ความรู้ โดยใช้พื้นที่วิจัยเพื่อเป็นฐานต้นแบบ(แปลงสาธิต)ในการเรียนรู้ของเกษตรกรและนักศึกษา ในการผลิตลำไยอินทรีย์

5. นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ย่อมนำไปสู่การลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี และลดปริมาณการนำเข้าสารดังกล่าวได้

การตรวจเอกสาร

1. ถิ่นกำเนิดของลำไย

ลำไยเป็นพืชที่นิยมปลูกทางตอนใต้ของประเทศจีนนับพันปีชาวจีนปลูกรับประทานเพื่อเป็นยาบำรุง พื้นที่ปลูกลำไยส่วนใหญ่ปลูกกันมากในมณฑลฟูเกี้ยน กวางตุ้ง กวางสี ไต้หวัน และเสฉวน การแพร่กระจายของลำไยจากประเทศจีนนี้มีการกระจายออกไปหลายภูมิภาค ไม่ว่าจะเป็นเอเชีย สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศในลักษณะกึ่งร้อน อันเอื้อต่อการเจริญเติบโตของลำไย

ลำไยจากประเทศจีนนี้ได้แพร่กระจายเข้าไปสู่ อินเดีย ลังกา พม่า ฟิลิปปินส์ ยุโรป สหรัฐอเมริกา(มลรัฐฮาวายและฟลอริดา) คิวบา หมู่เกาะอินเดียตะวันตก และเกาะมาดากัสกา ในประเทศไทยนั้น มีการพบลำไยตามป่าในจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนในจังหวัดเชียงรายมีลำไยพื้นเมืองซึ่งมีผลเล็กขึ้นอยู่ดาษดื่นเรียกกันว่าลำไยธรรมดา จนกระทั่ง พ.ศ.2439 มีชาวจีนผู้หนึ่งนำกิ่งตอนลำไย 5 กิ่ง จากประเทศจีนมาถวายเจ้าดารารัศมี พระชายาของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 เจ้าดารารัศมี ได้แบ่งลำไยไว้ปลูกที่กรุงเทพฯ 2 กิ่ง ส่วนอีก 3 กิ่งได้มอบให้เจ้าน้อยตั๋น ณ เชียงใหม่ ผู้เป็นน้องชายนำไปปลูกที่จังหวัดเชียงใหม่ ณ บ้านน้ำโท้ง ตำบลสบแม่ข่า อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ต่อมาได้แพร่กระจายพันธุ์ไปยังพื้นที่อื่นในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดใกล้เคียง โดยเฉพาะจังหวัดลำพูน ในอดีตการขยายพันธุ์ลำไยทำโดยเพาะเมล็ด จึงทำให้มีการกลายพันธุ์เกิดขึ้น (จำเนียร, 2546)

2. สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในการเพาะปลูก

ดิน

ลำไยสามารถเจริญเติบโตได้ดีกับดินแทบทุกชนิดแต่ดินที่เหมาะสมกับการปลูกลำไยคือดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงถึงปานกลาง เนื่องจากดินเป็นแหล่งที่ให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและออกดอกติดผลของลำไย สามารถปลูกลำไยได้ตั้งแต่ ดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนเหนียว หรืออาจจะเป็นดินเหนียวก็ได้ ถ้าจัดระบบการระบายน้ำดีพอ หรือดินตะกอน หรือ ดินน้ำไหลทรายมูล ซึ่งเป็นดินที่หน้าดินลึกเกิดจากการทับถมของตะกอนดินที่ได้จากการท่วมถึงของน้ำจากแม่น้ำ ดินชนิดนี้จะพบมากบริเวณริมแม่น้ำสายใหญ่ เช่น แม่น้ำโขง แม่น้ำยม แม่น้ำน่าน และแม่น้ำปิง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าบริเวณลุ่มน้ำเหล่านี้จะปลูกลำไยได้ผลดีแทบจะไม่ต้องให้

ปุ๋ยเลย แต่มาระยะหลังบริเวณดังกล่าวไม่ค่อยมีน้ำท่วมถึง ความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงลดลงเรื่อยๆ ทำให้การผลิตลำไยต้องอาศัยปุ๋ย นอกจากนี้ลำไยต้องการดินที่มีค่าความเป็นกรดและด่าง 5.0 – 7.0 และต้องเป็นดินที่มีการระบายน้ำดีเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงควรปลูกลำไยในพื้นที่สูงพอสมควร เพราะมีการระบายน้ำที่ดีกว่าในพื้นที่ต่ำ

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกของลำไย โดยทั่วไปลำไยต้องการอากาศค่อนข้างต่ำ อุณหภูมิประมาณ 20 -25 องศาเซลเซียส แต่ในช่วงก่อนออกดอกต้องการอุณหภูมิต่ำเพื่อช่วยชักนำให้เกิดตาดอก เพราะฉะนั้นในช่วงก่อนออกดอกลำไยต้องการอุณหภูมิ ประมาณ 15 -22 องศาเซลเซียส นานประมาณ 8 – 10 สัปดาห์ ยิ่งอากาศหนาวเย็นลำไยจะออกดอกติดผลมาก ซึ่งจะสังเกตว่าถ้าปีไหนอากาศหนาวเย็นนานๆ โดยไม่มีอากาศอบอุ่นเข้าแทรกลำไยจะมีการออกดอก ติดผลดี (อนันต์, 2547) เมื่อติดผลแล้ว อุณหภูมิสูงขึ้นก็ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต แต่ไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ผลแตกได้

น้ำและปริมาณน้ำฝน

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตของต้นลำไย เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่กำหนดการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของต้นลำไยได้ โดยเฉพาะที่ต้นที่ยังไม่โตเต็มที่ หากลำไยได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพออย่างสม่ำเสมอทั้งจากน้ำฝนและน้ำชลประทาน จะทำให้ต้นลำไยเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอ ไม่ชะงักการเจริญเติบโต ต้นสมบูรณ์และแข็งแรง ต้านทานต่อโรคได้ดี และโตเร็วกว่าการอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว ถ้าต้นลำไยขาดน้ำการเจริญเติบโตจะชะงัก แคระแกร็น หรืออาจตายได้ ลำไยเป็นพืชที่ชอบน้ำขังแฉะในแหล่งปลูกลำไย ควรมีปริมาณน้ำฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยประมาณ 1,200 – 1,400 มิลลิเมตรต่อปีและจะต้องมีการให้น้ำช่วยด้วย ส่วนจำนวนวันและการกระจายของฝนที่ตกเป็นสิ่งสำคัญไม่น้อยกว่าปริมาณรวมน้ำฝนที่ตกทั้งปีควรมีการกระจายตัวของฝนดีประมาณ 100 - 150 วันต่อปี แต่อย่างไรก็ตามในบางช่วงลำไยต้องการน้ำน้อย คือในช่วงก่อนออกดอกแต่ในช่วงออกดอกติดผลลำไยต้องการน้ำในปริมาณมาก

ปริมาณความชื้น

ปริมาณน้ำฝนที่ตกในปีหนึ่งๆจะมีผลเกี่ยวข้องกับความชื้นในดินซึ่งมีความจำเป็นต่อ ลำไยในช่วงตั้งแต่การติดผล โดยทั่วไปแล้วลำไยต้องการความชื้นสูงขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์– เดือนมิถุนายน ซึ่งในช่วงนี้ ถ้าลำไยขาดความชื้นในดิน ดอกที่ได้มักจะแห้งหรือดอกจะ

ร่วง ในกรณีที่มีฝนตกในเดือนเมษายนที่เรียกกันว่า "ฝนชะช่อมะม่วง" มักจะทำให้ผลลำไยร่วงมาก ในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม จะต้องมีการให้น้ำ เพราะในระยะนี้เป็นช่วงที่มีความชื้นในดิน และความชื้นในอากาศต่ำ ในฤดูหนาวความชื้นในอากาศจะลดลงตามลำดับและจะลดลงในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงที่อันตราย เพราะจะทำให้การระเหยของน้ำในใบมีมากขึ้น ความชื้นในอากาศที่ต่ำจึงมีส่วนทำให้ผลผลิตลำไยเสียหายไม่น้อยเช่นกัน (โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตลำไยและลิ้นจี่, 2543)

ระดับความสูงของพื้นที่

ลำไยจะเจริญเติบโตได้ดีในที่ราบลุ่มจนถึงพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000 เมตร พื้นที่ปลูกลำไยเป็นการค้าควรอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15-28 องศาเหนือใต้ สำหรับเชียงใหม่และลำพูนอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 17-19 องศาเหนือ

แสง

โดยปกติลำไยจะออกดอกที่ปลายยอดบริเวณที่ได้รับแสง ส่วนกิ่งที่ไม่ได้รับแสงจะดอกน้อย ดังนั้นพื้นที่ปลูกลำไยส่วนใหญ่ต้องการแสงแดดตลอดเวลา เพื่อใช้ในการปรุงอาหารโดยการสังเคราะห์แสง สภาพโดยทั่วไปของประเทศไทยพบว่า เกือบทุกภาคมีความเข้มของแสงที่ต้นไม้จะใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตได้อย่างเพียงพอ ดังนั้น การปลูกลำไยที่เหมาะสมควรปลูกในพื้นที่โล่งแจ้ง ถ้าอยู่ในที่ร่มหรือที่ทึบแสงลำไยจะแทงช่อดอกน้อย

3. ไมคอร์ไรซา(micorrhizal fungi)

ไมคอร์ไรซา (Mycorrhizas) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อรา (fungi) กับระบบรากของพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชชั้นสูง เชื้อรานั้นต้องไม่ใช่เชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคพืชส่วนรากพืชต้องเป็นรากที่มีอายุน้อย ๆ และยังทำหน้าที่หลักในการดูดน้ำและธาตุอาหารต่างๆ ให้กับพืช ซึ่งเป็นการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัย หรือเอื้ออำนวยประโยชน์ซึ่งกันและกัน (Symbiotic associations) ต้นไม้ให้สารประกอบคาร์โบไฮเดรทและสารประกอบอื่น ๆ จากขบวนการเมตาบอลิซึมที่มีประโยชน์แก่รา และราช่วยเพิ่มธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอื่น ๆ ให้กับต้นไม้ นอกจากนี้เชื้อไมคอร์ไรซายังช่วยปกป้องรากพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อโรค ตั้งแต่มีการค้นพบความสัมพันธ์แบบนี้เป็นต้นมา ได้มีการศึกษาค้นคว้ากันอย่างมากมาย และเป็นที่ประจักษ์ว่าราก

ของพืชเกือบทุกชนิดมีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ และไมคอร์ไรซานี้เองมีส่วนช่วยให้ต้นพืชสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ แม้เมื่อเจริญอยู่บนดินที่มีสภาพไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต (อุทัยวรรณ, 2534)

เชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นส่วนหนึ่งในระบบนิเวศของพืชและเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืชโดยเฉพาะในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของต้นไม้ เชื้อราจะช่วยดูดซับความชื้นให้แก่กล้าไม้ และจะช่วยให้กล้าไม้มีชีวิตอยู่รอดได้ในช่วงวิกฤตจากความแห้งแล้ง (Mikola, 1973) พันธุ์ไม้ชนิดหนึ่งอาจมีเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่หลายชนิด และเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาชนิดหนึ่งๆ อาจจะอยู่ร่วมกับพันธุ์ไม้ได้หลายชนิด การมีชีวิตอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซากับระบบรากของต้นไม้ มีความสำคัญยิ่งต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นไม้ โดยจะทำให้ระบบนิเวศป่าไม้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Marx and Barnett, 1974; Mikola, 1973)

ลักษณะสำคัญของเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา

เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาประกอบไปด้วยกลุ่มของใยราที่เจริญอยู่รอบๆ ราก (external hyphae) ใยราที่อยู่ภายนอกรากจะเจริญอยู่อย่างหลวมๆ และอาจยื่นออกมาจากรากประมาณ 1 เซนติเมตร ภายในใยราไม่มีผนังกั้น มีหลายนิวเคลียส ผนังหนา ใยราในดิน มี 2 ชนิด คือ ใยราหลักมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางของใยราประมาณ 8-12 ไมโครมิเตอร์ ที่ปลายของใยรามีการแตกกิ่งก้านสาขาแบบ dichotomous ผนังบางคล้ายขนรากของพืช (Mosse, 1981) และกลุ่มใยราขนาดเล็ก ที่แตกกิ่งก้านสาขามากมาย มีอายุสั้น ใยรามีการแตกกิ่งก้านสาขาออกด้านข้างคล้ายรากพืช ทำหน้าที่ดูดธาตุอาหารให้แก่เชื้อราโดยจะแทรกตัวไปตามอนุภาคของอินทรียวัตถุ เมื่ออาหารหมดไซโตพลาสซึมจะเคลื่อนที่ไปยังใยราหลักและสร้างผนังมาปิดกั้น และใยราขนาดเล็กนี้ก็จะเหี่ยวสลายไป ใยราที่อยู่ภายนอกรากนี้ยังสามารถสานตัวกันเป็นร่างแห เพิ่มพื้นที่ในการดูดธาตุอาหาร (Mosse, 1981) เมื่อใยราเจริญเข้าสู่รากพืช โดยเจริญผ่านชั้นอิพิเดอร์มิส (epidermis) เข้าไปยังชั้นคอร์เท็กซ์ (cortex) โดยใยราจะเจริญทั้งภายในเซลล์และระหว่างเซลล์ ซึ่งพบว่ามีการเจริญหลายลักษณะ เช่น เจริญม้วนเป็นวง (coil หรือ pelotons) หรือแตกกิ่งก้านสาขาแบบ dichotomous ออกไปรอบๆ ทุกทิศทางคล้ายกิ่งไม้ เรียกอาร์บัสคูล (arbuscule) (Harley and Smith, 1983) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนสารอาหารระหว่างเซลล์พืชกับเชื้อราอาร์บัสคูลมีอายุประมาณ 1-3 สัปดาห์ จากนั้นจะสลายตัวไป และปลดปล่อยสารอาหารให้แก่ เซลล์พืช ต่อมาเชื้อราจะสร้างโครงสร้างรูปไข่ (oval) ที่ส่วนปลาย หรือส่วนกลางของใยราภายในเซลล์มีผนังหนา เรียกโครงสร้างนี้ว่าเวสสิเคิล (vesicle) ภายในประกอบไปด้วยหยดไขมัน ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารของเชื้อรา และอาจเจริญไปเป็นส่วนที่

ใช้ในการขยายพันธุ์ เมื่อผิวของเซลล์ชั้นคอร์เทกซ์เกิดฉีกขาดเวสสิเคิลจะโผล่ออกมาจากเนื้อเยื่อราก และเข้าไปในดิน ต่อมาจะงอกเป็นเซลล์ใหม่ได้ หรือบางครั้งอาจมีการสร้างสปอร์ภายในเวสสิเคิล กลายเป็น sporangia ได้(Gerdemann, 1968) โดยทั่วไปเวสสิเคิลจะเกิดขึ้นหลังจากสร้างอาร์บัสคูล แล้ว ส่วนใหญ่จะเกิดเวสสิเคิลที่รากแขนงมากกว่ารากอื่นๆ (Redhead, 1975) ซึ่งอาร์บัสคูลและเวสสิ เคิลนี้ จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อรา (Mosse, 1981)

ประโยชน์ของราไมคอร์ไรซา (Chalermpongse, 1994)

1. ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว และปริมาณของรากต้นไม้ในการดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น

2. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำ และช่วยให้ต้นพืชหรือต้นไม้เหี่ยวช้าในสภาวะที่ขาดน้ำ

3. ช่วยให้ต้นไม้ได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ เช่น ฟอสฟอรัส (P) ไนโตรเจน (N) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และธาตุอื่น ๆ ซึ่งอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาจะดูดซับและสะสมไว้ในราก

4. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลาย และดูดธาตุอาหารจากหินแร่ในดินที่สลายตัวยาก รวมทั้งพวกอินทรียวัตถุต่าง ๆ ที่ยังสลายตัวไม่หมด ทำให้พืชหรือต้นไม้นำไปใช้ได้

5. รากที่มีไมคอร์ไรซามีความสามารถป้องกันการเข้าทำลายรากของโรคพืชได้ดีกว่ารากที่ไม่มีอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา ทำให้ต้นพืชมีความต้านทานต่อโรคที่ระบบรากสูงขึ้น

6. ช่วยให้ต้นไม้มีความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพพื้นที่แห้งแล้ง หรือปัญหาของดินเค็ม ดินเปรี้ยว หรือดินมีระดับความเป็นกรด-ต่างไม่เหมาะสมได้

7. ช่วยเสริมสร้างระบบนิเวศป่าไม้ให้มีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น

การจำแนกประเภทของไมคอร์ไรซา

ไมคอร์ไรซาสามารถแบ่งประเภทออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทคือ

1. เอนโดไมคอร์ไรซา (Endomycorrhiza) บางทีเราเรียกเห็ดราไมคอร์ไรซากลุ่มนี้ว่า Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM) คือ เชื้อราไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ภายในเซลล์ผิวของรากพืชหรือต้นไม้ เชื้อราชนิดนี้ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าแต่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ จะเห็นลักษณะสปอร์รูปทรงกลม มีเส้นใย 2 ลักษณะคือ เส้นใยรูปกระบอง (Vesicles) และเส้นใยขนาดเล็กประสานกันเป็นกระจุก (Arbusculars) เชื้อราไมคอร์ไรซาพวกที่มีความสำคัญต่อพืชเกษตรและพืชป่าไม้มีประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของอาณาจักรพืช (Plant kingdom) ส่วนใหญ่จำแนกอยู่ในลำดับ (Order) Glomales มีอยู่ด้วยกัน 5 สกุล (Genera) ได้แก่ Acaulospora Intorphospora Gigaspora Glomus (Sclerocysis) และ Scutellospora เชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซา ส่วน

ใหญ่เป็นราน้ำ มักอาศัยอยู่ในดินทั่วไปมีอยู่ประมาณ 150 ชนิด สามารถสร้างเส้นใยและสปอร์ออกมานอกรากอยู่ในหน้าดินลึกประมาณ 10-20 ซม. สปอร์มีขนาดเล็กมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น แพร่กระจายพันธุ์ไปตามน้ำ มีการเคลื่อนย้ายไปตามดินโดยสัตว์และแมลง เป็นพาหนะ พืชที่สัมพันธ์กับรากลุ่มนี้มีประมาณ 300,000 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นพืชเกษตรและพืชป่าไม้ ในไม้ผลมีรายงานว่า Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi มีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของส้ม โดยการปลูกเชื้อ Glomus intraradices FL208 สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต(relative growth rate) ของส้มได้ถึงสามเท่า (Menge, 1983; Eissenstat *et al.*, 1993) ทั้งนี้ AM fungi ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการสังเคราะห์แสง และส่งเสริมการดึงดูดธาตุอาหารจากดิน(Johnson, 1984; Graham, 1986) โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสซึ่ง Son and Smith (1988) รายงานว่าอัตราการดูดกินฟอสเฟตในพืชที่มีเวสิคูลาร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอยู่ด้วยจะเป็นได้เร็วกว่าพืชที่ไม่มี อัตราการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตในรากพืชที่มีอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซามีค่าโดยประมาณ 17×10^{-14} โมล/ซม./วินาที ซึ่งมากกว่าในพืชปกติที่มีอัตราการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตภายในรากพืชประมาณ 3.6×10^{-14} โมล/ซม./วินาที

2. เอ็คโตไมคอร์ไรซา (Ectomycorrhiza) คือ เห็ดราไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่บริเวณเซลล์ผิวของรากภายนอกของพืชหรือต้นไม้ เชื้อราจำพวกเอ็คโตไมคอร์ซามีการเจริญเติบโตอยู่ร่วมกับรากของต้นไม้ยืนต้นแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน เส้นใยไม่มีสารสีเขียว (Chlorophyll) เหมือนพืช จึงไม่สามารถสร้างอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลและไวตามิน จึงต้องอาศัยดูดซึมเอาจากรากของต้นไม้ เส้นใยของเชื้อราเจริญห่อหุ้มรากของต้นไม้ไว้จะมีส่วนช่วยรักษาความชื้นให้ต้นไม้ในฤดูแล้งและต้นไม้ก็ยังได้ธาตุฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งเชื้อราสามารถย่อยสลายธาตุอาหารออกมาจากดินให้เป็นธาตุอาหารในรูปที่ต้นไม้ใช้ประโยชน์ได้ทันที ทำให้ต้นไม้มีรากที่แข็งแรงเจริญเติบโตดีหาอาหารได้มากขึ้น และเมื่ออยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมก็จะรวมตัวกันออกเป็นดอกบริเวณโคนต้นไม้ที่มีรากพืชกระจายอยู่ เราเรียกเห็ดราจำพวกนี้ว่า เอ็คโตไมคอร์ไรซา แต่ความพยายามในการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารที่สังเคราะห์จนถึงขั้นออกเป็นดอกเห็ดยังไม่ประสบผลสำเร็จ ได้ผลเพียงเพาะได้เป็นเส้นใย ซึ่งเป็นปัญหาให้นักวิชาการทำงานต่อไป (อนงค์, 2542) ส่วนใหญ่เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเป็นราชั้นสูง จัดจำแนกอยู่ใน Phylum Basidiomycota Ascomycota และ Zygomycota ส่วนใหญ่เป็นราที่สร้างดอกขนาดใหญ่เหนือผิวดินใต้ร่มไม้ที่มันอาศัย อยู่ซึ่งอยู่ในพวก Basidiomycota และ Ascomycota ส่วน Zygomycota จะมีขนาดเล็กมากมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พวกราที่อยู่ในกลุ่ม Basidiomycota จะสร้างดอกเห็ด (Mushrooms) ขนาดใหญ่ มีทั้งที่กินได้ (Edible) ชนิดที่กินไม่ได้ (Non-edible) ชนิดที่มีพิษ

(Poisonous) และเห็ดสมุนไพร (Medicinal) เชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซามีมากกว่า 5,000 ชนิด พืชหรือต้นไม้ที่สัมพันธ์กับรากลุ่มนี้มีไม่น้อยกว่า 2,000 ชนิด หรือประมาณ 10 – 20% ของพืชชั้นสูงในประเทศไทย เคยมีการสำรวจเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในป่าไม้เต็ง ป่าเบญจพรรณ และป่าร้อนชื้น พบว่าเชื้อราหลายชนิดที่เป็นเอ็คโตไมคอร์ไรซา เช่น *Amanita* spp., *Boletus* spp., *Lactarius* spp., *Russula* spp., *Pisolithus* spp. เป็นต้น (อนิวรรต และธีรวัฒน์, 2524) เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในธรรมชาติสามารถนำมาทดสอบการเกิดเอ็คโตไมคอร์ไรซาในห้องปฏิบัติการ โดยการปลูกเชื้อบริสุทธิ์ของแต่ละชนิด ที่สำรวจได้กับกล้าพืชทดสอบ (Thomsom *et al.*, 1993) หลังจากนั้นจึงนำรากพืชเหล่านั้นมาดูลักษณะการเกิด Hartig net ที่เกิดจากเส้นใยของเชื้อที่เจริญเข้าไปใน cortex ของราก (Burndrctt and Abbott, 1995)

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

จุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการดึงดูดธาตุอาหาร โดยช่วยในการตรึงไนโตรเจนและช่วยละลายธาตุฟอสฟอรัสในดินให้เป็นประโยชน์ต่อพืช รวมเรียกว่า Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) นิยมนำมาผสมเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยชีวภาพ (Karlidag *et al.*, 2007) ซึ่งแบคทีเรียในกลุ่ม PGPR มีหลายชนิดได้แก่ *Acinetobacter, Alcaligenes, Arthrobacter, Azospirillum, Azotobacter, Bacillus, Beijerinckia, Burkholderia, Enterobacter, Erwinia, Flavobacterium, Rhizobium* และ *Serratia* (Rodriguez and Fraga, 1999; Sturz and Nowak, 2000; Sudhakar *et al.*, 2000) มีรายงานการศึกษาพบว่า PGPR สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตในพืชหลายชนิดได้แก่ ส้ม มัลเบอร์รี่ (mulberry) บ๊วย เชอรี่หวาน และ ราสพ์เบอรี่ (Kloepper, 1994; Sudhakar *et al.*, 2000; Esitken *et al.*, 2002, 2003, 2006; Orhan *et al.*, 2006) โดยทั่วๆไป PGPR จะต้องคำนึงว่ามีบทบาทต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชตามกลไกเช่น กลไกทางตรงต่อพืช ได้แก่ ความสามารถในการตรึงไนโตรเจน ความสามารถในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช เช่นละลายฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเป็นต้น ความสามารถในการสร้างสาร siderophores ในการจับธาตุเหล็ก ความสามารถในการสร้างฮอร์โมนพืช เช่น auxin, cytokinin และ gibberelin และลดปริมาณ ethylene ในพืช ส่วนกลไกทางอ้อมต่อพืชได้แก่ ความสามารถในการสร้างสารปฏิชีวนะ ความสามารถในการกระตุ้นให้พืชสร้างภูมิคุ้มกัน ความสามารถในการสร้างสารยับยั้งเชื้อราก่อโรค และความสามารถในการสร้างเอนไซม์ย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อราก่อโรคเป็นต้น(Gliek *et al.*, 1999)

อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter*) เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญในระบบนิเวศแบบ non-symbiotic และ free living ต้องการอากาศในการตรึงไนโตรเจน (N) สามารถเพิ่ม N แก่ดินโดยส่งเสริมการดึงดูด (uptake) ไนเตรท (NO^-_3) แอมโมเนียม (NH^+_4) ฟอสเฟต ($H_2PO^-_4$) และเหล็ก (Fe) รวมทั้งส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส(nitrate reductase) (Wani, 1990) จุลินทรีย์นี้จึงมีผลต่อการช่วยสะสมไวตามิน กรดอะมิโน และฮอร์โมนพืชออกซิน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อกลไกการพัฒนาราก และการเจริญเติบโตของพืช (Akbari *et al.*, 2007)

Beijerinckia เป็นแบคทีเรียกลุ่มตรึง N ที่ต้องการอากาศ มีรายงานการพบในบริเวณรากของพืชไร่ พวกอ้อย ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต และถั่วเหลือง ส่วน *Azospirillum* เป็นแบคทีเรียที่ช่วยตรึง N เช่นเดียวกัน ซึ่งพบการแพร่กระจายอย่างแพร่หลายในระบบนิเวศน์ในเขตที่มีการปลูกพืชใบเลี้ยงเดี่ยวพวกข้าวโพด ข้าว อ้อย และข้าวฟ่าง เป็นแบคทีเรียแกรมลบที่ต้องการอากาศ ชนิดของ *Azospirillum* ที่รายงานการค้นพบในปัจจุบันมี 5 ชนิดคือ *A. brasilense, A. lipoferum, A. amazonense, A. halopraeferens* และ *A. irakense* (Stacey *et al.*, 1992)

บริเวณที่อยู่อาศัยของ PGPR

บริเวณที่อยู่อาศัยของ PGPR ในระบบรากพืชและ rhizosphere ทำให้สามารถแบ่งชนิดของ PGPR ได้ 2 ประเภท ได้แก่

1. Intracellular PGPR (iPGPR) หมายถึง กลุ่ม PGPR ที่เข้าอาศัยภายในเซลล์ของรากพืช ตัวอย่างที่ชัดเจน ได้แก่ การเข้าอาศัย และสร้างปมของไรโซเบียมกับพืชตระกูลถั่ว

2. Extracellular PGPR (ePGPR) หมายถึง กลุ่ม PGPR ที่ไม่ได้อาศัยอยู่ในเซลล์ของรากพืช แต่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ PGPR ทั่วไปซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามตำแหน่งที่อยู่ได้อีก 3 กลุ่ม คือ

2.1 กลุ่มที่อาศัยอยู่ใกล้กับราก

2.2 กลุ่มที่อาศัยติดอยู่ที่ผิวของราก

2.3 กลุ่มที่อาศัยอยู่บริเวณระหว่างเซลล์ของรากในชั้น cortex

กลไกของ PGPR กับการเข้าสู่ระบบรากพืช

ในการเข้าสู่ระบบรากพืช แบคทีเรียส่วนใหญ่จะใช้ระบบการส่งสัญญาณ (signal) ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ ระบบการใช้สารอินทรีย์ที่ประพฤติตนเป็นสัญญาณในการสื่อสารระหว่างเซลล์ของแบคทีเรียด้วยกันเองเรียกว่า quorum sensing ซึ่งถูกพบครั้งแรกเมื่อประมาณ 25 ปีมานี้ จากแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในทะเล (Nealson and Hasting, 1979) โดยพบว่าแบคทีเรียจะสร้างสารเหล่านี้ต่อเมื่ออยู่ด้วยกันในความหนาแน่นของประชากรที่พอเหมาะ จากนั้นสารนี้จะไปกระตุ้นการทำงานและการแสดงออกของยีนที่สำคัญได้แก่ การเรืองแสง การก่อโรค การสืบพันธ์แบบ conjugation การสร้างปม และการเคลื่อนที่ของเซลล์แบคทีเรียเอง (Fray, 2002) สารกลุ่ม quorum sensing ที่รู้จักกันแพร่หลาย โดยเฉพาะที่สร้างในกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบ คือ N-acetyl-homoserine lactone (AHL) ตัวอย่างเช่น หลายกลุ่มของ AHL ในแบคทีเรีย Rhizobium leguminosarum เป็นตัวควบคุมการพัฒนาการเกิดปมของรากพืช (Cha *et al.*, 1998; Lithgow *et al.*, 2000) เป็นต้น

เมื่อเซลล์แบคทีเรียรวมกลุ่มกันได้แล้วในลำดับต่อไปคือการเคลื่อนเข้าสู่บริเวณผิวของรากซึ่งกลไกทั่วไปพบว่าเป็นกลไกที่คล้ายกับการเริ่มสร้าง biofilm ในสิ่งแวดล้อมอื่นๆ กรณีศึกษาที่พบเป็นครั้งแรกคือใน R. etli จะใช้โครงสร้างผนังเซลล์ที่เป็นสารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ที่เรียกว่า rhicadhesin เข้าจับเกาะกับโมเลกุลของสาร lectin ที่รากพืช จากนั้นการจับตัวของเซลล์และรากจะจับกันแข็งแรงมากขึ้น และมีการรวมจำนวนของเซลล์แบคทีเรียมากขึ้นตามลำดับ หรือในกรณีของ Pseudomonas fluoreseens Fl 13 พบว่ามีการสร้างโปรตีนที่ชื่อ flagellin ซึ่งไปมีผลต่อการเข้าจับเกาะกับรากของต้นถั่ว alfalfa และ Pseudomonas sp. DSS73 เมื่อผลิตสาร cyclic lipopeptisin ร่วมกับการสร้าง flagella จะทำให้เคลื่อนตัวเองไปยังผิวของรากพืชได้เร็วขึ้นกว่าปกติ เป็นต้น (Daniela *et al.*, 2004)

ในขณะที่เซลล์ของ PGPR เพิ่มทวีจำนวนและจับกลุ่มกันบริเวณรากมากขึ้น พืชเองก็มีการตอบสนองต่างๆ โดยเฉพาะการตอบสนองต่อสารบางชนิดที่ PGPR ปลดปล่อยออกมาโดยผ่านระบบที่เรียกว่า Systemic Acquired Resistance (SAR) ซึ่งเป็นระบบหนึ่งของการป้องกันตนเองจากสิ่งแปลกปลอม สาระสำคัญที่ผลิตจากฝ่ายพืชที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันตนเองนี้ ได้แก่ ethylene, jasmonic acid (JA) และ salicylic acid (SA) ซึ่งสารทั้งสามชนิดจัดอยู่ในกลุ่มที่มีบทบาทในการกระตุ้นการเจริญของพืช (Reymond and Farmer, 1998; Metraux, 2001) ดังตัวอย่างในกรณีของ ethylene Mayak *et al.* (1999) ได้รายงานว่าการใช้ PGPR สารพันธุ์ P. putda GR12-2 สามารถเพิ่มระดับของ ethylene ในถั่วเขียว โดยมีกลไกมาจากการที่แบคทีเรียสายพันธุ์นี้สามารถสร้าง indole-3 acetic acid (IAA) ซึ่งไปกระตุ้นให้เกิดการสร้าง ethylene

สารตั้งต้น (precursor) สำคัญที่ใช้ในการสังเคราะห์ ethylene ในพืชได้แก่ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ซึ่งในหลายกรณีที่ PGPR สามารถใช้ ACC เป็นแหล่งอาการไนโตรเจนจึงมีผลต่อปริมาณ ethylene และการเจริญของพืชกล่าวคือ PGPR บางกลุ่มจะสร้างเอนไซม์ ACC deaminase ย่อยสลาย ACC ให้เป็นแอมโมเนียและ α-ketobutyrate ดังนั้น ethylene ก็จะถูกสร้างน้องลงส่งผลให้รากพืชบางชนิดมรการยืดยาวต่อไปได้ นอกจากนี้ PGPR บางสายพันธุ์ที่สามารถผลิต IAA ได้มากเกินไปจะมีผลในทางตรงกันข้าม กล่าวคือ IAA ที่ผลิตได้ในปริมาณมากเกินพอ จะไปส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ ACC synthase ซึ่งมีหน้าที่สังเคราะห์ ACC ทำให้มีการสังเคราะห์ ethylene มากขึ้นจนไปยับยั้งการเจริญของราก

ดังนั้น ในภาพรวมของการที่ PGPR สามารถลดระดับของ ethylene ในพืชจะเริ่มจากการที่ PGPR เข้าจับเกาะที่ผิวของรากหรือเมล็ดที่กำลังมีการเจริญเติบโต จากนั้นจะใช้กรดอะมิโน tryptophan ที่มาจาก exudates ของรากหรือเมล็ดเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ IAA ซึ่งถ้า PGPR สร้าง IAA ในปริมาณที่เหมาะสมทำงานร่วมกับ IAA ที่มีอยู่เดิมในพืช ก็จะไปส่งเสริมการยืดยาวหรือการเจริญของพืชได้ บางส่วนก็จะไปเสริมการสร้าง ACC ซึ่ง PGPR ก็จะนำ ACC ไปใช้เป็นแหล่งอาหารไนโตรเจน จึงส่งผลให้ปริมาณ ethylene ลดลงตามลำดับ

ส่วน JA โดยปกติมีบทบาทในการกระตุ้นกลุ่มยีนที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการเข้าทำลายของโรคพืช และการสังเคราะห์ ethylene กลุ่มยีนดังกล่าวในพืชได้แก่ defensins, thionios และ proteinase inhibitors ดังเช่นพบว่า เมื่อเชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซา Glomus intraradicies เข้าสู่ระบบรากข้าวบาร์เลย์ ยีนที่ควบคุมการสร้าง JA ที่ชื่อ JIP23 จะกระตุ้น โดยเฉพาะที่ใบและปลายราก ในขณะที่ส่วนที่ไม่มีการเข้าอาศัยของไมคอร์ไรซาก็จะไม่พบการแสดงออกของยีนนี้แต่อย่างใด (Hause *et al.,* 2002) หรือในกรณีของ SA ซึ่งปกติก็มีบทบาทต่อกระบวนการป้องกันตนเอง Singh *et al.* (2003) พบว่าเมื่อใส่ PGPR 2 สายพันธุ์ ได้แก่ P.fluorescens สายพันธุ์ Pf4 และ P ให้กับถั่ว chickpea (Cicer arietinum) จะกระตุ้นให้พืชสร้าง SA ได้ และสามารถเพิ่มการเจริญของพืชได้เช่นกัน

ความสำคัญของ PGPR ต่อพืชมี 3 ประการ

1. เป็นปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizer) ได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศมาเป็นปุ๋ยไนโตรเจนให้กับพืชได้ เช่น แบคทีเรียในจีนัส Beijerinckia และไซยาโนแบคทีเรียสกุล Nostoc แบคทีเรียที่เพิ่มฟอสฟอรัสหรือกลุ่มแบคทีเรียที่สร้าง sidcrophore เพื่อสกัดธาตุเหล็กในดินให้กับพืช เป็นต้น ตัวอย่างบทบาทของ PGPR ที่มีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยชีวภาพ

เช่น แบคทีเรีย Paenibacillus polymyxa มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน และสามารถให้ธาตุอาหารไนโตรเจนกับพืช (Wield *et al.*, 2000) หรือการใช้ PGPR ในจีนัส Serratia proteoemaculans 1 – 10 และ S. liquefaciens 2 – 68 ร่วมกับ Bradyrhizobium japonicum ในการปลูกถั่วเหลือง สามารถเพิ่มจำนวนปม มวลชีวภาพและประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนได้ดีขึ้นกว่าเมื่อใช้ถั่วกับ B.japonicum ตามลำพัง ซึ่งพบว่า Serratia ทั้งสองสายพันธุ์ช่วยย่นระยะเวลาการสร้างปมของถั่ว และสามารถเพิ่มอัตราการสร้างปมกับ B.japonicum อีกด้วย (Bai *et al.*, 2002) ตัวอย่างการผลิตแบคทีเรียกลุ่ม PGPR เป็นปุ๋ยชีวภาพเชิงพาณิชย์ ในภาคเกษตรกรรมได้แก่ ประเทศบราซิล เมกซิโก และสหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาปุ๋ยชีวภาพสร้างธาตุไนโตรเจนโดยแบคทีเรีย Gluconaeetobacter diazotrophicus และ Azospirillum ใช้กับพืชไร่สำคัญ เช่น อ้อย ข้าวสาลี โดยพบว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยชีวภาพในพื้นที่ 600,000 เฮกเตอร์ในประเทศเมกซิโก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 และเพิ่มเป็น 1.5 ล้านเฮกเตอร์ ในปี ค. ศ. 2000 ทำให้ผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 26 เปอร์เซ็นต์ (Mellado,2002)

2. เป็นผู้สร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโต(Phytostimulator) หรือฮอร์โมนพืช (Phytohormone) สารกลุ่มนี้ที่แบคทีเรียสร้างได้แก่ Auxin, Gibberlin และ Cytokinin ตัวอย่างสกุลของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ Azospirillum และ Azotobacter ดังตัวอย่างงานวิจัยล่าสุดของ Ramos *et al.* (2002) พบว่าการใช้แบคทีเรีย *Bacillus Licheniformis* กับการปลูกต้นกล้า Alder (Alnus glutinosa) พบว่าสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้น Alder ได้อย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่ได้ใส่เชื้อ โดยเฉพาะมีระบบรากที่สมบูรณ์ พื้นที่ผิวของใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพบว่าเป็นบทบาทมาจากสารประกอบกลุ่ม Auxin, Gibberlin ที่ผลิตจากแบคทีเรียกลุ่มนี้ หรือการใช้ B.licheniformis ร่วมกับ B.pumis กับต้นกล้าของพืช Pinus pinae ซึ่งมีความสามารถในการสร้าง Gibberlin พบว่าเพิ่มพื้นที่ผิวของใบและความยาวของรากได้สูงกว่าใช้ Bacillus เพียงชนิดเดียวอย่างมีนัยสำคัญ (Probanaza *et al.*, 2002)

3. เป็นผู้ควบคุมศัตรูพืช (Biopesticide) ซึ่งส่วนใหญ่พบว่ามีการสร้างสารแอนติไบโอติกยังยั้งเชื้อราก่อโรคได้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียจีนัส Bacillus , Pseudomonas ดังเช่น จากรายงานการวิจัยโดยใช้แบคทีเรีย *P. fluorescens* กับข้าว Rye (Secale cereale) พบว่าสามารถยังยั้งเชื้อรา Fusaricum culmorum ที่ทำให้เกิดโรคเหี่ยวได้ดียิ่งขึ้น ถ้ามีการปรับสภาพของดินให้มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวมากขึ้น (Kurek and Jaraszuk-Scise 2003) หรือ การใช้เชื้อผสมในกลุ่มจีนัส Bacillus เช่น *B.amyloliquefaciens, B.sphaericus* และ *B.pumilis* สามารถยับยั้งกลุ่มของเชื้อก่อโรค เช่น Ralstonia, Collectotrichum หรือ Rhizoctonia โดยกระบวนการสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่พืชได้เป็นอย่างดี (Jetiyanon and Kloepper, 2002) ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่ม PGPR ที่มีการใช้ในระดับการค้าและโดยเฉพาะในเชิงที่เป็นการควบคุมโรคพืช (Glick *et al.*, 1999)

จะเห็นได้ว่าการใช้แบคทีเรียกลุ่ม PGPR เป็นอีกทางเลือกหนึ่งโดยเฉพาะกับสภาวการณ์ปัจจุบันที่เน้นความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี และยาปราบศัตรูพืช (โดยเฉพาะเชื้อราที่มีสภาวะดื้อยาสูงขึ้นในปัจจุบัน) จึงเห็นได้ว่าในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น กลุ่มประเทศ EU หรือ สหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นการค้าในรูปของ Bioinoculant แล้ว เช่นกลุ่ม Rhizobium, Pseudomonas, Bacillus และ Streptomyces เป็นต้น (Bloemberg and Lugtenberg, 2001)

โดยทั่วไปการใช้ PGPR มี 3 รูปแบบ ได้แก่ การแช่เมล็ดในสารละลายแบคทีเรีย (bacterial suspension) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นพึ่งให้แห้งในที่ร่มเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง แช่ต้นกล้าลงในสารละลายแบคทีเรียข้ามคืน และการสารแบคทีเรียลงในดินโดยตรง (Islam and Bora,1998) ตัวอย่างของเชื้อ PGPR ที่ใช้กับพืชที่เคยมีการทดสอบและได้ผลดีต่อพืช ได้แก่ ข้าว และ Azotobacter (Kanungo *et al.*,1997) Azospillirum และ ข้าวสาลี (Malik *et al.,* 2002), Acetobacter diazotrophicus และ อ้อย (James *et al.,*1994), Azorhizobium และ ข้าวสาลี (Saleh *et al.*,2001) , การใช้ Az.vinelandii ร่วมกับ Clostridium butyricum ในการปลูกข้าวสาลีทางตะวันตกของออสเตรเลีย (Kennedy and Tchan,1992), Herbaspirillum seropediceae สามารถเพิ่มผลผลิตของรวงข้าว (Arangarasan *et al.,*1998) เป็นต้นและเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในรูปแบบหัวเชื้อผสม (Multi-strain inoculum) โดยใช้ PGPR 3 สกุลร่วมกันในการปลูกข้าวและพบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตให้ข้าวได้ถึง 1.1 ต้นต่อเฮกเตอร์ (เพิ่มขึ้นร้อยละ 21) เมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพบริเวณเมืองฮานอย ประเมศเวียดนาม โดยการผลิตปุ๋ยชีวภาพดังกล่าวเกิดขึ้นภายใต้ความร่าวมือวิจัยระหว่าง นักวิทยาศาสตร์เวียดนามและออสเตรเลีย ปุ๋ยชีวภาพดังกล่าวประกอบด้วย Pseudomanas ที่สามารถตรึงไนโตรเจน Klebsiella ที่สามารถตรึงไนโตรเจน และย่อยสลายฟอสฟอรัสในรูป $Ca_3(PO_4)_2$ และ Citrobacter freundii ซึ่งช่วยในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของ PGPR กับเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ในดินที่จะเข้าอาศัยบริเวณรากแก้ว โดยสัดส่วนการใช้ Pseudomanas , Klebsiella และ Citrobacter freundii จะอยู่ที่ 10:10:1 ตามลำดับ โดยปริมาณ PGPR แต่ละชนิดเท่ากับ $3x10^9$:$1x10^8$: $1x10^7$ เซลล์ต่อกรัมวัสดุตัวพา ตามลำดับ และล่าสุด Han *et al.,* (2005) ได้ค้นพบแบคทีเรียกลุ่มใหม่ที่มีคุณสมบัติเป็น PGPR ในสกุล Delfia tsuruhatensis HR4 ที่ทำการแยกได้จากบริเวณที่ปลูกข้าวทางตอนเหนือของประเทศจีน พบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์นี้สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ก่อโรคในต้นข้าว ได้แก่ Xanthomonas oryzae. Rhizoctonia solani และ Pyricularia oryzae นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้ (13.06 C_2H_4 nmol ml^{-1} h^{-1}) โดยมียีน nif ซึ่งเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับขบวนการตรึงไนโตรเจนอยู่บน chromosomal DNA

แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ในสภาพจริงยังมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพในพื้นที่แต่ละพื้นที่กับพืชแต่ละชนิดด้วย ซึ่งจากการวิจัยหลายๆแห่งพบว่าประสิทธิภาพของแบคทีเรียชนิดเดียวกันจะต่างกันไปตามสภาพสิ่งแวดล้อมของดิน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ประกอบด้วยการทดลองย่อย 2 การทดลองดังต่อไปนี้

1. การคัดเลือกและศึกษาผลของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าลำไย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา

ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมตัวอย่างเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา จากสวนลำไย 6 อำเภอ ในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ด้วยการวางแผนในการหาปริมาณเชื้อของแต่ละสวนเป็น 3 ซ้ำ แบบซุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized design) โดยเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณโคนต้นลำไยไปตรวจสอบหาจำนวนและชนิดสปอร์ในดินในห้องปฏิบัติการงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

การตรวจสอบหาจำนวนสปอร์ในดิน

วิธีการตรวจสอบจำนวนสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน (ดัดแปลงจาก Dodd and Phillip, 1996) มีดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ลงในหลอด centrifuge ขนาด 50 ml
2. ใส่น้ำกลั่นแล้วปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 2000 rpm นาน 5 นาที
3. เทเอาส่วนใสออก ใส่น้ำตาลซูโครส 50% แล้วปั่นเหวี่ยงที่ 2000 rpm นาน 1 นาที
4. กรองเอาส่วนใสด้วยตะแกรงละเอียด แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง whatman No.2
5. นำกระดาษกรองที่มีสปอร์วางบนจานเพาะเชื้อขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 9 ซม. แล้วนับจำนวนสปอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Stereo ที่กำลังขยาย 4 เท่า เมื่อได้สปอร์ของเชื้อราเอ็นโดไมคอร์ไรซ่าชนิดต่างๆแล้วนำมาเพาะให้กับต้นกล้าลำไย

2. ผลของการใช้เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาร่วมกับพีจีพีอาร์(PGPR) ต่อการเจริญเติบโตและผลิตของลำไยใสภาพแปลงปลูก

อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง 6 ซ้ำ สิ่งทดลองมีดังต่อไปนี้

Treatment 1 ไม่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ (control)

Treatment 2 ใช้เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา (เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาสายพันธุ์ที่คัดเลือกและผลิตโดยงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร)

Treatment 3 ใช้ผลิตภัณฑ์พีจีพีอาร์1 (เป็น Plant growth promoting rhizobacteria; PGPR ที่ผลิตโดยงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนคือ *Azotobacter, Beijerinckia* และ *Azospirillum* จำนวนมากกว่า 10 ยกกำลัง 8 เซลล์ต่อกรัม ซึ่งเป็นสายพันธุ์ไทยที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ)

Treatment 4 ใช้เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาร่วมกับพีจีพีอาร์1

** ทุกสิ่งการทดลองใส่หินฟอสเฟตบดต้นละ 1 กิโลกรัม/ต้น

การวิเคราะห์ดินทางเคมี

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยชั่งดิน 10 กรัมต่อน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร(1:1) คนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ทำซ้ำกัน 2 ครั้ง ครั้งที่ 3 ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้ววัดโดยใช้เครื่องมือpH – meter (Wayne,1980)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Soil organic mater) นำมาวิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black (1947)โดยชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 1 กรัมเทลงในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตรเขย่าเบาๆให้เข้ากันและเติม H_2SO_4 เข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที (ในตู้ดูดควัน) เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร หยดน้ำยาอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด โดยมี O-phenantholinetเป็น indicator แล้วไตเตรตด้วย 0.5 N Ferrous sulphate จนเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดงบันทึกค่าปริมาตรของ $FeSO_4$ ที่ใช้ไป เพื่อนำมาคำนวณหาค่าที่แท้จริง

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (Extractable phosphorous) โดยวิธี BrayII ชั่งตัวอย่างดินหนัก 2.5 กรัม ใส่ในหลอดเซนติฟิวส์ สกัดด้วยน้ำยา BrayII จำนวน 25 มิลลิลิตร ปิดฝาให้มิดชิดเขย่านาน 1 นาที นำเข้าเครื่องเซนติฟิวส์ให้ดินตกตะกอน แล้วกรองสารละลายที่ได้ไปพัฒนาสีน้ำ

เงินแกรมฟ้าด้วย ascorbic acid ตามวิธีการของ Watanabe and Olsen (1962) แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extractable potassium) สกัดตัวอย่างดิน 5 กรัม ใส่ในหลอดเซนติฟิวส์ สกัดด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc , pH 7 จำนวน 25 มิลลิลิตร ปิดฝาให้มิดชิด เขย่าเป็นเวลา 30 นาที นำเข้าเครื่องเซนติฟิวส์ให้ดินตกตะกอน กรองสารละลายที่ได้ไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Wayne,1980)

ผลการวิจัย

1. การคัดเลือกและศึกษาเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าลำไย

ผลของการตรวจสอบหาจำนวนสปอร์ในดิน

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินบริเวณใต้ทรงพุ่มจากสวนลำไยในเขตอำเภอสันป่าตอง, อำเภอหางดง, อำเภอสารภี, อำเภอแม่ออน, อำเภอแม่ทา และอำเภอทุ่งหัวช้าง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณโคนต้นลำไยเพื่อตรวจสอบหาจำนวนสปอร์ในดินพบว่า ดินบริเวณใต้ทรงพุ่มจากสวนลำไยในเขตอำเภอสารภีมีปริมาณสปอร์ไมคอร์ไรซาสูงที่สุด คือ 19.67 สปอร์/ ดิน 10 กรัม รองลงมาคือดินใต้ทรงพุ่มจากสวนลำไยในเขตอำเภอสันป่าตองและอำเภอหางดง คือ 18.33 สปอร์/ ดิน 10 กรัม สำหรับดินบริเวณใต้ทรงพุ่มจากสวนลำไยในเขตอำเภอแม่ทา มีปริมาณสปอร์อยู่ที่ 15.67 สปอร์/ ดิน 10 กรัม ส่วนดินบริเวณใต้ทรงพุ่มจากสวนลำไยในเขตอำเภอทุ่งหัวช้าง มีปริมาณสปอร์อยู่ที่ 15.33 สปอร์/ ดิน 10 กรัม โดยดินที่มีจำนวนสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่ำที่สุดคือ ดินบริเวณใต้ทรงพุ่มจากสวนลำไยในเขตอำเภอแม่ออน คือ 14.67 สปอร์/ ดิน 10 กรัม ตารางที่ 1

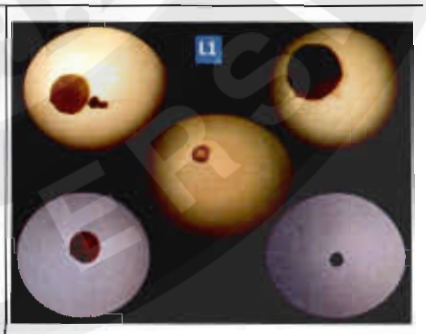
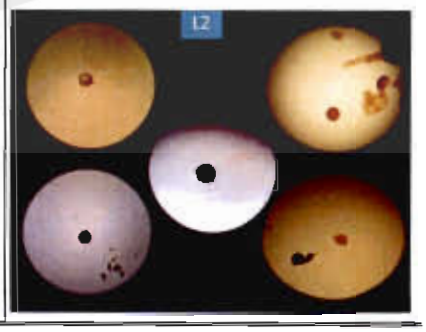
ตารางที่ 1 ปริมาณสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินบริเวณใต้ทรงพุ่มลำไย (สปอร์/ ดิน 10 กรัม)

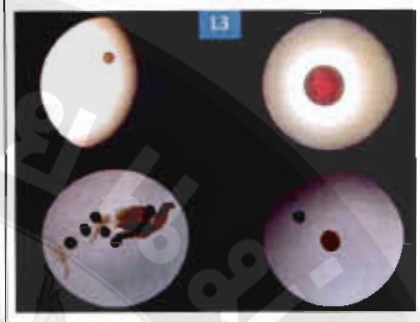
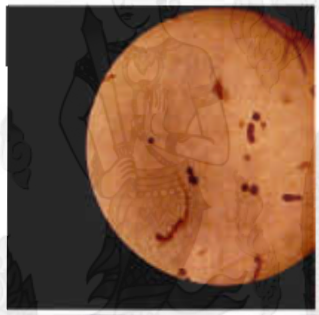
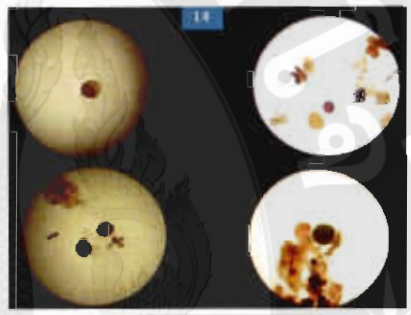
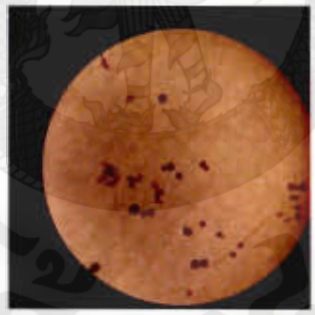
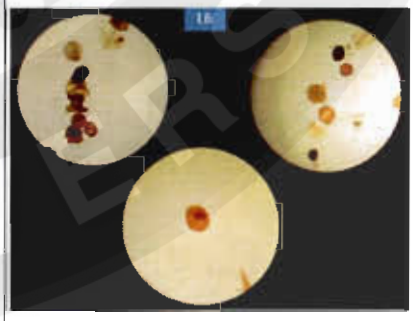
อำเภอ	ค่าเฉลี่ย
อำเภอสันป่าตอง	18.33
อำเภอหางดง	18.33
อำเภอสารภี	19.67
อำเภอแม่ออน	14.67
อำเภอแม่ทา	15.67
อำเภอทุ่งหัวช้าง	15.33
Mean	**17.00**
F-test	**ns**
%CV	**31.86**

ผลของการตรวจสอบลักษณะของสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดิน

ทำการศึกษาเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินบริเวณใต้ทรงพุ่มที่เก็บจากสวนลำไยในเขตอำเภอทั้ง 6 อำเภอคือ อำเภอสันป่าตอง, อำเภอหางดง, อำเภอสารภี, อำเภอแม่ออน, อำเภอแม่ทา และอำเภอทุ่งหัวช้าง ซึ่งเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณโคนต้นลำไยไปตรวจสอบหาลักษณะของสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินแต่ละอำเภอพบว่า ลักษณะของสปอร์ดินบริเวณใต้ทรงพุ่มจากสวนลำไยในเขตอำเภอสันป่าตองมีลักษณะรูปร่างกลม มีสีดำ, ขาว, ส้มแดง, ขาวเหลืองใส และ สีใสเหลือง ตารางที่ 2 ส่วนการตรวจสอบลักษณะสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาของอำเภอหางดงมีลักษณะรูปร่างกลม สปอร์มีสีดำ, ส้มแดง, ขาวขุ่น, ขาวเหลืองอ่อน และ สีขาว ซึ่งมีลักษณะและสีเช่นเดียวกันกับสปอร์ของสวนลำไยในอำเภอสารภี สำหรับลักษณะสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาของอำเภอแม่ออนมีลักษณะรูปร่างกลมเช่นเดียวกันกับ 3 สวนข้างต้น ส่วนลักษณะของสีจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยคือ มีสีดำ, ขาว, ส้มแดง, เหลือง, ส้ม และขาวเหลือง ขณะที่สวนลำไยในเขตอำเภอแม่ทา สปอร์ของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซามีลักษณะกลม มีสีดำ, ขาว ส้มแดงและใสเหลือง ส่วนลักษณะของสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินของอำเภอทุ่งหัวช้างมีลักษณะคล้ายกับสปอร์ในทุกๆสวนที่กล่าวมาข้างต้น คือมีรูปร่างกลม โดยที่สีของสปอร์จะมีสีดำ, ขาว, ส้ม, ขาวเหลืองอ่อน, ส้มน้ำตาล ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะของสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินบริเวณใต้ทรงพุ่มลำไย

อำเภอ	ลักษณะของสปอร์	ลักษณะของสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดิน	
อำเภอสันป่าตอง	รูปร่างกลม มีสีดำ, ขาว, ส้มแดง, ขาวเหลืองใส, ใสเหลือง		
อำเภอหางดง	รูปร่างกลม มีสีดำ, ส้มแดง, ขาวขุ่น, เหลืองอ่อน, ขาว		

อำเภอ	ลักษณะของสปอร์	ลักษณะของสปอร์เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดิน	
อำเภอสารภี	รูปร่างกลม มีสีดำ, ขาว, ส้มแดง, เหลืองอ่อน ,ขาวขุ่น		
อำเภอแม่ออน	รูปร่างกลม มีสีดำ, ขาว, ส้มแดง, เหลือง, ส้ม, ขาว เหลือง		
อำเภอแม่ทา	รูปร่างกลม มีสีดำ, ขาว ส้มแดง, ใส เหลือง		
อำเภอทุ่งหัวช้าง	รูปร่างกลม มีสีดำ, ขาว, ส้ม, ขาว เหลืองอ่อน, ส้มน้ำตาล		

2. ผลของการใช้เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาร่วมกับพีจีพีอาร์(PGPR) ต่อการเจริญเติบโตและผลิตของลำไยในสภาพแปลงปลูก

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินบางประการจากตัวอย่างดินก่อนการทดลอง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 2 ระดับ คือ ระดับดินบน (0-15 cm.) และระดับดินล่าง (15-30 cm.) พบว่าค่าความเป็นกรดด่างของดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.67 และที่ระดับความลึก 15-30 cm. มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.53 ซึ่งในระดับดินบนมีค่าความเป็นกลาง ส่วนในระดับดินล่างเป็นกรดเล็กน้อย ขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ระดับดินบนและดินล่างมีค่าร้อยละ 5.61 และ 3.11 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สูง ส่วนปริมาณของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน พบว่าในระดับดินบน (0-15 cm.) อยู่ในเกณฑ์ปานกลางคือ 11.41 mgP/kg และในระดับดินล่างอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ คือ 4.61 mgP/kg ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่เกณฑ์ที่สูงทั้งในดินระดับบนและล่าง คือ 499 และ 332 mgK/kg ตามลำดับ ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของดินก่อนการทดลอง

Treatment	pH	%OM	P(mgP/kg)	K(mgK/kg)
Top soil (0-15 cm.)	6.67	5.61	11.41	449
Sub soil (15-30 cm.)	6.53	3.11	4.61	332

ในการทดลองการใช้เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาร่วมกับพีจีพีอาร์(PGPR) ต่อการเจริญเติบโตและผลิตของลำไยในสภาพแปลงปลูกโดยมีตำรับทดลองแบ่งออกเป็น 4 ตำรับ คือ ตำรับควบคุม, ตำรับ Mycorrhiza, ตำรับ PGPR และตำรับ Mycorrhiza + PGPR หลังจากวางตำรับการทดลอง 4 เดือน ได้มีการเก็บตัวอย่างดินเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีบางประการ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในดินระดับบน (0-15 cm.) ในตำรับ PGPR มีค่าสูงที่สุดคือ 6.68 ส่วนในตำรับที่มีการใส่ Mycorrhiza + PGPR ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเพิ่งเล็กน้อย คือ 6.59 เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ PGPR เพียงอย่างเดียว ซึ่งการในตำรับที่มีการใส่ Mycorrhiza เพียงอย่างเดียว ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำกว่าในตำรับควบคุม คือ 6.42 และ6.56 ตามลำดับ โดยทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนในดินระดับล่าง (15-30 cm.) ตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza มีค่าความเป็นกรดต่างสูงที่สุดคือ 6.80 ขณะที่ตำรับที่ใส่ PGPR มีค่าความเป็นกรด-ด่าง

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

6.49 ซึ่งมีค่ามากกว่าในตำรับควบคุม (6.48) เพียงเล็กน้อย สำหรับในตำรับ Mycorrhiza + PGPR มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำที่สุดคือ 6.34 ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติทุกตำรับทดลอง (P<0.05)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินบริเวณใต้ทรงพุ่มของต้นลำไยที่ใส่ตำรับทดลองลงไป พบว่าในดินระดับบนมีปริมาณอินทรียวัตุสูงกว่าดินระดับล่าง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.82 และ 3.58% ตามลำดับ ตารางที่ 4 โดยพบว่าในดินระดับบน (0-15 cm) ตำรับที่มีการเติมเชื้อ PGPR ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด คือร้อยละ 6.04 รองลงมาคือตำรับที่มีการใส่ Mycorrhiza เพียงอย่างเดียว คือร้อยละ 5.89 ส่วนในตำรับที่มีการใส่ Mycorrhiza + PGPR มีปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 5.70 ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ (P<0.05) ในขณะที่ตำรับควบคุมมีค่าอินทรียวัตถุต่ำที่สุด คือร้อยละ 5.63 ส่วนในระดับดินชั้นล่าง (15-30 cm) ปริมาณอินทรียวัตถุที่พบในดินของตำรับ PGPR มีค่าสูงที่สุดคือร้อยละ 3.75 ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าตำรับที่มีการใส่ Mycorrhiza +PGPR (3.64%) และตำรับที่ไม่มีการเติมเชื้อลงไป(ตำรับควบคุม 3.57%) โดยที่ตำรับ Mycorrhiza มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือร้อยละ 3.35 ตารางที่ 4

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินระดับบน (0-15 cm) ตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 25.63 mgP/kg และมีความแตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับที่มีการใส่ PGPR และ Mycorrhiza +PGPR ซึ่งในตำรับ Mycorrhiza + PGPR มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินคือ 13.92 mgP/kg และตำรับ PGPR มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพียง 13.77 mgP/kg ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินของตำรับควบคุมมีค่าต่ำที่สุดคือ 8.46 mgP/kg ขณะที่ในดินระดับล่าง 15-30 cm ตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุดเช่นเดียวกับดินระดับบนคือ 6.64 mgP/kg รองลงมาคือตำรับ PGPR ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้คือ 6.37 mgP/kg ส่วนในตำหรับที่ใส่เชื้อ Mycorrhiza + PGPR ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน (4.06 mgP/kg) ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าตำรับที่ใส่เชื้อ Mycorrhiza หรือ ตำรับ PGPR เพียงอย่างเดียว ขณะที่ตำรับควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้น้อยที่สุดคือ 2.78 mgP/kg ทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ (P<0.05)

ขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินที่ระดับบน (0-15 cm) ตำรับที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ ตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza (411 mgK/kg) ส่วนตำรับที่ใส่เชื้อ PGPR มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินรองลงมาคือ 373 mgK/kg สำหรับตำรับควบคุมปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินมีปริมาณมากกว่าตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza + PGPR คือ 345 และ 315 mgK/kg ตามลำดับ ซึ่งในตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza + PGPR ส่งผลให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติทุกตำรับทดลอง (P<0.05) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินระดับล่างนั้น (15-30 cm) นั้น ตำรับที่มี

การใส่เชื้อ Mycorrhiza เพียงอย่างเดียวมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 412 mgK/kg ขณะที่ตำรับ PGPR มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินรองลงมาคือ 411 mgK/kg ขณะเดียวกันตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza + PGPR กลับมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำกว่าในตำรับที่มีการใส่เชื้อเพียงอย่างเดียว (329 mgK/kg) ส่วนในตำรับควบคุมมีผลทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 319 mgK/kg ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P<0.05$) ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของดินหลังการทดลองปีที่ 1

Treatment	pH	%OM	P(mgP/kg)	K(mgK/kg)
		Top soil (0-15 cm.)		
Control	6.56	5.63	8.46 b	345
Mycorrhiza	6.42	5.89	25.63 a	411
PGPR	6.68	6.04	13.77 b	373
MZ+PGPR	6.59	5.70	13.92 b	315
mean	6.56	5.82	15.45	361
F-test	ns	ns	*	ns
%CV	3.60	11.23	27.73	16.67
		Sub soil (15-30 cm.)		
Control	6.48	3.57	2.78	319
Mycorrhiza	6.80	3.35	6.64	412
PGPR	6.49	3.75	6.37	411
MZ+PGPR	6.34	3.64	4.06	329
Mean	6.53	3.58	4.97	367.75
F-test	ns	ns	ns	ns
%CV	4.40	22.17	60.09	17.46

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินหลังจากการวางตำรับทดลองในรอบที่ 2 ในดินระดับบน (0-15 cm.) พบว่าค่าความเป็นกรดด่าง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.13 และในตำรับควบคุมมีค่าสูงที่สุดคือ 6.50 ในขณะที่ตำรับ Mycorrhiza และ PGPR เพียงอย่างเดียวค่าความเป็นกรดด่างคือ 6.27 และ 5.90 ตามลำดับ โดยที่ตำรับที่มีการใส่ Mycorrhiza + PGPR ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำที่สุดคือ 5.86 แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติทุกตำรับทดลอง ($P<0.05$) สำหรับในดินระดับล่าง (15-30 cm.) พบว่ามีค่าความเป็นกรดด่าง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.80 ในตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza เพียงอย่างเดียวมีค่าความเป็นกรดด่างสูงที่สุดคือ 5.91 รองลงมาคือตำรับควบคุมและตำรับที่มีการใส่เชื้อ PGPR เพียงอย่างเดียว คือ 5.81 และ 5.77 ขณะที่ตำรับมีการใส่เชื้อ Mycorrhiza ร่วมกับ PGPR มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำที่สุดคือ 5.71 ทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P<0.05$) ตารางที่ 5

สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังจากการวางตำรับทดลองในรอบที่ 2 จากการเก็บตัวอย่างดิน 2 ระดับ พบว่าในดินระดับบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าในดินระดับล่าง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.55 และ 2.85 % ตามลำดับ ซึ่งในดินระดับบน (0-15 cm.) ตำรับควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงที่สุดคือ 4.90 % ส่วนในตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza และ PGPR เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุรองลงมา คือ 4.46 % และ 4.75 % ตามลำดับ ส่วนในตำรับ Mycorrhiza ร่วมกับ PGPR มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดคือร้อยละ 4.10 มีความแตกต่างกันในทางสถิติทุกตำรับทดลอง ($P<0.05$) สำหรับในดินระดับล่าง (15-30 cm.) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนั้นตำรับควบคุมมีปริมาณสูงที่สุดคือ ร้อยละ 3.20 และตำรับ Mycorrhiza +PGPR มีปริมาณต่ำที่สุดคือร้อยละ 2.52 ส่วนในตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza และ PGPR เพียงอย่างเดียวพบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุในดินคือ 3.04 และ 2.65 % แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้จากดินบริเวณใต้ทรงพุ่มลำไย พบว่าในดินระดับบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงกว่าในดินระดับล่าง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.45 และ 5.03 mgP/kg ตามลำดับ ในดินระดับบน (0-15 cm.) พบว่าตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza ทำให้มีปริมาณปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 10.02 mgP/kg และปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินตำรับ PGPR มีปริมาณต่ำที่สุดคือ 5.52 mgP/kg ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินของตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza ร่วมกับ PGPR นั้น มีปริมาณน้อยกว่าในตำรับที่มีการใส่เชื้อ Mycorrhiza เพียงอย่างเดียว คือ 5.79 mgP/kg ส่วนในตำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูง (8.45 mgP/kg)กว่าตำรับที่มีการใส่เชื้อ PGPR เพียงอย่างเดียว และ Mycorrhiza ร่วมกับ PGPR ซึ่งทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ส่วนในดินชั้นล่าง (15-30 cm) ตำรับ Mycorrhiza มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด คือ 6.72 mgP/kg ขณะที่การเติมเชื้อ

Mycorrhiza เพียงอย่างเดียว และตำรับที่มีการเติมเชื้อ Mycorrhiza ร่วมกับ PGPR ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินรองลงมาคือ 6.50 และ5.33 mgP/kg สำหรับตำรับควบคุมมีผลทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 4.88 mgP/kg แต่มีความแตกต่างในทางสถิติ ($P<0.05$) ตารางที่ 5

ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินหลังจากการวางตำรับทดลองในรอบที่ 2 โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน 2 ระดับคือ 0-15 และ15-30 cm พบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 392.5 และ 306.8 mgK/kg โดยที่ตำรับ Mycorrhiza ในดินระดับบน 0-15 cm มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในที่สูงที่สุดคือ 460 mgK/kg ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับควบคุมและตำรับที่มีการใส่เชื้อ PGPR เพียงอย่างเดียวโดยปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้คือ 404 และ 377 mgK/kg ส่วนตำรับ Mycorrhiza +PGPR มีค่าต่ำที่สุดคือ 233 mgK/kg ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติ ($P<0.05$) ตำรับ Mycorrhiza แตกต่างกับ ตำรับควบคุม และ Mycorrhiza ร่วมกับ PGPR ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินระดับล่าง (15-30 cm) พบว่าตำรับ Mycorrhiza มีปริมาณสูงที่สุดคือ 366 mgK/kg รองลงมาคือตำรับควบคุมคือ 303 mgK/kg และตำรับที่มีการเติมเชื้อ PGPR เพียงอย่างเดียวคือ 283 mgK/kg สำหรับตำรับ Mycorrhiza +PGPR มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 275 mgK/kg ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P<0.05$) ตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของดินหลังการทดลองปีที่ 2

Treatment	pH	%OM	P(mgP/kg)	K(mgK/kg)
		Top soil (0-15 cm.)		
Control	6.50	4.90a	8.45	404 a
Mycorrhiza	6.27	4.46b	10.02	460 a
PGPR	5.90	4.75c	5.52	377 ab
MZ+PGPR	5.86	4.10c	5.79	329 b
mean	6.13	4.55	7.45	392.5
F-test	ns	*	ns	*
%CV	1.82	8.75	38.66	12.13
		Sub soil (15-30 cm.)		
Control	5.81	3.20	4.88	303
Mycorrhiza	5.91	3.04	6.72	366
PGPR	5.77	2.65	6.50	283
MZ+PGPR	5.71	2.52	5.33	275
Mean	5.80	2.85	5.03	306.75
F-test	ns	ns	ns	ns
%CV	3.01	25.61	27.12	26.00

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาจำนวนและลักษณะสปอร์ในดิน พบว่าปริมาณเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา ของตัวอย่างดินทั้ง 6 อำเภอมีค่าเฉลี่ย 17.0 สปอร์/ดิน 10 กรัม โดยพบว่าที่อำเภอสารภีมีปริมาณเชื้อหนาแน่นสูงที่สุดคือ 19.67 สปอร์/ดิน 10 กรัม และไม่แตกต่างในทางสถิติกับอำเภออื่น รูปร่างลักษณะสปอร์โดยทั่วไปค่อนข้างกลม แต่มีความหลากหลายของสีสปอร์ เช่นสีดำ ขาวเหลือง ส้ม ส้มแดง และขาวเหลือง เป็นต้น

ขณะที่การทดลองในการเติมเชื้อจุลินทรีย์ Mycorrhiza และ PGPR เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดึงดูดธาตุอาหารและส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นลำไยพบว่าในปีแรกนั้นในดินระดับบน ค่าความเป็นกรดด่างลดลงทุกตำรับการทดลองยกเว้น ตำรับที่เติม PGPR ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลอง สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน เพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลอง โดยเฉพาะตำรับที่เติม Mycorrhiza เพิ่มขึ้นมากที่สุดและปราณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินพบว่า ลดลงทุกตำรับการทดลอง ในดินระดับล่าง (15-30 cm.) พบว่าค่าความเป็นกรดด่างลดลงทุกตำรับการทดลองยกเว้นตำรับที่เติม Mycorrhiza ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลอง และ ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน เพิ่มขึ้นยกเว้น ตำรับที่เติมเชื้อ Mycorrhiza + PGPR สำหรับปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ เพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลอง

ได้ทำการทดลองต่อเนื่องเป็นปีที่ 2 พบว่าในดินระดับบน และดินระดับล่างนั้นปริมาณค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินลดลงทุกตำรับการทดดลอง

สำหรับการทดลองเกี่ยวกับการใช้เชื้อราอบัสคูล่าไมคอร์ไรซา ที่คัดเลือกมาจากแต่ละอำเภอ ร่วมกับการเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ PGPR ในกล้าลำไยที่ปลูกในกระถางนั้นกำลังอยู่ในช่วงดำเนินการทดลอง ของงบประมาณปี พ.ศ. 2555

วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาปริมาณเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาใต้ทรงพุ่มลำไยอินทรีย์ในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน 6 อำเภอ พบว่ามีปริมาณเฉลี่ย 17.0 สปอร์/ดิน10 กรัม ซึ่งสูงกว่าเมื่อเทียบกับงานทดลองของ Mohammad et al. 2003. ที่ทำการทดสอบหาปริมาณเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในตัวอย่างดินที่ปลูกพืชหลายๆประเภทในประเทศจอร์แดน โดยดินรอบรากพืชกลุ่ม Peach มีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 12-43 สปอร์/ดิน100 กรัม องุ่นมีปริมาณสปอร์เฉลี่ยอยู่ที่ 13-52 สปอร์/ดิน 100 กรัม และทับทิมมีปริมาณสปอร์เฉลี่ยอยู่ที่ 15-35 สปอร์/ดิน100 กรัม ซึ่งอาจสืบเนื่องมาจากดินในพื้นที่ทดสอบดังกล่าวมีความเป็นกรดสูงและแห้งแล้งและอยู่ในพื้นที่เขตร้อนหรือกึ่งเขตร้อน (McGee, 1989) โดยปริมาณเชื้อไมคอร์ไรซารอบรากพืชกลุ่มไม้ผลส่วนใหญ่จะสูงกว่าพืชชนิดอื่น (Al-Raddad, 1993) ส่วนลักษณะสีของสปอร์ในการทดลองครั้งนี้มีความหลากหลายตั้งแต่สีดำ ขาว เหลือง ส้ม และมีลักษณะกลม หรือรูปไข่ สอดคล้องกับงานทดลองของ Duponnois *et al.* (2001) ที่ตรวจสอบลักษณะและปริมาณเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา ในประเทศ เซเนกัล ที่พบลักษณะสปอร์หลากหลายเช่นกันไม่ว่าจะเป็นสี ดำ สีน้ำเงินเข้ม มากกว่าสีอื่น รวมทั้งสีน้ำตาล และ ดำน้ำตาล โดยมีปริมาณเฉลี่ยตั้งแต่ 116-418 สปอร์/ดิน100 กรัม ขณะที่การทดลองของ Safari Sinegani and Sharifa (2007) ที่ตรวจสอบหาปริมาณเชื้อราไมคอร์ไรซาในดินขอพืช 7 ชนิดในกระถางโดยนำดินธรรมชาติมาปลูกพืชในกระถางพบปริมาณของสปอร์สูงเฉลี่ยถึง 126-453 สปอร์/ดิน10 กรัม ทั้งนี้อาจจะเกิดจากปัจจัยของดินที่ปลูกมีสภาพเหมาะต่อการขยายตัวของเชื้อราไมคอร์ไรซ่าที่เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกพืช รวามทั้งผันแปรตามชนิดของพืชที่ปลูกอีกด้วย

สำหรับการทดลองในการเติมเชื้อไมคอร์ไรซา และการใช้เชื้อ PGPR เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร และส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นลำไย พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สอดคล้องกันงานทดลองของ Safari Sinegani and Sharifa (2007) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดินที่ใช้ในการทดลองมีระดับค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.0-7.9 ซึ่งจากงานทดลองนี้วัดค่าเฉลี่ยหลังจากการใส่เชื้อทั้งสองกลุ่มแล้วลดลงเหลือ 6.53-6.56 อย่างไรก็ตามการเติมเชื้อไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวจะสามารถยกระดับค่าความเป็นกรด-ด่างได้มากกว่าดำรับอื่นเล็กน้อย ส่วนการเติมเชื้อ PGPR ในข้าวโพดที่ปลูดด้วยระบบอินทรีย์ในเขตจังหวัดเชียงใหม่ก็ตอบสนองต่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพียงเล็กน้อยเช่นกัน เมื่อเทียบกับตัวอย่างดินก่อนการทดลอง (อรวรรณ และคณะ , 2552) สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มสูงขึ้นจากการใช้เชื้อไมคอร์ไรซ่าและ PGPR นั้นน่าจะเป็นผลสืบเนื่องจากการทำงานของปุ๋ยจุลินทรีย์ดังกล่าว โดยเฉพาะหากดินมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ การเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุจะเห็นอย่างเด่นชัดเมื่อมีการใช้เชื้อไมคอร์ไรซา เช่นงาน

ทดลองของ Kragiannidis *et al.* (1997) ที่นำเชื้อไมคอร์ไรซาไปเติมให้กับต้นองุ่นในดินเนื้อร่วนปนทรายและมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำเพียง 1.2% ร่วมทั้งปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่ถึง 10 ppm นั้นทำให้พบการตอบสนองของเชื้อไมคอร์ไรซาต่อการดูดธาตุอาหารขององุ่น ปริมาณสปอร์ของไมคอร์ไรซาและการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุเด่นชัดกว่าการไม่เติมเชื้อไมคอร์ไรซา สำหรับปริมาณโพแทสเซียมใต้ทรงพุ่มของลำไยนั้น ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ เมื่อมีการใช้เชื้อทั้งสองเดี่ยวๆหรือใช้ร่วมกับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณโพแทสเซียมใต้ทรงพุ่มลำไยอยู่ในระดับที่สูงคือ 315-412 mgK/kg ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมดังกล่าวไม่ตอบสนองต่อการใส่เชื้อในทุกตำรับ สอดคล้องกับงานทดลองของ อรวรรณ และคณะ (2552) และ Safari Sinegani and Sharifa (2007) ซึ่งงานทดลองของทั้งสองได้ทำการทดสอบการใช้เชื้อ PGPR และเชื้อไมคอร์ไรซา เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตลำไยและลิ้นจี่ศูนย์วิจัยและพัฒนาลำไยและลิ้นจี่. 2543. **การผลิตลำไย.** มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ศูนย์วิจัยและพัฒนาลำไยและการผลิตลำไย. 128 น.

จำเนียร ทองพันชั่ง. 2546. **การปลูกลำไย.** นนทบุรี. เกษตรสาสน์. 128น.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2541. **มลพิษสิ่งแวดล้อม.** ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (5), 397น.

อุทัยวรรณ แสงวณิช. 2534. **เอดโตไมคอร์ไรซาของพืชป่าไม้.** เอกสารประกอบการบรรยายในโครงการ

อนงค์ จันทร์ศรีสกุล. 2542. **เห็ดเมืองไทย เทคโนโลยีการเพาะเห็ด.** ไทยวัฒนาพานิช จำกัด กทม.

อนันต์ ดำรงสุข. 2547. **ลำไย.** กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์. 152 น.

อนิวรรต เฉลิมพงษ์ และธีรวัฒน์ บุญทวี. 2524. **การสำรวจเชื้อราไมคอร์ไรซ่าที่สัมพันธ์กับรากต้นไม้ใน**

อรอวรรณ ฉัตรสีรุ้ง, จิราพร ดุติวุฒิกุล, อังสนา อัครพิศาล, สมศักดิ์ จีรัตน์, สุพัตรา จีรัตน์, ยุทธศักดิ์ ยืนน้อย และอภิศักดิ์ กำเพ็ญ. 2552. **โครงการศักยภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนปีที่ 1 ในที่นา ต.แม่ทา อ.ม่ออน จ.เชียงใหม่** .รายงานวิจัยเพื่อท้องถิ่นฉบับสมบูรณ์ (สกว.สำนักงานภาค). 98 น.

Akbari, G.A., S.M. Arab, H.A. Alikhani, I. Allahdadi and M.H. Arzanesh. 2007. **Isolation and selection of indigenous Azospirillum spp. and the IAA of superior strains effects on wheat roots**. World J. Agric. Sci. 3 (4), 523–529.

Al-Raddad, A. 1993. **Distribution of different Glomus species in rainfed areas in Jordan**. Dirasat, 20: 165-182.

Arangarasan, V., S.P. Palaniappan and S. Chelliah. 1998. **Inoculation effects of diazotrops and phosphobacteria on rice.** Indian Journal of Microbiology, 38:111-112.

Bai, Y., B. Pan., T.C. Charles and D.L. Smoth. 2002. **Co-inoculation dose and root zone temperature for plant growth promoting rhizobacteria on soybean (Glycine max (L.) Merr) grown in soil-less media.** Soil Biology & Biochemistry, 34: 1953–1957

Bloemberg. G.V and B. J. J. Lugtenberg. 2001. **Molecular basis of plant growth promotion and biotecontrol by rhizobacteria. Curr.** Opi. In Plant Bio, 4:343-350

Burndrett, M.C and L.K. Abbott. 1995. **Mycorrhizal fungus propagules in the Jarrah Forest. II. Spatial variability in incoculum levels.** New Phytologist 131 (4): 461-469

Cha, C., P. Gao., Y.C. Chen., P.D. Shaaw and S.K. Farrand. 1998. **Production of acyl-homoserine lactone quorum-sensing signals by Gram-negative plant-associated bacteria.** Mol. Plant Microbe Inter. 11:1,1,119-1,129.

Chalermpongse, A. 1994. **Paper presented to the Tentative Training Program on the Culture and Deep- Processing Techniques of Edible Fungi for the Sino-Thai Scientific and Technical Copperation Program 1993 – 1994**, Organized by Kasetsart University, Bangkok,Thailand, June 24 – July 5.

Daniels, R., J. Vanderleyden and J. Michiels. 2004. **Quorum sensing and swarming migration in bacteria.** FEMS Microbiology Reviews, 28:261-289.

Dodd, J.C and D.F. Phillip. 1996. **Spore and root extraction from pot culture[online].** Available :http:www.bio.uke.ac.uk/beg.Protocols/extraction.htm. [2012, Sep 05]

Duponnois. R., C. Plenchette, J. Thioulouse and P. Cadet . 2001. **The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different aged fallows in Senegal.** Applied Soil Ecology 17 (2001) 239–251

Eissenstat, D.M., J.H. Graham, J.P. Syvertsen and D.L. Drouillard. 1993. **Carbon economy of sour orange in relation to mycorrhizal colonization and phosphorus status.** Ann. Bot. 71:1-10.

Esitken, A.. H. Karlidag, S. Ercisli and F. Sahin. 2002. **Effects of foliar application of Bacillus subtilis Osu-142 on the yield, growth and control of shot-hole disease (Coryneum blight) of apricot.** Gartenbauwissenschaft 67, 139–142.

Esitken, A., H. Karlidag. S. Ercisli, M. Turan and F. Sahin. 2003. **The effect of spraying a growth promoting bacterium on the yield, growth and nutrient element composition of leaves of apricot (Prunus armeniaca L. cv. Hacihaliloglu).** Aust. J. Agric. Res. 54, 377–380.

Esitken, A., L. Pirlak, M. Turan and F. Sahin. 2006. **Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry.** Sci. Hort. 110, 324–327.

Fray, R.G. 2002. **Altering plant-microbe interaction through artificially manipulating bacterial quorum sensing.** Ann. Bot., 89:245-253.

Gerdemann, J.W. 1968. **Vesicular – arbuscular mycorrhiza and plant growth.** Annu. Rev. Phytopathologe 6:397-418.

Glick, B.R., C.L. Patten, G. Holguin and D.M. Penrose, 1999. **Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria.** Imperial College Press, Waterloo, Ontario, Canada, total number of page.

Graham, J.H. 1986. **Citrus mycorrhizae: potential bene®ts and interactions with pathogens.** HortScience 21, 1302±1306.

Han, J., L. Sun., X. Dong., Z. Cai., X. Sun., H. Yang., Y. Wang and W. Song. 2005. **Characterization of a novel plant growth-promoting bacteria strain *Delftia tsuruhatensis* HR4 both as a diazotroph and a potential biocontrol agent against various pathogen.** Syst. and Applied Micro., 28:66-76.

Harley, J. L and S. E. Smith, 1983. **Mycorrhizal Symbiosis.** Academic Press, Toronto.

Hause, B., W. Maier., O. Miersch., R. Kramell and D. Strack. 2002. **Induction of jasmonate biosynthesis in arbuscular mycorrhizal barley roots.** Plant Physiol., 130:1,213-1,220.

Islam, N and L.C. Bora. 1998. **Biological management of bacterial leaf blight of rice (*Oryza sativa*) with plant growth promoting rhizobacteria.** Ind. J. Agric. Sci., 68:798-800.

James, E.K., V.M. Reis., F.L. Olivares., J.I. Baldani and J. Dobereiner. 1994. **Infection of sugar cane by the nitrogen-fixing bacterium *Acetobacter diazotrophicus*. J.** Exp. Bot., 45:757-766.

Jetiyanon. K and J.W. Kloepper. 2002. **Mixtures of plant growth-promoting rhizobacteria for induction of systemic resistance against multiple plant diseases.** Biological Control, 24:285-291.

Johnson, C.R. 1984. **Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization photosynthesis growth and nutrient composition of Citrus aurantium**. Plant and Soil 80, 35±42.

Kanungo, P.K., B. Ramakrishnan and V.R. Rao. 1997. **Placement effect of organic sources on nitrogenase activity and nitrogen-fixing bacteria inflooded rice soils.** Biology and Fertility of Soils. 25:103-108.

Karlidag, H., A. Esitken, M. Turan and F. Sahin. 2007. **Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient element contents of leaves of apple**. Scientia Hort.114:16-20.

Kennedy, I.R and Y. Tchan. 1992. **Biological nitrogen fixation in nonleguminous field crops: recent advances.** Plant and Soil, 141:93-118.

Kloepper, J.W. 1994. **Plant growth promoting bacteria (other systems). In: Okon, J. (Ed.), Azospirillum/Plant Association**. CRC Press, Boca Raton, pp. 137–154.

Kragiannidis, N., D. Velemis and N. Stavroroulos. 1997. **Root colonization and spore population by VA-mycorrhizal fungi in four grapevine rootstocks**. Vitis 36 (2), 57-60

Kurek, E and J. Jaroszuk-Scisel. 2003. **Rye (*Secale cereale*) growth promotion by *Pseudomonas fluorescens* strains and their interactions with *Fusarium culmorum* under various soil conditions.** Biological Control, 26:48-56.

Lithgow, J. K., A. Wilkinson, A. Hardman, B. Rodelas, F. WisniewskiDye, P. Williams and J. A. Downie. 2000. **The regulatory locus *cinRI* in Rhizobium leguminosarum controls a network of quorumsensing loci**. Mol Microbiol 37, 81–97

Marx, D.H and J.P. Barnett. 1974. **MycorrhiZae and Containerized forest tree seedling. Proc of the North American.** Containerized Forest Tree Improvement Symposium. August 1974, Denver, Colorado, Great Plain Agriculture Council Pubi., No. 86. p. 85-92.

Malik, K.A., M.S. Mirza., U. Hassan., S. Mehnaz., G. Rasul., J. Haurat., R. Bally and P. Normand. 2002. **The role of plantassociated beneficial bacteria in rice-wheat cropping system. In: Biofertilisers in Action. Rural Industries Research and Development Corporation.** Kennedy, I.R. and Choudhury, A.T.M.A. (eds.). Canberra. p. 73-83.

Mayak, S., T. Tirosh and B.R. Glick. 1999. **Effect of wild-type and mutant plant growth-promoting rhizobacteria on the rooting of mung bean cuttings.** J. Plant Growth Reg., 18:49-53.

Mc Gee, P. 1989. **Variation in propagule numbers ofvesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a semi-arid soil**. New Phytopathology, 92: 28-33.

Mellado, C. 2000. **Title of abstract.** Proceedings of 8th International Symposium on Nitrogen Fixation with Non Legume; December 3-7, 2000; The University of Sydney NSW, Australia, page number of abstract.

Menge, J.A. 1983. **Utilization of vesicular±arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture**. Can. J. Bot. 61, 1015±1024.

Metraux, J.P. 2001. **Systemic acquired resistance and salicylic acid: current state of knowledge.** Eur. J. Plant Pathol., 107:13-18.

Mikola, 1973. **Application of mycorrizai symbiosis in Forest Practice, Ectomycorrhizae**. cademic Press Inc., New York and London. P. 383-415.

Mohammad, M.J., S. R. Hamadt and H. I. Malkawit. 2003. **Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors**. Journal of Arid Environments. 53: 409-417

Mosse, B. 1981. **Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Research for Tropical Agriculture.** Research Bull. 194. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii. Honolulu. USA. 82 p.

Nealson, K.H and J.W.Hastings, 1979. **Bacterial bioluminescence : its control and ecological significance.** Microbiol. Rev., 43:496-518.

Orhan, E., A. Esitken, S. Ercisli, M.Turan and F. Sahin. 2006. **Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry**. Sci. Hort. 111, 38–43.

Probanaza, A., G.J.A Lucas., P.M. Ruiz., B. Ramos and M.F.J. Gutierrez. 2002. ***Pinus pinea* L. Seedling growth and bacterial rhizosphere structure after inoculation with PGPR Bacillus (*B. licheniformis* CECT 5106 and *B. pumilus* CECT 5105).** Applied Soil Ecology, 20:75-84.

Ramos, B., G.J.A. Lucas., A. Probanza,. M.L. Barrientos and M.F.J. Guterrrez. 2002. **Alterations in the rhizobacterial community associated with European alder growth when inoculated with PGPR strain *Bacillus licheniformis*.** Environmental and Experimental Botany, 49:61-68.

Redhead, M.L.G. 1975. **Symmetry in intertheory relaticn.** Synthese. 32, 77-112.

Reymond, P and E.E. Farmer., 1998. **Jasmonate and salicylate as global signals for defense gene expression.** Curr. Opin. Plant Biol., 5:404-411.

Rodriguez, H and R.Fraga. 1999. **Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion.** Biotechnol. Adv. 17, 319–339.

Safari, S and Z. Sharifa. 2007. **The Abundance of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Spores in Rhizospheres of Different Crops.** Turk J Biol 31 (2007) 181-185

Saleh, S.A., G.A.A. Mekhemar., A.A.A. El-Soud., A.A. Ragab and F.T. Mikhaeel. 2001. **Survival of *Azorhizobium* and *Azospirillum* in different carrier materials: inoculation of wheat and *Sesbania rostrata*.** Bulletin of Faculty of Agriculture, Cairo University, 52:319-338.

Singh, U.P., B.K. Sarma and D.P. Singh. 2003. **Effect of plant growth-promoting rhizobacteria and culture filtrate of *Sclerotium rolfsii* on phenolic and salicylic acid contents in chickpea *(Cicer arietinum)*.** Curr. Microbiol., 46:131-140.

Son, C.L and S.E., Smith. 1988. **Mycorrhizal growth responses: interactions between photon irradiance and phosphorus nutrition. New Phytologist**.108: 305–314.

Stacey, G., R.H. Burris and H.J. Evans. 1992. **Biological Nitrogen Fixation**. Routledge, Chapman and Hall, Inc., New York.

Sturz, A.V and J. Nowak. 2000. **Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations with crops**. Appl. Soil Ecol. 15, 183–190.

Sudhakar, P., G.N. Chattopadhyay, S.K. Gangwar and J.K. Ghosh. 2000. **Effect of foliar application of Azotobacter, Azospirillum and Beijerinckia on leaf yield and quality of mulberry (Morus alba)**. J. Agric. Sci. 134, 227–234.

Thomson, B.D.N. Malajcuk, T.S. Grove and G.E.J. Hardy. 1993. **Improving the colonization of ectomycorrhizal fungal cultures by association with a host plant and re-isolation.** *Mycological Research*. 97 : 839-844.

Walkley, A. and I.A. Black, 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil. Sci. Amer. Proc. 63:257.

Wani, S.P. 1990. **Inoculation with associative nitrogen fixing bacteria in cereal grain production improvement.** Indian J. Microbiol. 30, 363–393.

Watanabe, F.S. and S. R. Osen. 1962. **Calorimetric determination of phosphorus in water extracts of soil.** Soil Sci.93:183-188.

Wayne E. S. 1980. **Handbook on reference methods for soil testing**. University of Georgia, Athens

Weild, V.I., E. Paiva., A. Nobrega., D. Elsasvand and L. Selgin. 2000. **Diversity of Paenibacillus polymyxa strain isolated from the rhizosphere of maize planted in Cerrado soil.** Res. Microbiol., 151:369-381.