



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา

สาขา

ปฐพีวิทยา

ภาควิชา

เรื่อง การส่งเสริมการเจริญเติบโตของสบู่ดำพันธุ์อินเดียด้วยเชื้อรา *Glomus aggregatum* ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และหินฟอสเฟตอัตราต่างกันในชุดดินกำแพงแสน

Growth Enhancement of Physic Nut (*Jatropha curcas* L. cultivar India) Infected by *Glomus aggregatum* as Apply with Different Levels of Organic Fertilizer, Chemical Fertilizer and Phosphatic Rock in Kamphaeng-Saen Soil Series

นางผู้วิจัย นางสาวสุกานดา ศิลปชัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ธงชัย มาลา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ถวัลย์ศักดิ์ เผ่าสังข์, D.Agr.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรณพศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การส่งเสริมการเจริญเติบโตของสบู่ดำพันธุ์อินเดียด้วยเชื้อรา *Glomus aggregatum* ร่วมกับ
ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และหินฟอสเฟตอัตราต่างกันในชุดดินกำแพงแสน

Growth Enhancement of Physic Nut (*Jatropha curcas* L. cultivar India) Infected by *Glomus*
aggregatum as Apply with Different Levels of Organic Fertilizer, Chemical Fertilizer and
Phosphatic Rock in Kamphaeng-Saen Soil Series

โดย

นางสาวสุกานดา ศิลปชัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2552

สุกานดา ศิลปชัย 2552: การส่งเสริมการเจริญเติบโตของสับปะรดพันธุ์อินเดียด้วยเชื้อรา *Glomus aggregatum* ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และหินฟอสเฟตอัตราต่างกันในชุดดิน กำแพงแสน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชา ปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ธงชัย มาลา, Ph.D.
102 หน้า

ศึกษาการส่งเสริมการเจริญเติบโตของสับปะรดพันธุ์อินเดียด้วยเชื้อรา *Glomus aggregatum* ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และหินฟอสเฟตอัตราต่าง ๆ การศึกษานี้วางแผนการทดลองแบบ 2 x 2 x 4 factorial in RCBD ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา 2 ระดับ คือ ไม่ใส่เชื้อรา และใส่เชื้อรา 300 กรัมต่อดิน ปัจจัยที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ระดับ คือ 2 และ 4 กิโลกรัมต่อดิน และปัจจัยที่ 3 ปุ๋ยฟอสเฟต 4 ระดับ คือ หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อดิน และปุ๋ยทรูปเปิดซูเปอร์ฟอสเฟต 27 และ 54 กรัมต่อดิน วิธีการศึกษาประกอบด้วย การตรวจหาจำนวนสปอร์ในดินและความหนาแน่นของการเข้าสู่รากพืชของเชื้อรา การบันทึกข้อมูลด้านการเจริญเติบโต และผลผลิตของสับปะรด การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดิน และการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบและส่วนเหนือดินของสับปะรด

ผลการศึกษาพบว่า การใส่เชื้อรา การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และ การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตมีผลต่อจำนวนสปอร์และความหนาแน่นการเข้าสู่รากพืชของเชื้อรา การเจริญเติบโตด้านความสูงต้น จำนวนกิ่งต่อดิน น้ำหนักแห้งต้น ความยาวราก ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตด้านจำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อดิน จำนวนเมล็ดต่อดิน น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ด ตลอดจนปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบและส่วนเหนือดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ดารับที่ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อดิน และดารับที่ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อดิน เป็นดารับที่ส่งเสริมให้สับปะรดมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุด รวมทั้งจำนวนสปอร์และความหนาแน่นการเข้าสู่รากพืชของเชื้อราด้วยเช่นกัน

Sukanda Silpachai 2009: Growth Enhancement of Physic Nut (*Jatropha curcas* L. cultivar India) Infected by *Glomus aggregatum* as Apply with Different Levels of Organic Fertilizer, Chemical Fertilizer and Phosphatic Rock in Kamphaeng-Saen Soil Series. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Mala, Ph.D. 102 pages.

A study on growth enhancement of physic nut cv. India after pruning by *Glomus aggregatum* and different levels of organic and phosphate fertilizer. The treatments were arranged in 2x2x4 factorial in randomized complete block with 3 replications. Two levels of VA-mycorrhizal fungi were non-inoculation and inoculation, while, two levels of organic fertilizer were 2 and 4 kg/plant and four levels of phosphate fertilizer were 204 and 408 g/plant of rock phosphate and 27 and 54 g/plant of triple superphosphate. Laboratory analyses on their number spore and root colonization density of VA-mycorrhizal fungi, growth and yield of physic nut, some chemical properties and nutrient contents in plant and soil.

The results revealed that VA-mycorrhizal fungi inoculum, organic and phosphate fertilizer affected spore number, root colonization density, plant height, branch number, dry weight of plant, root length, fruit/branch, fruit/plant, seed/plant, dry weight of fruit, seed weight, 100 seed weight, some chemical properties in soil; total N, available P and exchangeable Ca and nutrient contents in leaf and shoot of plant; total N, P, K and Ca. In addition, the application of VA-mycorrhizal fungi applied with 4 kg/plant of organic fertilizer and VA-mycorrhizal fungi applied with 408 g/plant of rock phosphate increased more growth, yield of physic nut, spore number and root colonization density than other treatments.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มาลา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาทั้งในด้านการเรียน การวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณดร.ถวัลย์ศักดิ์ เผ่าสังข์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้ให้คำแนะนำ ในด้านงานวิจัย และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ขงยุทธ โอสดสภา ประธานการสอบ และ ดร.พิทยากร ลิ้มทอง ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เพิ่มเติมจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาปรัชญาพิวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ที่ให้การอบรมสั่งสอนวิชาความรู้ต่าง ๆ

ขอขอบคุณสำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือที่จริงใจจากอาจารย์อัญธิชา พรหมเมืองคุก และสำหรับความเป็นเพื่อนที่ดีเสมอมาจากคุณ โอ๊ต จ๊ับ พี่พีช พี่ก้อย พี่หนิง และพี่ น้องภาควิชา ปรัชญาพิวิทยาทุกท่าน

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่กั้งสดาล คุณพ่อประวัติ คุณตา ที่ได้อบรมเลี้ยงดูสั่งสอน เป็นกำลังใจ และคอยสนับสนุนในการศึกษาจนสำเร็จ รวมทั้งน้องสาวทั้งสองคน กรรณิกา เกตุมาลา ที่เป็นกำลังใจ และด้วยความดีหรือประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจมาตลอดในการศึกษา

สุกานดา ศิลปชัย

มีนาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	80
สรุป	80
ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	82
ภาคผนวก	97
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณธาตุปุ๋ยในปุ๋ยคอกจากมูลเป็ด	22
2 ดำรับการทดลอง	29
3 จำนวนสปอร์ในดินที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสบู่ดำ (สปอร์ต่อกรัม) ในเดือนที่ 3, 6 และ 9	41
4 การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสบู่ดำ (เปอร์เซ็นต์) ในเดือนที่ 3, 6 และ 9	42
5 ความสูงของต้นสบู่ดำระยะเจริญเติบโต (เซนติเมตร) เดือนที่ 1-3	46
6 ความสูงของต้นสบู่ดำระยะติดดอก ผลอ่อน (เซนติเมตร) เดือนที่ 4-6	47
7 ความสูงของต้นสบู่ดำระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (เซนติเมตร) เดือนที่ 7-9	48
8 จำนวนกิ่งของสบู่ดำระยะเจริญเติบโต (กิ่งต่อต้น) เดือนที่ 1-3	51
9 จำนวนกิ่งของสบู่ดำระยะติดดอก ผลอ่อน (กิ่งต่อต้น) เดือนที่ 4-6	52
10 จำนวนกิ่งของสบู่ดำระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (กิ่งต่อต้น) เดือนที่ 7-9	53
11 ความยาวรากที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสบู่ดำ (เซนติเมตร) เดือนที่ 3, 6 และ 9	56
12 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสบู่ดำหลังการเก็บเกี่ยว (กรัมต่อต้น)	57
13 จำนวนผลต่อข้อ (ผล) ผลต่อต้น (ผล) และเมล็ดต่อต้น (เมล็ด) ของสบู่ดำ	60
14 น้ำหนักผลสดต่อต้น น้ำหนักผลแห้งต่อต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และ น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม) ของสบู่ดำ	61
15 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC _e 1:1) (เดซิซีเมนต่อเมตร) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ในดินที่ระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 3)	67
16 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC _e 1:1) (เดซิซีเมนต่อเมตร) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ในดินระยะติดดอก ผลอ่อน (เดือนที่ 6)	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC _e 1:1) (เดซิซีเมนต่อเมตร) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ในดินหลังการเก็บเกี่ยว (เดือนที่ 9)	69
18	ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในดินของการปลูกสับดูดำ ระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 3)	70
19	ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในดินของการปลูกสับดูดำ ระยะออกดอก ติดผล (เดือนที่ 6)	71
20	ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในดินของการปลูกสับดูดำ หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนที่ 9)	72
21	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์) ในใบของสับดูดำระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 3)	77
22	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์) ในใบของสับดูดำระยะออกดอก ติดผล (เดือนที่ 6)	78
23	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์) ส่วนเหนือดินของสับดูดำหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนที่ 9)	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	98
2	วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการประเมินจากผลการ วิเคราะห์ดิน	100
3	สมบัติของดินทั่วไปเปรียบเทียบกับดินเค็ม ดินโซดิก และดินเค็มโซดิก	101

**การส่งเสริมการเจริญเติบโตของสบู่ดำพันธุ์อินเดียด้วยเชื้อรา *Glomus aggregatum*
ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และหินฟอสเฟตอัตราต่างกันในชุดดินกำแพงแสน**

**Growth Enhancement of Physic Nut (*Jatropha curcas* L. cultivar India) Infected
by *Glomus aggregatum* as Apply with Different Levels of Organic Fertilizer,
Chemical Fertilizer and Phosphatic Rock in Kamphaeng-Saen Soil Series**

คำนำ

ความต้องการใช้น้ำมันดีเซลในประเทศไทยช่วงประมาณ 10 ปีที่ผ่านมาสูงมาก กล่าวคือ ใน พ.ศ. 2543 ใช้น้ำมัน 42 ล้านลิตร เพิ่มขึ้นเป็นวันละ 60 ล้านลิตรในปี พ.ศ. 2549 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ คาดการณ์ว่าปี พ.ศ. 2555 จะมีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลวันละ 85 ล้านลิตร และเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคจึงได้มีการนำเข้าปิโตรเลียมเพิ่มขึ้นให้เพียงพอต่อความต้องการโดยปี พ.ศ. 2543 ประเทศไทยมีการนำเข้าปิโตรเลียมมูลค่ากว่า 300,000 ล้านบาท และนำเข้ามูลค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2547 มีมูลค่าถึง 550,000 ล้านบาท (Prueksakorn and Gheewala, 2006) ประกอบกับสถานการณ์ราคาปิโตรเลียมที่สูงขึ้นมาก จึงทำให้ประเทศไทยสิ้นเปลืองงบประมาณในการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงหลายแสนล้านบาท อย่างไรก็ตาม น้ำมันดิบเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป เป็นสาเหตุให้ทั้งภาครัฐและเอกชนมีการวิจัยหลายประเด็น เพื่อเตรียมความพร้อมเรื่องวิกฤตด้านพลังงาน รวมทั้งสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีแนวโน้มใหม่เพื่อการประหยัด และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน สบู่ดำจัดเป็นพืชที่ได้รับความนิยมจากภาครัฐ เอกชน และภาคเกษตรเป็นอย่างมาก เพราะน้ำมันจากสบู่ดำมีคุณสมบัติดีกว่าพืชอื่น ๆ และสามารถใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกประเภท อีกทั้งใช้น้ำมันที่สกัดจากเมล็ดโดยตรงกับเครื่องยนต์การเกษตรได้ดี (ระพีพันธ์, 2546) แต่เนื่องจากผลผลิตของสบู่ดำในปีแรกจะเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณ 800-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี แต่ในปีที่ 2 ผลผลิตจะลดลงเหลือประมาณ 300-500 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (สมบัติ, 2548) สาเหตุที่ผลผลิตสบู่ดำในปีที่ 2 ลดลงเนื่องมาจากสบู่ดำจะสร้างส่วนของลำต้น และกิ่งก้านจนหนาทึบ การสังเคราะห์แสง การสร้างและสะสมอาหารจึงลดลง ส่งผลให้การสร้างดอก ติดผล ความอุดมสมบูรณ์ของผล และผลผลิตลดลง (Schaffer and Gaye, 1989) นอกจากนี้ ในแต่ละรอบปีที่มีการปลูกสบู่ดำ ยังเกิดการสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากดิน ทั้งที่ลำเลียงไปสร้างส่วนของลำต้น กิ่ง ก้าน ใบ ดอก และผล หรือติดไปกับ

กิ่งก้านที่ตัดแต่ง หรือตัดไปกับผลผลิตที่เก็บเกี่ยว เมื่อสับดูเข้าสูปีที่ 2 และมีการตัดแต่งกิ่ง ผลผลิตอาจลดลงตามสาเหตุดังกล่าว จำเป็นต้องได้รับการดูแลเพิ่มมากขึ้น และต้องให้ธาตุอาหารในปริมาณที่เหมาะสมด้วย จึงควรใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมต่อความต้องการของสับดูในระยะการเจริญเติบโต จนถึงการใช้ผลผลิต ตลอดจนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมด้วยก็จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยเคมี นอกจากช่วยลดต้นทุนลงได้ส่วนหนึ่งแล้ว ยังช่วยปรับสภาพของดินทางกายภาพและชีวภาพให้ดีขึ้น (ธงชัย, 2550) ในต่างประเทศหรือแม้กระทั่งประเทศไทย ได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาเพื่อใช้ประโยชน์ในพืช โดยศึกษาพบว่า เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีความสัมพันธ์กับรากพืชในลักษณะพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (Davis and Menge, 1981) ทั้งยังช่วยเพิ่มการผลิตฮอร์โมน (phytohormones) เพื่อเร่งการเจริญเติบโตในพืช แม้จะไม่เจาะจงกับพืชอาศัย (Edriss *et al.*, 1984; Harley and Smith, 1983) นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มปริมาณในการหาอาหารในดินและเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารจากสารละลายในดินให้แก่พืช (Sieverding, 1991) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีความสำคัญกับพืชเศรษฐกิจหลายชนิดทั้งพืชไร่ พืชสวน พืชผัก ซึ่งจากการทดลองพบว่า ถ้านำเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามาใช้ร่วมกับพืช จะสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับพืชได้ โดยเฉพาะในดินที่มีคุณสมบัติในการตรึงฟอสฟอรัสได้ดี หรือดินที่มีธาตุฟอสฟอรัสต่ำ ซึ่งพืชไม่สามารถดูดธาตุอาหารเหล่านั้นมาเป็นประโยชน์ได้ เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาจะช่วยดูดธาตุอาหารเหล่านั้นให้พืชนำไปใช้ได้ และเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซายังช่วยทำให้พืชทนแล้งและต้านทานต่อการเกิดโรคพืชได้ด้วย (Ellis *et al.*, 1985) มีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาในพืช เช่น ส้ม (พิชิต, 2548) ทุเรียน (ศรีธนา, 2545) ข้าวโพด (ธงชัย และคณะ, 2551; วชิราภรณ์, 2548) ข้าวฟ่าง (แสงดาว, 2549) ถั่วเขียว (มธุรส, 2542) ถั่วเหลือง (ธงชัย และคณะ, 2546; พนิดา, 2547) และถั่วลิสง (ปัทมา, 2539) เป็นต้น ส่วนในพืชสับดูมีการศึกษาอยู่บ้างแต่ไม่ได้เจาะจงกับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว (สุกานดา, 2549) และในทุกการทดลองพบว่า การใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาช่วยส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อราอย่างเด่นชัด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาประโยชน์จากเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา *Glomus aggregatum* ที่มีต่อการเจริญเติบโตจนกระทั่งให้ผลผลิตของสับดูหลังตัดแต่งกิ่ง เพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นในปีที่ 2 และปีต่อไป รวมทั้งการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยฟอสเฟตร่วมด้วย เพื่อให้ทราบแน่ชัดถึงความเป็นประโยชน์และความเหมาะสมในการนำมาใช้บำรุงรักษา จนกระทั่งการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของสับดู และความเหมาะสมของอัตราและชนิดของปุ๋ยต่อการใช้ร่วมกันต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการอยู่รอดของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา *Glomus aggregatum* ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสับด้าพันธุ์อินเดียหลังการตัดแต่งกิ่ง
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อรา *Glomus aggregatum* ในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของสับด้าพันธุ์อินเดีย เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และหินฟอสเฟต
3. ศึกษาความสัมพันธ์ของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และหินฟอสเฟตที่มีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับด้าพันธุ์อินเดีย
4. ศึกษาปริมาณการสะสมธาตุอาหารในส่วนเหนือดิน และปริมาณธาตุอาหารในดินที่ระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของต้นสับด้าพันธุ์อินเดีย

การตรวจเอกสาร

น้ำมันเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญ มีความจำเป็นในการคมนาคมขนส่ง ซึ่งล้วนแล้วแต่ใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซินเป็นแหล่งพลังงานแทบทั้งสิ้น ในวงการอุตสาหกรรมก็ใช้น้ำมันเป็นแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ ในประเทศไทยมีความจำเป็นต้องสั่งซื้อน้ำมันจากต่างประเทศปีละหลายแสนล้านบาท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะนี้ราคาน้ำมันได้แพงขึ้นอีกนับได้ว่าเป็นราคาสูงที่สุดเท่าที่เคยประสบมา (พิชัย, 2548) และจากเหตุการณ์วิกฤตการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น ส่งผลให้รัฐบาลให้ความสนใจในระดับนโยบาย ให้มีการผลิตสบู่ดำและส่งเสริมการใช้น้ำมันสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงทดแทนพลังงาน เนื่องจากสบู่ดำเป็นพืชที่ปลูกได้ทั่วประเทศ ทนแล้ง ให้ผลผลิตตั้งแต่ปีแรกของการปลูก และน้ำมันสบู่ดำมีคุณสมบัติดีกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้อย่างดี (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดชัยนาท, 2550) จึงมีความพยายามในการหาช่องทางประหยัดพลังงานน้ำมันหลายรูปแบบ อาทิ การนำแอลกอฮอล์ไปเสริมในน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล การพยายามนำน้ำมันที่ใช้ประโยชน์ในการทอดแล้วมาใช้ในการเดินเครื่องยนต์ดีเซลและแนวทางต่าง ๆ อีกหลายรูปแบบ รวมถึงการนำน้ำมันสกัดจากเมล็ดสบู่ดำมาใช้ในการเดินเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นสบู่ดำเป็นอย่างดี สมควรที่จะส่งเสริมให้มีการปลูกสบู่ดำกันอย่างแพร่หลายเพื่อใช้ประโยชน์จากการผลิตน้ำมันจากสบู่ดำ (พิชัย, 2548)

1. สบู่ดำ

สบู่ดำเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* L. มีชื่อสามัญคือ barbadose nut, physic nut และ purging nut ชื่ออื่นที่เรียกแต่ละท้องถิ่นคือ หมักเยา มะเยา มะหัว มะหุ้งฮั่ว มะโห่ง หงส์เทศ (ภาคเหนือ) สบู่หัวเทศ สลอดดำ สลอดป่า สลอดใหญ่ สีหลอด (ภาคกลาง) หมากเยา มะเยาหรือสีหลอด (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) หงส์เทศ (ภาคใต้) ไทยู หรือ เกงยู (ชาวเขา) พืชที่อยู่ในสกุล *Jatropha* นี้มีมากกว่า 470 ชนิด (species) จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae ซึ่งเป็นพืชกลุ่มเดียวกับยางพารา สบู่แดง ปัตตาเวีย ฝิ่นต้น มะละกอฝรั่ง หนุมานนั่งแท่น โป๊ยเซียน มันสำปะหลัง มะยม มะขามป้อม ผักหวานบ้าน น้ำมันราชสีห์ และมะไฟ (กองพืชไร่, 2549; พรชัย 2549)

Dehgan and Webster (1979) ระบุว่า ต้นสบู่ดำมีถิ่นกำเนิดที่ประเทศเม็กซิโกและทางตอนเหนือของทวีปอเมริกากลาง เพราะต้นสบู่ดำในปัจจุบันมีความคล้ายคลึงกับต้นสบู่ดำพันธุ์ดั้งเดิมที่พบในประเทศเม็กซิโกและทางตอนเหนือของทวีปอเมริกากลางมากที่สุด แต่ Martin and Mayeux (1984) กล่าวว่า ต้นสบู่ดำมีถิ่นกำเนิดที่เมือง Ceara ประเทศบราซิล ดังนั้น ศาสตราจารย์ Dehgan แห่ง Horticultural Systematics Laboratory ได้นำตัวอย่างใบของต้นสบู่ดำมาอบแห้ง (herbarium) โดยนำตัวอย่างใบมาจากประเทศเม็กซิโก ทวีปอเมริกากลางและฝั่งทะเลแคริบเบียน: DAV, F, FLAS, GH, MICH, MO, NY, RSA, TEX, UC และ US รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง ปรากฏว่าส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สะสมที่ตัวอย่างใบที่มาจากประเทศเม็กซิโกและทวีปอเมริกากลางทั้งหมด: Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua and Panama ใกล้เคียงกับต้นสบู่ดำพันธุ์ดั้งเดิมมากที่สุด ทำให้ได้ข้อสรุปว่า ต้นสบู่ดำนั้นมีถิ่นกำเนิดที่ประเทศเม็กซิโกและทวีปอเมริกากลางและยังแพร่กระจายพันธุ์ไปยังฝั่งทะเลแคริบเบียนและอเมริกาได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความสับสนเรื่องถิ่นกำเนิด (Dehgan, 1984; Dehgan and Schutzman, 1994; Dehgan and Webster, 1979)

สำหรับในประเทศไทย มีรายงานว่า พ่อค้าชาวโปรตุเกสเดินเรือไปทวีปอเมริกากลางและนำเข้ามาในทวีปเอเชียและแพร่มายังประเทศไทยสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนปลาย โดยมีการแนะนำให้ผู้คนสมัยนั้นปลูกและพ่อค้ารับซื้อเมล็ดไปทำสบู่ (พรชัย, 2549) เคยมีการปลูกเป็นรั้วบ้าน ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ โดยใช้ยางใส ๆ ที่หักออกจากก้านใบ หรือส่วนยอดใช้ทาแผลสด โดยเฉพาะแผลที่ปากให้เด็ก ๆ ที่เป็นโรคปากนกกระจอกหรือใช้กวาดลิ้นเด็กที่เป็นฝีขาวและใช้เนื้อในเมล็ดสีขาวเสียบไม้ จุดแทนเทียนไข ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 เนื่องจากขาดแคลนน้ำมันก๊าดที่ใช้จุดตะเกียง (ระพีพันธุ์ และ สุขสันต์, 2548)

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1.1.1 ลำต้น มีความสูง 2-7 เมตร ลำต้นและยอดคล้ายละหุ่ง แต่ไม่มีขน ลำต้นเกลี้ยงเกลา เพราะ หักง่าย เพราะเนื้อไม้ไม่มีแก่น (Heller, 1996)

1.1.2 ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) คล้ายใบพุดตาน แต่หนากว่า เพราะมีใบเคลือบผิวใบ ขอบใบมีรอยหยักตื้น ๆ ตั้งแต่ 3-7 หยัก กว้างและยาวประมาณ 6-15 เซนติเมตร ขึ้นกับพันธุ์และความสมบูรณ์ของต้น ฐานใบเป็นแบบ cordate ปลายเป็นแบบ mucronate ยกเว้นปลายใบตรงตำแหน่งหยักตรงกลางเป็นแบบ acute การจัดเรียงตัวของเส้นใบเป็นแบบ palmately netted

แผ่นใบมีสีเขียวใบไม้ แผ่นใบมีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร และมีความกว้างประมาณ 17 เซนติเมตร ใบสลับและมีส่วนของก้านใบเชื่อมติดกับส่วนของลำต้น ก้านใบสีเขียว ความยาวก้านใบประมาณ 2.5-7.5 เซนติเมตร ตำแหน่งของการเกิดใบจะเกิดสลับกัน สลับตำแหน่งใบในฤดูแล้งเมื่อแล้งจัดจะทิ้งใบหมดทั้งต้น (Heller, 1996)

1.1.3 ดอก การออกดอกจะออกดอกบริเวณปลายกิ่ง ดอกเป็นช่อแบบช่อกระจุกซ้อน (dichasium) ชนิดดอกไม่สมบูรณ์เพศ กล่าวคือ ดอกเพศผู้และดอกเพศเมียอยู่แยกกัน แต่อยู่ภายในช่อดอกเดียวกัน (monoecious) ช่อดอกยาวประมาณ 6-10 เซนติเมตร ลักษณะดอกเป็นรูปถ้วย ดอกเพศผู้และดอกเพศเมียมีกลีบเลี้ยงและกลีบดอกจำนวน 5 กลีบเท่ากัน กลีบเลี้ยงมีสีเขียวอ่อนอมเหลือง ส่วนกลีบดอกมีสีเหลืองอมขาว มีต่อมน้ำหวานติดอยู่ที่โคนด้านในของกลีบดอก ดอกเพศผู้มีจำนวนเกสร 10 อัน เรียงเป็นวง 2 ชั้น ๆ ละ 5 อัน ดอกเพศเมียประกอบด้วยรังไข่และยอดเกสรเพศเมียเป็นรูปสามง่าม ส่วนของรังไข่แบ่งออกเป็น 3 พู (carpel) อัตราส่วนดอกเพศผู้: ดอกเพศเมียประมาณ 7: 1 สลับตำแหน่งเป็นพืชผสมข้าม ดอกเพศผู้ในช่อเดียวกันบานก่อนที่ดอกเพศเมียจะพร้อมรับการผสม ต้องมีแมลงช่วยในการผสมพันธุ์ เช่น ผีเสื้อกลางคืน และผึ้ง เป็นต้น ปริมาณดอกย่อยประมาณ 70-120 ดอกต่อช่อ จะติดผลเพียง 6-15 ผลเท่านั้น (ระพีพันธุ์ และ สุขสันต์, 2525; Dehgan and Webster, 1979)

1.1.4 ผล เป็นแบบผลเปลือกแข็ง (nut) มี 3 พู รูปร่างค่อนข้างกลมหรือป้อม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองสดและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนในที่สุด เมื่อปล่อยให้ผลแห้ง เปลือกนอกของผลจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ผลสด 1 ผล มีน้ำหนักประมาณ 15 กรัม ผลแห้งน้ำหนักจะลดลงเหลือเพียง 2.6 กรัม อายุของผลสลับตำแหน่งตั้งแต่ออกดอกถึงผลแก่ประมาณ 60-90 วัน (Heller, 1996)

1.1.5 เมล็ด มีความยาวประมาณ 1.94 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.16 เซนติเมตร เมล็ดมีน้ำหนักประมาณ 0.64 กรัม เมล็ดสลับตำแหน่งไม่มีการพักตัว (ระพีพันธุ์ และ สุขสันต์, 2525) รูปร่างเมล็ดของสลับตำแหน่งเป็นแบบรี เปลือกหุ้มสีดำ เมล็ดประกอบด้วยเนื้อเมล็ดสีขาว (albumen หรือ kernel) ประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 30-38 เปอร์เซ็นต์ และเปลือก 30-38 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ด เมล็ดสลับตำแหน่ง 100 เมล็ด น้ำหนักประมาณ 69.8 กรัมหรือประมาณ 1,000-2,000 เมล็ดต่อกิโลกรัม ส่วนของเนื้อเมล็ดและเปลือกมีน้ำมันประมาณ 51.99-62 เปอร์เซ็นต์ และ 0.98 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ด ตามลำดับ องค์ประกอบของเมล็ดสลับตำแหน่งพบว่าเมล็ดในของสลับตำแหน่งมีความชื้น ถ้า

โปรตีน ไขมัน และเส้นใยในปริมาณที่แตกต่างกันตามแหล่งที่เก็บตัวอย่างดังนี้ ความชื้น 3.8-7.8 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 20.2- 28.4 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 46.7-59.8 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 0.9-4.2 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 3.8-6.4 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของไขมัน มีกรดไขมันที่สำคัญ 4 ชนิด คือ ปาล์มมิติก สเตียริก โอเลอิก และไลโนเลอิก เช่นเดียวกับปาล์มน้ำมัน โดยปาล์มมิติกและสเตียริกมีน้อยเพียง 15.38 เปอร์เซ็นต์ และ 6.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนโอเลอิกและไลโนเลอิก มีค่อนข้างสูงคือ 40.23 เปอร์เซ็นต์ และ 36.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณกรดไขมันดังกล่าว อาจแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยขึ้นอยู่กับแหล่งที่ปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2549) นอกจากนี้ในเมล็ดยังมีสารเคอร์ซิน (curcun) กรดไซยานิก (cyanic acid) และโฟโบเลสเตอร์ (phorbolester) ซึ่งเป็นสารพิษพวกหนึ่ง โดยที่สารเคอร์ซินบริสุทธิ์มีความเป็นพิษสูงมาก (พรชัย, 2549; Heller, 1996; Trabi *et al.*, 1997; Winkler *et al.*, 1997)

1.1.6 ราก สบู่ดำที่เพาะจากเมล็ดจะมีรากแก้ว โดยมีการเจริญเติบโตในทางลึกลงดิน แล้วมีการแตกรากแขนง เมื่อต้นสบู่ดำมีอายุมากขึ้นจะมีรากฝอยกระจายทั่วไป (Heller, 1996)

1.2 การปลูกสบู่ดำและการดูแลรักษา

1.2.1 การเตรียมดิน เริ่มจากการไถพรวน เพื่อให้ดินโปร่ง มีการระบายน้ำและอากาศได้ดี และเป็นการกำจัดวัชพืช พื้นที่ปลูกควรเป็นพื้นที่ดอนหรือพื้นที่น้ำไม่ท่วมขังและได้รับแสงแดดจัดตลอดทั้งวัน (ชำนาญ, 2548)

1.2.2 การเตรียมท่อนพันธุ์ ใช้ท่อนพันธุ์ที่ตัดจากกิ่งสบู่ดำอายุ 6 เดือน เส้นผ่าศูนย์กลาง 7-8 เซนติเมตร เลือกกิ่งที่มีสีเขียวปนน้ำตาลเล็กน้อย เป็นกิ่งที่ไม่อ่อนและแก่เกินไป ทำให้สามารถแตกรากได้ง่าย ตัดกิ่งให้มีมีความยาว 30-60 เซนติเมตร แล้วนำมาปักชำในถุงปลูก วัสดุปลูกที่ใช้คือ เถ้ากลบ: กากมะพร้าว: ปุ๋ยหมัก อัตรา 3: 3: 1 (จร, 2527)

1.2.3 วางระยะปลูกและแนวปลูก ถ้าเป็นดินเลว ใช้ระยะปลูก 1x0.5 ตารางเมตร หรือ 1x1 ตารางเมตร และถ้าเป็นดินดี ใช้ระยะปลูก 1.5x1 ตารางเมตร หรือ 2x1 ตารางเมตร ดินควรมีการระบายอากาศและความชื้นที่ดี แต่ยังไม่มียางานความชื้นในดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกต้นสบู่ดำ (ชำนาญ, 2548) จึงให้ค่าความชื้นต่ำกว่าค่าความจุสนาม (field capacity) เล็กน้อย โดยช่วงความชื้นของดินหลังจากที่ให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วปล่อยให้ส่วนใหญ่น้ำได้ระบายออกจากดินด้วยแรงดึงดูด

ของโลก น้ำในดินที่ความชื้นระดับนี้จะมีพลังงานกำกับกอนดินอยู่ในช่วง -0.1×10^5 ถึง -0.5×10^5 ปาสคาลขึ้นกับสมบัติของดิน สำหรับดินในประเทศไทยทั่วไปจะหมายถึงความชื้นในดินที่มีพลังงานกำกับกอนดินประมาณ -0.1×10^5 ปาสคาล (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1.2.4 ขุดหลุมปลูกเล็ก 20 เซนติเมตร และกว้าง 30 เซนติเมตร ปลูกโดยใช้ท่อนพันธุ์ที่ปักชำในถุงปลูกที่ได้เตรียมไว้ หลังจากปลูกลงดิน 1 เดือน ใส่ปุ๋ยบำรุงต้นสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่อีกครั้งหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรก (ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา, 2548; ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548)

1.2.5 การให้น้ำ ต้นสับดูความต้องการน้ำต้นละ 5-10 ลิตรต่อวัน (สมศักดิ์, 2549) ให้น้ำทุก 15 วันอย่างสม่ำเสมอตลอดฤดูปลูก เพื่อให้ต้นมีความแข็งแรง โดยสามารถให้น้ำในช่วงแห้งทุก 7-15 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นและฤดูกาล ถ้าขาดน้ำจะทำให้เกิดสภาวะเครียดกับสับดู ซึ่งอาจก่อให้เกิดความอ่อนแอเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำโดยใช้ระบบน้ำหยดเข้ามาใช้ในการผลิตเป็นการค้า (ชำนาญ, 2548)

1.2.6 การให้ธาตุอาหาร เนื่องจากสับดูเป็นพืชที่ปลูกเพื่อนำเมล็ดไปสกัดเอาน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ดังนั้น ต้นสับดูจึงมีความต้องการแสง และธาตุอาหารบางธาตุสูงกว่าพืชที่ให้ผลผลิตที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากความต้องการธาตุอาหารพืช พิจารณาจาก 2 มิติ คือ เพื่อการดำรงชีพหรือเพื่อการสร้างราก ลำต้น และใบให้กับพืชปกติเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์พืชทางเคมีของสับดูมาประกอบ จึงสันนิษฐานว่า ความเข้มข้นของมหธาตุ (ระดับร้อยละ) และความเข้มข้นของจุลธาตุในระดับล้านละ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของน้ำหนักแห้งของสับดู จากการวิเคราะห์พืชใกล้เคียงกับของพืชอื่น ๆ และได้ให้คำแนะนำเบื้องต้นสำหรับการใช้ปุ๋ย ดังนี้ คือ ให้ใช้ปุ๋ยสูตรเสมอ เช่น 15-15-15 อัตราต้นละ 125 กรัมร่วมกับปุ๋ยคอก 2.5 กิโลกรัม รองกันหลุมขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร และลึก 50 เซนติเมตร รวมทั้งการใช้สารปรับปรุงดินเพื่อช่วยให้ดินมีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสับดู (ไพบุลย์, 2549) นอกจากนี้ควรคำนึงถึงความอยู่รอดและการเพิ่มปริมาณของสิ่งมีชีวิตในนิเวศวิทยาของแปลงเพาะปลูกสับดู (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

1.2.7 การตัดแต่งกิ่ง เป็นการลดปริมาณเชื้อสาเหตุโรคพืชในแปลงปลูก แต่ควรตัดแต่งกิ่งในสภาพอากาศที่เหมาะสม เพราะการตัดแต่งกิ่งทำให้เกิดรอยบาดแผล ซึ่งอาจเป็นทางเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ควรตัดแต่งกิ่งหลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 หรือเมื่อมีอายุประมาณ 1 ปี เนื่องจากต้นจะสูงเกินไปทำให้ยากต่อการดูแลและเก็บเกี่ยว และเป็น การนำกิ่งที่ตายและเสียหายออกจากพื้นที่เพาะปลูกด้วย การตัดควรตัดให้สูงจากพื้นดิน 40-60 เซนติเมตร และควรตัดก่อนฤดูฝน หลังตัดแต่งควรพ่นด้วยปุ๋ย 0-0-52 อัตราความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้แตกยอดใหม่ และเบนเลท ที่ ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันราเข้าทำลายทางแผลและคัดเลือกกิ่งที่สมบูรณ์สม่ำเสมอไว้ประมาณ 5 กิ่ง เพื่อไม่ให้แตกพุ่มมากเกินไป (สัมฤทธิ์, 2548)

1.3 ประโยชน์ของสบู่ดำ

ประโยชน์ที่สำคัญ คือ เป็นพลังงานทดแทน เมล็ดน้ำมันสามารถใช้น้ำมันจากสบู่ดำแทนน้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร เนื่องจากไม่ต้องผสมกับน้ำมันดีเซล ต่างจากน้ำมันชีวภาพอื่น ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม ที่จะต้องผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้ นอกจากนี้การใช้น้ำมันสบู่ดำยังให้ผลดีกว่าน้ำมันแก๊ส เพราะน้ำมันสบู่ดำมีค่าออกซิเจนสูงและมีสารหล่อลื่นให้เครื่องยนต์ทำงานได้ มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549; ระพีพันธุ์ และ สุขสันต์, 2544; รังษี และ อมรรักษ์, 2548; Heller, 1996; Reinhard, 2005) เช่นเดียวกับศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัด ชัยนาท (2550) รายงานว่า สบู่ดำใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน แต่ที่สำคัญมากที่สุด คือ เมล็ด หีบเป็นน้ำมันใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล

กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้ทดสอบและวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์เดียวกัน จำนวน 2 เครื่อง คือ เครื่องยนต์คูโบต้า 7 แรงม้า และเครื่องยนต์ยัมมาร์ 18 แรงม้าที่เดินเครื่องด้วยน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันสบู่ดำ ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าวันค่าของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันสบู่ดำและน้ำมันดีเซลเท่ากับ 13.42 เปอร์เซ็นต์ และ 13.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดไว้ไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเครื่องวัดควัน Bosch ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันสบู่ดำมีปริมาณ 587 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลมีปริมาณ 583 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

โดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดไว้ไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์ หรือ 60,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการตรวจหาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปลายท่อไอเสียของเครื่องยนต์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงอุตสาหกรรมพบว่า ไม่พบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบูดำ ในขณะที่การใช้น้ำมันดีเซลพบ 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อตรวจสอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่เดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันสบูดำครบ 1,000 ชั่วโมง ไม่พบยางเหนียวจับที่ชิ้นส่วน ทุกชิ้นยังคงสภาพดีเหมือนเดิม นอกจากนี้ ยังได้มีการทดสอบและวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องยนต์คูโบต้า 7 แรงม้าเช่นเดียวกับการทดสอบแรก แต่แตกต่างกันจำนวนรอบที่เดินเครื่องใช้จำนวนรอบ คือ 840, 2,160 และ 2,600 รอบต่อนาที เปรียบเทียบการใช้น้ำมันดีเซลกับการใช้น้ำมันสบูดำ ผลการทดสอบพบว่า ควันทาจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ย 13.67 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใช้น้ำมันสบูดำมีค่าเฉลี่ย 13.42 เปอร์เซ็นต์ สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบูดำมีค่าเฉลี่ย 587 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ย 583 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการตรวจหาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่า เครื่องยนต์ที่เดินเครื่องด้วยน้ำมันสบูดำไม่พบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เลย ในขณะที่ใช้น้ำมันดีเซลพบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ เมื่อเดินเครื่องยนต์ดีเซลคูโบตาดังกล่าวด้วยน้ำมันสบูดำครบ 1,000 ชั่วโมง ผลปรากฏว่า สภาพเครื่องยนต์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งยังไม่มียางเหนียวจับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบและวิเคราะห์ไอเสียเครื่องยนต์จากการทดสอบแรก แสดงว่าน้ำมันสบูดำสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเพื่อการเกษตรได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย ทำให้ลดต้นทุนในการประกอบอาชีพของเกษตรกร (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดชัยนาท, 2550)

สำหรับการทดสอบใช้น้ำมันสบูดำที่สกัดได้นำไปทดลองเดินเครื่องยนต์คูโบต้าดีเซล 1 สูบ แบบลูกสูบนอนระบบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ปริมาตรกระบอกสูบ 400 ซีซี 7 แรงม้าต่อ 2,200 รอบต่อนาที เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที) และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ซีซีต่อชั่วโมง) ระหว่างการใช้น้ำมันสบูดำกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ผลการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องยนต์กับการใช้น้ำมันของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันสบูดำกับน้ำมันดีเซล ปรากฏผลดังนี้ 1) ที่ความเร็วรอบเท่ากัน น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองมากกว่าน้ำมันสบูดำ และ 2) การทดลองใด น้ำมันดีเซลอัตราการสิ้นเปลืองมากกว่าน้ำมันสบูดำ เครื่องยนต์เดินเป็นปกติสม่ำเสมอตลอดเวลาไม่มีการน็อก ไม่ว่าจะเดินเครื่องปกติหรือเร่งเครื่องก็ตาม การเร่งเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบูดำใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว แต่ความสิ้นเปลืองน้อยกว่าเล็กน้อย (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดชัยนาท, 2550) ส่วนการทดสอบน้ำมัน

สบูดำที่บีบอัดได้กับเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้า 1 สูบ แบบลูกสูบนอกระบบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ปริมาตรกระบอกสูบ 400 ซีซี 7 แรงม้าต่อ 2,200 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลด้วยการทำงานรอบต่อนาทีเท่ากัน เพื่อดูความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้ ปรากฏว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบูดำไม่ว่าจะเดินเครื่องปกติหรือเร่งเครื่องก็ตาม เดินเครื่องสม่ำเสมอตลอดเวลาไม่มีการน็อกแต่อย่างใด อัตราการเร่งเท่ากันความสิ้นเปลืองน้ำมันสบูดำที่ใช้น้อยกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย กล่าวคือการทำงาน 1,500-2,000 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันสบูดำเฉลี่ยชั่วโมงละ 634.1 ซีซี ส่วนน้ำมันดีเซลใช้เฉลี่ย 653.3 ซีซี (พิชัย, 2551; ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดชัยนาท, 2550)

1.4 การศึกษาเพื่อเพิ่มผลผลิตของสบูดำ ได้มีหลายหน่วยงานและสถาบันที่เห็นประโยชน์จากน้ำมันสบูดำและมีการศึกษาเพื่อเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของสบูดำให้มากขึ้น ดังนี้ แนวทางหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีในการพัฒนาการเพิ่มผลผลิตคือการใช้สารคอลชิซิน (colchicine) หรือใช้ฮอร์โมนพืชบางชนิด เช่น จิบเบอเรลลิน (gibberellin) (โรจน์รวิ, 2550)

ศิริวรรณ และ รุ่งทิพย์ (2550) ศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสบูดำ โดยใช้ชิ้นส่วนตายอดตาข้าง ใบอ่อน ก้านใบ และไฮโปคอติล เลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร Murashige and Skoog (MS) ที่เติม Thidiazuron (TDZ) ความเข้มข้น 0.01-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.045-0.45 ไมโครโมลาร์) พบว่าเนื้อเยื่อของชิ้นส่วนต่าง ๆ สามารถพัฒนาเป็นแคลลัสได้ดี และยังพบว่า เนื้อเยื่อของใบอ่อนที่นำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.45 ไมโครโมลาร์) ร่วมกับโพรลีน (proline) ความเข้มข้น 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือเคซีน (Casein hydrolysate) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พัฒนาเป็นยอดจำนวนมากโดยไม่เกิดแคลลัส

การชักนำให้เกิดยอดทวีคูณในหลอดทดลองของสบูดำ ทำการศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการชักนำให้เกิดยอดทวีคูณของสบูดำ จากยอดที่ได้จากตาข้างขนาด 0.7 เซนติเมตร โดยการเลี้ยงยอดบนอาหารสูตร Murashige and Skoog (MS) ที่ประกอบด้วย N 6 benzyladenine (BA) เพียงชนิดเดียว หรือร่วมกับ indole-3-yl-butyric acid (IBA) ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าอาหาร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2.22 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ IBA ความเข้มข้น 0.049 ไมโครโมลาร์ ให้ผลในการเกิดยอดทวีคูณดีที่สุด ชักนำยอดให้เกิดรากโดยการย้ายยอดลงเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่ประกอบด้วย IBA ความเข้มข้น 2.46 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ แล้วย้ายลงบนอาหารสูตร MS ที่ปราศจากสารเร่งการเจริญเติบโต (นันท์นภัส และคณะ, 2549)

รวมทั้งการพัฒนาราก โดยมีออกซินเป็นตัวกระตุ้นการแบ่งเซลล์ของพีชอย่างรวดเร็ว ทำให้มีกลุ่มเซลล์ที่เกิดขึ้นจำนวนมากเป็นจุดกำเนิดราก (พวงผกา, 2548; เทียมใจ, 2546) ในการทำให้เกิดจุดกำเนิดรากนั้นพีชต้องการออกซินความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ยังต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมคือ ความชื้นสูง ออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิ และแสงที่เหมาะสม จึงทำให้เกิดจุดกำเนิดรากได้ (พีระเดช, 2529)

2. เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi)

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อรากับพืช

คำว่า “mycorrhiza” (พหูพจน์: mycorrhizas หรือ mycorrhizae) มาจากภาษากรีกว่า Mykos แปลว่า Mushroom หรือ fungus รวมกับ คำว่า rhiza แปลว่า root ดังนั้น ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) จึงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างรากกับระบบรากของพืชชั้นสูง โดยรากนั้นต้องไม่ใช่รากที่เป็นสาเหตุของโรคพืช ส่วนรากพืชต้องเป็นรากที่มีอายุน้อย การอยู่ร่วมกันนี้เป็นการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน เอื้ออำนวยประโยชน์ซึ่งกันและกัน (symbiosis) เซลล์ของรากพืชและราสามารถถ่ายทอดอาหารให้กันและกันได้ ต้นพืชได้รับน้ำและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตจากราก ส่วนรากได้รับสารอาหารจากต้นพืชผ่านทางระบบราก นอกจากนี้ราไมคอร์ไรซายังช่วยป้องกันรากพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคด้วย สปอร์ของราไมคอร์ไรซาจะมีอยู่ทั่ว ๆ ไปในดิน (Bolan, 1991)

เชื้อรา vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (VAMF) หรือ VA-mycorrhizal fungi เป็นเชื้อราในกลุ่ม Endomycorrhiza พวก nonseptate fungi ลักษณะของเส้นใยที่เชื้อราสร้างไม่มีผนังกัน (Harley and Smith, 1983) เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อราที่พบอยู่ในดินเกือบทุกแห่งสามารถเข้าสู่รากพืชและอาศัยซึ่งกันและกัน โดยเชื้อราจะได้รับที่อยู่อาศัยและคาร์โบไฮเดรตจากรากพืช ในขณะที่พืชจะได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสรวมทั้งน้ำและเป็นเกราะป้องกันอันตรายจากเชื้อสาเหตุของโรคพืชได้ระดับหนึ่ง (Bolan, 1991)

ปกติจะสร้างเส้นใยเจริญเข้าไปในเซลล์หรือระหว่างเซลล์ในชั้นคอร์เท็กซ์ของราก โดยไม่เจริญเข้าไปในชั้น meristematic cell หรือ endodermal cell ที่ปลายของเส้นใยที่มีการแตกแขนง เรียกว่า อาร์บัสคูล (arbuscule) และเกิดเป็นกระเปาะเรียกว่า เวสิเคิล (vesicle) อาร์บัสคูลมีลักษณะการแตกแขนงของเส้นใยแบบ dichotomous ทำหน้าที่ ช่วยในการเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสและ

ธาตุอื่น ๆ ให้แก่พืชและได้รับคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน และอาหารอื่น ๆ จากพืชผ่านทางอาร์บัสคูไลต์ด้วย เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาไม่สร้างเส้นใยที่อัดกันแน่นเป็นแผ่นรอบรากพืช แต่จะสร้าง extramatrical hypha เจริญต่อกันเป็นร่างแหแผ่ไปได้ในรัศมีหลาย ๆ เมตรในดิน (ธงชัย, 2550)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในรากพืช การเข้าไปในเซลล์ของรากพืชของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในพืชได้หลายประการ (ธงชัย, 2550; Mosse, 1981) ดังนี้

- 1) กิจกรรมภายในไซโตพลาซึมเพิ่มขึ้น
- 2) การสร้างออร์แกเนลล์ใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นในเซลล์ เช่น ไมโทคอนเดรีย เอ็นโดพลาสมิก เรติคูลัม รวมทั้งกรดไขมันนิวคลีอิก เป็นต้น
- 3) การโป่งพองของนิวเคลียส ซึ่งอาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 2 ถึง 3 เท่า
- 4) การสลายตัวของแป้งที่สะสมไว้ ไม่พบเม็ดแป้งในเซลล์ที่เชื้อราเข้าไปเจริญอยู่ เนื่องจากแป้งบางส่วนถูกส่งไปยังรากผ่านทางอาร์บัสคูไลต์
- 5) อัตราการหายใจและกิจกรรมของเอ็นไซม์เพิ่มขึ้น

2.2 ประโยชน์ของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาด้านธาตุอาหารพืช

อัตราการดูดกินฟอสเฟตในพืชที่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาอยู่ด้วยจะเป็นไปได้เร็วกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (Son and Smith, 1988) อัตราการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตในรากพืชที่มีไมคอร์ไรซามีค่าโดยประมาณ 17×10^{-14} โมลต่อเซนติเมตรต่อวินาที มากกว่าในพืชปกติซึ่งมีอัตราการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตภายในรากพืชประมาณ 3.6×10^{-14} โมลต่อเซนติเมตรต่อวินาที (Bolan, 1991) การเพิ่มขึ้นของการดูดซับฟอสเฟตของรากพืชนั้นเชื่อว่ามีสาเหตุมาจากความสามารถของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาด้วยประการต่าง ๆ ที่สำคัญ 3 ประการ ดังนี้

2.1.1 การเจริญของไยรานอกรากพืชในดิน ความมากหรือน้อยของการเจริญของไยรานอกรากพืชของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีผลอย่างยิ่งต่อการส่งเสริมการดูดกินฟอสเฟตของเชื้อรา และเป็นความสามารถที่อธิบายถึงการส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชอย่างชัดเจนที่สุด 2 ประการ

ก. การลดระยะทางที่ฟอสเฟตจะแพร่กระจายสู่รากพืช

ข. การเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับธาตุอาหาร

2.1.2 การดูดกินฟอสเฟตโดยเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา เมื่อเปรียบเทียบกับไยรากับรากพืชแล้ว ปรากฏว่า ไยราดูดกินฟอสเฟตได้ดีกว่า เนื่องจากมีความชอบในการดูดหรือฟอสเฟตสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ไยราได้ง่ายกว่านั่นเอง และไยราสามารถดูดซับฟอสเฟตได้ในระดับที่มีความเข้มข้นต่ำมากได้ดีกว่ารากปกติ (ธงชัย, 2550)

การส่งเสริมการดูดกินฟอสเฟตโดยเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาเกิดขึ้นเนื่องจากไยราที่เจริญครอบคลุมดินในปริมาณที่มากกว่ารากปกติที่ไม่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา รวมทั้งไยราเองก็มีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตที่สูงกว่า ตลอดจนเชื้อราที่มีความสามารถในการปรับสภาพแวดล้อมในเขตรากพืชที่ส่งเสริมให้มีการดูดกินฟอสเฟตได้สูงขึ้น ส่วนใหญ่ของฟอสเฟตที่รากดูดขึ้นมาจะสะสมอยู่ในรูปเม็ดโพลีฟอสเฟตซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังอาร์บัสคูลโดยการไหลเวียนของไซโตพลาซึม เอ็นไซม์โพลีฟอสฟาเตสจะย่อยให้ฟอสเฟตมีขนาดเล็กลง แล้วปลดปล่อยลงสู่ fungus root interface หรือ matrix หลังจากนั้นจะถูกเซลล์พืชนำไปใช้ต่อไป (ธงชัย, 2550)

2.2 ประโยชน์ของการใช้เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทางการเกษตร (ธงชัย, 2550)

2.2.1 ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดธาตุอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ยากในดิน และช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช โดยไยราของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาจะช่วยทำหน้าที่ในการละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อทั้งพืชและเชื้อรา ไยราในดินจะมีปริมาณมากและชอบไชไปในดินได้อย่างกว้างขวางและทั่วถึง บางครั้งอาจมีความยาวของไยรามากกว่า 10 เมตรต่อกรัมของดินก็ได้ ไยราสามารถละลายฟอสเฟตจากสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ซึ่งความสามารถนี้ของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาจะแตกต่างกันออกไป สุกานดา (2549) ได้ทดสอบเชื้อ *Azospirillum*, *Azotobacter* และเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา *Glomus*

aggregatum โดยปลูกเชื้อในเมล็ดและท่อนพันธุ์สับดำพันธุ์กำแพงแสน จากผลการทดลองพบว่า การใช้เชื้อรา *Glomus aggregatum* ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตทั้งในเมล็ดและท่อนพันธุ์ได้ดีที่สุด ส่วน มธุรส (2542) ศึกษาเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาชนิดต่าง ๆ ที่เจริญร่วมกับถั่วเขียว ผลการทดสอบพบว่า การปลูกเชื้อทำให้ถั่วเขียวเจริญเติบโตได้ดี น้ำหนักแห้ง และผลผลิตสูงกว่าที่ไม่ปลูกเชื้อ และเมื่อ ทดสอบเชื้อ *Glomus intraradices* และ *Acaulospora dilatata* ร่วมกับการใส่หินฟอสเฟต 4 ระดับ (0, 20, 60 และ 80 กิโลกรัมต่อไร่) และการใส่เชื้อไรโซเบียมในแปลงทดลอง พบว่า เชื้อราทั้งสอง ชนิดทำให้ความสูง น้ำหนักเมล็ด ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในต้นถั่วเหลือง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการไม่ใส่เชื้อราและหินฟอสเฟต และยังทำให้น้ำหนักแห้งและผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อราและหินฟอสเฟตด้วย เช่นเดียวกันกับ วชิราภรณ์ (2548) ที่ได้ศึกษาเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาที่เจริญร่วมกับข้าวโพด (*Zea mays* L.) พบ แนวโน้มว่าต้นข้าวโพดที่ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีอัตราการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งต้น และราก จำนวนสปอร์และการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชสูงกว่าต้นข้าวโพดที่ไม่ใส่เชื้อรา

ดวงใจ (2546) ศึกษาการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาร่วมกับกล้ามะละกอ มี แนวโน้มว่ากล้ามะละกอที่ได้รับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น ลำต้นของกล้ามะละกอที่ได้รับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามี ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดในลำต้นสูงกว่าในกล้ามะละกอที่ไม่มีเชื้อ ราวิเอไมคอร์ไรซา จึงสรุปได้ว่า เชื้อ *Glomus aggregatum* และ *Acaulospora scrobiculata* เป็นเชื้อ ราที่มีความเหมาะสมในการอยู่รวมอาศัยกับมะละกอพันธุ์แขกดำได้ดี และเหมาะสมมากกว่าเชื้อ ราวิเอไมคอร์ไรซาชนิดอื่น ๆ ส่วนศรัณยา (2545) ทดลองเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซากับทุเรียน พบว่า ช่วยให้พืชมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งต้นและรากสูงสุด เพิ่มขนาดลำต้นทุเรียน และช่วยเพิ่มความสูง ด้วย และพบว่ากล้ามทุเรียนที่มีการเข้าอาศัยของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีความสามารถในการดูดกิน ฟอสฟอรัสได้มากขึ้น มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในต้น ราก และวัสดุปลูกสูงกว่าเมื่อไม่มีเชื้อ ราวิเอไมคอร์ไรซา และเมื่อมีการใช้ร่วมกันกับเชื้อไรโซเบียม พบว่าส่งเสริมให้พืชมีการสร้างปมใน ปริมาณที่มากกว่าการใช้เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว (ปัทมา, 2539)

พัชร์เพ็ญ (2546) ผลิตเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาชนิดเม็ด โดยใช้ผงเชื้อ *Glomus aggregatum*, ปุ๋ยหมักบดละเอียด และหินฟอสเฟต ในอัตราส่วน 100:0:0, 80:15:5, 60:35:5 และ 40:55:5 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทดสอบร่วมกับการปลูกข้าวโพด พบว่า เมื่อข้าวโพดอายุ 6 และ 11 สัปดาห์ การใช้เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาชนิดเม็ดอัตรา 100:0:0 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความ

หนาแน่นของการติดเชื้อราในราก และจำนวนสปอร์ในดินสูงสุด อย่างไรก็ตาม พบว่าการเจริญเติบโตด้านความสูง น้ำหนักสดและแห้งของต้นข้าวโพดในทุกการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนยวลี (2546) ศึกษาการเจริญเติบโต เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสที่ได้จากปุ๋ย และค่าความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟตในดินและรากหญ้าแฝกที่ใส่แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน (*Azospirillum* และ *Azotobacter*) และเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (*Glomus aggregatum*, *Acaulospora scrobiculata* และ mixed VAM) ร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต ผลการทดลองพบว่า การใส่เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต ทำให้เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสที่ได้จากปุ๋ยในดินและราก และค่าความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟตในรากมีค่ามากที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการไม่ใส่เชื้อและปุ๋ยฟอสเฟต นอกจากนี้ เมื่อทดลองใช้เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยยูเรีย พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับการใส่ร่วมกันกับปุ๋ยฟอสเฟต และการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวทำให้จำนวนสปอร์และการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาลดลง ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาในการส่งเสริมการดูดธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกลดลง

2.2.2 ไยราของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาจะช่วยทำหน้าที่ในการละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อทั้งพืชและเชื้อรา ไยราในดินจะมีปริมาณมากและซ่อนไขไปในดินได้อย่างกว้างขวางและทั่วถึง บางครั้งอาจมีความยาวของไยรมากกว่า 10 เมตรต่อกรัมของดิน ไยราสามารถละลายฟอสเฟตจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งความสามารถนี้ของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาจะแตกต่างกันออกไป

การศึกษาผลของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 3 ระดับต่อการเจริญเติบโตของข้าวฟ่าง พบว่าเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาส่งเสริมการเจริญเติบโตและการดูดธาตุอาหารในข้าวฟ่าง ทำให้น้ำหนักแห้งต้น เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในต้นข้าวฟ่าง และเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมในรากข้าวฟ่างมีค่าสูง และยังส่งผลต่อการออกดอกแรกเร็วขึ้น พร้อมทั้งมีแนวโน้มว่าทำให้น้ำหนักเมล็ดและน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวฟ่างมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ การใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาร่วมกับแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน ยังทำให้การเจริญเติบโตและการดูดธาตุอาหารของข้าวฟ่างสูงขึ้น จำนวนสปอร์ในดิน และเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากข้าวฟ่างมีค่าสูง เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้นและในราก ปริมาณไนโตรเจนในดิน และเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมในรากมีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการไม่ใส่เชื้อ (แสงดาว, 2549)

2.2.3 ลดความเป็นพิษของสารเคมีที่ใช้ในทางการเกษตร และสารที่มีโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนและสัตว์เลี้ยงทั่วไป เพราะสารพิษเหล่านี้มีโอกาสปนเปื้อนลงสู่ดินได้ทุกขณะ และทวีความรุนแรงมากขึ้นเป็นลำดับ ถ้าหากคนส่วนใหญ่ขาดความตระหนักในเรื่องนี้

Huang *et al.* (2007) ทดลองเชื้อรา *Glomus caledonium* ในแปลงข้าวโพดที่มีการปนเปื้อน atrazine โดยเชื้อราจะย่อยสลาย atrazine ให้มีจำนวนลดลงจนข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ นอกจากนี้ เชื้อรายังทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ส่งผลให้รากข้าวโพดยังรากลึกลงไปดินได้มากขึ้น Chen *et al.* (2007) ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Glomus mosseae* ต่อการย่อยสลายทองแดงในดินที่ปลูกหญ้า 2 สปีชีส์ คือ *Coreopsis drummondii* และ *Pteris vittata* และพืชตระกูลถั่ว 2 สปีชีส์ คือ *Lolium perenne* และ *Trifolium repens* พบว่าช่วยลดปริมาณของทองแดงและยังช่วยลดปริมาณของอาร์เซนิกและแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่กับทองแดงด้วย นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสให้กับพืชได้อีกทางหนึ่ง สอดคล้องกับการทดลองของ Wang *et al.* (2007) ที่ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Acaulospora mellea* ในแปลงข้าวโพดที่มีการปนเปื้อนทองแดงที่ระดับความเข้มข้น 0, 100, 200, 400, 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยเชื้อราย่อยสลายทองแดงได้ดี ยกเว้น ที่ระดับความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ยังเหลือทองแดงปริมาณสูง

2.2.4 พืชที่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ที่รากจะมีความสามารถในการทนแล้งได้มากกว่ารากปกติ เป็นเพราะว่าใยราช่วยดูดน้ำให้แก่พืชได้ด้วย

Sylvia *et al.* (1993) ศึกษาผลของเชื้อ *Glomus etunicatum* ที่มีต่อสภาพเครียดของน้ำในข้าวโพด พบว่าในสภาพเครียดของน้ำในดินจะมีผลต่อการเข้าสู่รากพืชของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาเล็กน้อยและการปลูกเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา จะเพิ่มความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสและทองแดงทั้งในลำต้นและเมล็ดของข้าวโพด นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อสภาพเครียดของน้ำเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ข้าวโพดที่ปลูกเชื้อ *G. etunicatum* มีผลผลิตเมล็ดและผลผลิตมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น

Subramanian *et al.* (1995) ศึกษาเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาและความสัมพันธ์ของน้ำในข้าวโพดที่กำลังมีฝักอ่อน ภายใต้สภาพเครียดของน้ำ โดยศึกษาในเรือนกระจกและศึกษาอิทธิพลของเชื้อรา *Glomus intraradices* ต่อความทนทานต่อความแห้งแล้งของข้าวโพดในเขตร้อน พบว่า ข้าวโพดจะทนทานต่อสภาพแห้งแล้งนาน 3 สัปดาห์ หลังจากที่ข้าวโพดออกฝักอ่อน (75-95

วันหลังปลูกพืช) และยังพบว่าอัตราการคายน้ำและปริมาณน้ำในใบตอนเที่ยงวันของข้าวโพดที่มีเชื้อราอาศัยอยู่สูงกว่าข้าวโพดที่ไม่มีเชื้อรา ส่วนความต้านทานของปากใบ (stomatal resistance) ของข้าวโพดที่มีเชื้อราจะต่ำกว่าข้าวโพดที่ไม่มีเชื้อราอาศัยอยู่ พื้นที่สีเขียวของปากใบข้าวโพดที่มีเชื้อราจะสูงกว่าในข้าวโพดที่ไม่มีเชื้อราอยู่ 27.5 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาพเครียดของน้ำ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า เชื้อราส่งเสริมให้ข้าวโพดที่กำลังมีฝักอ่อนทนทานต่อความแห้งแล้ง

2.2.5 ลดความรุนแรงของการเกิดโรคของพืชอันเนื่องมาจากเชื้อสาเหตุที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น โรครากเน่า โรคโคนเน่า เป็นต้น (ธงชัย, 2550) และช่วยเพิ่มความต้านทานของพืชต่อเชื้อที่เป็นสาเหตุโรคพืช เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาสามารถทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคทางรากมากขึ้น ถ้าเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาเข้าสู่รากพืชก่อนเชื้อโรคพืช โดยที่พืชที่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาจะมีปริมาณกรดอะมิโน arginine, phenylalanine, serine และมี isoflavonoid (phytoalexin), reduced sugar และเอนไซม์ เช่น chitinase ในปริมาณสูง ซึ่งสารเหล่านี้สามารถลดหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุโรคพืชได้ (Sieverding, 1991)

Toth *et al.* (1990) ศึกษาการเข้าอยู่อาศัยในรากข้าวโพดของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาและผลที่ทำให้ข้าวโพดมีความต้านทานต่อเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคพืช พบว่าข้าวโพดที่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา อาศัยอยู่ทั้งในระดับต่ำและสูงจะสามารถต้านทานต่อเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคพืชหลายชนิดได้อย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าในข้าวโพดที่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาในระดับต่ำ การเจริญเติบโตของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาจนสมบูรณ์เต็มที่จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และมีระบบรากใหญ่ ส่วนข้าวโพดที่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาในระดับสูง การเจริญของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาจนสมบูรณ์เต็มที่จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีระบบรากเล็กกว่า ในปี ค.ศ. 1993 Sharma and Bhargava ได้ศึกษาศักยภาพของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (*Glomus fasciculatum*) ที่มีต่อการเกิดปมรากของมะเขือเทศโดยใช้เดือนฝอย (*Meloidogyne incognita*) พบว่า เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาสามารถลดจำนวนของไส้เดือนฝอยในกระถางปลูกมะเขือเทศได้มากกว่า 58 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนไส้เดือนฝอยในโรมะเขือเทศได้มากกว่า 36 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโตและผลผลิตมะเขือเทศยังคงสูงกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทั้งในไร่และในกระถางอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเชื้อรา *Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum*, *Glomus fasciculatum* และ *Gigaspora margarita* ที่ปลูกร่วมกับพริกไทยที่ติดเชื้อ *Phytophthora capsici* โดย *G. mosseae* ส่งเสริมการพัฒนารากของพริกไทยได้ดีที่สุด ทำให้ลดความเป็นโรคในพริกไทยลง (Ozgonen and Erkilic, 2007)

2.2.6 ช่วยลดการบาดเจ็บของพืช Siqueira *et al.* (1991) ศึกษาผลของเชื้อราอีไมคอร์ไรซาและการกระตุ้นเชื้อราด้วย isoflavonoid compound ในการลดการบาดเจ็บของพืชจากยาปราบวัชพืช พบว่ายาปราบวัชพืชคือ imazaquin, imazethapyr และ pendimethalin มีความเป็นพิษต่อข้าวฟ่างที่มีเชื้อราอีไมคอร์ไรซาอยู่ต่ำกว่าข้าวฟ่างที่ไม่มีเชื้อราอีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ และที่ระดับความเข้มข้นของยาปราบวัชพืชต่ำจนถึงปานกลางนั้น เชื้อราอีไมคอร์ไรซาจะมีผลในการป้องกันความปลอดภัยให้กับข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่ใช้ยาปราบวัชพืช imazaquin มากกว่าข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่ใช้ imazethapyr และ pendimethalin ร่วมกัน นอกจากนี้แล้วยังพบอีกว่าการกระตุ้นเชื้อราอีไมคอร์ไรซาด้วย isoflavonoid คือ biochanin A และ formononetin ที่ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยเติมลงในดินในไร่ที่มีระดับความเป็นพิษของ imazaquin 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีเชื้อราอีไมคอร์ไรซาอยู่เดิมแล้วจะช่วยลดการบาดเจ็บของข้าวโพด และข้าวฟ่างเนื่องจากยาปราบวัชพืชได้ และยังพบอีกว่าประโยชน์ของ isoflavonoid จะถูกกำจัดเมื่ออบฆ่าเชื้อราอีไมคอร์ไรซาด้วยความร้อนขึ้นและนอกจากนี้แล้วยังมีรายงานอีกว่าเชื้อราอีไมคอร์ไรซา สามารถช่วยลดการบาดเจ็บจากการเปลี่ยนถ่ายพืช (Bloss and Pfeiffer, 1984)

2.2.7 ช่วยให้พืชทนทานต่อสภาพเค็มในดินเค็ม (Jindal *et al.*, 1992) สอดคล้องกับการทดลองของ Cho *et al.* (2006) ที่ศึกษาเชื้อรา *Glomus intraradices* และ *Gigaspora margarita* ต่อการลดสภาพเค็มของข้าวฟ่างในดินเค็ม โดยเชื้อราทั้ง 2 ชนิด ช่วยลดสภาพเค็มของข้าวฟ่างในดินเค็ม ทำให้ได้ผลผลิตสูงกว่าที่ไม่ใส่เชื้อรา นอกจากนี้ ยังลดสภาพเค็มของ NaCl และ osmotic ทำให้มีความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใส่เชื้อราทำให้การชะละลายออกจากผิวหน้าดินลดลง

2.2.8 ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช (phytohormones) (พิชิต, 2548) เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น แบคทีเรีย และเชื้อรา สามารถสังเคราะห์ indole-3-acetic acid (IAA) เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีบรรจุ indole ring เช่น tryptophan เป็นต้น (Gay and Debaud, 1987) Berta *et al.* (1988) ได้ศึกษาประโยชน์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา พบว่าสามารถสังเคราะห์และปลดปล่อย IAA เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี tryptophan ซึ่งสอดคล้องกับ Torelli *et al.* (2000) ว่าเชื้อราไมคอร์ไรซา สามารถสังเคราะห์และปลดปล่อย IAA ได้ นอกจากนี้ พิชิต (2548) ทดลองการสร้าง indole-3-acetic acid (IAA) โดยเชื้อราอีไมคอร์ไรซาหลายสายพันธุ์ในกล้าส้ม ผลการทดลองพบว่า เชื้อราอีไมคอร์ไรซาชนิดต่าง ๆ ช่วยในการสร้าง IAA ในกล้าส้มเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษากับข้าวโพดที่ใส่เชื้อราอีไมคอร์ไรซาต่างชนิดกัน ทำให้ชนิดและ

ปริมาณกรดอินทรีย์ที่พบมีความแตกต่างกัน ชนิดและปริมาณของกรดอินทรีย์มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต จำนวนสปอร์ในดินและการเข้าอยู่อาศัยในรากพืช (วชิราภรณ์, 2548)

3. ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer)

3.1 ความหมายของปุ๋ยอินทรีย์และความเป็นประโยชน์

อำนาจ (2551) กล่าวว่า เป็นปุ๋ยที่มีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ แบ่งออกได้เป็นสองพวกใหญ่ ๆ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ธรรมชาติ และปุ๋ยอินทรีย์สังเคราะห์ ปุ๋ยอินทรีย์ธรรมชาติ หมายถึง ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต ที่รู้จักกันดีมีอยู่ 3 ชนิด คือ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด นอกจากนี้ยังรวมถึงซากพืช ซากสัตว์ ของเหลือทิ้งและผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมตะกอนน้ำทิ้งและของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากครัวเรือน ซึ่งหากนำมาใช้เป็นปุ๋ยก็ถูกจัดว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพราะมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบในสัดส่วนที่สูง ส่วนปุ๋ยอินทรีย์สังเคราะห์หมายถึงปุ๋ยที่มีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์โดยวิธีทางเคมี คือ ปุ๋ยยูเรีย ซึ่งถูกจัดว่าเป็นปุ๋ยเคมีชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ ยังหมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากอินทรียสารที่ผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีต่าง ๆ และก่อนที่จะนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อพืช จะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางชีวภาพเสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ธงชัย, 2550) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ตามความในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 นั้น เน้นความหมายหนักไปในลักษณะของปุ๋ยหมัก กล่าวคือ เป็นปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่น ๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) นอกจากนี้ พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 มาตรา 3 ได้ให้คำนิยามของปุ๋ยอินทรีย์ไว้ว่า หมายถึงปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากอินทรียวัตถุซึ่งผลิตโดยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ บด หมัก ร่อนหรือวิธีการอื่น แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งเน้นไปในเรื่องของปุ๋ยหมัก (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น และช่วยบำรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและสมบัติทางเคมีให้ดีขึ้น ส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดดิน ทำให้ดินไม่อัดตัวกันแน่น มีการถ่ายเทอากาศดี การอุ้มน้ำและการไหลซึมของน้ำในดินดี อีกทั้งยังส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวก heterotroph ต้องใช้สารอินทรีย์จากดินเป็นแหล่งอาหาร การเติมปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินจึงเป็นการเพิ่มปริมาณของ

จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วย (ธงชัย, 2550) ช่วยเพิ่มธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลินทรีย์ให้แก่พืช โดยเป็นแหล่งของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ธาตุอาหารเหล่านั้นถูกปลดปล่อยอย่างช้า ๆ ให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต (ศุภมาส, 2527) ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวก โดยเฉพาะในดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทราย เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ดินย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุต่าง ๆ ออกมาใน รูปอนินทรีย์ เหลือแต่ฮิวมัส ที่เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน กทนต่อการสลายตัว และเป็นคอลลอยด์มีประจุ ทำให้ปุ๋ยเคมีมีประสิทธิภาพดีขึ้น กล่าวคือ คอลลอยด์ดินดูดซับไอออนของธาตุอาหารพืชที่ละลายออกมาจากปุ๋ยเคมีบางส่วนที่ยังไม่ได้ถูกพืชดูดไปใช้ (วิโรจ, 2528) และทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพกรด-ด่างของดินได้มากขึ้น (ยงยุทธ, 2528)

3.2 ปุ๋ยคอกและความเป็นประโยชน์

ปุ๋ยคอก เป็นมูลสัตว์ที่รวบรวมมาได้ ส่วนใหญ่ได้จากคอกสัตว์เลี้ยง เช่น มูลสุกร มูลโค มูลกระบือ ปุ๋ยมูลสัตว์บางชนิด อาจได้มาจากสัตว์ที่ไม่ได้เลี้ยงแต่อาศัยอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มใหญ่ตามเกาะหรือถ้ำ ได้แก่ มูลนกและมูลค้างคาว (guano) ปุ๋ยมูลสัตว์ ประกอบด้วย ส่วนของแข็งที่มาจากอุจจาระ เป็นเศษซากของพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนระหว่างทางของระบบย่อยของสัตว์และส่วนที่เป็นปัสสาวะที่อุดมไปด้วยเกลือและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ชนิดต่าง ๆ เมื่อรวมกันจะมีองค์ประกอบที่สมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหารพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ยงยุทธ และคณะ, 2551) นอกจากนี้ มุกดา (2547) ได้กล่าวว่า ปุ๋ยคอก ได้แก่ มูลสัตว์ต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของเหลวและของแข็ง ส่วนใหญ่จะเป็นมูลสัตว์เลี้ยง เช่น มูลวัว ไก่ เป็ด และสุกร เป็นต้น มูลสัตว์เหล่านี้จะประกอบด้วยอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ ซึ่งเป็นส่วนของซากพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายจากระบบย่อยของสัตว์ ปัสสาวะก็จะเป็นส่วนประกอบของเกลือและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยคอกจะมีปริมาณน้อย และอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ และปุ๋ยคอกยังหมายถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่ประกอบด้วยอุจจาระ ปัสสาวะของสัตว์ต่าง ๆ เช่น โค กระบือ สุกร ม้า เป็ด ไก่ แพะ แกะ ค้างคาว และสัตว์อื่น ๆ ผสมกับเศษอาหารต่าง ๆ เข้าไปด้วย ในปุ๋ยคอกจึงมีจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ต่าง ๆ มากมาย มีทั้งพวกที่เป็นฮิวมัสแล้ว และส่วนของอาหารที่ยังสลายตัวไม่หมด มีทั้งส่วนที่เป็นเซลลูโลส ลิกนิน และสารอินทรีย์อื่น ๆ นอกจากนั้นยังพบว่ามีวิตามิน และฮอร์โมนพืช

เช่น กรดอะมิโน ไทอามีน (thiamine) ไบโอติน (biotin) และไพริดอกซิน (pyridoxine) เป็นต้น (ธงชัย, 2550)

ด้านความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยคอก ช่วยเพิ่มผลผลิตของดินให้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยคอกมีทั้งธาตุหลัก ธาตุรองและจุลินทรีย์ พืชจะได้รับประโยชน์จากการใส่ปุ๋ยคอกสองประการคือ 1) ธาตุอาหารพืชรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ และต่อเนื่องด้วยกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และ 2) ปรับปรุงสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพของดิน ซึ่งจะเกิดผลเพิ่มพูนขึ้นจากการใส่ปุ๋ยคอกหลายครั้ง (ยงยุทธ และคณะ, 2551) นอกจากนี้ ยังเพิ่มธาตุอาหารพืช โดยปุ๋ยคอกส่วนที่เป็นของแข็ง มีลักษณะคล้ายคลึงกับอาหารที่สัตว์นั้นบริโภค เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไป ธาตุอาหารที่อยู่ในอาหารจะถูกนำไปใช้เพียงบางส่วนดังนั้นในสิ่งที่ขับถ่ายหรือมูลสัตว์จะคงเหลือธาตุอาหารอยู่ ปุ๋ยคอกจึงเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่สำคัญแหล่งหนึ่ง ให้ธาตุอาหารพืชในลักษณะต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพในระยะเวลาที่ยาวนานกว่าปุ๋ยเคมี ช่วยปรับปรุงดิน ใช้ปุ๋ยคอกอัตราที่เหมาะสมต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินบางประการ (มุกดา, 2547)

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุปุ๋ยในปุ๋ยคอกจากมูลเป็ด

ไนโตรเจนทั้งหมด (%N)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%P ₂ O ₅)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%K ₂ O)	pH
0.8-3.7 ^{1/}	1.18-3.0	0.41-1.57	-
1.04 ^{2/}	1.84	2.11	7.5
2.15 ^{3/}	1.33	1.15	-

ที่มา: ^{1/} ปิยะ (2541); จงรักษ์ (2541) ^{2/} Pintukanok (1989) ^{3/} ธงชัย (2550)

กฤษณา (2546) ได้ศึกษาการใส่ปุ๋ยมูลไก่อาร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลไก่อาร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัส มีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารฟอสฟอรัสของข้าว และข้าวโพดใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว ส่วนศิริเนตร (2545) พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลไก่อาร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและผลผลิตดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับ Oniani *et al.* (1973) ที่รายงานว่า การใส่ปุ๋ยคอการ่วมกับปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต ทำให้ดินมีฟอสฟอรัสอินทรีย์ในรูป inositol pentaphosphate และ inositol

hexaphosphate เพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น พืชมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าพืชที่ได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และ Zhang *et al.* (1994) ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสอินทรีย์เป็นวิธีที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการป้องกันการดูดยืดฟอสฟอรัสของดิน นอกจากนี้ หวัง และคณะ (2539) ศึกษาการใช้ปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในชุดดินกำแพงแสนที่แหล่งชลประทานแม่กลองใหญ่ จังหวัดนครปฐม ติดต่อกัน 2 ปี พบว่า การใช้ปุ๋ยมูลไก่อ่วมกับปุ๋ยเคมีในทุกระดับทำให้ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้น แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. ปุ๋ยเคมี (chemical fertilizer)

4.1 ความหมายของปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี หมายถึง ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอนินทรีย์สังเคราะห์ หรืออินทรีย์สังเคราะห์ และตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ยังรวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม และปุ๋ยเชิงประกอบ ตลอดจนถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมถึงปุ๋ยขาว ดินมาร์ล ปุ๋ยพลาสติก ยิปซัม และโดโลไมต์ หรือสารอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ยงยุทธ และคณะ, 2551) นอกจากนี้ ชงชัย (2550) กล่าวว่า เป็นปุ๋ยที่มีแหล่งที่มาจากสารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ หรือเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการทางเคมี ที่ให้ธาตุอาหารพืชในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ยกเว้นปุ๋ยยูเรีย ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์

มาตรฐานปุ๋ยเคมีระบุว่า ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (triple superphosphate, TSP) ต้องมีฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ไม่ต่ำกว่า 45 % P_2O_5 ลักษณะเป็นเม็ดหรือผงสีน้ำตาลอ่อนหรือน้ำตาลเทา ไม่เค็มสี ความชื้นไม่เกิน 9 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

4.2 ผลการใช้ปุ๋ยเคมี

การเพิ่มผลผลิตพืชที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำนั้น การใช้ปุ๋ยเคมีเป็นวิธีการที่มีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพืชเศรษฐกิจอายุสั้นเช่น ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงหรือในระดับที่จะให้ผลคุ้มค่า (ปิยะ, 2538) การปลูกพืชไร่บางชนิด เช่น ข้าวโพดเลี้ยง

สัตว์ ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี อาจให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ ในขณะที่การปลูกข้าวโพดในพื้นที่เดียวกันโดยมีการใช้ปุ๋ยเคมีและมีการปฏิบัติบำรุงรักษาพืชที่ปลูกเช่นเดียวกัน อาจทำให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 8 เท่าตัว (ชัยโรจน์, 2535) นอกจากนี้ ปุ๋ยเคมียังช่วยเพิ่มความต้านทานศัตรูพืช จากรายงานผลการวิจัย พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมมีผลทำให้พืชที่ปลูกมีความต้านทานต่อการเกิดและการทำลายของศัตรูพืชมากขึ้น หรืออย่างน้อยมีส่วนช่วยลดความเสียหายต่อการทำลายของศัตรูพืชได้ ทำให้พืชมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยเมื่อพืชได้รับปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสม จะสามารถเจริญเติบโตได้ดี ได้ผลผลิตที่สูง จากผลศึกษาและการวิจัย พบว่า ธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมีหลายชนิดมีคุณค่าอย่างเด่นชัดต่อการเสริมสร้างสุขภาพ หรือความทนทานของพืชต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และที่สำคัญที่สุด คือ ปุ๋ยเคมีมีความสำคัญต่อคุณภาพผลผลิต การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อให้ธาตุอาหารพืชชนิดที่ขาดในดิน หรือเพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในสัดส่วนที่เหมาะสม การใช้ปุ๋ยเคมีนอกจากจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชแล้ว ยังมีส่วนช่วยควบคุมหรือปรับปรุงคุณภาพของผลผลิตด้วย (ปิยะ, 2538)

5. หินฟอสเฟต (phosphatic rock)

ขงยุทธ (2542) กล่าวว่า หินฟอสเฟต เป็นสินแร่ตามธรรมชาติที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีธาตุอื่นปนอยู่ในปริมาณแตกต่างกัน เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส หินฟอสเฟตส่วนใหญ่อยู่ในแร่อะพาไทต์ เกิดอยู่ในลักษณะผลึกเล็ก ๆ หรือไม่ผลึก เรียกว่า คอลโลเฟน (collophane) สูตรทางเคมี $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4\text{CO}_3)_6(\text{FClOH})_2$ สมบัติทางกายภาพ ความถ่วงจำเพาะ 3.15-3.20 ความแข็ง 5 มีหลายสี เช่น เขียว น้ำเงิน น้ำตาล เหลือง ม่วง ขาว

หินฟอสเฟต เป็นหินที่แร่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น ฟลูอออะพาไทต์ (fluorapatite) สูตรทางเคมี $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ หรือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxy apatite) สูตรทางเคมี $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$ เป็นต้น มีสีไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสารที่เจือปน และฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และมีฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาใช้เป็นปุ๋ยจะปลดปล่อยฟอสเฟตให้ละลาย โดยทั่วไปจะปลดปล่อยให้ละลายจนร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมชได้ หินฟอสเฟตจะปลดปล่อยฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาได้ช้ามาก ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในปุ๋ยที่มีฟอสเฟตขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเม็ดปุ๋ย ถ้ามีขนาดละเอียดจะปลดปล่อยได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามโดยธรรมชาติแล้วหินฟอสเฟตจะปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาได้ดี

ในดินที่เป็นกรด และได้ไน้อยในดินที่เป็นกรดเพียงเล็กน้อย หรือค่อนข้างเป็นด่าง (ความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 6.0) หินฟอสเฟตนอกจากจะนำมาทำเป็นปุ๋ยใส่ในดินโดยตรงแล้วยังเป็นวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยฟอสเฟตอื่น ๆ อีกหลายชนิด (มุกดา, 2547; ยงยุทธ และคณะ, 2551)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มี 3-8 %P₂O₅ ความผันแปรของค่าวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบของหิน และความละเอียดของอนุภาคหินบด และจะมีฟอสฟอรัสทั้งหมด 30-40 เปอร์เซ็นต์ คิดในรูปฟอสฟอรัสเปนต์ออกไซด์ (ปิยะ, 2541)

หินฟอสเฟตมีความสำคัญต่อการเกษตร เนื่องจากหินฟอสเฟต มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบหลัก จึงเหมาะสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีฟอสเฟตในทางอุตสาหกรรม และนำมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง แต่การนำฟอสเฟตมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงมีประสิทธิภาพในการใช้ต่ำ และมีขอบเขตเงื่อนไขการใช้ที่จำกัดมาก กล่าวคือ ในหินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงประมาณ 8-18 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาและพืชสามารถนำไปใช้ได้เพียง 1-2 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช หากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายของหินฟอสเฟตให้มากขึ้น จะเป็นการช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืช (ยงยุทธ, 2542)

Duponnois *et al.* (2005) ได้ทดลองใช้เชื้อรา *Glomus intraradices* ร่วมกับหินฟอสเฟตในการปรับปรุงดินและเพิ่มการเจริญเติบโตของ *Acacia holosericea* โดยเชื้อราจะช่วยละลายฟอสเฟตจากหินฟอสเฟตให้เป็นประโยชน์มากขึ้นและมากกว่าที่ไม่ใส่เชื้อรา สอดคล้องกับ Ouahmane *et al.* (2007) ที่ศึกษาการละลายได้ของฟอสเฟตจากหินฟอสเฟตโดยใส่เชื้อ *Glomus intraradices* ในดินที่ปลูก *Cupressus atlantica* G. ในประเทศโมร็อกโก เชื้อราช่วยละลายฟอสเฟตจากหินฟอสเฟต ทำให้พืชดูดฟอสเฟตไปใช้ได้มากขึ้นและมากกว่าที่ไม่ใส่เชื้อราเช่นเดียวกัน

6. ลักษณะและสมบัติทั่วไปของชุดดินกำแพงแสน

ชุดดินกำแพงแสน จัดอยู่ในกลุ่มดิน Non Calcic Brown Soils ปัจจุบันได้จัดไว้เป็น fine-silty, mixed, superactive, isohyperthermic Typic Haplustalfs พบมากในภาคกลางบริเวณสันดินริมน้ำ สองฝั่งของลำน้ำ เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำค่อนข้างใหม่ มีความลาดชัน 0-1 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินลึกมาก การระบายน้ำดี การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินค่อนข้างช้า เนื้อดินชั้นไผ่พรวนเป็นประเภท silty clay loam ประกอบด้วยอนุภาคขนาดทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดิน

เหนียว (clay) เท่ากับ 17.48, 54.61, และ 27.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในสภาพที่ผิวหน้าดินมีอนุภาคขนาดทรายแป้งสูงมากและมีอินทรีย์วัตถุต่ำ เป็นสาเหตุทำให้เกิดแผ่นแข็งปิดผิวดิน (soil crust) เพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงปะทะของเม็ดฝนทำให้เม็ดดินแตกและฟุ้งกระจาย อนุภาคขนาดทรายแป้ง มีลักษณะแบนจะเรียงตัวเป็นชั้นแผ่นแข็งบาง ๆ ก่อให้เกิดผลเสีย เช่น การแทรกซึมน้ำของดินลดลง เพิ่มปริมาณน้ำไหลบ่าทำให้เกิดการกัดกร่อนของดิน (soil erosion) ความหนาแน่นรวมของดินสูงขึ้น และทำให้ความต้านทานของดินต่อการซึมน้ำของรากพืชเพิ่มขึ้น (กองสำรวจดิน, 2525)

ชุดดินกำแพงแสน มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะมีธาตุฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมอยู่ในเกณฑ์สูง ชั้นไทรพรวนมีอินทรีย์วัตถุ 2.28 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสและ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 186.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมฟอสฟอรัส และ 363.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโพแทสเซียม ตามลำดับ มีค่าพีเอชเท่ากับ 7 (ดิน: น้ำ เท่ากับ 1: 1) CEC 21.34 me ต่อดิน 100 กรัม และเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวด้วยด่างเท่ากับ 95.82 เปอร์เซ็นต์ ดินชุดนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการทำสวนผัก ปลูกพืชไร่และผลไม้ (กองสำรวจดิน, 2525)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. พืชทดลอง ใช้ต้นสับค้ำพันธุ์อินเดีย อายุ 1 ปี 3 เดือน ตัดกิ่งเหลือกิ่งหลัก 5 กิ่ง ระดับความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นประมาณ 3 เซนติเมตร
2. เชื้อรา ใช้เชื้อราวิเอโมคอร์ไรซา *Glomus aggregatum* ชนิดเม็ด
3. ปุ๋ยฟอสฟอรัส ใช้หินฟอสเฟต (0-3-0) และปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0)
4. ปุ๋ยอินทรีย์ ใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลเป็ด
5. แปลงพืชทดลองใช้แปลงวิจัยของโครงการวิจัยและพัฒนาแบบบูรณาการพลังงานชีวภาพและพลังงานจากธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
6. เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินภาคสนาม
7. รถไถและเครื่องมือในการเตรียมพื้นที่
8. อุปกรณ์การเก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโต และผลผลิต
9. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่างดินและพืช
10. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์สมบัติของดินและพืช
11. เครื่องมือและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ผลและเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีการ

ศึกษาผลการส่งเสริมการเจริญเติบโตของสปีดัมพันธุ์อินเดียนด้วยเชื้อรา *Glomus aggregatum* ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และหินฟอสเฟตอัตราต่างกันในชุดดินกำแพงแสน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 2x2x4 factorial design in randomized complete block มี 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 เชื้อราไมคอร์ไรซา *Glomus aggregatum* 2 ระดับ คือ ไม่ใส่เชื้อรา (N) และใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาชนิดเม็ด 300 กรัมต่อต้น (I) ปัจจัยที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลเป็ด 2 ระดับ คือ 2 และ 4 กิโลกรัมต่อต้น (D, 2D) และปัจจัยที่ 3 ปุ๋ยฟอสเฟต 4 ระดับ คือ หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น (R, 2R) และปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP) 27 และ 54 กรัมต่อต้น (T, 2T) ทั้งสิ้น 16 ดำรับการทดลอง ใช้ดินสปีดัมจำนวน 5 ต้นต่อหน่วยทดลอง (ตารางที่ 2)

2. การผลิตเชื้อเม็ด *Glomus aggregatum*

ผลิตผงเชื้อราไมคอร์ไรซา *G. aggregatum* จากสปอร์ที่แยกได้ ซึ่งอธิบายไว้ในข้อ 4.1, 4.2 และ 4.4 โดยคัดเลือกสปอร์ที่ยังมีชีวิตออกมาเดี่ยว ๆ แล้วนำสปอร์ดังกล่าวไปเพิ่มปริมาณด้วยวิธี single spore germination โดยนำเมล็ดข้าวฟ่างมาฆ่าเชื้อที่ผิวเมล็ดด้วย clorox เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว 3 ครั้ง นำเมล็ดที่ได้แช่ในน้ำกลั่นที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว นาน 1 วัน เพื่อให้รากงอกออกมา นำสปอร์ที่คัดเลือกแล้ววางบนรากโดยใช้ 1 สปอร์ต่อเมล็ด ปลูกลงในทรายที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อในตู้อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งบรรจุในภาชนะขนาดเล็กที่เตรียมไว้สำหรับปลูก เมื่อข้าวฟ่างอายุ 1 สัปดาห์ ย้ายลงแก้วพลาสติก หลังจากนั้น 3 สัปดาห์ ย้ายลงกระถางขนาด 6 นิ้ว รดด้วยน้ำสลับกับสารละลายธาตุอาหารพืชในปริมาณที่เท่ากัน เมื่อข้าวฟ่างอายุ 13 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างดินและรากมาตรวจสอบจำนวนสปอร์ และการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในราก จากนั้นงดการให้น้ำและธาตุอาหารพืชเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (Asher, 1975) ตัดต้นข้าวฟ่างทิ้งแล้วคว่ำทรายลงอ่างพลาสติก ตัดรากพืชให้มีความยาว 1 เซนติเมตร คลุกเคล้าทราย และรากข้าวฟ่างด้วยกันแล้วเก็บใส่ถุงพลาสติกที่สะอาดไว้เป็นหัวเชื้อ เมื่อได้ผงเชื้อแล้วนำมาคลุกเคล้ากับดินที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อในตู้อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

นาน 2 ชั่วโมง นำไปอัดเม็ด แล้วปล่อยให้แห้ง จึงนำเก็บใส่ถุงพลาสติกเพื่อใช้เป็นเชื้อเม็ดในการทดลองต่อไป ตรวจสอบปริมาณเชื้อได้ 45-50 เซลล์ต่อดินแห้ง 1 กรัม

ตารางที่ 2 ดำรับการทดลอง

ดำรับการทดลอง	รหัส	เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาชินิคเม็ด (กรัมต่อดิน)	ปุ๋ยอินทรีย์ (กิโลกรัมต่อดิน)	หินฟอสเฟต (กรัมต่อดิน)	ปุ๋ย TSP (กรัมต่อดิน)
1	NDR	-	2	204	-
2	ND2R	-	2	408	-
3	NDT	-	2	-	27
4	ND2T	-	2	-	54
5	N2DR	-	4	204	-
6	N2D2R	-	4	408	-
7	N2DT	-	4	-	27
8	N2D2T	-	4	-	54
9	IDR	300	2	204	-
10	ID2R	300	2	408	-
11	IDT	300	2	-	27
12	ID2T	300	2	-	54
13	I2DR	300	4	204	-
14	I2D2R	300	4	408	-
15	I2DT	300	4	-	27
16	I2D2T	300	4	-	54

3. การเตรียมดิน และการปฏิบัติบำรุงรักษาพืชทดลองสับุดำ

3.1 แปลงพืชทดลองใช้แปลงวิจัยของโครงการวิจัยและพัฒนาแบบบูรณาการพลังงานชีวภาพและพลังงานจากธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยมีระยะปลูกระหว่างแถวและต้น 3 x 2 ตารางเมตร (267 ต้นต่อไร่)

3.2 เตรียมพื้นที่ โดยไถพรวน 1 ครั้ง เพื่อกำจัดวัชพืชและเพิ่มการถ่ายเทอากาศในดิน

3.3 เลือกต้นสบู่ดำพันธุ์อินเดีย อายุ 1 ปี 3 เดือน ที่ตัดแต่งกิ่งแล้ว เพื่อเป็นตัวแทนในการทดลอง รวม 240 ต้น

3.4 ดำเนินการทดลองตามคำรับการทดลองที่กำหนดไว้ กำจัดวัชพืชและพรวนดินรอบทรงพุ่มสบู่ดำ คำรับที่ใส่เมล็ดเชื้อ ขุดหลุมรอบทรงพุ่มลึก 2 นิ้ว กว้าง 2.5 นิ้ว ระยะห่างจากโคนต้น 20 เซนติเมตร นำเมล็ดเชื้อวางลงในดินโดยตรง (soil inoculation) รดน้ำจนชุ่ม ส่วนคำรับที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยฟอสเฟต นำปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยฟอสเฟตมาผสมกันได้ ตามปริมาณของปุ๋ยที่กำหนดไว้ในคำรับการทดลอง ขุดหลุมรอบทรงพุ่มลึก 2 นิ้ว กว้าง 2.5 นิ้ว ระยะห่างจากโคนต้น 30 เซนติเมตร แล้วใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยฟอสเฟตลงในดิน รดน้ำตามทันที

3.5 พรวนดินสัปดาห์ละครั้ง ให้น้ำแบบปล่อยตามร่อง (furrow irrigation) ทุก 15 วัน หากดินแห้งจึงให้น้ำถี่ขึ้น อาจเป็นสัปดาห์ละครั้ง ขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นและฤดูกาล

4. การเก็บข้อมูลเชื้อรา *Glomus aggregatum* โดยเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลองในระยะเจริญเติบโตและระยะออกดอก ติดผล และหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตสบู่ดำ 1 สัปดาห์ ตามวิธีการดังต่อไปนี้

4.1 การเก็บตัวอย่างดินและรากพืชสบู่ดำ

เก็บตัวอย่างดินรอบ ๆ รากพืชที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร ห่างจากโคนต้น 20 เซนติเมตร เก็บดินต้นละ 4 จุด ๆ ละประมาณ 250 กรัมรอบทรงพุ่ม แล้วนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอตามคำรับการทดลอง และที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร ห่างจากโคนต้น 20 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างรากสบู่ดำ เลือกรากอ่อนที่มีสีขาว (รากแก่จะมีสีเหลืองปนน้ำตาล) ตัดให้มีความยาวรากประมาณ 10 เซนติเมตร ต้นละ 2-3 ราก ตัวอย่างดินและรากเก็บใส่ถุงพลาสติกตามคำรับการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

4.2 การตรวจหาจำนวนสปอร์ของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาในดินบริเวณรากสบูดำ

นำตัวอย่างดินมาแยกเศษหิน เศษรากพืชต่าง ๆ ออกให้หมดแล้วไปผึ่งให้แห้งและบดให้เล็กลง จากนั้นใช้วิธีการร่อนแบบเปียก (wet sieving and decanting) ตามวิธีการของ Brundrett *et al.* (1994) นำตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ลงไปในน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปใส่เครื่องเขย่านาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ 1-2 นาที เพื่อให้เศษดินตกตะกอน เทสารละลายดินส่วนบนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช ตรงกลาง 60 เมช และด้านล่างสุด 40 เมช ตามลำดับ นำตะกอนที่ติดบนตะแกรงชั้นสุดท้ายไปใส่ในหลอดแล้วผสมสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ด้วยวิธี sucrose centrifugation ของ Daniels and Skipper (1982) นำไปหมุนเหวี่ยงแบบ horizontal roter ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที นาน 1 นาที นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบคทีเรีย โดยเทของเหลวส่วนบนลงบนกระดาษกรอง No. 2 ในเครื่องกรองแบคทีเรีย ล้างด้วยน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วหลาย ๆ ครั้ง เพื่อล้างน้ำตาลออก นำสปอร์ที่ติดบนกระดาษกรองไปตรวจนับปริมาณสปอร์

4.3 การตรวจสอบความหนาแน่นของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาในรากพืช (root colonization percentage)

นำรากสบูดำมาตรวจหาการครอบครองรากของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาตามวิธีการของ Brundrett *et al.* (1994) นำรากสบูดำมาล้างดินออกให้สะอาด ตัดรากให้มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร แช่รากในสารละลาย KOH 10 เปอร์เซ็นต์ ใน water bath ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วล้างรากด้วยน้ำธรรมดาเพื่อไล่สารละลาย KOH ออกให้หมด หลังจากนั้นแช่รากใน alkaline H_2O_2 solution นาน 1 ชั่วโมง เพื่อให้รากใสมากขึ้น และล้างสารละลาย H_2O_2 ออกด้วยน้ำธรรมดา 3 ครั้ง เพื่อไล่สารละลาย H_2O_2 ออกให้หมด และแช่รากในสารละลาย HCl ($HCl: H_2O = 1: 4$) นาน 10-15 นาที เพื่อให้รากมีสภาพเป็นกรด นำรากออกจากสารละลาย HCl โดยไม่ต้องล้างน้ำ แช่รากใน trypan blue solution ไม่ต่ำกว่า 8 ชั่วโมง หรือจนกว่ารากจะถูกย้อมจนติดสี เทสี trypan blue ทิ้งไป และไม่ต้องล้างราก เก็บรากใน lactic acid solution เพื่อเก็บไว้ศึกษาต่อไป

นำรากที่เก็บไว้ศึกษาจากวิธีการข้างต้น ไปส่องกล้องเพื่อศึกษาการครอบครองรากของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาด้วยวิธี gridline intersect method (Giovannetti and Mosse, 1980) โดยใช้ forcep แบ่งรากมาส่วนหนึ่ง วางรากใน plate กระจายรากให้ทั่ว plate โดยใช้น้ำจาก wash bottle ช่วยใช้หลอดดูด ดูดน้ำใน plate ออกให้แห้ง แล้วนำไปส่องดูภายใต้กล้อง dissecting microscope สังเกต

จุดตัดของรากกับเส้นตรง gridline แล้วบันทึกข้อมูลของจำนวนจุดตัดทั้งหมด และจุดตัดที่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา เพื่อนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาในรากสับดูดา โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ Root Infection} = \frac{\text{intersections between infected root and straight line}}{\text{total intersections between root and straight line}} \times 100$$

4.4 การจำแนกชนิดของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา

นำสปอร์จาก ข้อ 4.2 มาจำแนกชนิดของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ตามวิธีการของ Trappe and Schenck (1982) โดยการย้อมสีสปอร์ด้วยน้ำยา 2 ชนิด คือ Melzer's reagent และ polyvinyl-lactoglycerol reagent (PVL) เพื่อให้เห็นสปอร์ได้ชัดเจน เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของน้ำยาทั้งสองชนิดกับสปอร์ของเชื้อรา แยกสปอร์ออกจากดินให้ได้จำนวนสปอร์ไม่ต่ำกว่า 40-50 สปอร์ ถ่ายสปอร์ลงในน้ำ แล้วล้างสปอร์ให้สะอาด ถ่ายสปอร์ที่สะอาดลงในน้ำกลั่นใน petridish ขนาดเล็ก หยดน้ำยา Melzer's reagent หรือ PVL จำนวน 1 หยด บน slide ที่สะอาดและแห้ง ทำ 2 จุด ซ้ายและขวา (เว้นไว้ label ทางซ้ายด้วย) ใช้ Pasteur pipettes ถ่ายสปอร์ 20 สปอร์ในแต่ละด้าน ให้มีจำนวนน้ำน้อยที่สุด ค่อย ๆ เขี่ยสปอร์ในน้ำยาด้วยเข็ม เขี่ยให้สปอร์กระจายอย่างสม่ำเสมอ ปล่อยให้ น้ำยาเหนียวขึ้นประมาณ 3-5 นาที ก่อนปิด cover slip ช่วงนี้จัดสปอร์ให้อยู่ตรงกลางตามต้องการ ปิด cover slip ที่สะอาดโดยการเอียง 45 องศา เลื่อนเข้ามาจนกระทั่งสัมผัสกับน้ำยา ให้ น้ำยาแพร่ไปตามขอบของ cover slip จนทั่วปล่อย cover slip เบาละเอียด จะทำให้เกิดช่องอากาศน้อย ไม่ ต้องกด cover slip แรง ทำเช่นเดียวกันอีกจุดทางซ้ายมือ ค่อย ๆ กด cover slip ด้วยยางลบดินสอหรือ หัวแม่มือเบา ๆ เพื่อให้ผนังสปอร์แตก ปล่อยให้แห้งข้ามคืน โดยวางไว้แนวราบ ในช่วงนี้ตรวจสอบ สปอร์ได้ว่าแตกหรือไม่ ล้างทำความสะอาดน้ำยาส่วนที่เกินโดยใช้สำลีชุบเอทานอล ปล่อยให้แห้ง เคลือบผิว cover slip ด้วยน้ำยาทาเล็บ (clear fingernail) ปล่อยให้แห้ง ศึกษารูปร่างลักษณะของ สปอร์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดจำแนกควบคู่กับการใช้ คู่มือการจัดจำแนกเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาของ Schenck and Perez (1990) ร่วมกับคู่มือการจัดจำแนก เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาของออมทรัพย์ และคณะ (2535) ลักษณะของเชื้อรา *Glomus aggregatum* นั้น เป็นสปอร์ที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม โดยสร้างสปอร์โรคาร์ปขนาด 200-1800 x 200-1400 ไมโครเมตร และไม่มีผนังหุ้มส่วนสร้างสปอร์ปกคลุม สร้างสปอร์ในสปอโรคาร์ปในราก หรืออาจเกิดเป็นสปอร์

เดี่ยวในดิน สปอร์มีผิวเรียบ รูปร่างไม่แน่นอน พวกที่มีรูปร่างแบบ globose จนถึง subglobose สปอร์จะมีขนาด (20-)40-85(-120) x (20-)40-85(-120) ไมโครเมตร ส่วนพวกที่มีรูปร่างแบบไม่สม่ำเสมอ สปอร์จะมีขนาด (30-)40-120(-210) x (20-)40-90(-120) ไมโครเมตร สปอร์มีสีเหลืองจาง น้ำตาลเหลือง จนถึงน้ำตาลส้ม บางครั้งมีสีค่อนข้างเขียวเมื่อสะท้อนกับแสง โครงสร้างของผนัง สปอร์จะแยกได้เป็น 1-2 ชั้น มีสี ผนังสปอร์เป็นแบบ laminated walls หนา 1-3(-5) ไมโครเมตร ความหนาจะใกล้เคียงกับใยที่ติดกับสปอร์ ถ้าสปอร์มีผนังสปอร์ 2 ชั้น ชั้นที่อยู่นอกสุดจะหนากว่าชั้นใน และผนังสปอร์ภายในจะสร้างขึ้นจากภายในของสปอร์เดิม (internal proliferation) สปอร์มีก้านยึดได้หลายแบบ คือ แบบตรง แบบโค้งงอ หรือแบบกรวย ซึ่งก้านยึดสปอร์ในส่วนนี้อาจบานออกได้ถึง 12 ไมโครเมตร บางสปอร์อาจมีก้านยึดสปอร์ได้ถึง 2 อัน บริเวณก้านยึดสปอร์มีช่องเปิดเล็ก ๆ ติดต่อกับภายในสปอร์ เมื่อสปอร์แก่สารประกอบภายในสปอร์จะมีผนัง (septum) ปิดกั้นแยกจากใยรา หรือผนังสปอร์หนาขึ้นปิดกั้นระหว่างสปอร์กับใยรา (plug) ซึ่งมีลักษณะตรงตามรายงานของ Koske (1985) ที่ได้รายงานไว้

5. การเก็บข้อมูลดิน โดยเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลองในระยะเจริญเติบโตและระยะออกดอก ติดผล และหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตสับดำ 1 สัปดาห์ ตามวิธีการดังต่อไปนี้

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร ห่างจากโคนต้น 20 เซนติเมตร ดันละ 4 จุด ๆ ละประมาณ 250 กรัมรอบทรงพุ่ม แล้วนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอตามคำรับ การทดลอง เก็บตัวอย่างดินที่คลุกเคล้าแล้วแยกแต่ละคำรับการทดลองใส่ในถุงพลาสติก นำตัวอย่างดินไปผึ่งให้แห้ง หลังจากนั้น นำตัวอย่างดินที่ผึ่งแห้งแล้ว ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2.0 มิลลิเมตร (ทศนีย์ และ จงรักษ์, 2542) เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ในขั้นตอนต่อไป

5.2 การวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ (ทศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

5.2.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1: 1 วัดด้วย pH meter

5.2.2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) วิธี Kjeldahl (Jackson, 1958)

5.2.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorous) สกัดดินด้วย น้ำยาสกัด Bray II แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer (Bray and Krutz, 1945)

5.2.4 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium, calcium and magnesium) สกัดดินด้วย 1N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) วัดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

5.2.5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) ด้วยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934)

5.2.6 ค่าการนำไฟฟ้า (EC_c) วัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่ อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated extract) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง electric conductivity meter

6. การเก็บข้อมูลปริมาณธาตุอาหารในส่วนเหนือดิน โดยเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลองในระยะเจริญเติบโตและระยะออกดอก ติดผล และหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตสับ ด้า 1 สัปดาห์ ตามวิธีการดังต่อไปนี้

6.1 การเก็บตัวอย่างใบสับด้า

ก่อนการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างใบสับด้าประมาณ 25-35 ต้น ๆ ละ 2 ใบ ส่วน ระหว่างการทดลองและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต สุ่มเก็บตามดำรับการทดลอง ต้นละ 4 ใบ นำ ใบมารวมกันเพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหาร (ทักษิณี และ จงรักษ์, 2542)

6.2 การวิเคราะห์ปริมาณ N, P, K, Ca และ Mg ในใบสับด้า (ทักษิณี และ จงรักษ์, 2542)

นำตัวอย่างใบสับด้าแต่ละดำรับการทดลองไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จน น้ำหนักคงที่แล้วบด แล้วบดตัวอย่างใบผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช นำตัวอย่างพืชไปวิเคราะห์หา ปริมาณ N, P, K, Ca และ Mg ย่อยตัวอย่างพืชด้วย digestion mixture (H_2SO_4 - H_2O_2) แล้วนำไป วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยการกลั่น วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธี colorimetric

(vanadomolybdate yellow color) วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมโดยวิธี atomic emission spectrophotometry และวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมโดยวิธี atomic absorption spectrophotometry

6.3 การวิเคราะห์ปริมาณ N, P, K, Ca และ Mg ในต้นสบู่ดำ (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

หลังการเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์ ถอนต้นสบู่ดำของแต่ละตำรับการทดลอง แล้วริดใบออกให้เหลือแต่ลำต้น กิ่ง ก้าน แล้วจึงสับลำต้น รวมทั้งกิ่ง ก้านสบู่ดำให้มีความยาว 15 เซนติเมตรเท่ากัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และบดผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช หลังจากนั้นนำไปย่อยตัวอย่างพืชด้วย digestion mixture ($\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$) เพื่อวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์พืชเช่นเดียวกับข้อ 6.2

7. การวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลเป็ด

เก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากมูลเป็ดที่ใช้ในการทดลองมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี โดยวิธีการวิเคราะห์อธิบายไว้ใน Official Methods of Analysis of AOAC International (Horwitz, 2000)

ก่อนการทดลอง ตรวจสอบจำนวนสปอร์ของเชื้อรา *G. aggregatum* ในดินบริเวณรากพืช และเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากพืชของเชื้อรา *G. aggregatum* พบว่า มีจำนวนสปอร์ 5 สปอร์ต่อกรัม และการเข้าสู่รากพืช 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการวิเคราะห์ดินก่อนการทดลอง ได้ผลดังนี้ ผลการวิเคราะห์ดินเมื่อประเมินตามเกณฑ์การวิเคราะห์ดินของ Land Development Department and FAO Project Staff and Land Classification Division (1973) สรุปได้ว่า เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) พีเอชเป็นกรดเล็กน้อย 6.42 ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ 3.5 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลาง 1.54 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับปานกลาง 0.075 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก 64.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง 117.70 และ 3527.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง 217.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนผลการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลเป็ดก่อนการทดลองได้ผลดังนี้ พีเอช 7.22 ปริมาณ

อินทรีย์วัตถุ 50.17 เปอร์เซ็นต์ ค่าการนำไฟฟ้า (ดิน:น้ำ 1:5) 0.55 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณ ไนโตรเจนฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด 0.98, 1.13, 1.61, 2.14 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงใช้ปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลเป็ด อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเหมาะสมและเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ตามค่าวิเคราะห์ดิน (กองสำรวจดิน, 2523) นอกจากนี้ ใช้ปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลเป็ดอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อศึกษาการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตในพืชสบู่ดำในปีที่ 2 ของการปลูก

8. การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นสบู่ดำ

8.1 ความสูงของต้นสบู่ดำ วัดจากระดับพื้นดินถึงปลายยอดสูงสุด บันทึกผลเดือนละครั้งจนครบอายุการเก็บเกี่ยว

8.2 จำนวนกิ่งของต้นสบู่ดำ นับจำนวนกิ่งของสบู่ดำทั้งหมด บันทึกผลเดือนละครั้งจนครบอายุการเก็บเกี่ยว

8.3 ความยาวราก วัดความยาวของรากสบู่ดำตั้งแต่โคนต้นลงไปจนถึงสุดปลายของราก บันทึกผลทุก 3 เดือนจนครบอายุการเก็บเกี่ยว

8.4 น้ำหนักสดต้น ชั่งมวลชีวภาพสดของสบู่ดำหลังจากเก็บเกี่ยวทันที

8.5 น้ำหนักแห้งต้น ชั่งมวลชีวภาพแห้งหลังจากอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักแห้งของตัวอย่างสบู่ดำคงที่

9. การเก็บข้อมูลการให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของต้นสบู่ดำ

9.1 จำนวนผลผลิตสบู่ดำ เก็บข้อมูลจำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้น

9.2 น้ำหนักผลผลิตสับดูดำ เก็บข้อมูลน้ำหนักผลสด น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และ น้ำหนัก 100 เมล็ด

10. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อหาค่า F-value หากข้อมูลแสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ก็จะนำมาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

สถานที่ทำการทดลอง

1. แปลงทดลองของโครงการวิจัยและพัฒนาแบบบูรณาการพลังงานชีวภาพและพลังงานจากธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
2. ห้องปฏิบัติการเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
3. ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาของดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2550 และสิ้นสุดการทดลองเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551 ใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น 13 เดือน

ผลและวิจารณ์

1. จำนวนสปอร์ในดินและการเข้าสู่รากพืชของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา

1.1 จำนวนสปอร์ในดินที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสบู่ดำ

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลทำให้จำนวนสปอร์ในดินบริเวณรากสบู่ดำระยะเจริญเติบโต ระยะติดดอก ผลอ่อน และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนที่ 3, 6 และ 9) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาพบจำนวนสปอร์ในดินมากกว่าการไม่ใส่เชื้อราทุกระยะที่ทดลอง ได้แก่ 74, 81 และ 56 สปอร์ต่อกรัม ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นพบจำนวนสปอร์ในดินมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้นทุกระยะที่ทดลอง ได้แก่ 44, 46 และ 32 สปอร์ต่อกรัม ตามลำดับ และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้นพบจำนวนสปอร์ในดินมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่นทุกระยะที่ทดลอง ได้แก่ 52, 52 และ 37 สปอร์ต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

นอกจากนี้ การใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ และการใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยฟอสเฟตทำให้จำนวนสปอร์ในดินทุกระยะที่ทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ การใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น และการใส่เชื้อราพร้อมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มที่จะทำให้สปอร์ในดินบริเวณรากสบู่ดำมีปริมาณมากที่สุด โดยการใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้สปอร์ในดินเดือนที่ 3, 6 และ 9 มีปริมาณ 85, 92 และ 63 สปอร์ต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนการใส่เชื้อราพร้อมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้สปอร์ในดินเดือนที่ 3, 6 และ 9 มีปริมาณ 101, 102 และ 71 สปอร์ต่อกรัม ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การใส่เชื้อราเพิ่มลงไปในดิน จะพบปริมาณสปอร์มากกว่าการไม่ใส่เชื้อราอย่างชัดเจน ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น ถึงจะพบสปอร์ในปริมาณสูงแต่ยังต่ำกว่าที่ระดับ 4 กิโลกรัมต่อต้น เกินกว่า 5 เท่า และการใส่หินฟอสเฟตทำให้ปริมาณสปอร์สูงกว่าการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตถึง 10 เท่าเช่นกัน อาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มการเจริญและปริมาณของเชื้อราเป็นไปได้ยาก หากไม่มีการเติมเชื้อราลงไปในดินให้มากขึ้น เพราะยังมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่อาศัยปะปนอยู่และเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน ทำให้กิจกรรมของเชื้อราลดลง ส่งผล

กระทบต่อการอยู่รอดของเชื้อรา (Chen *et al.*, 2000; Tawaraya *et al.*, 2003) เมื่อมีการใส่เชื้อราเพิ่มลงไปในดิน จะเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ให้มากขึ้น และเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ให้มากขึ้นด้วย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชสับคั่ว โดยปุ๋ยที่ใส่ให้กับพืชก็เป็นแหล่งอาหารที่ดีต่อเชื้อรา โดยเฉพาะปุ๋ยอินทรีย์ และหินฟอสเฟตที่เชื้อราสามารถละลายได้ดี เชื้อรามีการสร้างกรดอินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายปุ๋ยอินทรีย์ และหินฟอสเฟตได้ ทำให้เชื้อราได้รับอาหารอย่างเพียงพอ (ธงชัย, 2550; Allen *et al.*, 1981) จึงทำให้เกิดประโยชน์ต่อเชื้อราได้เร็วกว่า และสามารถเพิ่มปริมาณสปอร์ให้มากขึ้น และหากเทียบกับการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ซึ่งมีสารเคลือบเม็ดปุ๋ย เชื้อราที่มีความสามารถในการละลายได้ต่ำกว่า ธาตุอาหารจึงละลายออกมาได้น้อย การอยู่รอดของเชื้อราจึงต่ำกว่าด้วย (วชิราภรณ์, 2548) จะเห็นได้จากปริมาณสปอร์ของเชื้อราในเดือนที่ 3 ที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตจะมีปริมาณต่ำกว่าการใส่หินฟอสเฟตอย่างเด่นชัด แต่ต่อมาในเดือนที่ 6 ปริมาณของเชื้อราจะมีเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสารเคลือบเม็ดปุ๋ยได้สลายออกไป และเชื้อราสามารถละลายธาตุอาหารออกมาใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณประชากรเชื้อราจึงเพิ่มขึ้นแต่ยังต่ำกว่าการใส่หินฟอสเฟตอย่างเห็นได้ชัด และลดลงอย่างมากในเดือนที่ 9 นอกจากนี้ปริมาณสปอร์ในทุกปัจจัยจะมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ สภาพความชื้น และปริมาณอาหารตามแต่ละช่วงเวลาที่มียาก-น้อยไม่เท่ากัน เมื่ออยู่ในสถานะที่ไม่เหมาะสมปริมาณเชื้อราก็ลดจำนวนลงได้ (ธงชัย และคณะ, 2551)

1.2 การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราอีเอ็มคอร์ไรซาที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสับคั่ว

เชื้อราอีเอ็มคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟตส่งผลให้การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราอีเอ็มคอร์ไรซาระยะเจริญเติบโต ระยะติดดอก ผลอ่อน และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนที่ 3, 6 และ 9) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อพิจารณาพบว่า การใส่เชื้อราอีเอ็มคอร์ไรซาพบการเข้าสู่รากพืชของเชื้อรามากกว่าการไม่ใส่เชื้อราทุกระยะที่ทดลอง ได้แก่ 53, 66 และ 55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น พบการเข้าสู่รากพืชของเชื้อรามากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้นทุกระยะที่ทดลอง ได้แก่ 32, 36 และ 31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น พบการเข้าสู่รากพืชของเชื้อรามากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่นทุกระยะที่ทดลอง ได้แก่ 37, 40 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

นอกจากนี้ การใส่เชื้อาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ และการใส่เชื้อาร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟตส่งผลให้การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราเดือนที่ 3, 6 และ 9 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ

การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น และการใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้การเข้าสู่รากพืชของเชื้อรามีแนวโน้มมากที่สุด โดยการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราเดือนที่ 3, 6 และ 9 มีปริมาณ 61, 72 และ 61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราเดือนที่ 3, 6 และ 9 มีปริมาณ 67, 79 และ 67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การใส่เชื้อราเพิ่มลงไปในดิน จะพบเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากพืชของเชื้อรามากกว่าการไม่ใส่เชื้อราอย่างเด่นชัด ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น จะพบการเข้าสู่รากพืชของเชื้อราในเปอร์เซ็นต์ที่สูงและสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้นอย่างเด่นชัด และการใส่หินฟอสเฟตทำให้เปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราสูงกว่าการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตอย่างเด่นชัดด้วยเช่นกัน เป็นไปได้ว่าการที่พบปริมาณสปอร์ในดินมาก ทำให้เกิดกิจกรรมของเชื้อรามาก ส่งผลให้พบเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากพืชของเชื้อรามากตามไปด้วย เนื่องจากก่อนที่จะมีการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาต้องมีการเข้าสู่รากพืชก่อน (Smith and Gianinazzi-Pearson, 1988) และเมื่อเชื้อราเข้าสู่รากพืชแล้ว จะมีการสร้างอาร์บัสคูล (arbuscule) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนอาหารระหว่างเชื้อราและรากพืช และสร้างเวสิเคิล (vesicle) เพื่อเก็บสะสมอาหาร และปลดปล่อยให้พืชได้ใช้ประโยชน์ต่อไปภายหลังได้ (Ahaibor and Hirata, 1994) และจะเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชสับุดำ อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากพืช จะมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับจำนวนสปอร์ โดยทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ สภาพความชื้น และปริมาณอาหารตามแต่ละช่วงเวลาที่มียาก-น้อยไม่เท่ากัน เมื่ออยู่ในสถานะที่ไม่เหมาะสมปริมาณเชื้อราก็ลดจำนวนลงได้ จนทำให้เปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากลดลงด้วยเช่นกัน (ธงชัย และคณะ, 2551)

ตารางที่ 3 จำนวนสปอร์ในดินที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสบู่ดำ (สปอร์ต่อกรัม) เดือนที่ 3, 6 และ 9

ดำเนินการทดลอง	จำนวนสปอร์ในดิน		
	3 เดือน	6 เดือน	9 เดือน
(หน่วย: สปอร์ต่อกรัม)			
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	4b	1b	1b
ใส่เชื้อรา (I)	74a	81a	56a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	34b	36b	25b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	44a	46a	32a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	41b	42b	32b
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	52a	52a	37a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	30c	33c	22c
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	33c	37c	25c
F-test	**	**	**
AxB	**	**	**
AxC	**	**	**
BxC	ns	ns	ns
AxBxC	ns	ns	ns
CV (%)	10.49	10.46	10.49

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 4 การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสบู่ดำ
(เปอร์เซ็นต์) เดือนที่ 3, 6 และ 9

ดำเนินการทดลอง	(หน่วย: เปอร์เซ็นต์)		
	การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา		
	3 เดือน	6 เดือน	9 เดือน
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	4b	0b	1b
ใส่เชื้อรา (I)	53a	66a	55a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	24b	30b	25b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	32a	36a	31a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	31b	35b	29b
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	37a	40a	35a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	22c	28c	24c
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	24c	30c	24c
F-test	**	**	**
AxB	**	**	**
AxC	**	**	**
BxC	ns	ns	ns
AxBxC	ns	ns	ns
CV (%)	9.46	10.37	10.12

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

2. การเจริญเติบโตของสับดำพันธุ์อินเดีย

2.1 ความสูง

2.1.1 ความสูงระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 1-3)

เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลต่อความสูงของต้นสับดำระยะเจริญเติบโต แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใส่เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาทำให้ความสูงที่ระยะ 1-3 เดือนสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อรา ได้แก่ 60, 71 และ 100 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นทำให้ความสูงที่ระยะ 1-3 เดือนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น ได้แก่ 62, 75 และ 99 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้นทำให้ความสูงที่ระยะ 1-3 เดือนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น ได้แก่ 62, 74 และ 99 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

และพบว่า การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้สับดำมีความสูงต้นมากที่สุดทั้งในเดือนที่ 1-3 โดยการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ส่งผลให้สับดำเดือนที่ 1-3 มีความสูง 63, 76 และ 108 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้สับดำเดือนที่ 1-3 มีความสูง 63, 77 และ 112 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้สับดำเดือนที่ 1-3 มีความสูง 65, 81 และ 109 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้สับดำเดือนที่ 1-3 มีความสูง 66, 83 และ 121 เซนติเมตร ตามลำดับ

2.1.2 ความสูงระยะติดดอก ผลอ่อน (เดือนที่ 4-6)

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต พบว่า ส่งผลต่อความสูงของต้นสับดำระยะติดดอก ผลอ่อน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใส่เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาทำให้ความสูงที่ระยะ 4-6 เดือนสูงกว่าการไม่

ใส่เชื้อรา ได้แก่ 131, 157 และ 162 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นทำให้ความสูงที่ระยะ 4-6 เดือนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น เท่ากับ 123, 142 และ 146 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้นทำให้ความสูงที่ระยะ 4-6 เดือนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น เท่ากับ 126, 145 และ 149 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

นอกจากนี้ การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ต้นสับดูมีความสูงมากที่สุด กล่าวคือ การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูเดือนที่ 4-6 มีความสูง 141, 167 และ 172 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูเดือนที่ 4-6 มีความสูง 149, 176 และ 181 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูเดือนที่ 4-6 มีความสูง 138, 158 และ 161 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูเดือนที่ 4-6 มีความสูง 162, 187 และ 191 เซนติเมตร ตามลำดับ

2.1.3 ความสูงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนที่ 7-9)

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ พบว่า เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลต่อความสูงของต้นสับดูระยะออกผลตั้งแต่เดือนที่ 7-9 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้ต้นสับดูมีความสูงที่ระยะ 7-9 เดือนสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อรา เท่ากับ 165, 169 และ 175 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูมีความสูงที่ระยะ 7-9 เดือนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น เท่ากับ 148, 152 และ 157 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูมีความสูงที่ระยะ 7-9 เดือนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น เท่ากับ 151, 155 และ 160 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7

นอกจากนี้ การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มี

แนวโน้มทำให้ต้นสับดูมีความสูงมากที่สุด โดยการใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูเดือนที่ 7-9 มีความสูง 175, 178 และ 184 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่เชื้อราพร้อมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูเดือนที่ 7-9 มีความสูง 184, 187 และ 193 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูเดือนที่ 7-9 มีความสูง 164, 168 และ 172 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ต้นสับดูเดือนที่ 7-9 มีความสูง 194, 197 และ 201 เซนติเมตร ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การใส่เชื้อรา การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ความสูงของต้นสับดูดีกว่าระดับอื่นอย่างชัดเจนทุก ระยะที่ทำการทดลอง และเมื่อพิจารณาถึงจำนวนสปอร์และเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากสับดูร่วมด้วย พบว่าไปในทิศทางเดียวกันคือ หากพบสปอร์ของเชื้อราในปริมาณสูง การเข้าสู่รากสับดูของเชื้อรา จะสูงตามไปด้วย และต้นสับดูที่พบการเข้าสู่รากจากเชื้อราในปริมาณสูง ก็มีการเจริญเติบโตดีที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของธงชัย และคณะ (2551) และ Carling and Brown (1980) ที่ศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเมื่อปลูกร่วมกับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ผลการศึกษาพบว่า เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองได้ดี รวมทั้ง Schreiner (2007) ทดลองในพืช Pinot noir ร่วมกับการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา พบว่าพืชมีการตอบสนองต่อเชื้อราที่ใส่ร่วมกันในเชิงบวก คือ ให้การเจริญเติบโตดี และเชื้อราสามารถเพิ่มปริมาณธาตุฟอสฟอรัส และสังกะสีให้กับพืชด้วย และยังสอดคล้องกับ Alloush *et al.* (2000) ที่ศึกษาการเจริญเติบโตของ chickpea ร่วมกับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาและปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินกรด ผลการศึกษาพบว่า พืชมีการเจริญเติบโตดี และเชื้อราสามารถละลายฟอสฟอรัสออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ โดยจากการวิเคราะห์ดินพบฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าก่อนทำการทดลอง ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อเชื้อราเข้าสู่รากพืชแล้ว จะพัฒนาใยราให้เจริญออกมานอกรากพืชเพื่อชอนไชเข้าสู่ดิน ดูดซับน้ำ และธาตุอาหาร แล้วส่งต่อให้พืชรวมทั้งการเจริญไปตามผิวรากและเพิ่มการเข้าสู่รากพืชในจุดอื่นอีก (Ahaibor and Hirata, 1994; Bolan, 1991) และ Peterson *et al.* (2004) กล่าวว่า เชื้อรา มี intraradical hyphae, arbuscule, vesicle และ extraradical mycelium ช่วยดูดซับและเก็บธาตุอาหาร และน้ำ เป็นการช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารมากขึ้นอีก แล้วลำเลียงธาตุอาหารและน้ำไปยังรากพืช ซึ่งมีบทบาทในการดูดซับและส่งต่อไปยังส่วนบนของพืช นอกจากนี้ การได้รับธาตุฟอสฟอรัสและธาตุอาหารอื่นจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดิน ซึ่งเป็นไปได้ว่าอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของ

พืชในระหว่างการเจริญเติบโตต่าง ๆ การเจริญเติบโตของสับุดำในส่วนเหนือดินก็อาจเป็นไปได้
สัดส่วนที่มากกว่าได้

ตารางที่ 5 ความสูงของต้นสับุดำระยะเจริญเติบโต (เซนติเมตร) เดือนที่ 1-3

ดำรับการทดลอง	(หน่วย: เซนติเมตร)		
	ความสูงของต้นสับุดำ		
	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	59b	69b	80b
ใส่เชื้อรา (I)	60a	71a	100a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	56b	64b	82b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	62a	75a	99a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	58c	66c	85c
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	62a	74a	99a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	57d	65d	82d
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	61b	73b	95b
F-test	**	**	**
AxB	**	**	**
AxC	**	**	**
BxC	**	**	**
AxBxC	**	**	**
CV (%)	6.37	10.54	16.64

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 6 ความสูงของต้นสับดำระยะติดดอก ผลอ่อน (เซนติเมตร) เดือนที่ 4-6

คำรับการทดลอง	(หน่วย: เซนติเมตร)		
	ความสูงของต้นสับดำ		
	4 เดือน	5 เดือน	6 เดือน
เชื้อราไวรัสไหมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	94b	103b	106b
ใส่เชื้อรา (I)	131a	157a	162a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	102b	118b	122b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	123a	142a	146a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	105c	122c	127c
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	126a	145a	149a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	100d	115d	119d
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	119b	136b	140b
F-test	**	**	**
AxB	**	**	**
AxC	**	**	**
BxC	**	**	**
AxBxC	**	**	**
CV (%)	21.91	25.17	24.97

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 7 ความสูงของต้นสนปูดำระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (เซนติเมตร) เดือนที่ 7-9

คำรับการทดลอง	(หน่วย: เซนติเมตร)		
	ความสูงของต้นสนปูดำ		
	7 เดือน	8 เดือน	9 เดือน
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	108b	113b	117b
ใส่เชื้อรา (I)	165a	169a	175a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	124b	129b	135b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	148a	152a	157a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	129c	132c	138c
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	151a	155a	160a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	122d	128d	133d
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	143b	147b	153b
F-test	**	**	**
AxB	**	**	**
AxC	**	**	**
BxC	**	**	**
AxBxC	**	**	**
CV (%)	24.82	23.49	23.23

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

2.2 จำนวนกิ่ง

2.2.1 จำนวนกิ่งระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 1-3)

เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ไม่ทำให้จำนวนกิ่งของต้นสนดำเดือนที่ 1 แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนจำนวนกิ่งในเดือนที่ 2 มีเพียงเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา และปุ๋ยฟอสเฟตที่ทำให้จำนวนกิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยการใส่เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการไม่ใส่เชื้อราและมีจำนวนกิ่ง 6 กิ่ง และการใส่หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น รวมทั้งการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น ทำให้มีจำนวนกิ่ง 6 กิ่ง และเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ทำให้จำนวนกิ่งเดือนที่ 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่เชื้อรา การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้มีจำนวนกิ่งมากที่สุด 7 กิ่ง (ตารางที่ 8)

2.2.2 จำนวนกิ่งระยะติดดอก ผลอ่อน (เดือนที่ 4-6)

เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ทำให้จำนวนกิ่งของต้นสนดำเดือนที่ 4-6 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยเดือนที่ 4 และ 5 การใส่เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการไม่ใส่เชื้อราและมีจำนวนกิ่ง 7 กิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้นและมีจำนวนกิ่ง 7 กิ่ง และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น คือ 7 กิ่ง ส่วนเดือนที่ 6 การใส่เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการไม่ใส่เชื้อรา คือ 7 กิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น คือ 7 กิ่ง และการใส่หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น ทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น คือ 7 กิ่ง (ตารางที่ 9) การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มที่จะทำให้จำนวนกิ่งของต้นสนดำเดือนที่ 6 มีจำนวนมากที่สุด โดยมีจำนวนกิ่ง 8 กิ่ง

2.2.3 จำนวนกิ่งระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนที่ 7-9)

เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ทำให้จำนวนกิ่งของต้นสนดำเดือนที่ 7-9 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยการใส่เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา

ทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการไม่ใส่เชื้อราตั้งแต่เดือนที่ 7-9 และมีจำนวนกิ่ง 7 กิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น ตั้งแต่เดือนที่ 7-9 และมีจำนวนกิ่ง 7 กิ่ง และการใส่หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น ทำให้มีจำนวนกิ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น คือ 7 กิ่ง (ตารางที่ 10) การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มที่จะทำให้จำนวนกิ่งของสนุ่นดำระยะออกผลมีจำนวนมากที่สุด โดยมีจำนวนกิ่ง 8 กิ่ง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การใส่เชื้อรา การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้จำนวนกิ่งของสนุ่นดำดีกว่าระดับอื่นอย่างเด่นชัด ตั้งแต่เดือนที่ 3-6 และเมื่อพิจารณาถึงการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นสนุ่นดำมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับจำนวนกิ่ง กล่าวคือ เมื่อต้นสนุ่นดำมีการเจริญเติบโตด้านความสูง ก็ส่งผลต่อการแตกกิ่งเช่นเดียวกัน คือทำให้จำนวนกิ่งดีที่สุดเช่นกัน ถึงแม้ว่าจะไม่แสดงให้เห็นชัดใน 2 เดือนแรก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วง 2 เดือนแรกหลังจากการตัดกิ่ง มีการนำธาตุอาหารออกไปกับกิ่งที่ตัดออกไปด้วย (Schaffer and Gaye, 1989) และการเพิ่มธาตุอาหารลงไปในดินยังลำเลียงไปไม่ถึงส่วนที่ต้องการธาตุอาหารในปริมาณสูง และยังคงซ่อมแซมส่วนของกิ่งที่โคนตัดออกไป ธาตุอาหารจึงถูกลำเลียงไปใช้ในส่วนของกิ่งที่โคนตัดออกไปมากกว่าที่จะสร้างกิ่งอื่นเพิ่มขึ้นมาใหม่ และเมื่อธาตุอาหารที่ใส่ลงไปในดินมีปริมาณความเข้มข้นมากขึ้นจากการละลายได้เองและการละลายจากเชื้อรา จึงมีธาตุอาหารเพียงพอในการลำเลียงมาเพิ่มในส่วนของการสร้างกิ่งใหม่ต่อไป และจากปริมาณเชื้อรา และปุ๋ยอัตราที่ใช้ในการทดลองที่ใส่ลงไปในดิน ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ สนุ่นดำจึงเกิดการแตกกิ่งมากขึ้นตั้งแต่เดือนที่ 3 ที่ทำการทดลอง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงระยะออกดอก คิดผลในเดือนที่ 6 และหลังจากนั้นการสร้างกิ่งใหม่หยุดชะงักลง เนื่องจากต้องใช้ปริมาณธาตุอาหารไปสร้างส่วนของดอก และผล

ตารางที่ 8 จำนวนกึ่งของสปู่ดำระยะเจริญเติบโต (กึ่งต่อต้น) เดือนที่ 1-3

(หน่วย: กึ่งต่อต้น)

คำรับการทดลอง	จำนวนกึ่งของสปู่ดำ		
	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	5	5b	6b
ใส่เชื้อรา (I)	5	6a	7a
F-test	ns	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	5	6	6b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	5	6	7a
F-test	ns	ns	**
ระดับของปุ๋ยฟอสฟอรัส (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	5	6a	6b
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	5	6a	7a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	5	5b	6b
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	5	6a	6b
F-test	ns	**	**
AxB	ns	ns	ns
AxC	ns	ns	ns
BxC	ns	ns	ns
AxBxC	ns	ns	ns
CV (%)	0	12.41	12.41

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 9 จำนวนกิ่งของสับดูดำระยะติดดอก ผลอ่อน (กิ่งต่อต้น) เดือนที่ 4-6

(หน่วย: กิ่งต่อต้น)

คำรับการทดลอง	จำนวนกิ่งของสับดูดำ		
	4 เดือน	5 เดือน	6 เดือน
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	6b	6b	6b
ใส่เชื้อรา (I)	7a	7a	7a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	6b	6b	6b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	7a	7a	7a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	6b	6b	7a
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	7a	7a	7a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	6b	6b	6b
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	6b	6b	6b
F-test	**	**	**
AxB	ns	ns	ns
AxC	ns	ns	**
BxC	ns	ns	ns
AxBxC	ns	ns	ns
CV (%)	12.41	12.41	15.49

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 10 จำนวนกิ่งของสับุดำระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (กิ่งต่อต้น) เดือนที่ 7-9

(หน่วย: กิ่งต่อต้น)

คำรับการทดลอง	จำนวนกิ่งของสับุดำ		
	7 เดือน	8 เดือน	9 เดือน
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	6b	6b	6b
ใส่เชื้อรา (I)	7a	7a	7a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	6b	6b	6b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	7a	7a	7a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	7a	7a	7a
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	7a	7a	7a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	6b	6b	6b
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	6b	6b	6b
F-test	**	**	**
AxB	ns	ns	ns
AxC	**	**	**
BxC	ns	ns	ns
AxBxC	ns	ns	ns
CV (%)	15.49	15.49	15.49

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

2.3 ความยาวรากที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสนุ่นดำ (เดือนที่ 3, 6 และ 9)

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต พบว่า ส่งผลต่อความยาวรากของสนุ่นดำในเดือนที่ 6 และ 9 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้ความยาวรากเดือนที่ 6 และ 9 ยาวกว่าการไม่ใส่เชื้อรา เท่ากับ 104 และ 127 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้ความยาวรากเดือนที่ 6 และ 9 ยาวกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น เท่ากับ 92 และ 122 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใส่หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น ทำให้ความยาวรากเดือนที่ 6 และ 9 ยาวกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น โดยเดือนที่ 6 มีความยาวรากเท่ากับ 92 และ 94 เซนติเมตร ตามลำดับ และเดือนที่ 9 มีความยาวรากเท่ากับ 118 และ 125 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนในเดือนที่ 3 การใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้มีความยาวรากเท่ากับ 61 เซนติเมตร และการใส่หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น และการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น ทำให้มีความยาวรากเท่ากับ 58, 59 และ 57 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในเดือนที่ 6 พบว่า การใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ความยาวรากมากที่สุด (110 เซนติเมตร) การใส่เชื้อราพร้อมกับหินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ความยาวรากมากที่สุดโดยมีความยาวรากใกล้เคียงกัน (109 และ 113 เซนติเมตร) และการใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ความยาวรากมากที่สุด (121 เซนติเมตร) และในเดือนที่ 9 การใส่เชื้อราพร้อมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ความยาวรากมากที่สุด (130 เซนติเมตร) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ความยาวรากมากที่สุด (136 เซนติเมตร) และการใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ความยาวรากมากที่สุด (155 เซนติเมตร)

จากผลการทดลองกล่าวได้ว่า เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีส่วนช่วยให้สนุ่นดำมีการเจริญเติบโตทางด้านความยาวรากเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นสนุ่นดำที่ไม่ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา สาเหตุที่ทำให้สนุ่นดำมีความยาวรากยาวกว่าสนุ่นดำที่ไม่ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา เนื่องจากใยราของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารของพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น จึงมีความยาวรากยาวกว่าสนุ่นดำที่ไม่ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (Bolan, 1991; Peterson *et al.*, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของพิชิต (2547) ที่ทดลองปลูกกล้าส้ม

ร่วมกับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา พบว่ากล้าส้มที่ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้มีความยาวรากยาวกว่ากล้าส้มที่ไม่ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.4 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสบู่ดำหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (กรัมต่อต้น)

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา และปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสบู่ดำหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสบู่ดำสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อราเท่ากับ 4471.54 และ 19.87 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสบู่ดำสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น เท่ากับ 4553.55 และ 20.29 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสบู่ดำมีแนวโน้มสูงที่สุด เท่ากับ 5302.38 และ 23.57 กรัมต่อต้น ตามลำดับ

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาให้กับสบู่ดำทำให้ต้นสบู่ดำมีน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักแห้งต้นมากกว่าการไม่ใส่เชื้อราให้กับสบู่ดำ เนื่องจากใยราชองเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารของพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Bolan, 1991) จึงมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นมากกว่าสบู่ดำที่ไม่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา สอดคล้องกับศรัณยา (2545) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาในการส่งเสริมการเจริญเติบโตในต้นกล้าทุเรียน และดวงใจ (2546) ที่ศึกษาเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาในต้นกล้ามะละกอ พบว่า ต้นกล้าทุเรียนและต้นกล้ามะละกอที่ปลูกร่วมกับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้ามากกว่าต้นกล้าที่ไม่ได้ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับพิชิต (2547) ที่ศึกษาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นกล้าส้มพบว่าต้นกล้าส้มที่ปลูกร่วมกับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นกล้าส้มมากกว่าการไม่ใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาอย่างชัดเจน

ตารางที่ 11 ความยาวรากที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสบู่ดำ (เซนติเมตร) เดือนที่ 3, 6 และ 9

(หน่วย: เซนติเมตร)

คำรับการทดลอง	ความยาวรากของสบู่ดำ		
	3 เดือน	6 เดือน	9 เดือน
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	52b	73b	103b
ใส่เชื้อรา (I)	61a	104a	127a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	56	84b	108b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	57	92a	122a
F-test	ns	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	58a	92a	118a
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	59a	94a	125a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	57a	85b	111b
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	53b	83b	107b
F-test	**	**	**
AxB	ns	*	ns
AxC	ns	**	**
BxC	ns	ns	*
AxBxC	ns	*	*
CV (%)	10.69	19.92	14.59

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

*,** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางที่ 12 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสบู่ดำหลังการเก็บเกี่ยว (กรัมต่อต้น)

(หน่วย: กรัมต่อต้น)		
คำรับการทดลอง	น้ำหนักสดของต้นสบู่ดำ	น้ำหนักแห้งของต้นสบู่ดำ
เชื้อราไวรัสไมคอร์ไรซา (A)		
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	3933.38b	17.60b
ใส่เชื้อรา (I)	4471.54a	19.87a
F-test	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)		
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	3851.37b	17.18b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	4553.55a	20.29a
F-test	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)		
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	4431.05	19.75
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	4104.62	18.26
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	3974.13	17.73
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	4300.04	19.19
F-test	ns	ns
AxB	**	**
AxC	ns	ns
BxC	ns	ns
AxBxC	ns	ns
CV (%)	20.35	20.28

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

3. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของสับดูดำ

3.1 จำนวนผลผลิตสับดูดำ (จำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้น)

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ทำให้จำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้นของสับดูดำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้ต้นสับดูดำมีจำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อต้น และจำนวนเมล็ดมากกว่าการไม่ใส่เชื้อราและมีจำนวนผลต่อช่อ 9 ผล จำนวนผลต่อต้น 77 ผล และจำนวนเมล็ดต่อต้น 230 เมล็ด การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นทำให้ต้นสับดูดำมีจำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้นและมีจำนวนผลต่อช่อ 9 ผล จำนวนผลต่อต้น 67 ผล และจำนวนเมล็ดต่อต้น 200 เมล็ด และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้นทำให้ต้นสับดูดำมีจำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น และมีจำนวนผลต่อช่อ 9 ผล จำนวนผลต่อต้น 69 ผล และจำนวนเมล็ดต่อต้น 207 เมล็ด (ตารางที่ 13)

การใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นทำให้จำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้นของสับดูดำมีแนวโน้มสูงที่สุด 10 ผล, 89 ผล และ 266 เมล็ด ตามลำดับ การใส่เชื้อราพร้อมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้นทำให้จำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้นของสับดูดำมีแนวโน้มสูงที่สุด 10 ผล, 91 ผล และ 274 เมล็ด ตามลำดับ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้นทำให้จำนวนผลต่อช่อ จำนวนผลต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้นของสับดูดำมีแนวโน้มสูงที่สุด 9 ผล, 77 ผล และ 232 เมล็ด ตามลำดับ

3.2 น้ำหนักผลผลิตของสับดูดำ (น้ำหนักผลสด น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ด)

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ทำให้น้ำหนักผลสด น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ดของสับดูดำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้ผลสด ผลแห้ง เมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ดของสับดูดำมากกว่าผลผลิตที่ไม่ใส่เชื้อรา การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นให้กับสับดูดำ ทำให้น้ำหนัก

ผลสด น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ดมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้นให้กับต้นสบู่ดำ ทำให้น้ำหนักผลสด น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ดมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น กล่าวคือ การใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาให้กับต้นสบู่ดำ ทำให้ผลสดมีน้ำหนัก 1168.75 กรัมต่อต้น ผลแห้งมีน้ำหนัก 198.99 กรัมต่อต้น เมล็ดมีน้ำหนัก 146.95 กรัมต่อต้น และน้ำหนัก 100 เมล็ดมีน้ำหนัก 168.38 กรัม ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นให้กับสบู่ดำทำให้น้ำหนักผลสดต่อต้น น้ำหนักผลแห้งต่อต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และน้ำหนัก 100 เมล็ดของสบู่ดำเท่ากับ 1018.59, 173.53, 128.14 กรัมต่อต้น และ 149.57 กรัม ตามลำดับ และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้นให้กับสบู่ดำ ทำให้น้ำหนักผลสด น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ดมีน้ำหนักเท่ากับ 1051.75, 179.18, 132.32 กรัมต่อต้น และ 153.75 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้น้ำหนักผลสด น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ดของสบู่ดำมีแนวโน้มสูงที่สุด 1351.49, 230.23, 170.02 กรัมต่อต้น และ 191.45 กรัม ตามลำดับ การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้น้ำหนักผลสด น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ดของสบู่ดำมีแนวโน้มสูงที่สุด 1394.42, 201.40, 175.41 กรัมต่อต้น และ 196.84 กรัม ตามลำดับ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้น้ำหนักผลสด น้ำหนักผลแห้ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ดของสบู่ดำมีแนวโน้มสูงที่สุด 1182.15, 237.54, 148.73 กรัมต่อต้น และ 170.16 กรัม ตามลำดับ

ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อพบสปอร์และการเข้าสู่รากพืชมากขึ้น นอกจากจะส่งผลทางลำต้นและกิ่ง ยังทำให้การออกดอก ติดผลมีอัตราสูงด้วย ในระยะออกดอก ติดผล เชื้อราผลิตกรดออกซาลิก (oxalic acid) ทำปฏิกิริยากับปุ๋ยฟอสเฟต จนฟอสเฟตถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ และยังทำปฏิกิริยากับปุ๋ยอินทรีย์ให้ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาด้วย (Cornwell *et al.*, 2001) แล้วลำเลียงธาตุอาหารและน้ำไปยังรากพืชและส่งต่อไปยังส่วนเหนือดิน เพื่อใช้ในการสร้างดอกและผล การใส่เชื้อราและปุ๋ยในอัตราข้างต้นน่าจะเพียงพอต่อการนำไปสร้างดอกและผล ผลผลิตของสบู่ดำจึงอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

ตารางที่ 13 จำนวนผลต่อข้อ (ผล) ผลต่อต้น (ผล) และเมล็ดต่อต้น (เมล็ด) ของสบู่ดำ

คำรับการทดลอง	จำนวนผลต่อ ข้อ (ผล)	จำนวนผลต่อ ต้น (ผล)	จำนวนเมล็ดต่อ ต้น (เมล็ด)
เชื้อราไวรัสไมคอร์ไรซา (A)			
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	7b	41b	124b
ใส่เชื้อรา (I)	9a	77a	230a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)			
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	7b	51b	154b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	9a	67a	200a
F-test	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)			
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	8b	58b	173b
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	9a	69a	207a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	7c	51c	152c
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	8b	58b	175b
F-test	**	**	**
AxB	**	**	**
AxC	*	**	**
BxC	**	**	**
AxBxC	ns	ns	ns
CV (%)	20.11	36.28	36.27

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

*,** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางที่ 14 น้ำหนักผลสดต่อต้น น้ำหนักผลแห้งต่อต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และน้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม) ของสบู่ดำ

คำรับการทดลอง	(หน่วย: กรัม)			
	น้ำหนัก ผลสด	น้ำหนัก ผลแห้ง	น้ำหนัก เมล็ด	น้ำหนัก 100 เมล็ด
เชื้อราอีเอ็มคอร์ไรซา (A)				
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	632.66b	107.79b	79.60b	101.03b
ใส่เชื้อรา (I)	1168.75a	198.99a	146.95a	168.38a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)				
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	782.82b	133.25b	98.40b	119.83b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	1018.59a	173.53a	128.14a	149.57a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)				
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	883.27b	150.35b	111.03b	132.46b
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	1051.75a	179.18a	132.32a	153.75a
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	775.93c	132.12c	97.57c	119.00c
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	891.86b	151.92b	112.19b	133.62b
F-test	**	**	**	**
AxB	**	**	**	**
AxC	**	**	**	**
BxC	**	**	**	**
AxBxC	ns	ns	ns	ns
CV (%)	36.27	36.28	39.94	30.50

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

4. ผลการวิเคราะห์ดินที่ระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโต

4.1 ผลการวิเคราะห์ดินระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 3)

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ส่วนเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา และปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าการไม่ใส่เชื้อรา (6.41, 3.54 เดซิซีเมนต่อเมตร, 1.72 เปอร์เซ็นต์, 0.081 เปอร์เซ็นต์, 119.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 151.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 3373.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 240.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น (6.40, 3.54 เดซิซีเมนต่อเมตร, 1.69 เปอร์เซ็นต์, 0.078 เปอร์เซ็นต์, 107.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 150.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 3373.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 241.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (3.52 เดซิซีเมนต่อเมตร และ 0.077 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (1.70 เปอร์เซ็นต์ และ 109.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และการใส่หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น และการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น ทำให้แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 15 และ 18)

การใส่เชื้อาร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (6.41, 3.61 เดซิซีเมนต่อเมตร, 0.083 เปอร์เซ็นต์, 113.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 3422.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 241.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) การใส่เชื้อาร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (3.56

เดซิซีเมนต่อเมตร และ 0.083 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น ทำให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 152.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.74 เปอร์เซ็นต์ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 และ 54 กรัมต่อต้น ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.080 เปอร์เซ็นต์ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น ส่งผลต่อแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 3409.03 และ 242.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (6.48) และค่าการนำไฟฟ้า (3.65 เดซิซีเมนต่อเมตร) การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.78 เปอร์เซ็นต์ และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น และปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.084 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าวิเคราะห์ดินดังกล่าวข้างต้นเป็นค่าที่มีแนวโน้มสูงที่สุด

4.2 ผลการวิเคราะห์ดินระยะติดดอก ผลอ่อน (เดือนที่ 6)

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต พบว่า ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้แตกต่างกัน ยกเว้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่มีเพียงเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา และปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำให้เกิดความแตกต่างกัน โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าการไม่ใส่เชื้อรา (6.43, 3.41 เดซิซีเมนต่อเมตร, 1.62 เปอร์เซ็นต์, 0.080 เปอร์เซ็นต์, 94.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 134.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 3260.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 219.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น (6.42, 3.42 เดซิซีเมนต่อเมตร, 1.59 เปอร์เซ็นต์, 0.077 เปอร์เซ็นต์, 90.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 133.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 3259.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 220.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น ทำ

ให้ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (3.41 เดซิซีเมนต่อเมตร และ 0.076 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (1.61 เปอร์เซ็นต์ และ 91.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และการใส่หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น และการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น ทำให้แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 16 และ 19)

การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (6.44) ค่าการนำไฟฟ้า (3.48 เดซิซีเมนต่อเมตร) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.083 เปอร์เซ็นต์) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (95.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (3308.77 และ 220.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า (3.42 เดซิซีเมนต่อเมตร) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.083 เปอร์เซ็นต์) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น ทำให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 134.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.64 เปอร์เซ็นต์ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.081 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 3295.67 และ 231.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (6.51) ค่าการนำไฟฟ้า (3.51 เดซิซีเมนต่อเมตร) การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.71 เปอร์เซ็นต์ และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น และปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 และ 54 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.084 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าวิเคราะห์ดินที่กล่าวมาข้างต้นเป็นค่าที่มีแนวโน้มสูงที่สุด

4.3 ผลการวิเคราะห์ดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนที่ 9)

เชื้อราไวโอมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต พบว่า ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้แตกต่างกัน ยกเว้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมที่

แลกเปลี่ยนได้ที่มีเพียงเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา และปุ๋ยอินทรีย์ ที่ทำให้เกิดความแตกต่างกัน โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าการไม่ใส่เชื้อรา (6.45, 3.30 เดซิซีเมนต่อเมตร, 1.57 เปอร์เซ็นต์, 0.073 เปอร์เซ็นต์, 77.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 123.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 3212.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 204.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น (6.44, 3.31 เดซิซีเมนต่อเมตร, 1.56 เปอร์เซ็นต์, 0.070 เปอร์เซ็นต์, 72.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 122.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 3212.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 205 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และการใส่ปุ๋ยทรูปเปลชูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (3.30 เดซิซีเมนต่อเมตร และ 0.069 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (1.59 เปอร์เซ็นต์ และ 74.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และการใส่หินฟอสเฟต 204 และ 408 กรัมต่อต้น และการใส่ปุ๋ยทรูปเปลชูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น ทำให้แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าใกล้เคียงกัน และสูงกว่าการใส่ปุ๋ยทรูปเปลชูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 17 และ 20)

การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (6.46) ค่าการนำไฟฟ้า (3.48 เดซิซีเมนต่อเมตร) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.076 เปอร์เซ็นต์) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (78.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (3261.23 และ 205.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 3.34 เดซิซีเมนต่อเมตร และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.076 เปอร์เซ็นต์ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น ทำให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 124.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.61 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 3248.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทรูปเปลชูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.074 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 206.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและปุ๋ยทรูปเปลชูเปอร์ฟอสเฟต 54

กรัมต่อต้น ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (6.54) และค่าการนำไฟฟ้า (3.42 เดซิซีเมนต่อเมตร) การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.66 เปอร์เซ็นต์ และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น และปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 และ 54 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.077 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าวิเคราะห์ดินข้างต้นเป็นค่าที่มีแนวโน้มสูงที่สุด

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณธาตุอาหารในดินที่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา พบว่าปริมาณธาตุอาหารในดินมีแนวโน้มสูงกว่าการไม่มีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทุกระยะการเจริญเติบโต สอดคล้องกับศรัณยา (2545) ดวงใจ (2546) และชวลี (2546) นอกจากนี้ Mamatha *et al.* (2002) พบว่าการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาร่วมกับมะละกอ ทำให้การดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสจากดินของมะละกอเพิ่มสูงขึ้น ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นก็มีแนวโน้มทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้นเช่นเดียวกัน แต่ปุ๋ยฟอสเฟตนั้น การใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่นอย่างเด่นชัด อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าเนื่องจากปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตละลายปริมาณธาตุอาหารออกมาสูงกว่าหินฟอสเฟต รวมทั้งในปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีธาตุอาหารอื่นปะปนมาด้วย ในขณะที่หินฟอสเฟตมีระดับฟอสฟอรัสต่ำกว่า และมีปริมาณธาตุอาหารอื่นน้อยกว่า แต่เนื่องจากเชื้อราสามารถละลายหินฟอสเฟตได้ จึงทำให้เป็นประโยชน์ต่อเชื้อราและพืชได้เร็วกว่า

ผลการวิเคราะห์ดินทั้ง 3 ครั้งที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ทำให้ทราบว่าเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารในดินแตกต่างกัน และดำรับการทดลองที่มีปริมาณธาตุอาหารในดินสูง จะมีแนวโน้มที่คล้ายกันทั้ง 3 ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารแต่ละค่าวิเคราะห์ พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามเวลาทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยอาจเนื่องมาจากการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่มีความต้องการปริมาณธาตุอาหารที่ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ในบางช่วงของการเจริญเติบโตพบปริมาณธาตุอาหารในดินมาก และบางช่วงพบปริมาณธาตุอาหารในดินลดลง (Barker and Pilbeam, 2007)

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC_e 1:1) (เดซิซีเมนต่อเมตร) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ในดินที่ระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 3)

คำรับการทดลอง	pH	EC _e (dS/m)	OM (%)	N (%)
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)				
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	6.32b	3.46b	1.60b	0.070b
ใส่เชื้อรา (I)	6.41a	3.52a	1.72a	0.081a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)				
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	6.33b	3.45b	1.63b	0.072b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	6.40a	3.54a	1.69a	0.078a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)				
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	6.34	3.49b	1.67b	0.073c
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	6.37	3.49b	1.70a	0.075b
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	6.36	3.47c	1.63c	0.075b
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	6.40	3.52a	1.64c	0.077a
F-test	ns	*	**	**
AxB	**	**	ns	*
AxC	ns	**	**	**
BxC	ns	ns	**	**
AxBxC	*	*	**	**
CV (%)	1.43	2.32	4.59	10.32

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

*,** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC_e 1:1) (เดซิซีเมนต่อเมตร) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ในดินระยะติดดอก ผลอ่อน (เดือนที่ 6)

คำรับการทดลอง	pH	EC _e (dS/m)	OM (%)	N (%)
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)				
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	6.34b	3.37b	1.52b	0.067b
ใส่เชื้อรา (I)	6.43a	3.41a	1.62a	0.080a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)				
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	6.35b	3.35b	1.55b	0.069b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	6.42a	3.42a	1.59a	0.077a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)				
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	6.36	3.37c	1.60a	0.070c
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	6.39	3.39b	1.61a	0.074b
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	6.38	3.37c	1.53b	0.074b
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	6.42	3.41a	1.54b	0.076a
F-test	ns	**	**	**
AxB	**	**	**	ns
AxC	ns	**	**	**
BxC	ns	ns	**	**
AxBxC	*	**	ns	**
CV (%)	1.41	2.12	4.39	12.49

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

*,** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC_e 1:1) (เดซิซีเมนต่อเมตร) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ในดินหลังการเก็บเกี่ยว (เดือนที่ 9)

คำรับการทดลอง	pH	EC_e (dS/m)	OM (%)	N (%)
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)				
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	6.36b	3.24b	1.52b	0.060b
ใส่เชื้อรา (I)	6.45a	3.30a	1.57a	0.073a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)				
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	6.37b	3.23b	1.53b	0.063b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	6.44a	3.31a	1.56a	0.070a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)				
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	6.37	3.27b	1.57b	0.064c
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	6.40	3.27b	1.59a	0.067b
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	6.39	3.25c	1.51c	0.067b
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	6.44	3.30a	1.51c	0.069a
F-test	ns	*	**	**
AxB	**	**	**	ns
AxC	ns	**	**	**
BxC	ns	ns	**	**
AxBxC	*	*	ns	**
CV (%)	1.44	2.40	3.39	12.69

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

*,** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในดินระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 3)

(หน่วย: มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

คำรับการทดลอง	Avai. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)				
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	102.54b	147.91b	3403.13b	237.80b
ใส่เชื้อรา (I)	112.19a	151.60a	3373.53a	240.67a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)				
2 กิโลกรัมต่อดิน (D)	106.79b	149.00b	3403.59a	237.31b
4 กิโลกรัมต่อดิน (2D)	107.94a	150.51a	3373.06b	241.16a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)				
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อดิน (R)	107.77b	150.20	3391.88a	238.48
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อดิน (2R)	109.48a	149.12	3389.42a	238.74
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อดิน (T)	105.84d	149.87	3388.95a	239.99
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อดิน (2T)	106.37c	149.82	3383.06b	239.73
F-test	**	ns	**	ns
AxB	**	ns	**	**
AxC	ns	ns	ns	ns
BxC	ns	**	**	**
AxBxC	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.86	1.58	0.68	1.35

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในดินระยะติดดอก ผลอ่อน (เดือนที่ 6)

(หน่วย: มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

คำรับการทดลอง	Avai. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)				
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	84.85b	130.68b	3260.16b	216.80b
ใส่เชื้อรา (I)	94.50a	134.04a	3289.76a	219.66a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)				
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	89.10b	131.60b	3259.69b	216.30b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	90.25a	133.12a	3290.23a	220.16a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)				
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	90.08b	132.76	3278.51a	217.48
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	91.79a	131.87	3276.05a	217.73
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	88.15c	132.44	3275.58a	218.98
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	88.68c	132.36	3269.70b	218.72
F-test	**	ns	**	ns
AxB	**	ns	**	**
AxC	ns	ns	ns	ns
BxC	ns	**	**	**
AxBxC	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5.82	1.64	0.70	1.48

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในดินหลังการเก็บเกี่ยว (เดือนที่ 9)

(หน่วย: มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

คำรับการทดลอง	Avai. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)				
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	66.77b	120.36b	3212.62b	201.64b
ใส่เชื้อรา (I)	77.63a	123.71a	3242.23a	204.50a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)				
2 กิโลกรัมต่อดิน (D)	71.55b	121.27b	3212.16b	201.14b
4 กิโลกรัมต่อดิน (2D)	72.84a	122.79a	3242.69a	205.00a
F-test	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)				
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อดิน (R)	72.65b	122.44	3230.98a	202.32
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อดิน (2R)	74.58a	121.55	3228.52a	202.58
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อดิน (T)	70.48c	122.12	3228.04a	203.82
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อดิน (2T)	71.08c	122.03	3222.16b	203.57
F-test	**	ns	**	ns
AxB	**	ns	**	**
AxC	ns	ns	ns	ns
BxC	ns	**	**	**
AxBxC	ns	ns	ns	ns
CV (%)	8.13	1.78	0.71	1.59

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

5. ปริมาณธาตุอาหารในใบที่ระยะการเจริญเติบโตจนถึงติดผล (เดือนที่ 3 และ 6) และปริมาณธาตุอาหารส่วนเนื้อดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนที่ 9)

5.1 ปริมาณธาตุอาหารในใบระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 3)

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ยกเว้นแมกนีเซียมที่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา และปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลต่อความเข้มข้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อรา (2.70, 0.19, 0.76, 2.52 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นมีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น (2.60, 0.17, 0.71, 2.40 และ 0.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (2.56 เปอร์เซ็นต์) ส่วนการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (0.18, 0.69 และ 2.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (ตารางที่ 21)

การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และแคลเซียมมีแนวโน้มสูงที่สุด 0.24 และ 2.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน และแมกนีเซียมมีแนวโน้มสูงที่สุด (2.76 และ 1.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้แคลเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 2.79 เปอร์เซ็นต์ และการใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.24 และ 0.79 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ไนโตรเจนมีความเข้มข้นมากที่สุด 2.63 เปอร์เซ็นต์ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.23 และ 0.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น มี

แนวโน้มทำให้ไนโตรเจนมีความเข้มข้นมากที่สุด 2.83 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและปุ๋ยทรูปเปิดชูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัสมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.33 เปอร์เซ็นต์

5.2 ปริมาณธาตุอาหารในใบระยะติดดอก ผลอ่อน (เดือนที่ 6)

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ยกเว้นแมกนีเซียมที่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา และปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลต่อความเข้มข้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อรา (2.46, 0.16, 0.76, 2.47 และ 0.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นมีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้น (2.36, 0.15, 0.71, 2.35 และ 0.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุดกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (2.32 เปอร์เซ็นต์) ส่วนการใส่ปุ๋ยทรูปเปิดชูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (0.16, 0.69 และ 2.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (ตารางที่ 22)

การใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และแคลเซียมมีแนวโน้มสูงที่สุดเท่ากับ 0.21 และ 2.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ไนโตรเจน และแมกนีเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 2.52 และ 1.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยทรูปเปิดชูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัส และแคลเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.22 และ 2.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใส่เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยทรูปเปิดชูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้โพแทสเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.79 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทรูปเปิดชูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ไนโตรเจนมีความเข้มข้นมากที่สุด 2.39 เปอร์เซ็นต์ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทรูปเปิดชูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.20 และ 0.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการ

ใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ไนโตรเจนมีความเข้มข้นมากที่สุด 2.59 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัสมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.30 เปอร์เซ็นต์

5.3 ปริมาณธาตุอาหารในส่วนเหนือดินหลังการเก็บเกี่ยว (เดือนที่ 9)

เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ยกเว้นแมกนีเซียมที่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา และปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลต่อความเข้มข้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อราและให้ค่าดังกล่าว 2.33, 0.14, 0.73, 2.28 และ 0.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นมีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อต้นและมีค่า 2.23, 0.12, 0.68, 2.16 และ 0.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใส่หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่น (2.19 เปอร์เซ็นต์) ส่วนการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตระดับอื่นและให้ค่าดังกล่าว 0.13, 0.66 และ 2.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 23)

การใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และแคลเซียมมีแนวโน้มสูงที่สุด 0.19 และ 2.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใส่เชื้อราพร้อมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ไนโตรเจน และแมกนีเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 2.39 และ 1.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัส และแคลเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.19 และ 2.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใส่เชื้อราพร้อมกับหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น และการใส่เชื้อราพร้อมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้โพแทสเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.76 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ไนโตรเจนมีความเข้มข้นมากที่สุด 2.26 เปอร์เซ็นต์ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัส และ

โพแทสเซียมมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.16 และ 0.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 27 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ไนโตรเจนมีความเข้มข้นมากที่สุด 2.46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใส่เชื้อราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้นและปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 54 กรัมต่อต้น มีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัสมีความเข้มข้นมากที่สุด 0.28 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การมีเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ช่วยให้พืชมีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับกิตติมา (2541) เนื่องจากเมื่อเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาอยู่ร่วมกับรากพืช เชื้อราจะสร้างไฮฟาทั้งภายในและภายนอกผิวรากซึ่งไฮราดังกล่าวนี้จะมีบทบาทในการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำและธาตุอาหารทำให้รากพืชสามารถดูดน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้น (Bolan, 1991)

ส่วนปริมาณธาตุอาหารในใบสับดูดำและส่วนเหนือดิน พบว่าเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซามีแนวโน้มทำให้ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบและส่วนเหนือดินของต้นสับดูดำมากกว่าการที่ไม่ได้รับเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดย Alacón *et al.* (2002) กล่าวว่าพืชต้องการฟอสฟอรัสเป็นอย่างมากในระยะเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต เมื่อมีการเข้าอาศัยของเชื้อรา เชื้อราจะใช้ฟอสฟอรัสที่ได้เป็นแหล่งคาร์บอนให้เพียงพอแก่ความต้องการของพืช เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาจึงกระตุ้นให้สร้าง RAPA (root acid phosphatase activity) เพิ่มขึ้นในสถานะที่มีฟอสฟอรัสจำกัดสำหรับการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงการที่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาสร้างไฮฟาทั้งภายในรากและนอกราก จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับธาตุอาหารและน้ำให้แก่รากพืช (Gerdemann, 1968)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบและส่วนเหนือดิน ทำให้ทราบว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารในใบและส่วนเหนือดินแตกต่างกัน และปัจจัยที่มีปริมาณธาตุอาหารในใบและส่วนเหนือดินสูง จะมีแนวโน้มเหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารแต่ละธาตุ พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามระยะเจริญเติบโตต่าง ๆ ของสับดูดำ โดยอาจเนื่องมาจากช่วงระยะการเจริญเติบโตในช่วงแรกมีลำเลียงธาตุอาหารมาเก็บสะสมไว้ในปริมาณมาก และมีการนำธาตุอาหารออกมาใช้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่มีความต้องการปริมาณธาตุอาหารที่ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ในบางช่วงของการเจริญเติบโตพบปริมาณธาตุอาหารในใบและส่วนเหนือดินมาก และบางช่วงพบปริมาณธาตุอาหารในใบและส่วนเหนือดินลดลง (Barker and Pilbeam, 2007)

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์) ในใบของสับปะรดระยะเจริญเติบโต (เดือนที่ 3)

(หน่วย: เปอร์เซ็นต์)					
คำรับการทดลอง	N	P	K	Ca	Mg
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)					
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	2.37b	0.11b	0.52b	1.78b	0.51b
ใส่เชื้อรา (I)	2.70a	0.19a	0.76a	2.52a	1.00a
F-test	**	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)					
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	2.47b	0.13b	0.57b	1.90b	0.65b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	2.60a	0.17a	0.71a	2.40a	0.86a
F-test	**	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)					
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	2.52b	0.12b	0.62c	2.06c	0.73
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	2.56a	0.17a	0.65b	2.19b	0.77
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	2.52b	0.13b	0.60d	2.08c	0.73
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	2.55a	0.18a	0.69a	2.27a	0.79
F-test	**	**	**	**	ns
AxB	ns	**	ns	**	ns
AxC	**	**	**	**	*
BxC	**	**	*	ns	ns
AxBxC	**	**	ns	ns	ns
CV (%)	7.28	4.73	2.53	2.37	3.83

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

*,** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์) ในใบของสับปะรดระยะติดดอก ผลอ่อน (เดือนที่ 6)

(หน่วย: เปอร์เซ็นต์)					
คำรับการทดลอง	N	P	K	Ca	Mg
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)					
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	2.13b	0.08b	0.51b	1.73b	0.48b
ใส่เชื้อรา (I)	2.46a	0.16a	0.76a	2.47a	0.98a
F-test	**	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)					
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	2.23b	0.10b	0.56b	1.85b	0.62b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	2.36a	0.15a	0.71a	2.35a	0.84a
F-test	**	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)					
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	2.28b	0.09c	0.61c	2.00c	0.70
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	2.32a	0.14b	0.64b	2.14b	0.75
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	2.28b	0.10c	0.60c	2.03c	0.71
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	2.31a	0.16a	0.69a	2.22a	0.76
F-test	**	**	**	**	ns
AxB	ns	**	ns	**	ns
AxC	**	**	**	**	*
BxC	**	**	*	ns	ns
AxBxC	**	*	ns	ns	ns
CV (%)	8.04	5.80	2.56	2.43	3.97

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

*,** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์) ส่วนเนื้อดินของสับุด้าหลังการเก็บเกี่ยว (เดือนที่ 9)

(หน่วย: เปอร์เซ็นต์)					
คำรับการทดลอง	N	P	K	Ca	Mg
เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา (A)					
ไม่ใส่เชื้อรา (N)	2.00b	0.05b	0.49b	1.54b	0.47b
ใส่เชื้อรา (I)	2.33a	0.14a	0.73a	2.28a	0.96a
F-test	**	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยอินทรีย์ (B)					
2 กิโลกรัมต่อต้น (D)	2.10b	0.07b	0.54b	1.66b	0.61b
4 กิโลกรัมต่อต้น (2D)	2.23a	0.12a	0.68a	2.16a	0.82a
F-test	**	**	**	**	**
ระดับของปุ๋ยฟอสเฟต (C)					
หินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น (R)	2.15b	0.07c	0.59c	1.81c	0.69
หินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น (2R)	2.19a	0.11b	0.61b	1.95b	0.73
ปุ๋ย TSP 27 กรัมต่อต้น (T)	2.15b	0.07c	0.57c	1.84c	0.69
ปุ๋ย TSP 54 กรัมต่อต้น (2T)	2.18a	0.13a	0.66a	2.03a	0.75
F-test	**	**	**	**	ns
AxB	ns	**	ns	**	ns
AxC	**	**	*	**	*
BxC	**	**	*	ns	ns
AxBxC	**	**	ns	ns	ns
CV (%)	8.52	7.50	2.68	2.67	4.04

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

*,** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ 99%

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการทดสอบเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยฟอสเฟต พบว่า ส่งผลต่อจำนวนสปอร์และความหนาแน่นการเข้าสู่รากสบูดำของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา การเจริญเติบโตของสบูดำ ไม่ว่าจะเป็นความสูง จำนวนกิ่ง ความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสบูดำหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต การให้ผลผลิต ไม่ว่าจะเป็นจำนวนผลผลิต และน้ำหนักผลผลิต ปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบและส่วนเหนือดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมทั้งหมด

การใส่เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาทำให้จำนวนสปอร์และการเข้าสู่รากสบูดำของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซา ความสูง จำนวนกิ่ง ความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสบูดำหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต จำนวนผลผลิต และน้ำหนักผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อราอย่างเด่นชัด รวมทั้งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินทุกระยะที่ทำการทดลอง ตลอดจนไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมทั้งหมดในใบและส่วนเหนือดินของสบูดำทุกระยะที่ทำการทดลอง กล่าวได้ว่า เชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อราที่มีศักยภาพสูงในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและทำให้ผลผลิตของสบูดำสูง โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกันกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 กิโลกรัมต่อต้น และหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น ยิ่งทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของสบูดำดียิ่งขึ้น รวมทั้งยังทำให้จำนวนสปอร์และการครอบครองรากสบูดำของเชื้อราวิเอไมคอร์ไรซาอยู่ในปริมาณสูงด้วย ส่วนปริมาณธาตุอาหารในดิน และความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบและส่วนเหนือดินดังกล่าวข้างต้น ก็พบในแนวโน้มที่สูงอย่างเห็นได้ชัด

ข้อเสนอแนะ

การที่จะปลูกสบู่ดำในเชิงเศรษฐกิจในบริเวณต่าง ๆ ของประเทศไทยเพื่อให้ได้ปริมาณเพิ่มมากขึ้น จำเป็นที่จะต้องมีการประเมินความเหมาะสมของที่ดินและระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินร่วมด้วย เพื่อที่จะได้เพิ่มธาตุอาหารลงไปดินให้เหมาะสมและพอดีกับความต้องการของพืชในแต่ละช่วงปี

จากการพิจารณาผลการทดลองพบว่า พื้นที่ในการทดลองเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ทำให้ดินมีศักยภาพในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้หลายชนิด และเมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อราลงไปดิน จึงช่วยละลายปุ๋ยให้เกิดประโยชน์ต่อพืชได้เร็วขึ้น ซึ่งพิจารณาจากปริมาณสปอร์บริเวณราก ความหนาแน่นของการเข้าสู่รากพืช และความยาวราก โดยทั้งหมดนั้นเมื่อเติมเชื้อราลงสู่ดิน ทำให้มีปริมาณสปอร์มาก ความหนาแน่นของการครอบครองรากจะมากตามไปด้วย จนทำให้รากสบู่ดำหยั่งรากลงไปได้ลึกขึ้นกว่าเดิม เกิดการยืดขยายรากให้มีความยาวมากขึ้น จึงเป็นประโยชน์ต่อการดูดซับธาตุอาหาร รวมทั้งการใส่ปุ๋ยอัตราต่าง ๆ ก็ให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน โดยการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตให้เพิ่มปริมาณสูงขึ้น

การใส่ปุ๋ยในอัตราที่นิยมใส่ให้กับสบู่ดำ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ (2 กิโลกรัมต่อต้น) และปุ๋ยฟอสเฟต 50 กิโลกรัมต่อไร่ (ปุ๋ย TSP 27 และหินฟอสเฟต 204 กรัมต่อต้น) ไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะต้นสบู่ดำที่ตัดแต่งกิ่ง และให้ผลผลิตเป็นปีที่สอง แต่เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (4 กิโลกรัมต่อต้น) และปุ๋ยฟอสเฟต 100 กิโลกรัมต่อไร่ (ปุ๋ย TSP 54 และหินฟอสเฟต 408 กรัมต่อต้น) ทำให้ผลผลิตของสบู่ดำสูงขึ้นอย่างชัดเจน ดังนั้น จึงควรเพิ่มปริมาณการใส่ปุ๋ยให้สูงขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อการสร้างลำต้น กิ่ง ก้าน ใบขึ้นมาใหม่ และให้เพียงพอต่อความต้องการในระยะออกดอก ติดผลด้วยเช่นกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กฤษณา ทิวาตรี. 2546. อิทธิพลของปุ๋ยมูลไก่ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินและผลผลิตของข้าวและข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. ความสำคัญ ประวัติและการใช้ประโยชน์จากสบู่ดำ. สบู่ดำ. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th/fieldcrops/phinut/oth/his.HTM>, 25 มิถุนายน 2548.

_____. 2549. สบู่ดำ. สบู่ดำ พืชพลังงานทดแทน. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/power_oil/soap/data/var.htm, 10 กันยายน 2549.

กองพืชไร่. 2549. สบู่ดำ. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการเล่มที่ 28 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร, กรุงเทพฯ.

_____. 2525. ลักษณะและสมบัติของชุดดินกำแพงแสน. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

กิตติมา รามัญวงษ์. 2541. ความหลากหลายของราเวสทีคูลาร์ - อาบัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซา ของสัก และผลที่มีต่อการเจริญเติบโตของกล้าสัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จรงค์ จันทรเจริญสุข. 2541. ปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้, น. 487-497. ใน ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จเร สดากร. 2527. สบู่ดำพืชศักยภาพสูงเพื่อพลังงานทดแทนของประเทศไทย. วารสารวิชาการ
เกษตร 2: 67-72.

ชัยโรจน์ วงศ์วิวัฒน์ไชย. 2535. การศึกษาผลปัจจุบันและผลตกค้างของปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่าง ๆ ที่
มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองและข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ฉัตรแก้ว. 2548. การศึกษาสบู่ดำเบื้องต้นในประเทศไทย. เอกสารประกอบการเสนอใน
การประชุมวิชาการ น้ำมันสบู่ดำ แหล่งพลังงานทดแทนใหม่. โรงแรมพลาซ่าแอทธินี,
กรุงเทพฯ.

ดวงใจ ้วยเจริญ. 2546. การผลิตฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน แอซิด (GA_3) โดยเชื้อราเวสตูลาร์-อาร์บัสคู
ลาร์ ไมคอร์ไรซาในต้นกล้วยมะละกอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทรเจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัด และคู่มือปฏิบัติการการ
จำแนกดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เทียมใจ คมกฤต. 2546. ภายวิภาคของพฤษกษ. พิมพ์ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. พิมพ์ครั้งที่
2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, จิรวัดน์ พุ่มเพชร, วันทนีย์ พึ่งแสง และ จรงค์ รุ่งช่วง. 2551. ผลกระทบของอุณหภูมิ
และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อความมีชีวิตของเชื้อราไวเอไมคอร์ไรซาในเม็ดเชื้อ.
วิทยาสารกำแพงแสน 6: 27-35.

ธงชัย มาลา, วันทนีย์ พิงแสง และ จิรวัดน์ พุ่มเพชร. 2546. การคัดเลือกเชื้อราไวเอไมคอร์ไรซา ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการติดเชื้อในรากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5. วิทยาสารกำแพงแสน 1: 1-9.

รังษิ เจริญสถาพร และ อมรรักษ์ กิดใจเดียว. 2548. การใช้ประโยชน์จากสบู่ดำ: นอกจากน้ำมัน. ใน การประชุมเสนอกิจกรรมสบู่ดำ. ตึกสถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ระพีพันธุ์ ภาสบุตร. 2546. สรุปเรื่องราวการปลูก การสกัด และการใช้น้ำมันสบู่ดำเดินเครื่องยนต์ ดีเซล, น. 147-149. ใน รายงานสัมมนา เรื่อง พืชพลังงานและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ และ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. 2525. ผลการวิจัยค้นคว้าการใช้น้ำมันสบู่ดำเป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล, น. 11 - 14. ใน การใช้น้ำมันสบู่ดำเดินเครื่องยนต์ดีเซล. กองเกษตรเคมี และกองวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

_____ และ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. 2544. พลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล ทางเลือกของเกษตรกร น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันจากมะพร้าว. ส่วนเครื่องจักรการเกษตร สถาบันพัฒนาและส่งเสริมปัจจัยการผลิต กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

_____ และ สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. 2548. สบู่ดำ (physic nut) ในต่างประเทศ. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ 8: 42-44.

โรจน์รวี ภิรมย์. 2550. คอลชิซินกับการเกิดเตตราฟลอยด์ (4N) ในสบู่ดำ, น. 1-8. ใน โครงการสัมมนาวิชาการเรื่อง “การประชุมวิชาการสบู่ดำแห่งชาติ ครั้งที่ 1”. โครงการเคยู-ไบโอดีเซล, สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี และหน่วยงานเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปัทมา เหล่านิพนธ์. 2539. ชนิดการเข้าอยู่อาศัยในรากและผลของเชื้อราเวสติกูลาร์-อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาร่วมกับไรโซเบียมต่อการเจริญของถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2538. หลักการและวิธีการใช้ปุ๋ยเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2541. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย, น. 354-394. ใน ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นันทน์ภัส เทพสำราญ, โชคพิศิษฐ์ เทพสิทธิ และ อารีย์ ทองภักดี. 2549. การชักนำให้เกิดแคลลัสและเกิดยอดจากชิ้นส่วนก้านใบของสบู่ดำ (*Jatropha curcas* L.). ใน การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 6. โรงแรมโลตัส ปางสวนแก้ว, เชียงใหม่.

พรชัย เหลืองอาภาวงศ์. 2549. สบู่ดำเพื่อไบโอดีเซล. สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ.

พวงผกา สุนทรชัยนาคแสง. 2548. กายวิภาคและสัณฐานวิทยาของพืชมีดอก. สำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพฯ.

พัคตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2546. ผลกระทบของระบบการปลูกพืชอาศัยต่อการเพิ่มปริมาณ และการผลิตเชื้อราเวสติกูลาร์-อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาร่วมกับถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พนิดา ปรีเปรมโมทย์. 2547. การพัฒนาวิธีการตรวจสอบเชื้อราเวสติกูลาร์-อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาในรากของถั่วเหลืองด้วยเทคนิค PCR. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิชัย สราญรมย์. 2548. น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซล. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, จันทบุรี.

พิชัย สราญรมย์. 2551. น้ำมันสบู่นำกับเครื่องยนต์ดีเซล. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, จันทบุรี.

พิชิต ราชเบน. 2548. การสร้าง indole-3-acetic acid (IAA) โดยเชื้อราแอสคูลาร์ - อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาในกล้าส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พีระเดช ทองอำไพ. 2529. ฮอโมนพืชและสารสังเคราะห์ แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. หจก.ไดนามิกการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ไพบุลย์ ประพฤติธรรม. 2549. สบู่ดำ: การจัดการดินและการใช้ปุ๋ย, น. 44 - 47. ใน ชำนาญ ฉัตรแก้ว, บรรณาธิการ. เอกสารวิชาการสบู่ดำ: พืชพลังงาน. ฟีนี ฟบลิชซิง, กรุงเทพฯ.

มรุส เจียมจิราติ. 2542. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราวิเอ-มายคอร์ไรซานิตต่าง ๆ ที่เจริญร่วมกับถั่วเขียวในชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสถสกา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.

_____. 2542. ศัพท์ในวงการปุ๋ย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต สงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยุวดี อันพาพรหม. 2546. ผลของเชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน และเชื้อราแอสคูลาร์ อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตและการดูดธาตุอาหารของหญ้าแฝกหอม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วชิราภรณ์ เรือนแป้น. 2548. การผลิตกรดอินทรีย์ และประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟต โดย
เชื้อราเวสคูลาร์-อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาที่เจริญร่วมกับข้าวโพด (*Zea mays* L.).

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิโรจ อิมพิทักย์. 2528. ความเหมาะสมในการผลิตและการใช้ปุ๋ยหมัก. วารสารดินและปุ๋ย 7:
100-107.

ศรัณยา จิรากรานนท์. 2545. การสำรวจเชื้อราไมคอร์ไรซาของทุเรียนและการศึกษา
ประสิทธิภาพของเชื้อราไมคอร์ไรซาในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าทุเรียนใน
เรือนปลูกพืชทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริวรรณ บุรีคำ และ รุ่งทิพย์ กาวิตา. 2550. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. ใน นิทรรศการงานวิจัย บน
เส้นทางงานวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริเนตร สัทธิตกุล. 2545. การใช้มูลไก่เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสและผลการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสร่วมกับ
ซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกในดินออกซิซอลส์ชุด
ดินท่าใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2527. ปุ๋ยคอก. วารสารดินและปุ๋ย 6: 308-323.

ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา. 2548. เอกสารคำแนะนำการปลูกสบู่ดำ. สำนักวิจัยและพัฒนาการ
เกษตรเขตที่ 4 กรมวิชาการเกษตร, นครราชสีมา.

ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางการเกษตรจังหวัดชัยนาท. 2548. สบู่ดำ. แหล่งที่มา:
<http://www.aopdmo1.doae.go.th/data/physicnut21.htm>, 27 เมษายน 2548.

สมบัติ ชินะวงศ์. 2548. สบู่ดำ (physic nut) พืชทดแทนพลังงานที่มีศักยภาพ. วารสารเกษตร
กรรมธรรมชาติ 8: 28-31.

สมศักดิ์ ศรีสมบุญ. 2549. การปลูกสับรุดำ, น. 26-43. ใน ชำนาญ จัตรแก้ว, บรรณาธิการ. เอกสาร
วิชาการสับรุดำ : พี่พล้งงาน. ฟันนี้ พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ ฯ.

ลัมฤทธิ์ อัครปะชะ. 2548. สับรุดำ : ปลูกอย่างไรให้ได้ผลผลิตสูง (ที่นี้มีคำตอบ). บริษัท บีเอสดี
การพิมพ์ จำกัด, เชียงใหม่.

สุกานดา ศิลปชัย. 2549. ผลของเชื้ออะโซโตแบคทีเรีย อะโซสไปริลลัม และเชื้อราเวสติกูลาร์-อาร์
บัสกูลาร์ ไมคอร์ไรซาที่มีต่อการงอกและการเจริญเติบโตของกล้าสับรุดำพันธุ์กำแพงแสนที่
ปลูกจากเมล็ดและท่อนพันธุ์. ปัญหาพิเศษปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน, นครปฐม.

แสงดาว นุบผาสี. 2549. ผลของเชื้อราอาร์บัสกูลาร์-ไมคอร์ไรซาร่วมกับเชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน
ที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวฟ่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

หรั่ง มีสวัสดิ์, สันติ ชีรภรณ์, ศิสสพันธุ์ ธรรมภิรมย์, สุภชัย แก้วลำไย และ ศจี เจริญยิ่ง. 2539.
การใช้ปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยเคมีสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแหล่งชลประทานในระยะยาว, น. 11.
ใน รายงานผลงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ ปี 2539. กลุ่มงานวิจัยความ
อุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ออมทรัพย์ นพอมรบดี, สุภาพร ธรรมสุระกุล และ สมเพชร เจริญสุข. 2533. คู่มือการจำแนกเชื้อ
ราวิเอ – ไมคอร์ไรซา. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2551. ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2542. คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- Ahaibor, B. D. and H. Hirata. 1994. Characteristic responses of three legumes to the inoculation of two species of VAM fungi in Andosol soils with different fertilities. **Mycorrhiza** 5: 63-70.
- Allen, M. F., J. C. Sexton, T. S. Moore and M. Christen. 1981. Influence of phosphate source on vesicular-arbuscular mycorrhizae of *Bouteloua gracilis*. **New Phytol.** 87: 687-691.
- Asher, C. J. 1975. **Plant Nutrition I Practical Notes**. Department of Agriculture, University of Queensland, St. Lucia, Brisbane.
- Barker, A. V. and D. J. Pilbeam. 2007. **Handbook of plant nutrition**. Taylor & Francis Group, LLC, USA.
- Berta, G., V. Gianinazzi - Pearson, G. Gay and G. Torri. 1988. Morphogenetic effect of endomycorrra formation on the root system of *Calluna vulgaris* (L.) Hull. **Symbiosis** 5: 33-44.
- Bloss, H. E. and C. M. Pfeiffer. 1984. Latex content and biomass increase in mycorrhizal guayule (*Parthenium argentatum*) under field condition. **Ann. Appl. Biol.** 104: 175-183.
- Bolan, N. A. 1991. A Critical Review on the Role of Mycorrhiza Fungi in Update of Phosphorus by Plant. **Plant and Soil** 134: 189-207.
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soils**. 14th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Sci.** 59: 39-45.

- Brundrett, M., L. Melville and L. Peterson. 1994. **Practical Methods in Mycorrhiza Research**. Mycologia publications Ontario, Canada.
- Carling, D. E. and M. F. Brown. 1980. Relative Effect of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Yield of Soybeans. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 44:528-532.
- Chen, B. D., Y. G. Zhu, J. Duan, X. Y. Xiao and S. E. Smith. 2007. Effects of the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus mosseae* on Growth and Metal Uptake by Four Plant Species in Copper Mine Tailings. **Env. Poll.** 147: 374-380.
- Chen, Y. L., M. C. Brundrett and B. Dell. 2000. Effects of ectomycorrhizas and vesicular-arbuscular mycorrhizas, alone or in competition, on root colonization and growth of *Eucalyptus globulus* and *E. urophylla*. **New Phytol.** 146: 545–556.
- Cho, K., H. Toler, J. Lee, B. Ownley, J. C. Stutz, J. L. Moore and R. M. Auge. 2006. Mycorrhizal Symbiosis and Response of Sorghum Plants to Combined Drought and Salinity Stresses. **J. of Plant Physiol.** 163: 517-528.
- Cornwell, W. K., B. L. Bedford, C. T. Chapin. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization. **Am. J. Bot.** 88: 1824–1829.
- Daniels, B. A. and H. D. Skipper. 1982. Method for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil, pp. 29-36. In N. C. Schenck, ed. **Method and Principle of Mycorrhizal Research**. Am. Phytopathol. Soc., St. Paul Minnesota, USA.
- Davis, R. M. and J. A. Menge. 1981. Influence of *Glomus Fasciculatus* and Soil Phosphorus on Phytophthora Root Rot of Citrus. **Phytopathol.** 70: 447-715.
- Dehgan, B. 1984. Phylogenetic significance of interspecific hybridization in *Jatropha*

(Euphorbiaceae). **Syst. Bot.** 9: 467-478.

_____ and B. Schutzman. 1994. Contributions toward a monograph of neotropical
Jatropha: phenetic and phylogenetic analyses. **Ann. Miss. Botanic Garden** 81: 349-367.

_____ and G. L. Webster. 1979. **Morphology and infrageneric relationships of the genus
Jatropha (Euphorbiaceae) Vol. 74.** University of California Publications in Botany,
California.

Duponnois, R., A. Colombet, V. Hien and J. Thioulouse. 2005. The Mycorrhizal Fungus
Glomus intraradices and Rock Phosphate Amendment Influence Plant Growth and
Microbial Activity in the Rhizosphere of *Acacia holosericea*. **Soil Biol. & Biochem.** 37:
1460-1468.

Edriss, M. H., R. M. Davis and D. W. Burger. 1984. Influence of Mycorrhizal Fungi on
Cytokinin Production in Sour Orange. **J. Amer. Soc. Hort.** 109: 587-590.

Ellis, J. R., M. J. Larsen and M. G. Boosalis. 1985. Drought resistance of wheat plants
inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizae. **Plant and Soil** 129: 121-130.

Gay, G. And J. C. Debaud. 1987. Genetic Study on Idole – 3 – Acetic Production by
Ectomycorrhizal Hebeloma Species : Inter and Intra Specific Variability in Homo and Di –
Karyotic Mycetia. **App. Microbiol. and Biotechnol.** 26: 141-146.

Gerdemann, J. W. 1968. The effect of mycorrhiza on the growth of maize. **Mycologia** 56: 342-
349.

Giovannetti, M. and B. Mosse. 1980. An evaluation of technique for measuring vesicular-
arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytol.** 84: 489-500.

- Harley, J. L. and S. E. Smith. 1983. **Mycorrhizal Symbiosis**. Academic Press, London.
- Heller, J. 1996. **Physic nut (*Jatropha curcus* L.) Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops. I.** Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Horwitz, W. 2000. **The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence: Official Methods of Analysis of AOAC International**, USA.
- Huang, H., S. Zhang, X. Shan, B. D. Chen, Y. G. Zhu and J. N. B. Bell. 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus caledonium*) on the accumulation and metabolism of atrazine in maize (*Zea mays* L.) and atrazine dissipation in soil. **Envi. Poll.** 146: 452-457.
- Jackson, M. L. 1965. **Soil Chemistry Analysis**. Advanced Courses. Dept. of Soils, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin
- Jindal, V., A. Atwal, B. S. Sekhon and R. Singh. 1992. Effect of NaCl salinity on metabolism of vesicular-arbuscular mycorrhizae inoculated moong plants. **Mycorrhiza News** 4: 7.
- Koske, R. E. and J. N. Gemma. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycol. Res.** 92: 486-505.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Dept. of Land Development, Ministry of Agri. and Coop., Bangkok.
- Mamatha, G., D. J. Bagyaraj and S. Jaganath. 2002. Inoculation of field – established mulberry and papaya with arbuscular mycorrhizal fungi and a mycorrhiza helper bacterium. **Springer-Verlag** 2002. Available Source: <http://www.link.springerny.com/link/>

service/journals/00572/contents/02/00200/paper/s00572-002-0200-ychooo.html. December 24, 2008.

Martin, G. and A. Mayeux. 1984. Réflexions sur les cultures oléagineuses énergétiques. II. Le Pourghère (*Jatropha curcas* L.): un carburant possible. **Oléagineux** 39: 283-287.

Mosse, B. 1981. **Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Research for Tropical Agriculture.** Research Bulletin, Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, USA.

Oniani, O. G., M. Chater and G. E. G. Matingey. 1973. Some effect of fertilizer and farmyard manure on the organic phosphorus in soil. **J. of Soil Sci.** 24: 1-9.

Ouahmane, L., J. Thioulouse, M. Hafidi, Y. Prin, M. Ducousso, A. Galiana, C. Plenchette, M. Kisa and R. Duponnois. 2007. Soil functional diversity and P solubilization from rock phosphate after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. **Forest Ecol. and Manage.** 241: 200–208.

Ozgonena, H., A. Erkilic. 2007. Growth enhancement and Phytophthora blight (*Phytophthora capsici* Leonian) control by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation in pepper. **Crop Prot.** 24: 204-212.

Peterson, R. L., H. B. Massicotte and L. H. Melville. 2004. **Mycorrhizas : anatomy and cell biology.** National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, Canada

Pintukanok, A. 1989. **Production Disposal and Treatment of Organic Materials for Utilization of Organic Waste in Thailand.** Ph.D. Thesis. University of Tokyo, Japan.

- Prueksakorn, K. and S. H. Gheewala. 2006. **Energy and Greenhouse Gas Implications of Biodiesel Production from *Jatropha curcas* L.** The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.
- Reinhard, K. H. 2005. **Fighting desertification by integrated utilization of the *Jatropha* Plant.** Unpublished project report. Project *Jatropha*, GTZ.
- Schaffer, B. and G. O. Gaye. 1989. Effect of pruning on light interception, specific leaf density, leaf chlorophyll content of mango. **Scientia Hort.** 41: 55-61.
- Schreiner, R. P. 2007. Effects of native and nonnative arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of 'Pinot noir' (*Vitis vinifera* L.) in two soils with contrasting levels of phosphorus. **App. soil ecol.** 36: 205-215.
- Sharma, M. P. and S. Bhargava. 1993. Potential of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus fasciculatum*, against root-knot nematode, *Meloidogyne inconita*, on tomato. **Mycorrhiza News** 4: 4-5.
- Sieverding, E. 1991. **Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agro-system.** GTZGmbH, Germany.
- Siqueira, J. O., G. R. Safir and M. G. Nair. 1991. VA-mycorrhizae and mycorrhiza stimulating isoflavonoid compounds reduce plant herbicide injury. **Plant and Soil** 134: 233-242.
- Smith, S. E. and V. Gianinazzi-Pearson. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39: 221-244.

Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. Handbook No. 18. United States Dept. of Agr., United States Government Printing Office, Washington, D.C.

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

Subramanian, K. S., C. Charet, L. M. Dwyer and R. I. Hamilton. 1995. Arbuscular mycorrhizas and water relations in maize under drought stress at tasselling. **New Phytol.** 129: 643-650.

Sylvia, D. M., L. C. Hammond, J. H. Bennett, J. H. Haas and S. B. Linda. 1993. Field Response of Maize to a VAM Fungus and Water Management. **Agron. J.** 85: 193-198.

Tawaraya, K., Y. Takaya, M. Turjaman, S. J. Tuah, S. H. Limin, Y. Tamai, J. Y. Cha, T. Wagatsuma and M. Osaki. 2003. Arbuscular mycorrhizal colonization of tree species grown in peat swamp forests of Central Kalimantan, Indonesia. **Forest Ecol. and Manage.** 182: 381–386.

Torelli, A., L. Acerbi, G. Arcidiacono, G. Berta and C. Branca. 2000. IAA and ZR content in leek (*Allium porrum* L.) as influenced by P nutrition and arbuscular mycorrhizae, in relation to plant development. **Plant and Soil** 226: 29-35.

Trabi, M., G. M. Gübitz, W. Steiner, and N. Foidl. 1997. Toxicity of *Jatropha curcas* seeds. *In* G. M. Gübitz, M. Mittelbach and M. Trabi, eds. **Proceeding “Jatropha 97”: Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas***. Managua, Nicaragua.

Trappe, J. M. and N. C. Schenck. 1982. Taxonomy of the fungi forming endomycorrhizae. A. Vescicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonales), pp. 1-9. *In* N. C. Schenck, ed. **Method and Principle of Mycorrhizal Research**. Am. Phytopathol. Soc., St. Paul, Minnesota, USA.

- Toth, R., D. Toth and D. Starke. 1990. Vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization in *Zea mays* affected by breeding for resistance to fungal pathogens. **Can. J. Bot.** 68: 1,039-1,044.
- Walkley, A. and C. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chroma acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-35.
- Wang, F. Y., X. G. Linb and R. Yin. 2007. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus *Acaulospora mellea* decreases Cu phytoextraction by maize from Cu-contaminated soil. **Pedobiologia** 51: 99-109.
- Winkler, E., G. M. Gübitz, N. Foidl, R. Staubmann and W. Steiner. 1997. Use of enzymes for oil extraction from *Jatropha curcas* seeds. In G. M. Gübitz, M. Mittelbach and M. Trabi, eds. **Proceeding "Jatropha curcas"**. Managua, Nicaragua.
- Zhang, Y. S., W. Werner, H. W. Scherer and X. Sun. 1994. Effect of organic manure on organic phosphorus fraction in to paddy soil. **Biol. and Fert. of soil** 17: 64-68.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เอิบ, 2542; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

1. ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen)

ระดับ (rating)	พิสัย (g/kg)
ต่ำมาก (VL)	< 1.0
ต่ำ (L)	1.0-2.0
ปานกลาง (M)	2.0-5.0
สูง (H)	5.0-7.5
สูงมาก (VH)	> 7.5

2. ปฏิกิริยาของดิน (soil reaction), pH (ดิน:น้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.4
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.3-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	>9.0

3. อินทรีย์วัตถุ (organic matter) (% organic carbon x 1.72)

ระดับ (rating)	พิสัย (g/kg)
ต่ำมาก (VL)	< 5
ต่ำ (L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ (ML)	10-15
ปานกลาง (M)	15-25
ค่อนข้างสูง (MH)	25-35
สูง (H)	35-45
สูงมาก (VH)	> 45

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) (Bray II)

ระดับ (rating)	พิสัย (mg/kg)
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (ML)	6-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-25
สูง (H)	25-45
สูงมาก (VH)	>45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	ฟอสฟอรัส (mg/kg)
ต่ำมาก (VL)	< 30
ต่ำ (L)	30-60
ปานกลาง (M)	60-90
สูง (H)	90-120
สูงมาก (VH)	>120

ตารางผนวกที่ 2 วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการประเมินจากผลการวิเคราะห์ดิน (กองสำรวจดิน, 2523)

ระดับความ อุดมสมบูรณ์ ของดิน	อินทรีย์วัตถุ (g/kg)	อัตราร้อยละ ความอิ่มตัว เบส (%)	ความจุ แลกเปลี่ยน แคตไอออน (cmol/kg)	ฟอสฟอรัสที่ เป็นประโยชน์ (mg/kg)	โพแทสเซียมที่ เป็นประโยชน์ (mg/kg)
ต่ำ	< 15 (1)	< 35 (1)	< 10 (1)	< 10 (1)	< 60 (1)
ปานกลาง	15-35 (2)	35-75 (2)	10-20 (2)	10-25 (2)	60-90 (2)
สูง	> 35 (3)	> 75 (3)	> 20 (3)	> 25 (3)	> 90 (3)

หมายเหตุ วิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ใช้วิธีให้คะแนน (ตัวเลขคะแนนอยู่ในวงเล็บในตาราง)

ถ้าคะแนนเท่ากับ 7 หรือน้อยกว่า ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ถ้าคะแนนอยู่ระหว่าง 8-12 ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ถ้ามีคะแนนเท่ากับ 13 หรือมากกว่า ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง

ตารางผนวกที่ 3 สมบัติของดินทั่วไปเปรียบเทียบกับดินเค็ม ดิน โซดิก และดินเค็มโซดิก

Soil	pH	Electrical Conductivity (EC) (dS m ⁻¹)	Sodium Adsorption Ratio (SAR)
Normal	6.7 - 7.2	< 4	< 13
Saline	< 8.5	> 4	< 13
Sodic	> 8.5	< 4	> 13
Saline-Sodic	< 8.5	> 4	> 13

ที่มา: Brady and Weil (1999)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุกานดา ศิลปชัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 24 ธันวาคม 2527
สถานที่เกิด	นครปฐม
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนคุณภาพงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2551