ผลงานเรื่องที่ 1

การใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสเฟตเพื่อปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดภาคใต้

Using phosphate solubilizing microorganisms for increasing phosphate availability and baby corn yield in acid sulfate soils in the Southern Thailand

ของ

นางสาวบรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์

ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
ตำแหน่งเลขที่ ๒๔๘
กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

เสนอ

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ
ตำแหน่งเลขที่ ๒๔๘
ผู้เชี่ยวชาญด้านปรับปรุงดินเปรี้ยว
กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน
กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	3
สารบัญภาพ	6
บทคัดย่อ	7
Abstract	9
คำนำ	11
วัตถุประสงค์	16
ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ	16
อุปกรณ์และวิธีการ	17
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	19
สรุปผลการทดลอง	45
ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีก่อนดำเนินการทดลอง 20
ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของบางประการของหินฟอสเฟต 20
ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 21
ตารางที่ 4 ค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม ระหว่างปี 2556-2558 22
ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซนต์) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 23
ตารางที่ 6 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซนต์) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม ระหว่างปี 2556-2558 24
ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 26
ตารางที่ 8 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม ระหว่างปี 2556-2558 27
ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแตสเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 28
ตารางที่ 10 ปริมาณโพแตสเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 29
ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 30
ตารางที่ 12 ปริมาณแคลเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 31
ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 32
ตารางที่ 14 ปริมาณแมกนีเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 33
ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะลูมินั่มที่สะกัดได้ในดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 34
ตารางที่ 16 ปริมาณอะลูมินั่มที่สะกัดได้ในดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 35
ตารางที่ 17 ปริมาณจุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่า (จำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 36
ตารางที่ 18 ปริมาณจุลินทรีย์ดินแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (จำนวนเซลล์ต่อดิน 100 กรัม) 38
ตารางที่ 19 ความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อน (เซนติเมตร) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 39
ตารางที่ 20 ความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อน (เซนติเมตร) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 40

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 21 ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน (กิโลกรัมต่อไร่) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 41
ตารางที่ 22 ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม ระหว่างปี 2556-2558 43
ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางศรษฐกิจเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อน 44

สารบัญตารางภาคผนวก

		หน้า
ตารางภาคผนวกที่ 1	ชุดดินที่พบในพื้นที่ (ชุดดินต้นไทร)	53
ตารางภาคผนวกที่ 2	ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบสมบัติความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH 1:1)	54
ตารางภาคผนวกที่ 3	ระดับการประเมินธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในดิน	54
ตารางภาคผนวกที่ 4	การแบ่งระดับความเป็นพิษของอลูมินั่มในดิน	54

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 คุยกับเกษตรกรเจ้าของแปลงข้าวโพดฝักอ่อนก่อนดำเนินงานวิจัย อ.หลังสวน จ. ชุมพร 55

ภาพที่ 2 วัดความสูงของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่ออายุ 40 วัน 55

ภาพที่ 3 เก็บผลผลิตในแปลงข้าวโพดฝักอ่อน อ.หลังสวน จ. ชุมพร 56

ภาพที่ 4 ผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด อ.หลังสวน จ. ชุมพร 56

การใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสเฟตเพื่อปลูก ข้าวโพดฝักอ่อนในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดภาคใต้

Using phosphate solubilizing microorganisms for increasing phosphate availability and baby corn yield in acid sulfate soils in the Southern Thailand

นางสาวบรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์ นางสาวรติกร ณ ลำปางและนางนวลจันทร์ ภาสดา

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพื่อปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดได้ดำเนินการวิจัยบริเวณพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ ดำเนินการในกลุ่มชุดดินที่ 14 จังหวัดชุมพร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟต (Phosphate Solubilizing Microorganisms, PSM) ร่วมกับการใช้เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า (Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza, VAM) เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด และวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินและชีวภาพของดินหลังสิ้นสุดการทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCB (3x4)+1 ประกอบด้วย ปุ๋ยหินฟอสเฟต 3 อัตรา (8, 16 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และเชื้อจุลินทรีย์ 4 รูปแบบ (ไม่ใส่จุลินทรีย์, ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว, ใส่จุลินทรีย์ไมคอร์ไรซ่าเพียงอย่างเดียว และ ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) ร่วมกับจุลินทรีย์ไมคอร์ไรซ่า VAM) ดำเนินการทดลอง 3 ซ้ำ รวม 13 ตำรับการทดลอง จากผลการทดลองเฉลี่ยทั้ง 2 ปี พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) หลังสิ้นสุดการทดลองเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 4.75-5.03 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มสูงอยู่ระหว่าง 4.82-6.43 เปอร์เซนต์ ค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 10.19-37.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 99-123.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคลเซียมที่สะกัดได้ในดิน โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 1,495.39-1,789.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 286.22 – 300.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณอลูมินั่มที่สะกัดได้ในดินมีค่าลดลงในทุกตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.13 เซนติโมลต่อกิโลกรัม จากค่าวิเคราะห์จุลินทรีย์ดินหลังสิ้นสุดการทดลองในทุกตำรับการทดลอง พบว่า ตำรับการทดลองการใช้หินฟอสเฟต 24 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่า (VAM) และจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) มีปริมาณจุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่ามากที่สุด 760 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม รองลงมา คือ ตำรับการทดลองการใช้หินฟอสเฟต 16 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่าร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตมีปริมาณจุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่า 584 สปอร์ต่อดิน 100 กรัมและในตำรับการทดลองควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าต่ำสุด 195 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และจากการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต พบว่า ตำรับการทดลองการใช้หินฟอสเฟต 24 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่า (VAM)ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) ให้จำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตมากที่สุด $7.6x10^5$ เซลล์ต่อดิน 100 กรัมและในตำรับการทดลองควบคุมมีจำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่ำสุด $6.4x10^3$ เซลล์ต่อดิน 100 กรัม จากการวิเคราะห์การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเฉลียทั้ง 2 ฤดูปลูก พบว่าการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า(VAM) ให้ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อนสูงสุดกว่าทุกตำรับการทดลอง 126.70 เซนติเมตรและให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวโพดฝักอ่อนสูงสุดกว่าทุกตำรับการทดลองเช่นกัน (1,267.78 กิโลกรัม

ต่อไร่) และตำรับแปลงควบคุมให้ผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนต่ำสุด 1,050.23 กิโลกรัมต่อไร่ จากการศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับไมคอร์ไรซ่าให้รายได้สุทธิสูงสุด คือ 9,428.75 บาทต่อไร่ รองลงมาได้แก่ อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่าเพียงอย่างเดียวให้รายได้สุทธิเท่ากับ 9,166.83 บาทต่อไร่ ขณะที่การปลูกข้าวโพดฝักอ่อนโดยไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตและไม่ใส่จุลินทรีย์ที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสให้รายได้สุทธิต่ำสุด 6,046.65 บาทต่อไร่

คำสำคัญ ไมคอร์ไรซ่า แบคทีเรียละลายฟอสเฟต ข้าวโพดฝักอ่อน ดินเปรี้ยวจัด

เลขทะเบียนวิจัย 56-58-01-12-04-010104-01-11

Abstract

The study of using phosphate solubilizing microorganisms for increasing phosphate availability and baby corn yield in acid sulfate soils in the southern Thailand was carried out in the in soil group 14, Chumporn province. The objective of this research was to study the using Phosphate Solublizing Microorganisms (PSM) together with Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM) for enhancing phosphorus availability in the area of acid sulfate soils. Chemical and biological changes of the soil at the end of the experiments were also analyzed whereby the experiment plan of factorial in RCB (3x4) + 1 was used. This consisted of 3 rates of rock phosphate as a fertilizer (8, 16 and 24 kilograms of P_2O_5 per rai) and 4 types of microorganisms (no microorganism application, phosphate solublizing microorganisms (PSM) application, vesicular-arbuscular mycorrhiza (VAM) microorganisms application, PSM+VAM microorganisms application). Then, the experiment was carried out with 3 replications, including 13 treatments. After the end of the experiments, for the chemical values of the soil, it was found that pH values of the soil were increased between 4.75-5.03; the amount of organic matters in the soil (%) increased to between 4.82-6.43 %; the available phosphorus (milligrams per kilogram) increased to between 10.19-37.67 milligrams per kilogram; the extractable potassium (milligrams per kilogram) increased to between 99-123.54 milligrams per kilogram; the amount of extractable calcium from the soil (milligrams per kilogram) increased to between 1,495.39-1,789.95 milligrams per kilogram; the amount of extractable magnesium (milligrams per kilogram) increased to between 286.22 – 300.45 milligrams per kilogram; and the amount of extractable aluminum (centimoles per kilogram) decreased to between 0.05-0.13. For the analysis of the number of spores of Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM) it was found that for the experimental treatment of using rock phosphate at the rate of 24 kilograms of P_2O_5 per rai together with VAM and PSM showed the highest spores (760 spores per 100 grams of soil). This was followed by the application of rock phosphate as a fertilizer at the rate of 24 kilograms of P_2O_5 per rai together the application of VAM only, accounting for 584 spores per 100 grams of soil, and the number of spores of VAM was found to be at the least (195 spores per 100 grams of soil). For the number of phosphate solublizing microorganisms (PSM) was found to be at the most ($7.6x10^5$ cells per 100 grams of soil) for the treatment of using rock phosphate at the rate of 24 kilograms of P_2O_5 per rai together with VAM and PSM; and for the control experimental treatment, the number of PSM was found to be at the least ($6.4x10^3$ cells per 100 grams of soil).

Regarding to the average height of both year the result showed that the application of rock phosphate at the rate of 24 kilograms of P_2O_5 per rai with phosphate solublizing microorganisms (PSM) and the application of Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM) resulted in maximum average height of baby corn (126.70 cm.) of all treatments of the experiments. For the average yield of both year, the control plot yielded the lowest productivity of baby corn, accounting for 1,050.23 kilograms per rai while the application of rock phosphate at the rate of

24 kilograms of P_2O_5 per rai + PSM + VAM yielded the highest productivity of baby corn among all treatments of the experiments, accounting for 1,267.78 kilograms per rai.

When the productivity from two years was take into consideration in terms of the analysis of the mean of economical returns for baby corn in the area of acid sulfate soils, it was found that the application of rock phosphate at the rate of 24 kilograms of P_2O_5 per rai together with PSM and VAM resulted in the highest net income of 9,428.75 Baht per rai. This was followed by the application of rock phosphate at the rate of 24 kilograms of P_2O_5 per rai together the application of VAM only, accounting for the average net income of 9,166.83 Baht per rai. However, growing baby corn without the application of rock phosphate as a fertilizer and microorganisms enhancing phosphorus availability in the soil yielded the lowest net income of 6,046.65 Baht per rai.

Key words: vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM), phosphate solublizing microorganisms (PSM), acid sulfate soils, baby corn, acid sulfate soils

คำนำ

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่เกิดจากตะกอนน้ำกร่อย หรือตะกอนน้ำทะเล ซึ่งมีสารประกอบซัลไฟด์ในรูปของแร่ไพไรท์ สารนี้เมื่อถูกออกซิเดชั่นจะเป็นสารประกอบซัลเฟต ให้สารประกอบสีเหลืองฟางข้าวที่เรียกว่า จาโรไซต์ ในชั้นหน้าตัดของดิน และมีกรดกำมะถันเกิดในชั้นดิน ดินจะมีปฏิกริยาเป็นกรดจัดมาก ประมาณ 4.0-5.5 ซึ่งการจำแนกความเหมาะสมของความเปรี้ยวจัดขึ้นอยู่กับ ความลึกของจาโรไซต์ และชั้นความเป็นกรดของดิน ดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดจัดส่วนใหญ่นั้นมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช อาทิ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช นอกจากนั้นแล้วความเป็นพิษของอลูมินั่มและเหล็กจะไปยับยั้งการเจริญของระบบราก ซึ่งเป็นผลทางตรงที่ไปกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช (เจริญ, 2541)

ปัจจัยเหล่านี้ มักจะเป็นผลทางตรงที่ไปกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต สำหรับธาตุอาหารพืชที่มีผลกระทบจากความเป็นกรดของดินมากที่สุด ได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส เนื่องจาก กรดจะเป็นตัวลดประสิทธิภาพความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส ซึ่งทำให้การดูดซึมน้ำและธาตุอาหารพืชลดลง นอกจากนั้นแล้วปฏิกิริยาร่วมระหว่าง Al-P ที่ระบบราก (Al-precipitation) จะไปผลยับยั้งการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสไปยังลำต้นพืช สำหรับผลทางอ้อมที่ไปจำกัดการเจริญเติบโตและพัฒนาการของจุลินทรีย์ เช่น ไรโซเบียม ไมคอร์ไรซ่า และแอคติโนมัยซิส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่สำคัญธาตุหนึ่งที่พืชต้องการปริมาณมาก เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ต้นกำเนิดของธาตุฟอสฟอรัสมาจากหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตสามารถละลายออกมาเป็นประโยชน์แก่พืช แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าหินฟอสเฟตมีการละลายออกมาให้พืชใช้ประโยชน์ได้น้อย ดังนั้น การใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรงจึงไม่แพร่หลาย ซึ่งแตกต่างกับการใช้ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต การใช้ธาตุฟอสฟอรัสในปริมาณที่พอเพียงแก่พืชจึงจำเป็นต้องใช้หินฟอสเฟตปริมาณมาก ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาหาวิธีการที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต เช่น นำเอาหินฟอสเฟตไปเผาหรือบดให้ละเอียด การใช้กรดหรือการใช้จุลินทรีย์ดินบางชนิดเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดิน และพบว่ามีเชื้อจุลินทรีย์หลายกลุ่มทั้งบักเตรี เชื้อรา และ แอคติโนมัยซีส ที่สามารถจะทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาเป็นประโยชน์ได้มากขึ้น (Alexander, 1969)

สำหรับการปรับปรุงบำรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชนั้น ปุ๋ยหินฟอสเฟตถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดกันแพร่หลายในหลายประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยหินฟอสเฟตมีราคาต่ำ แต่ปุ๋ยหินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยละลายช้า จึงทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อพืชลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่า หากนำปุ๋ยหินฟอสเฟตมาใช้ร่วมกับจุลินทรีย์บางชนิดในพื้นที่ดินเปรี้ยวแล้ว จะสามารถช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสได้ เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดที่มีอยู่ในดินนั้น สามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดินออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น เช่น เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า (Vesicular Arbuscular Mycorrhiza, VAM) ช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวของราก ทำให้การดูดซับธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น หรือจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilizing microorganism, PSM) ช่วยละลายฟอสเฟตจากหินฟอสเฟตออกมาเป็นประโยชน์แก่พืชมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีชีวภาพทางดินโดยใช้จุลินทรีย์ดินดังกล่าวจะเป็นการช่วยลดการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในพื้นที่ดินเป็นเปรี้ยวจัดหรือดินกรดได้และช่วยลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย (Illmer and Schinner, 1992)

จากการใช้จุลินทรีย์บางชนิด พบว่า สามารถช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสได้ เช่น จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต หรือ เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า เป็นต้น เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า (VAM) ซึ่งเป็นเชื้อราชนิดหนึ่งที่เจริญเติบโตได้ดีในดินกรดจัด ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช โดยใยราที่พันอยู่กับรากพืชทำให้พืชมีพื้นที่ผิวของรากเพิ่มมากขึ้น และใยราชอนไชเข้าไปในดินสัมผัสกับธาตุฟอสฟอรัสและดูดธาตุนี้โดยตรง และ

ถ่ายทอดไปสู่รากพืช จึงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดน้ำและธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัสได้ดี

สำหรับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตนั้น ขณะนี้บางประเทศได้นำเอาจุลินทรีย์ดังกล่าวมาใช้เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต โดยจุลินทรีย์พวกนี้สามารถละลายหินฟอสเฟตและอนินทรีย์ฟอสเฟตอื่นๆ และปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมา จุลินทรีย์นี้มีทั้งแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซิสอย่างไรก็ตาม การใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตลงไปในดินจะเป็นผลอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการ ประการที่สำคัญที่สุดประการหนึ่ง คือ ขนาดของประชากรจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่มีอยู่ในดินนั้นๆ ไม่ว่าจะมาจากบริเวณรอบๆ ราก หรือจะมาจากผิวของเมล็ด ซึ่งขนาดหรือจำนวนของจุลินทรีย์จะผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมของดิน ในปี 1995 Alexander ได้กล่าวว่าสารประกอบอนินทรีย์ของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ละลายไม่ได้ และส่วนใหญ่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ มีจุลินทรีย์จำนวนมากที่สามารถเปลี่ยนสารประกอบนี้ให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ ขบวนการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนรูปฟอสเฟตให้ไปอยู่ในรูปที่ละลายได้นี้ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้น กรดอินทรีย์จะเปลี่ยนรูปแคลเซียมฟอสเฟต [$Ca_3 (PO)_2$] ให้เป็นรูปไดและโมโนเบสิคฟอสเฟต (HPO_4^{2-} และ $H_2PO_4^-$) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แบคทีเรียและเชื้อราที่สามารถเปลี่ยนรูปฟอสเฟตที่ละลายไม่ได้ให้เป็นรูปที่ละลายได้ จุลินทรีย์เหล่านี้ ได้แก่ พวก Pseudomonas, Mycobacterium, Flavobacteruim, Sclerotium, Aspergillus เป็นต้น จากการเลี้ยงจุลินทรีย์เหล่านี้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแคลเซียมฟอสเฟต อพาไตท์ หรือ สารอื่นคล้ายๆกันที่ประกอบด้วยฟอสเฟตที่ละลายไม่ได้ พบว่าไม่เพียงแต่จุลินทรีย์ที่ดูดย่อยฟอสเฟตเป็นอาหารเป็นประโยชน์ต่อตนเองแล้ว จุลินทรีย์ยังทำให้เกิดการละลายของฟอสเฟตเป็นจำนวนมากและปลดปล่อยจำนวนที่เหลือจากที่ใช้เป็นอาหารแล้วออกมา ซึ่งอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

กลไกการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเกิดจากการสร้างกรดและปลดปล่อยออกมาละลายฟอสเฟตในดิน โดย (1) การสร้างกรดอินทรีย์ (organic acids) กรดอินทรีย์ที่พบเสมอๆว่าจุลินทรีย์สามารถสร้างและปลดปล่อยออกมาได้แก่ กรดฟอร์มิค อะซิติค โปรปิโอนิค แลคติค ไกลโคลิค ฟูมาริค และซัคซินิค เป็นต้น ส่วนมากจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรพ (heterotroph) จะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาจำนวนหนึ่งเสมอในระหว่างการย่อยสารอินทรีย์แต่มีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ (ธงชัย, 2546) Illmer and Schinner (1992) พบว่าระหว่างการละลายฟอสเฟตของเชื้อจุลินทรีย์ *Penicillium sp.* และ *Pseudomonas sp.* มีการปลดปล่อยกรดไกลโคลิก (glycolic acid) และ กรดกลูโคนิก (gluconic acid) ซึ่งเชื่อว่ากรดเหล่านี้มีส่วนในการละลายฟอสฟอรัสในดิน (2) การสร้างกรดอนินทรีย์ (inorganic acids) จุลินทรีย์บางชนิดสร้างและปลดปล่อยกรดอนินทรีย์ออกมาได้แก่ กรดไนตริค และซัลฟูริค จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ *Nitrobacter sp.* และ *Thiobacillus sp*. ตามลำดับ กรดต่างๆ ที่เกิดขึ้นเหล่านี้ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง และเกิดการละลายของฟอสฟอรัสมากขึ้น กรดอินทรีย์บางชนิดอาจเกิดคีเลตกับแคลเซียมและเหล็ก ทำให้การละลายและการใช้ฟอสเฟตมากขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณการละลายฟอสเฟตจะแตกต่างกันตามความสามารถในการละลายของจุลินทรีย์แต่ละชนิด รวมทั้งลักษณะ และรูปของฟอสเฟต โดยทั่วไปเชื้อราจะมีความสามารถสูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ

จุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายหินฟอสเฟต (Phosphate Solubilizing Microorganisms, PSM) ได้มีทั้งแบคทีเรีย ราและแอคติโนมัยซีท Katznelson and Bose (1962) ได้รายงานว่า จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถละลายฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น เกลือแคลเซียมฟอสเฟตโดยการขับกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ออกมา กรดอินทรีย์เหล่านี้สามารถละลายหินฟอสเฟตและ chelate calcium ion ให้ไปอยู่ในรูปฟอสฟอรัสที่เป็น

ประโยชน์ต่อพืชในสารละลายดินได้ นอกจากนั้นแล้ว ธงชัย (2546) กล่าวว่า ปริมาณจุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟตได้รับอิทธิพลจากชนิดของดิน ความลึกของดิน และการเขตกรรมที่แตกต่างกันมากกว่าสภาพทางกายภาพของดิน ปริมาณฮิวมัส ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดิน และจากการทดสอบประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตพบว่า เชื้อรามีประสิทธิภาพสูงกว่าเชื้อแบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีส เช่น *Aspergillus niger, Aspergillus fumigatus* และ *Penicillium sp.* เป็นต้น (Kucey, 1983; Illmer and Schinner, 1992)

เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า (Vesicular Arbuscular Microorganism) เป็นเชื้อราที่พบอยู่ในดินเกือบทุกหนทุกแห่ง เป็นเชื้อราเอ็นโดไมคอร์ไรซ่าแบบที่ใยราไม่มีผนังกั้น สามารถเข้าสู่รากพืชและอาศัยร่วมกันกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน (symbiosis) โดยเชื้อราจะได้รับที่อยู่อาศัยและสารอาหารคาร์โบไฮเดรตจากพืช ในขณะที่พืชจะได้รับธาตุอาหารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส รวมทั้งน้ำและยังเป็นเกราะป้องกันอันตรายจากเชื้อสาเหตุของโรคพืชต่างๆ ได้ในระดับหนึ่ง Gerdemann (1968) ได้ศึกษาถึงผลของการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซ่าต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ซึ่งปลูกเชื้อไมคอร์ไรซ่าจะเจริญได้ดีกว่าข้าวโพดซึ่งไม่ปลูกเชื้อไมคอร์ไรซ่า ในดินที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส หรือมีธาตุฟอสฟอรัสในรูปที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ จากผลการศึกษาพบว่า ข้าวโพดที่มีเชื้อนี้อยู่จะสามารถดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสจากดินได้มากกว่าพวกที่ไม่มีไมคอร์ไรซ่า ในปี 1980 Barea et al. พบว่า พืชตระกูลถั่วพวกอัลฟัลฟา (*Medicago sativa*) จะสามารถปลูกขึ้นและเจริญเติบโตในดินที่มีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการคัดเลือกและใช้ไมคอร์ไรซ่าชนิด *Glomus mosseae* จะช่วยให้พืชดูดธาตุอาหารได้เพิ่มมากกว่าเมื่อใช้เชื้อราชนิดพื้นเมืองหรือเชื้อราที่มีอยู่แล้วในดินตามธรรมชาติ และยังมีผลทำให้การดูดธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและน้ำหนักแห้งของพืชเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นแล้ว จากการศึกษาของ Barea et al. (1980) ได้ให้คำแนะนำว่า ในดินที่มีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ถูกตรึงมาก ซึ่งทำให้มีฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย ควรใช้ไมคอร์ไรซ่าแทนการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส เพราะไมคอร์ไรซ่าจะช่วยทำให้พืชสามารถนำเอาฟอสฟอรัสในดินมาใช้ได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการจะปลูกพืชในดินที่มีฟอสฟอรัสในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้หรือได้น้อย จำเป็นจะต้องมีการคัดเลือกพันธุ์ของไมคอร์ไรซ่าที่เหมาะสมด้วย จึงจะทำให้การใช้ไมคอร์ไรซ่ามีส่วนในการเพิ่มการเจริญเติบโตให้กับพืชเหล่านี้ได้ Cress et al. (1979) พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายที่มีฟอสเฟต 1 ไมโครโมล-ฟอสฟอรัส นั้น รากมะเขือเทศที่มีเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าสามารถดูดกินฟอสเฟตได้มากกว่ารากปกติเกือบ 2 เท่า ทั้งนี้เนื่องมาจากมีแรงในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับ Howeler et al. (1987) ที่พบลักษณะเดียวกันนี้ในการทดสอบกับมันสำปะหลัง

ใยของราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่ามีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตได้ในระดับที่มีความเข้มข้นต่ำมากได้ดีกว่ารากปกติ Sainz และ Arines (1998) รายงานว่าผลผลิตของโคลเวอร์แดง (red clover) ที่คลุกด้วยเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซ่าจะสูงกว่าพืชปกติ 4 เท่า และพืชที่มีวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟตจะให้พืชผลผลิตสูงสุดเมื่อมีฟอสเฟตในระดับต่ำ (14 ไมโครโมล-ฟอสฟอรัสต่อมิลลิลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชปกติที่มีผลผลิตสูงสุดเมื่อมีระดับฟอสเฟต 25 ไมโครโมล-ฟอสฟอรัสต่อมิลลิลิตร Valentine et al. (2001) ได้สนับสนุนผลการทดลอง โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการให้ธาตุฟอสฟอรัส และปริมาณธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อการเข้าอาศัยในรากของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า ในพืชตระกูลแตงกวา (*Cucumis sativus* L. var. Telegraph) พบว่าปริมาณธาตุอาหารที่ให้ทั้งธาตุอาหารฟอสฟอรัสและธาตุอาหารหลักชนิดอื่นมีผลต่อความสามารถในการเข้าสู่รากของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า โดยการเข้าสู่รากพืชจะสูงสุดเมื่อมีการใส่ธาตุอาหารฟอสเฟตในปริมาณต่ำ แต่มีปริมาณธาตุอาหารหลักชนิดอื่นที่เป็นประโยชน์สูง Tinker et al. (1981) กล่าวว่า เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าเป็นเชื้อราซึ่งทนต่อสภาพความเป็นกรดของดินและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับธาตุอาหารแก่พืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งมีการเคลื่อนย้ายต่ำในสารละลายดิน ใยราจากเชื้อรา สามารถดูดซึมและเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัส

ไปยังพืช โดยทั่วไปแล้วพืชซึ่งมีไมคอร์ไรซ่านั้นอัตราการดูดซึมฟอสฟอรัสต่อหน่วยความยาวรากจะมากเป็น 2-3 เท่าของพืชซึ่งไม่มีไมคอร์โรซ่า จากผลการทดลองของ Jintaridth (1996) ศึกษาการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต โดยตำรับการทดลองประกอบด้วย การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า ปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่ร่วมกับเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า ต่อการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียวในดินกรดจัด (pH 4.5) พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับ เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า ให้การเจริญเติบโตดีกว่าปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตอย่างเดียว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งของปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตได้ถูกตรึงอยู่ในรูป Al-P ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช แต่เมื่อเพิ่มอัตราฟอสเฟตตั้งแต่ 0-0.1 กรัม P_2O_5 ต่อ กระถาง ขึ้นไปถึงระดับ 2 กรัม P_2O_5 ต่อกระถาง (คิดเป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตประมาณ 15 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) พบว่า พืชสามารถดูดใช้ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตได้มากกว่าปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า และปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่ร่วมกับเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบฟอสเฟตของปุ๋ยหินฟอสเฟตทุกอัตราแล้วพบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า มีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของพืชดีกว่าปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่ร่วมกับเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า

Brown et al. (1988) ได้ทำการทดลองใช้เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า ในพืชตระกูลถั่วในสภาพดินขาดธาตุฟอสฟอรัส พบว่า เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า จะช่วยเพิ่มปริมาณที่ปมราก (nodules) และประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่วและช่วยในการเจริญเติบโตของพืช Smith (1980) และ Gianninazzi-Pearson (1988) พบว่า hyphae ของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่านั้น นอกจากช่วยในการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสแล้ว ยังสามารถสะสมฟอสเฟตโมเลกุลใหญ่ (Polyphosphates) ใน vacuoles ซึ่งเสมือนเป็นแหล่งเก็บฟอสเฟตเพื่อเป็นพลังงาน ไมคอร์ไรซ่ามีส่วนในการช่วยดูดซึมและเปลี่ยนธาตุอาหารจากพวกอินทรีย์วัตถุต่างๆ ที่ยังสลายตัวไม่หมด หินแร่ที่สลายตัวยาก หรือมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ถูกตรึง (phosphorus fixation) โดยทางเคมี ซึ่งจะรวมตัวกับเหล็ก อะลูมินั่ม แคลเซียมหรือแมกนีเซียม ทำให้ไม่ละลายน้ำและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยไมคอร์ไรซ่าจะช่วยดูดซับอินทรีย์วัตถุเหล่านี้ผ่านทางเซลล์ของเชื้อราไปสู่เซลล์ของรากพืชในรูปของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ ทำให้พืชนำไปใช้ต่อให้เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ (Gianinazzi-Pearson and Gianinazzi, 1988)

Gerdemann (1964) ได้ศึกษาถึงผลของการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซ่าต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ซึ่งปลูกเชื้อไมคอร์ไรซ่าจะเจริญได้ดีกว่าข้าวโพดซึ่งไม่ปลูกเชื้อไมคอร์ไรซ่า ในดินที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสหรือมีธาตุฟอสฟอรัสในรูปที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ จากผลการศึกษาพบว่า ข้าวโพดที่มีเชื้อนี้อยู่จะสามารถดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสจากดินได้มากกว่าพวกที่ไม่มีไมคอร์ไรซ่า นอกจากนั้น แล้ว จากการศึกษาของ Barea และคณะ (1980) ได้ให้คำแนะนำว่า ในดินที่มีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ถูกตรึงมาก ซึ่งทำให้มีฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย ควรใช้ไมคอร์ไรซ่าแทนการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพราะไมคอร์ไรซ่าจะช่วยทำให้พืชสามารถนำเอาฟอสฟอรัสในดินมาใช้ได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการจะปลูกพืชในดินที่มีฟอสฟอรัสในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้หรือได้น้อย จำเป็นจะต้องมีการคัดเลือกพันธุ์ของไมคอร์ไรซ่าที่เหมาะสมด้วย จึงจะทำให้การใช้ไมคอร์ไรซ่ามีส่วนในการเพิ่มการเจริญเติบโตให้กับพืชเหล่านี้ได้ ในปี 1980 จากงานวิจัยของ Barea และคณะ พบว่า พืชตระกูลถั่วพวกอัลฟัลฟา (*Medicago sativa*) จะสามารถปลูกขึ้นและเจริญเติบโตในดินที่มีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการคัดเลือกและใช้ไมคอร์ไรซ่าชนิด *Glomus mosseae* จะช่วยให้พืชดูดธาตุอาหารได้เพิ่มมากกว่าเมื่อใช้เชื้อราชนิดพื้นเมืองหรือเชื้อราที่มีอยู่แล้วในดินตามธรรมชาติ และยังมีผลทำให้การดูดธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและน้ำหนักแห้งของพืชเพิ่มขึ้นด้วย

ธงชัย (2540) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของเชื้อ *Aspergillus sp.* และหินฟอสเฟตที่มีผลต่อผลผลิตและการดูดกินฟอสฟอรัสของถั่วเหลืองนี้โดยใช้เชื้อรา 3 ชนิด คือ *Aspergillus niger, A. perpulea* และเชื้อ *Aspergillus niger+A. perpulea* ผสมหินฟอสเฟตบด 3 อัตรา คือ 0, 0.64 และ 1.28 กรัม P_2O_5 ต่อกระถาง ทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต 4 อัตรา คือ 0, 0.17, 0.34 และ 0.51 กรัม P_2O_5 ต่อกระถาง ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักแห้งของเมล็ด น้ำหนักเมล็ดทั้งฝักแห้ง จำนวนฝักต่อต้น และปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดถั่วเหลืองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใช้เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟตอัตรา 1.28 กรัม P_2O_5 ต่อกระถาง มีแนวโน้มที่ชี้ให้เห็นว่า สามารถทำให้ถั่วเหลืองมีผลผลิตสูงใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต อัตรา 0.51 กรัม P_2O_5 ต่อกระถาง โดยทำให้มีน้ำหนักแห้งเมล็ด 9.60-9.81 กรัมต่อต้น ปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ด 59.50-62.58 ppm. น้ำหนักเมล็ดทั้งฝักแห้ง 19.23-21.24 กรัมต่อต้น และมีจำนวนฝัก 35-40 ฝักต่อต้น

Jintaridth et al. (2006) ได้ทำการทดลองการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟต (PSM) โดยใช้เชื้อ *Aspergillus sp*. พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 0.24 กรัม P_2O_5 ต่อกระถาง หรือ 15 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ ร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับไรโซเบียมให้ความสูงเฉลี่ยสูงสุดและให้ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสในดินและพืชสูงกว่าทุกตำรับการทดลองและแตกต่างทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตราต่ำ และจากผลค่าวิเคราะห์ทางเคมีของปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสในดินหลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเพิ่มอัตราปุ๋ยหินฟอสเฟตมีผลทำให้ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น และการใส่ PSM ร่วมกับไรโซเบียมร่วมกับปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตราสูง จะทำให้ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในดินสูงสุด และจากผลค่าวิเคราะห์ทางเคมีของปริมาณธาตุอะลูมินั่มในดิน (มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อดิน100 กรัม) พบว่า การใส่จุลินทรีย์ดิน PSM มีแนวโน้มทำให้ค่าอะลูมินั่มในดินลดลงกว่าการไม่ใส่จุลินทรีย์ PSM เป็นเพราะว่า เชื้อจุลินทรีย์ PSM สามารถเปลี่ยนสารประกอบอนินทรีย์ของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ละลายไม่ได้ให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ และอีกทั้งธาตุอะลูมินั่มในดินกรดจะถูกตรึงกับฟอสเฟตที่ละลายออกมา

ในปี 2552 วุฒิชัยและคณะ ทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต 6 สายพันธุ์ เชื้อรา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ PSF 3, PSF 42, PSF 035, และ PSF 221 และเชื้อแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ ได้แก่ PSB 8 และ PSB 220 ที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในสภาพโรงเรือนทดลองและในสภาพแปลงทดลอง พบว่า ในสภาพโรงเรือนทดลอง การใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต สามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เพาะเชื้อ สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในสภาพแปลงทดลอง พบว่า แปลงที่ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตสามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้มากกว่าแปลงไม่ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี

ข้าวโพดฝักอ่อน (Baby corn) เป็นผักอุตสาหกรรมและส่งออกที่สำคัญของประเทศ การส่งออกมีทั้งการแปรรูปบรรจุกระป๋อง การส่งออกฝักสด และการแช่แข็ง ประเทศไทยสามารถทำรายได้จากข้าวโพดฝักอ่อนเป็นมูลค่ามากกว่าพันล้านบาท สำหรับเกษตรกรแล้ว ข้าวโพดฝักอ่อนนับเป็นผักที่นิยมปลูก เนื่องจากมีเทคโนโลยีการผลิตที่ไม่ยุ่งยากมีระบบตลาดที่สะดวกและมั่นคงพอควร ไม่ต้องใช้สารเคมีอันตรายและเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นโดยมีอายุตั้งแต่วันปลูกถึงวันเก็บเกี่ยว ประมาณ 45-50 วัน และมีช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวเพียง 7-10 วัน ดังนั้น ตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวฝักอ่อนหมดจะใช้เวลาเพียง 60-70 วันเท่านั้น เกษตรกรสามารถปลูกได้ปีละ 4-5 ครั้ง ซึ่งสามารถปลูกเป็นพืชหลักที่ทำรายได้ที่ดี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2535) การปรับปรุงและบำรุงดินสำหรับข้าวโพดฝักอ่อนนั้น ควรใส่ปูนในกรณีที่ดินเป็นกรดหรือดินเปรี้ยวจัด เนื่องจากการใส่ปูนนอกจากจะช่วยแก้ความเป็นกรดให้แก่ดินแล้ว ยังสามารถให้ธาตุแคลเซียมแก่พืชด้วย สิ่งที่ควรปฏิบัติอีกประการหนึ่งคือ การใส่หินฟอสเฟตบด เพราะจะสามารถเป็นปุ๋ยแก่ข้าวโพดฝักอ่อนอย่างดี นอกจากแก้ความเป็นกรดแล้ว ยังมีธาตุฟอสฟอรัส ธาตุ

อาหารรองและอาหารเสริมปนอยู่อย่างเพียงพอด้วย และควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยให้โครงสร้างของดินดี ชุ่มน้ำและระบายน้ำดีอย่างสม่ำเสมอ ผลผลิตสูง และเปอร์เซ็นต์ฝักมาตรฐานสูง ปุ๋ยอินทรีย์สามารถใช้ได้ถึง 5 ตันต่อไร่ แต่เนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรจัดซื้อหรือหาปุ๋ยอินทรีย์ไม่สะดวกนัก อัตราการใส่ขึ้นกับกำลังซื้อของเกษตรกร แต่อย่างน้อยเกษตรกรควรใส่ประมาณ 200-300 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ทุกปี นอกจากนี้ ต้นข้าวโพดฝักอ่อน หากไม่นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ก็สามารถจะใช้ไถกลบบำรุงดินได้อย่างดี (เจริญ, 2541)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟต (Phosphate Solubilizing Microorganisms) ร่วมกับการใช้เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า (Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza) เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดเพื่อปลูกข้าวโพดฝักอ่อน และเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนหลังจากใช้จุลินทรีย์เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า และเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟต ตลอดจนศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินและชีวภาพของดิน

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลาดำเนินการ

เริ่มต้นเดือน กันยายน 2556

สิ้นสุดเดือน ตุลาคม 2558

สถานที่ดำเนินการ พื้นที่เกษตรกร อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร

สภาพพื้นที่ (Site Characterization)

ชุดดินต้นไทร (Thon Sai series: Ts) กลุ่มชุดดินที่ 14 (fine-loamy, mixed, acid, semiactive, isohyperthermic Sulfic Endoaquepts) เกิดจากตะกอนน้ำกร่อยพามาทับถมอยู่บนบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเล สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0-1 เปอร์เซนต์ การระบายน้ำ เลวมาก การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า การซึมผ่านได้ของน้ำ ช้าลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึก ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.5) ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทราย มีสีเทา มีจุดประสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปนเหลืองและดินชั้นล่างถัดไประหว่างความลึก 50-100 เซนติเมตรจะพบชั้นดินตะกอนน้ำทะเลที่มีสารประกอบซัลไฟด์อยู่สูง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์การทดลอง

- ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยโพแตสเซียมคลอไรด์ ปุ๋ยหินฟอสเฟต ปูนโดโลไมต์ และเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อน (เกษตรศาสตร์ 2)
- เชื้อจุลินทรีย์ไมคอร์ไรซ่า (VAM) และเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายหินฟอสเฟต (PSM)
- อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง ถุงเก็บตัวอย่างพืช ไม้เมตรสำหรับวัดความสูง และเครื่องชั่งน้ำหนัก

- อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ พลั่วตักดินหรือขุดดิน (spades) ท่อเก็บตัวอย่างดิน (core sampling) ถุงเก็บตัวอย่างดิน (sample bags) และพลั่วตักดินขนาดเล็ก (minispades)

- อุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์ดิน

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCB (3x4)+1 ประกอบด้วย ปุ๋ยหินฟอสเฟต 3 อัตรา (8, 16 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และเชื้อจุลินทรีย์ 4 รูปแบบ (ไม่ใส่จุลินทรีย์, ใส่จุลินทรีย์ PSM, ใส่จุลินทรีย์ VAM และ ใส่จุลินทรีย์ PSM + VAM) และตำรับตรวจสอบ (check) ที่ไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตและจุลินทรีย์ ดำเนินการทดลอง 3 ซ้ำ รวม 13 ตำรับการทดลอง ประกอบด้วย

1. แปลงควบคุม (control)
2. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 8 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่
3. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 8 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่+ PSM
4. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 8 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่+ VAM
5. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 8 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่+ PSM + VAM
6. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 16 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่
7. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 16 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่+ PSM
8. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 16 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่+ VAM
9. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 16 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่+ PSM + VAM
10. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่
11. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่+ PSM
12. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่+ VAM
13. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) อัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่+ PSM + VAM

หมายเหตุ: ในทุกตำรับการทดลองใส่ปูนโดโลไมต์และปรับระดับความเป็นกรด-ด่างที่ pH 5.5 โดยหว่านปูนและหมักทิ้งไว้ประมาณ 15-20 วันก่อนหยอดเมล็ด

2.2 วิธีวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.2.1 ตัวอย่างดิน

1. ปฏิกิริยาดิน (soil reaction) โดยใช้เครื่องมือวัดค่าปฏิกิริยาของดิน (pH meter) อัตราส่วน ดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (Peech, 1965)
2. อินทรียวัตถุในดิน (organic matter) โดยวิธี Walkey–Black modified (Walkley and Black, 1934)
3. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945)
4. โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยการสกัดด้วย 1 N ammonium acetate pH 7.0 (Pratt, 1965; Chapman, 1965)
5. อะลูมินั่มที่สะกัดได้ในดิน (extr. Aluminum) โดย 1N potassium chloride (Wolf, 1982)

2.3 วิธีการดำเนินการ

2.3.1 คัดเลือกพื้นที่ทดลอง

คัดเลือกพื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในอำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร ซึ่งเป็นพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ (ชุดดินต้นไทร)

2.3.2 ดำเนินการวิจัย

เก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample เก็บที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างดิน โดย

2.3.2.1 วิเคราะห์ค่าสมบัติทางเคมี - วิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) เปอร์เซนต์อินทรียวัตถุในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและอะลูมินั่มที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ช่วงก่อนดำเนินการทดลองและหลังสิ้นสุดการทดลอง ในฤดูปลูกที่ 1และ 2

2.3.2.2 วิเคราะห์สมบัติทางชีวภาพ – หาปริมาณเชื้อแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (PSM) โดยวิธี Dilution plate count (Benson, 2002) และตรวจนับจำนวนสปอร์ไมคอร์ไรซ่า (VAM) ด้วยวิธี wet sieving and decanting (Gerdemann and Nicolson, 1963) ช่วงก่อนการทดลองและหลังสิ้นสุดการทดลอง ในฤดูปลูกที่ 1และ 2

2.3.3 การจัดการดินและพืช

1. เตรียมดินปลูก แบ่งพื้นที่เป็นแปลงย่อย ขนาด 4.8x6 ตารางเมตร จำนวน 39 แปลง ระยะห่างระหว่างแปลงย่อย 1 เมตร ระหว่างซ้ำ 2 เมตร ขุดดินหรือพรวนดินให้ร่วนโปร่ง และมีความลึกประมาณ 25 เซนติเมตร แล้วยกร่องเป็นลูกฟูกสูง 25 เซนติเมตร ให้มีร่องระบายน้ำ ใส่ปูนคลุกเคล้าในชุดดินเปรี้ยวจัดตามอัตราที่คำนวณโดยปรับระดับความเป็นกรด-ด่างที่ pH 5.5 ก่อนปลูกข้าวโพดฝักอ่อนประมาณ 15-20 วัน หลังจากนั้นใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ คลุกเคล้าทั่วแปลงย่อย

2. เตรียมจุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่า (VAM) สายพันธุ์ *Glomus* sp. จาก สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร โดยนำผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซ่า 10 กรัม รองก้นหลุมก่อนปลูกตามตำรับการทดลองที่กำหนด

3. เตรียมจุลินทรีย์ดินละลายฟอสเฟต (PSM) สายพันธุ์ *Burkholderia* sp. จากกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน โดยนำผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด. 9 จำนวน 100 กรัม (1 ซอง) ใส่ในน้ำ 20 ลิตรแล้วกวนให้เข้ากันเทในส่วนผสมของปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัมและรำข้าว 3 กิโลกรัม หลังจากนั้นผสมวัสดุให้เข้ากันและปรับความชื้นด้วนน้ำประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และตั้งกองปุ๋ยในที่ร่มเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้สูงประมาณ 50 เซนติเมตร ใช้วัสดุคลุมเพื่อรักษาความชื้น หลังจากนั้น 4 วันนำไปใช้ ตามตำรับการทดลองที่กำหนด

2. ใส่ปูนโดโลไมต์และจุลินทรีย์ดิน หลังจากใส่ปูนโดโลไมท์คลุกเคล้าในชุดดินเปรี้ยวจัดก่อนปลูกข้าวโพดฝักอ่อนและหมักไว้ในดินประมาณ 15-20 วันแล้ว ใส่ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ดินตามตำรับการทดลองที่กำหนด

3. ปลูกข้าวโพดฝักอ่อน การปลูกในสภาพยกร่อง โดยใช้ระยะปลูก 50x50 ซม หลุมละ 3-4 เม็ด ต่อหลุม หลังจากนั้นถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น เมื่ออายุ 20 วัน

4. การใส่ปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0)และปุ๋ยโพแตสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ รองก้นหลุมตอนปลูกและโรยข้างแถว เมื่อข้าวโพดอายุ 25-30 วัน ครั้งละครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมด สำหรับปุ๋ยฟอสฟอรัส ใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตตามอัตราที่กำหนดในแต่ละตำรับการทดลอง

5. การให้น้ำกับข้าวโพดฝักอ่อน การให้น้ำกับข้าวโพดฝักอ่อนจะต้องเอาใจใส่ใกล้ชิด เพราะข้าวโพดฝักอ่อนจะเจริญเติบโตได้ดี มีฝักสมบูรณ์ พื้นดินที่ใช้ปลูกต้องมีความชื้นตลอดฤดูปลูก ระมัดระวังอย่าให้ถึงกับแฉะซึ่งอาจทำให้ชะงักการเจริญเติบโตได้ การขาดน้ำหรือปล่อยให้ดินแห้งช่วงใดช่วงหนึ่งของการเจริญเติบโตจะทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักเช่นกัน และมีผลกระทบถึงผลผลิต ขนาดฝักอ่อนและคุณภาพของฝัก โดยเฉพาะฝักที่มีรูปร่างผิดปกติจะเกิดขึ้นมากถ้าขาดน้ำในช่วงติดฝักอ่อน อาจกล่าวได้ว่า ข้าวโพดฝักอ่อนต้องการน้ำโดยพิจารณาดินในระดับบน คือ 0-20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ในการปฏิบัติทั่วไปควรให้น้ำทุก 2-3 วัน

6. การจัดการพืช เมื่อข้าวโพดฝักอ่อนมีอายุประมาณ 38 วัน หรือเมื่อมีใบจริงครบ 7 คู่ ช่อดอกตัวผู้จะเริ่มโผล่ออกมาจากใบธง (ใบยอด) ให้ดึงช่อดอกตัวผู้ทิ้ง หรือเรียกว่า การถอดยอด โดยใช้มือหนึ่งจับลำต้นไว้ อีกมือหนึ่งจับใบข้าวโพดที่บานอยู่ตรงกลางของยอดและดึงออกมาตรงๆ การถอดยอดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการผสมเกสร เพราะถ้ามีการผสมเกสรเกิดขึ้น ข้าวโพดฝักอ่อนจะมีคุณภาพด้อยลง เนื่องจากเมล็ดจะโป่งพองและทำให้ข้าวโพดไม่ได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ

7.การเก็บเกี่ยวและคัดคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อน ทำการเก็บเกี่ยวข้าวโพดฝักอ่อนประมาณ 7-10 วัน ในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนที่มีคุณภาพดีนั้น เกษตรกรจะต้องรู้มาตรฐานและคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนที่ผู้ซื้อต้องการและในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนที่มีคุณภาพดี เกษตรกรจะต้องรู้มาตรฐานและคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนที่ผู้ซื้อต้องการ ซึ่งขนาดของข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม จำแนกเป็น 3 เกรด คือ (L) 9-13 เซนติเมตร (M) 7-9 เซนติเมตร และ (S) 4-7 เซนติเมตร ส่วนใหญ่โรงงานจะผลิตเกรด S, M มากกว่า L สำหรับคุณภาพ ข้าวโพดฝักอ่อนที่ต้องการ คือ สีของฝัก มีสีเหลืองหรือครีม ฝักสมบูรณ์ การเรียงของไข่ปลาตรง ไม่หัก เน่า หรือแก่เกินไป ฝักไม่มีรอยกรีด ไม่มีเศษไหมติด ฝักสด ไม่เหี่ยวแห้ง ไม่ผ่านการแช่น้ำ ตัดขั้นและตัดแต่งระหว่างรอยขั้นกับฝักเรียบร้อย อย่างไรก็ตาม เกษตรกรบางกลุ่มจำหน่ายผลผลิตในลักษณะคละเกรด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2535)

2.4 การเก็บข้อมูล

ก่อนและหลังสิ้นสุดการทดลอง เก็บข้อมูลดินเพื่อ 1) วิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณโพแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินและอะลูมินั่มที่สกัดได้ในดิน 2) วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ดินโดยไมคอร์ไรซ่า นับจำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม และแบคทีเรียละลายฟอสเฟต นับจำนวนเซลล์ต่อดิน 100 กรัม 3) ดำเนินการรวบรวมข้อมูล การเจริญเติบโต ความสูง และผลผลิต 4) วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเหนือต้นทุนผันแปรของข้าวโพดฝักอ่อน โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1) ผลการวิเคราะห์ดิน

1.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ดินก่อนดำเนินการทดลอง โดยเก็บดินแบบ composite Sample พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีความเป็นกรดแก่ (pH 4.6) มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินค่อนข้างสูง (2.4 เปอร์เซนต์) ค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินต่ำ (10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ค่าโพแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับต่ำ (220 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ค่าแคลเซี่ยมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินต่ำ (962 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณ

แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินต่ำ (115 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปริมาณอลูมินั่มที่สะกัดได้ในดิน 1.56 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีก่อนดำเนินการทดลอง

สมบัติทางเคมี	ปริมาณ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.6
ปริมาณอินทรียวัตถุ (เปอร์เซนต์)	2.43
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	10
ปริมาณโปแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	220
ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	962
ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	115
ปริมาณอลูมินั่มที่สกัดได้ (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)	5.1

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของหินฟอสเฟตดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ปฏิกิริยาของหินฟอสเฟตมีค่าความเป็นกรดด่างของดินปานกลาง (pH 8.17) ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน (EC) 0.105 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร และ ปริมาณ P_2O_5 ทั้งหมด (Total P_2O_5) 1.72 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของบางประการของหินฟอสเฟต

	pH	EC (dS/m)	%Total P_2O_5
หินฟอสเฟต	8.17	0.105	1.72

1.2 สมบัติทางเคมีของดินหลังฤดูปลูกที่ 1 และ ฤดูปลูกที่ 2

สมบัติทางเคมีของดินหลังฤดูปลูกที่ 1 และหลังสิ้นสุดการทดลอง (ฤดูปลูกที่ 2) ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร

1.2.1 ปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH)

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองของดินมีการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) เพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 5.1-5.5 (ตารางที่ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้จุลินทรีย์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่มีผลทำให้ปฏิกิริยาดินมีค่า

pH แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การที่สภาพดินอยู่ในระดับที่เป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง ทั้งนี้เนื่องจาก อิทธิพลของการใส่ปูนโดโลไมต์ ช่วยปรับสภาพความเป็นกรดด่างของดิน โดยปรับระดับความเป็นกรด-ด่างที่ pH 5.5 (ปริมาณปูนโดโลไมต์ 925 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งเป็นค่า pH ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดิน การใส่ปูนโดโลไมต์นั้นจะช่วยลดความเป็นกรดของดินโดยเฉพาะดินเปรี้ยวจัด อิทธิพลของแคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออนที่มีอยู่ในโดโลไมต์จะช่วยทำให้ดินที่เป็นกรดมีความเป็นกรดลดน้อยลง (Smith and Sanchez, 1980)

หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีการเปลี่ยนแปลงลดลงทุกตำรับการทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.3-4.7 (ตารางที่ 3) ทั้งนี้เป็นเพราะ การดูดใช้แคลเซียม แมกนีเซียมของพืช และในระหว่างพืชเจริญเติบโต รากพืชจะปลดปล่อยสารหลั่งราก (root exudates) ซึ่งมีกรดอินทรีย์เป็นส่วนประกอบมีผลทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ค่า pH ลดลงหรือจากน้ำฝนชะล้างแคลเซียมจากดินและปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปมีส่วนทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Marschner, 2011)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 ของผลการทดลองในปีที่ 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างตำรับการทดลองและปีที่ทำการทดลอง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ค่า pH (1:1)	
ก่อนการทดลอง	4.6	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	5.13	4.37
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	5.45	4.63
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	5.33	4.54
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	5.40	4.67
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM+VAM	5.20	4.40
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	5.33	4.50
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	5.37	4.33
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	5.40	4.47
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM+VAM	5.50	4.43
10.RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	5.17	4.33
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	5.23	4.33
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	5.50	4.47
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM+VAM	5.50	4.40
ค่าเฉลี่ย	5.35	4.45
$p<0.05$	ns	ns
CV (%)	14.7	15.6

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4 แสดงค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมใน ฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ค่า pH (1:1)
1.แปลงควบคุม (control)	4.75
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	5.03
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	4.93
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	5.03
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	4.80
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	4.91
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	4.85
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	4.93
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	4.96
10.RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	4.75
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	4.78
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	4.98
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	4.95
ค่าเฉลี่ย	4.90
F-test (ตำรับ)	ns
F-test (ตำรับxปีทดลอง)	ns
CV (%)	16.1

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2.2 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลอง ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ดิน มีผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินแตกต่างกันทางสถิติ และการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตราที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและไมคอร์ไรซ่ามีแนวโน้มทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงกว่าทุกตำรับการทดลองและแตกต่างทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ซึ่งให้ปริมาณอินทรียวัตถุ 6.83 และ 5.25 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มสูงขึ้น อยู่ระหว่าง 4.87 %-6.63 % และตำรับการทดลองการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและไมคอร์ไรซ่าให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน สูงสุดกว่าทุกกรรมวิธี 6.63 % เนื่องจากตำรับการทดลองดังกล่าว การใช้หินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและไมคอร์ไรซ่าช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่ากรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 5) ดังนั้น จะช่วยเพิ่มมวลชีวภาพหรือมีปริมาณเศษซากพืชมากที่สุด

จึงทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมากที่สุดกว่าตำรับการทดลองอื่น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jintaridth, 2006 ซึ่งทำการศึกษาทดลองในกระถาง พบว่า การใช้เชื้อจุลินทรีย์ดินวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟต ให้การเจริญเติบโตด้านความสูงของถั่วเหลืองมากกว่าการไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ดิน และให้ปริมาณของอินทรียวัตถุในดินและธาตุอาหารในดินมากกว่าการไม่ใส่จุลินทรีย์ดิน Harley และ Smith (1983) เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำหนักแห้งต้นกล้าและน้ำหนักแห้งของรากสนหลังการเพาะเชื้อ และไม่เพาะเชื้อราไมคอร์ไรซ่า พบว่า การเพาะเชื้อ ปริมาณน้ำหนักแห้งต่อต้นกล้า 1 ตัน ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส มีปริมาณ 405 มิลลิกรัม 1.24 มิลลิกรัม N/ มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง และ 0.196 มิลลิกรัม P ต่อมิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง การไม่เพาะเชื้อมีปริมาณ 303 มิลลิกรัม 0.85 มิลลิกรัม N ต่อมิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง และ 0.074 มิลลิกรัม P ต่อมิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 ของผลการทดลองในปีที่ 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างตำรับการทดลองและปีที่ทำการทดลอง (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซนต์) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณอินทรียวัตถุ (เปอร์เซนต์)	
ก่อนการทดลอง	4.3	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	4.78 b	4.87 b
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	5.25 b	6.04 a
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	5.44 ab	6.48 a
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	5.73 ab	6.46 a
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM+VAM	6.12 a	6.21 a
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	6.23 a	6.32 a
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	6.28 a	6.46 a
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	6.17 a	6.38 a
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM+VAM	6.12 a	6.56 a
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	6.17 a	6.54 a
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	6.45 a	6.42 a
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	6.39 a	6.46 a
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ไร่.+PSM+VAM	6.83 a	6.63 a
ค่าเฉลี่ย	6.00	6.29
$p<0.05$	*	*
CV (%)	8.67	9.54

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 6 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน(เปอร์เซนต์)ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม ระหว่างปี 2556-2558

ตำรับการทดลอง	ปริมาณอินทรียวัตถุ (เปอร์เซนต์)
1. แปลงควบคุม (control)	4.82 c
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	5.64 abc
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	5.96 ab
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	6.09 ab
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM+VAM	6.16 ab
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	6.27 b
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	6.37 a
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	6.27 b
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	6.37 a
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	6.27 b
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	6.34 a
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	6.35 a
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	6.43 a
ค่าเฉลี่ย	6.73
F-test (ตำรับ)	*
F-test (ตำรับxปีทดลอง)	ns
CV (%)	8.89

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2.3 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน เพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง 10.90--31.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ดินมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินแตกต่างกันยิ่งทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจาก PSM และ VAM ทำให้ฟอสฟอรัสบางส่วนที่ถูกตรึงเนื่องจากความเป็นกรดของดินละลายออกมาและทำให้ฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟตละลายออกมามากขึ้น การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตราที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและไมคอร์ไรซ่า (31.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีแนวโน้มทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงกว่าทุกตำรับการทดลองและแตกต่างทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับการใช้และไม่ใช้จุลินทรีย์ดิน ซึ่งการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ร่วมกับการใช้และไม่ใช้จุลินทรีย์ดิน ให้ปริมาณฟอสฟอรัสใน

ดิน 16.00-18.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับการใช้และไม่ใช้จุลินทรีย์ดิน ให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน 21.90-28.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 7)

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ให้ผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและสูงกว่าปีที่ 1 ในตำรับการทดลองการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ + PSM + VAM ให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน 43.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสูงสุดกว่าทุกตำรับการทดลองและแตกต่างทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM ซึ่งให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน 29.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับตำรับการทดลองไม่ใส่ PSM และ VAM ให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินต่ำกว่าการใช้ PSM และ VAM ดังแสดงในตารางที่ 7 ทั้งนี้เนื่องจากตำรับการทดลองดังกล่าว การใช้หินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและไมคอร์ไรซ่าช่วยส่งเสริมการละลายของฟอสฟอรัส จากอัตราปุ๋ยหินฟอสเฟตที่มากขึ้นและการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตและไมคอรีไรซ่า ดังนั้น จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินมากกว่าตำรับการทดลองอื่น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jintaridth และ Keltjens (1996) ซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตรา 0-0.1 กรัม P_2O_5 ต่อกระถาง ร่วมกับและไม่ร่วมกับ VAM ต่อการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียวในดินกรดจัด (pH 4.5) พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับ VAM ให้การเจริญเติบโตดีกว่าปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตอย่างเดียว และพบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับ VAM มีประสิทธิภาพการดูดใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและการเจริญเติบโตของพืชดีกว่าปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่ร่วมกับ VAM และสอดคล้องกับการทดลองของ ไพรัตน์ (2540) ศึกษาผลของการใช้เชื้อราวี-เอไมคอร์ไรซ่าที่มีต่อการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสของถั่วเหลืองที่ปลูกบนชุดดินเขาย้อย พบว่า เชื้อราวี-เอไมคอร์ไรซ่ามีส่วนช่วยในการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสได้มากขึ้น โดยวัดจากค่าน้ำหนักแห้งของต้น ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส และเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยหินฟอสเฟต การที่เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่ามีผลในการดูดธาตุฟอสฟอรัสได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไมคอร์ไรซ่ามีส่วนในการเพิ่มพื้นที่ผิวของรากพืชซึ่งจะช่วยดูดซึมธาตุอาหารได้ดีขึ้น (Harley and Smith, 1983) นอกจากนั้นแล้ว hyphae ของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า สามารถสะสมฟอสเฟตโมเลกุลใหญ่ (polyphosphates) ใน vacuoles เหมือนเป็นแหล่งเก็บฟอสเฟตโมเลกุลใหญ่ (polyphosphates) ใน vacuoles นอกจากจะมีส่วนในการเพิ่มพื้นที่ผิวของรากพืชแล้ว ยังช่วยเปลี่ยนธาตุอาหารจากพวกอินทรีย์วัตถุต่างๆ ที่ยังสลายตัวไม่หมด หินแร่ที่สลายตัวยาก หรือมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ถูกตรึง (phosphorus fixation) ซึ่งโดยทางเคมีฟอสฟอรัสจะรวมตัวกับเหล็ก อะลูมินั่ม แคลเซียมหรือแมกนีเซียม ทำให้ไม่ละลายน้ำและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยไมคอร์ไรซ่าจะช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุเหล่านี้ผ่านทางเซลล์ของเชื้อราไปสู่เซลล์ของรากพืชในรูปของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ ทำให้พืชนำไปใช้ต่อให้เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ (Gianinazzi-Peason and Gianinazzi, 1983)

นอกจากนั้นแล้วจะเห็นได้ว่า จากค่าเลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสในดิน 2 ฤดูปลูก การใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตมีผลต่อการเพิ่มความเป็นประโยขน์ของฟอสฟอรัสในดินโดยจะเห็นผลในปีที่ 2 มากกว่า ปีที่ 1 อาจเกิดจากปริมาณแบคทีเรียในปีที่ 2 มีค่ามากกว่าปีที่ 1 (ตารางที่ 8) แต่อย่างไรก็ตามการใช้ PSM หรือ การใช้ VAM เพียงอย่างเดียว ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจาก PSM มีบทบาทในการละลายฟอสเฟต แต่ VAM จะช่วยดูดซับฟอสฟอรัสให้แก่พืช (Abbasi et al., 2015)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 ของผลการทดลองในปีที่ 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างตำรับการทดลองและปีที่ทำการทดลองด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	10	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	10.90 d	9.47 d
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	16.00 c	21.17 c
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	17.85 c	26.10 b
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	16.23 c	26.43 b
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	18.10 bc	29.63 b
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	21.90 b	28.23 b
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	25.20 b	34.37 ab
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	25.10 b	36.63 a
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	28.93 b	39.80 a
10.RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	24.73 b	36.67 a
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	26.03 b	37.10 a
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	30.63 a	38.60 a
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	31.87 a	43.47 a
ค่าเฉลี่ย	22.57	31.36
$p<0.05$	**	**
CV (%)	18.3	17.5

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* * หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558

ตำรับการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1.แปลงควบคุม (control)	10.19 e
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	18.59 d
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	21.98 cd
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	21.33 cd
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	23.87 c
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	25.07 c
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	29.79 bc
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	30.87 b
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	34.37 a
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	30.70 b
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	31.57 b
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	34.62 b
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	37.67 a
ค่าเฉลี่ย	26.97
F-test (ตำรับ)	*
F-test (ตำรับxปีทดลอง)	ns
CV (%)	14.89

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2.4. ปริมาณโพแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งที่ 1 และหลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 9) อย่างไรก็ตาม พบว่า ภายใต้การใส่จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าเพียงอย่างเดียว (VAM) เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยหินฟอสเฟตสูงขึ้นจากอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่. เป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 16 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีผลทำให้การดูดซึมธาตุโพแตสเซียมของพืชเพิ่มขึ้น 110.97, 115.33 และ 124.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับในฤดูปลูกที่ 1 และ 109.45, 113.78 และ 120.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในฤดูปลูกที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากใยราที่อยู่ภายในรากจะเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับธาตุอาหารที่อยู่ในดิน ซึ่งมีผลช่วยดูดซึมธาตุอาหารพืช ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Barea (1991) ที่ศึกษาผลของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า ต่อการเจริญเติบโตของ *Senna spectabillis* พบว่า การใส่จุลินทรีย์ดินเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าร่วมกับหินฟอสเฟตจะช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแตสเซียม

ในพืชได้ สำหรับภายใต้การใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว (PSM) ไม่เห็นแนวโน้มอย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 9

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 ของผลการทดลองในปีที่ 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างตำรับการทดลองและปีที่ทำการทดลอง (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	60	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	100.23	110.89
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	109.67	113.78
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	110.53	100.44
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	110.97	109.45
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM+VAM	113.33	109.83
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	122.23	105.22
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	123.45	116.67
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	115.33	113.78
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM+VAM	204.23	202.31
10.RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	117.33	124.44
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM	121.11	119.25
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+VAM	124.00	120.58
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่+PSM+VAM	125.56	121.52
ค่าเฉลี่ย	122.92	119.63
$p<0.05$	Ns	ns
CV (%)	19.8	17.1

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณโพแตสเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม ระหว่างปี 2556-2558

ตำรับการทดลอง	ปริมาณโพแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1.แปลงควบคุม (control)	99.06
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	111.73
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	105.49
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	110.21
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	111.58
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	113.73
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	120.06
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	114.56
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	121.27
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	120.89
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	120.18
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	122.29
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	123.54
ค่าเฉลี่ย	114.97
F-test (ตำรับ)	ns
F-test (ตำรับxปีทดลอง)	ns
CV (%)	19.53

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2.5 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ 1 และ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองค่าแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน เพิ่มขึ้นก่อนการทดลอง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ระหว่าง 1,405.33—1,833.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งก่อนการทดลองมีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน 962 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากผลการทดลองในฤดูปลูกที่ 1 พบว่าตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ดินมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมในดินแตกต่างกันทางสถิติและหลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 การใช้การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ดินมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมในดินแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน โดยการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและไมคอร์ไรซ่าแตกต่างทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ร่วมกับการใช้และไม่ใช้จุลินทรีย์ดินละลายฟอสเฟตและไมคอร์ไรซ่า (ตารางที่ 11) ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นกรดของดินละลายออกมาและทำให้แคลเซียมจากหินฟอสเฟตละลายออกมา และการละลายของแคลเซียมออกมากขึ้นจากการใส่ปริมาณปุ๋ยหินฟอสเฟตและ

ปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟตจะละลายได้ดีขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นกรดและเมื่อใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมด้วยเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า มีผลทำให้ใยราที่อยู่ภายในรากพืชสามารถดูดซึมแคลเซียมเข้าไปในพืชได้มากขึ้น (Linderrman, 1992) นอกจากนั้นแล้ว ปูนโดโลไมต์ที่ใส่ลงไปในดินก่อนการทดลองรวมทั้งปุ๋ยหินฟอสเฟตมีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบ

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 ของผลการทดลองในปีที่ 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างตำรับการทดลองและปีที่ทำการทดลองด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณ**แคลเซียมที่เป็นประโยชน์**ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	962	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	1,405.33 c	1,585.44 bc
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,439.67 abc	1,438.33 c
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,611.00 a	1,418.67 c
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,575.33 ab	1,604.11 a
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,560.00 ab	1,697.67 a
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,491.00 abc	1,612.33 a
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,539.00 ab	1,671.89 a
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,518.00 ab	1,511.67 ab
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,653.67 a	1,695.22 a
10.RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,591.33 ab	1,561.67 ab
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,653.00 a	1,560.67 ab
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,638.00 a	1,618.78 a
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,833.67 a	1,746.22 a
ค่าเฉลี่ย	1,577.62	1,594.05
p<0.05	*	*
CV (%)	18.9	17.5

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 12 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1.แปลงควบคุม (control)	1,495.39 d
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,439.00 d
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,514.84 c
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,589.72 bc
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,628.84 a
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,551.67 bc
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,605.45 ab
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,514.84 c
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,674.45 a
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,576.5 bc
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,606.84 ab
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,628.39 a
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,789.95 a
ค่าเฉลี่ย	1,585.83
F-test (ตำรับ)	*
F-test (ตำรับxปีทดลอง)	ns
CV (%)	17.25

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2.6 ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ 1 และหลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เพิ่มขึ้น และทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 13) ก่อนดำเนินการทดลอง ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าต่ำ 115 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ 1 ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน อยู่ระหว่าง 275.33 - 301.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน อยู่ระหว่าง 280.78 - 305.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องจาก ปูนโดโลไมต์ที่ใส่ลงไปในดินก่อนการทดลองรวมมีแมกนีเซียมส่วนประกอบ และปริมาณแมกนีเซียมในดินส่วนมากอยู่ในรูปของหินและแร่ เมื่อหินและแร่เกิดการสลายตัวจึงปลดปล่อยธาตุนี้ออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช สำหรับปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดินและเนื้อดิน (ยงยุทธ, 2552 และ Baker, 1972)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 ของผลการทดลองในปีที่ 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างตำรับการทดลองและปีที่ทำการทดลองด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	156	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	275.33	297.11
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	288.23	280.78
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	301.56	290.23
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	284.63	299.44
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	292.67	294.89
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	288.17	296.23
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	285.54	295.67
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	299.52	285.23
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	297.65	295.13
10.RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	298.65	295.21
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	290.52	300.78
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	296.67	294.56
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	295.67	305.23
ค่าเฉลี่ย	291.91	294.65
$p<0.05$	ns	ns
CV (%)	18.2	17.1

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 14 ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1.แปลงควบคุม (control)	286.22
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	284.51
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	295.90
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	292.04
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	293.78
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	292.20
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	290.60
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	292.38
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	296.39
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	296.93
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	295.65
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	295.61
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	300.45
ค่าเฉลี่ย	293.28
F-test (ตำรับ)	ns
F-test (ตำรับxปีทดลอง)	ns
CV (%)	15.23

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2.7 ปริมาณอะลูมินั่มที่สกัดได้ในดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ 1 และหลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณอะลูมินั่มที่สกัดได้ในดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ลดลง และทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 15) ก่อนดำเนินการทดลอง ปริมาณอะลูมินั่มที่สกัดได้ในดินมีค่า 5.1 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ 1 ปริมาณอะลูมินั่มที่สกัดได้ในดินลดลง อยู่ระหว่าง 0.01 – 0.18 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และหลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 ปริมาณอะลูมินั่มที่สกัดได้ในดิน อยู่ระหว่าง 0.01 – 0.14 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ปริมาณอลูมินั่มที่สกัดได้ในดิน มีค่าลดลงทุกตำรับการทดลอง (ตารางที่ 15) ทั้งนี้ เนื่องจากการใส่ปูนโดโลไมต์ช่วยเพิ่มความเป็นกรด-ด่างของดิน และมีผลให้ปริมาณอลูมินั่มในดินลดลง

สำหรับการใส่จุลินทรีย์ที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตร่วมกับการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต มีแนวโน้มทำให้ค่าอลูมินั่มในดินลดลงมากกว่าการไม่ใส่จุลินทรีย์ดินละลายฟอสเฟต เนื่องจากปุ๋ยหินฟอสเฟตมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย นอกจากจุลินทรีย์ดินจะช่วยละลายฟอสเฟตแล้ว ทำให้แคลเซียมที่ถูกตรึงกับ

ฟอสฟอรัสในสภาพที่ดินเป็นกรด (Ca-P) ละลายออกมาเพิ่มขึ้นและช่วยลดความเป็นพิษของอะลูมินั่มในดินลง (Gianinazzi-Peason and Gianinazzi, 1983) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ และ Jintaridth et al., 2006 ทดลองในกระถางในพืชถั่วเหลือง พบว่า ตำรับการทดลองที่ไม่ใส่จุลินทรีย์ และใส่หินฟอสเฟตอัตราต่ำมีปริมาณธาตุอะลูมินั่มในดิน 0.058 มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อดิน 100 กรัม การใส่เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า ร่วมกับปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 0.24 กรัม P_2O_5ต่อกระถาง ให้ปริมาณธาตุอะลูมินั่มในดิน 0.013 มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อดิน 100 กรัม ซึ่งเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยหินฟอสเฟตหรือใส่ร่วมกับจุลินทรีย์ดิน จึงมีผลทำให้ค่าอะลูมินั่มลดลง

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558 ของผลการทดลองในปีที่ 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างตำรับการทดลองและปีที่ทำการทดลองด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะลูมินั่มที่สกัดได้ในดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณอะลูมินั่มที่สะกัดได้ในดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	5.1	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	0.14	0.13
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	0.01	0.01
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	0.12	0.12
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	0.11	0.06
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	0.10	0.12
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	0.03	0.07
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	0.14	0.05
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	0.12	0.11
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	0.09	0.13
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	0.15	0.12
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	0.11	0.15
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	0.11	0.12
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	0.12	0.09
ค่าเฉลี่ย	0.12	0.11
$p<0.05$	ns	ns
CV (%)	14.25	15.78

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 16 ปริมาณอะลูมินั่มที่สะกัดได้ในดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558

ตำรับการทดลอง	ปริมาณอะลูมินั่มที่สะกัดได้ในดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)
1.แปลงควบคุม (control)	0.13
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	0.01
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	0.12
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	0.08
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	0.11
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	0.05
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	0.09
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	0.12
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	0.11
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	0.13
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	0.12
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	0.10
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	0.11
ค่าเฉลี่ย	0.11
F-test (ตำรับ)	ns
F-test (ตำรับxปีทดลอง)	ns
CV (%)	13.57

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ปริมาณเชื้อราอาร์บัสคูล่าไมคอร์ไรซ่าและแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

2.1.1 ปริมาณเชื้อราอาร์บัสคูล่าไมคอร์ไรซ่า (จำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม)

จากผลการทดลอง พบว่า จากการนับจำนวนสปอร์จุลินทรีย์ไมคอร์ไรซ่าในแต่ละตำรับก่อนดำเนินการทดลอง พบว่ามีจำนวนสปอร์อยู่ในช่วง 16-21 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม หลังจากดำเนินการใส่เชื้อราอาร์บัสคูล่าไมคอร์ไรซ่าเพื่อทำการทดลองตามตำรับการทดลองที่กำหนด โดยนำผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซ่า 10 กรัม รองก้นหลุมก่อนปลูกตามตำรับการทดลองที่กำหนดและปลูกข้าวโพดฝักอ่อน ซึ่งหลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 1 และ 2 พบว่า จำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่ามีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ตำรับการทดลองการใช้จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต มีแนวโน้มให้จำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่ามีจำนวนมากกว่าการใช้จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าหรือจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว และการใช้ปริมาณฟอตเฟตในอัตราที่สูงขึ้นมีผลทำให้จำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่ามีจำนวนมากขึ้น โดยพบว่า การใช้จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่ามีจำนวนมากที่สุด 450 สปอร์ต่อดิน 100 กรัมมากกว่าทุกตำรับการทดลอง (ตารางที่ 17) แปลงควบคุมมีจำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าต่ำสุด 174 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และหากเปรียบเทียบการใช้ปริมาณฟอสเฟตในอัตราที่ต่างกัน 8, 16 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยไม่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ไมคอร์ไรซ่า พบว่า จำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น 269, 294 และ 312 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ

หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 พบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน การใช้จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตมีแนวโน้มให้จำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่ามีจำนวนมากกว่าการใช้จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าหรือจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว และการใช้ปริมาณฟอตเฟตในอัตราที่สูงขึ้นมีผลทำให้จำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่ามีจำนวนมากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองหลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองมีจุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าและจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพิ่มสูงขึ้นกว่าฤดูปลูกที่ 1 โดยจากผลการทดลองหลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 นี้ พบว่า การใช้จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่ามีจำนวนมากที่สุด 760 สปอร์ต่อดิน 100 กรัมมากกว่าทุกตำรับการทดลอง (ตารางที่ 17) แปลงควบคุมมีจำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าต่ำสุด 195 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และหากเปรียบเทียบการใช้ปริมาณฟอตเฟตในอัตราที่ต่างกัน 8, 16 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยไม่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ พบว่า จำนวนสปอร์จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าเพิ่มขึ้น 275, 298 และ 395 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่าวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าเป็นเชื้อราที่พบอยู่ในดินเกือบทุกหนทุกแห่ง สามารถเข้าสู่รากพืชและอาศัยร่วมกันกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน (symbiosis) และพบว่าจำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูล่าไมคอร์ไรซ่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเข้าอยู่อาศัยของไมคอร์ไรซ่าในรากพืช (Olfat and Jalil, 2012) เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยหินฟอสเฟตในดิน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่จุลินทรีย์ดิน ทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ดินวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าเพิ่มสูงขึ้น และการใช้จุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่าร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ดินวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากไมคอร์ไรซ่ามีส่วนในการช่วยดูดซึมและเปลี่ยนธาตุอาหารจากพวกอินทรียวัตถุต่างๆ ที่ยังสลายตัวไม่หมด หินแร่ที่สลายตัวยาก หรือมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ถูกตรึง (phosphorus fixation) โดยไมคอร์ไรซ่าจะช่วยดูดธาตุอาหารเหล่านี้นอกจากนำไปเลี้ยงจุลินทรีย์เอง ยังผ่านทางเซลล์ของเชื้อราไปสู่เซลล์ของรากพืชในรูปของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ ทำให้พืชนำไปใช้ต่อให้เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ (Mosse 1981)

ตารางที่ 17 จำนวนสปอร์อาร์บัสคูล่าไมคอร์ไรซ่า (จำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม)

ตำรับการทดลอง	จำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม		
	ก่อนการทดลอง	สิ้นสุดการทดลอง ฤดูปลูกที่ 1	สิ้นสุดการทดลอง ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	16	174	195
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	16	269	275
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	16	275	282
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	17	310	325
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	19	365	390
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	21	294	298
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	18	219	355
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	18	379	410
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	17	399	496
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	20	312	395
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	18	415	445
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	17	420	584
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	17	450	760

2.1.2 ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในดิน (จำนวนเซลล์ต่อกรัมดินแห้ง)

จากผลการทดลอง พบว่า ในแต่ละตำรับก่อนทดลองก่อนปลูกข้าวโพดฝักอ่อน พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตอยู่ระหว่าง $1.5x10^2$ - $6x10^2$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง $1.9x10^3$ – $3.2x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง (ตารางที่ 18) แปลงควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่ำสุด $1.9x10^3$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง และหากเปรียบเทียบการใช้หินฟอสเฟตในอัตราที่ต่างกัน 8, 16 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยไม่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต จำนวน $2.5x10^4$, $3.0x10^4$ และ $3.4x10^4$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง ตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์ยังไม่ได้มีการเจริญอย่างชัดเจน

หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง $6.4x10^3$ – $7.6x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตทุกตำรับการทดลอง พบว่า การใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวและการใช้ร่วมกับไมคอร์ไรซ่า มีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสเฟตมากกว่าตำรับการทดลองอื่น เนื่องจากมีการเพิ่มจุลินทรีย์จากการใส่เพิ่มเติมลงไปในดิน และการใช้ปริมาณฟอตเฟตในอัตราที่สูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตมีจำนวนมากขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 18) เช่นเดียวกันกับจุลินทรีย์ดินไมคอร์ไรซ่า สำหรับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียนั้นจะสร้างสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดหลายชนิดไปย่อยละลายอนินทรีย์ฟอสเฟต กระบวนการนี้พืชได้รับประโยชน์โดยตรง เนื่องจากบริเวณรากที่ฟอสฟอรัสลดหายไปจะมีการทดแทนขึ้น และนำไปเลี้ยงจุลินทรีย์เองอีกด้วย (Walker, 1990)

ตารางที่ 18 ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (จำนวนเซลล์ต่อกรัมดินแห้ง)

ตำรับการทดลอง	จำนวนเซลล์ต่อกรัมดินแห้ง		
	ก่อนการทดลอง	สิ้นสุดการทดลอง ฤดูปลูกที่ 1	สิ้นสุดการทดลอง ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	$1.5x10^2$	$1.9x10^3$	$6.4x10^3$
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	$1.4x10^2$	$1.1x10^4$	$8.6x10^4$
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	$6x10^2$	$2.5x10^4$	$3.6x10^5$
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	$1.1x10^2$	$1.7x10^4$	$4.2x10^4$
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	$5.3x10^2$	$3.0x10^4$	$4.1x10^5$
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	$3.3x10^2$	$3.4x10^4$	$3.5x10^4$
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	$4.4x10^2$	$3.6x10^5$	$4.3x10^5$
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	$1.7x10^2$	$2.9x10^4$	$5.5x10^4$
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	$3.2x10^2$	$3.8x10^5$	$4.9x10^5$
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	$1.3x10^2$	$3.3x10^4$	$3.6x10^4$
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	$5.3x10^2$	$8.0x10^4$	$5.4x10^5$
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	$1.9x10^2$	$2.7x10^4$	$4.5x10^4$
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	$3.7x10^2$	$3.2x10^5$	$7.6x10^5$

3) ผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อน

3.1.1 ความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อน

จากตารางที่ 19 พบว่าการทดลองปีที่ 1 การเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่าในฤดูปลูกที่ 1 แต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ และพบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตทุกอัตราร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า(VAM) ให้ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อน เมื่ออายุ 40 วัน อยู่ระหว่าง 95.4-110.2 เซนติเมตร ฤดูปลูกที่ 2 ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน มีค่าความสูงอยู่ระหว่าง 113.5-143.2 เซนติเมตร(ตารางที่ 19) การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) ร่วมกับการใส่ไมคอร์ไรซ่า (VAM) ให้ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อนสูงสุดกว่าทุกตำรับการทดลอง (143.2 เซนติเมตร) ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับแปลงควบคุม

จากค่าความสูงเฉลี่ยทั้ง 2 ปี พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตทุกอัตราร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) ให้ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตทุกอัตราร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) ให้ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดสูงกว่าการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) หรือไมคอร์ไรซ่า (VAM) เพียงอย่างเดียว การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตราที่สูงขึ้น (8 16 และ 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่) ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) ให้ความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 114.82, 116.02 และ 126.7 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 20) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตทำให้การละลายของหินฟอสเฟตและการดูดกินฟอสฟอรัสของ

ข้าวโพดฝักอ่อนดีขึ้น และเมื่อใช้ร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซ่ามีผลทำให้การเจริญเติบโตเพื่อสูงขึ้น และ การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตราที่สูงขึ้น ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสละลายออกมาเป็นประโยชน์แก่พืชเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Gerdemann (1968) ได้ศึกษาถึงผลของการปลูกเชื้อรา ไมคอร์ไรซ่าต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด พบว่าการใช้เชื้อไมคอร์ไรซ่าร่วมด้วยจะเจริญได้ดีกว่าข้าวโพดซึ่งไม่ปลูกเชื้อไมคอร์ไรซ่า

การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของการทดลองปี่ 1 และปีที่ 2 ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของความสูงแสดงความสัมพันธ์กับปีแต่อย่างใด (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 19 แสดงความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อน (เซนติเมตร)

ตำรับการทดลอง	ความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อน (เซนติเมตร)	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	80.43 c	101.0 d
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	95.40 bc	113.5 c
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	96.10 ab	116.8 c
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	94.37 b	120.1 bc
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	98.53 ab	131.1 ab
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	95.03 bc	115.4 c
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	94.70 bc	119.4 bc
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	98.93 ab	122.6 b
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	97.93 b	134.1 b
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	98.73 ab	117.0 c
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	98.64 ab	122.1 b
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	100.80 a	128.1 b
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	110.2 a	143.2 a
ค่าเฉลี่ย	96.91	121.88
$p<0.05$	**	*
CV (%)	18.2	16.1

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 20 แสดงความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อน (เซนติเมตร) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558

ตำรับการทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)
1.แปลงควบคุม (control)	90.72 d
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	104.45 c
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	106.45 c
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	107.24 c
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	114.82 bc
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	105.22 c
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	107.05 c
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	110.77 b
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	116.02 bc
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	107.87 c
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	110.37 b
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	114.45 b
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	126.70 a
ค่าเฉลี่ย	109.39
F-test (ตำรับ)	*
F-test (ตำรับxปีทดลอง)	ns
CV (%)	19.58

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.1.2 ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน

จากผลการวิเคราะห์ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน ในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) ให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อน 1,260.22 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าทุกตำรับการทดลองและแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงควบคุม (987.12 กิโลกรัมต่อไร่) และการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และ 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมและไม่ร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตหรือไมคอร์ไรซ่า (ตารางที่ 21)

การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตรา 16 และ 8 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) พบว่าให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อน (1,238 และ 1,198.48 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) มากกว่าและแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตรา 16 และ 8 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่เพียงอย่างเดียว (1,183.11 และ 1,140.44 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ)

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตราต่างๆแต่เพียงอย่างเดียว พบว่าการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตราสูง 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ให้ผลผลิตเฉลี่ย(1,235.65 กิโลกรัมต่อไร่) ของข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าอัตรา 16

กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ (1,183.67 กิโลกรัมต่อไร่) และอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ (1,140.44 กิโลกรัมต่อไร่) (ตารางที่ 21)

สำหรับค่าวิเคราะห์ผลผลิตในฤดูปลูกปีที่ 2 พบว่า ให้ผลวิเคราะห์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) ให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อน (1,275.33 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งสูงกว่าทุกตำรับการทดลอง และมีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองควบคุม (1,113.33 กิโลกรัมต่อไร่) การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตรา 16 และ 8 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) พบว่าให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อน (1,256.98 และ 1,220.51 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) มากกว่าและแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตรา 16 และ 8 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่เพียงอย่างเดียว (1,233.69 และ 1,186.67 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) และการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตราต่างๆ แต่เพียงอย่างเดียว อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่, 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และ 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ (1,243.80, 1,233.69 และ 1,186.67 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน (กิโลกรัมต่อไร่)	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม (control)	987.12 d	1,113.33 e
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	1,140.44 d	1,186.67 d
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,168.53 c	1,194.34 cd
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,174.11 c	1,197.65 cd
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,198.48 c	1,220.51 c
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,183.67 c	1,233.69 c
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,213.14 bc	1,247.34 bc
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,224.22 b	1,248.65 bc
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,238.00 b	1,256.98 b
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,235.65 b	1,243.80 bc
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,237.54 ab	1,254.67 b
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,245.60 a	1,257.21 b
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,260.22 a	1,275.33 a
ค่าเฉลี่ย	1,192.82	1,225.47
$p<0.05$	*	*
CV (%)	12.59	14.89

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การวิเคราะห์ผลผลิตเฉลี่ยทั้ง 2 ฤดูปลูก พบว่า ตำรับการทดลองแปลงควบคุมให้ผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนต่ำสุด 1,050.23 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) ให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวโพดฝักอ่อนสูงสุดกว่าทุกตำรับการทดลอง 1,267.78 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตรา 16 และ 8 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) มีแนวโน้มให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าการไม่ใช้ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และไมคอร์ไรซ่า (1,247.49 และ 1,209.50 กิโลกรัมต่อไร่) (ตารางที่ 22) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก Hyphae ของ เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่านั้น นอกจากช่วยในการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสแล้ว ไมคอร์ไรซ่ายังมีส่วนในการช่วยดูดซึมและเปลี่ยนธาตุอาหารจากพวกอินทรีย์วัตถุต่างๆที่ยังสลายตัวไม่หมด หินแร่ที่สลายตัวยาก หรือมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ถูกตรึง (phosphorus fixation) โดยทางเคมี เช่น รวมตัวกับเหล็ก อะลูมินั่ม แคลเซียมหรือแมกนีเซียม ทำให้ไม่ละลายน้ำและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งไมคอร์ไรซ่าจะช่วยดูดธาตุอาหารเหล่านี้ผ่านทางเซลล์ของเชื้อราไปสู่เซลล์ของรากพืชในรูปของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ ทำให้พืชนำไปใช้ต่อให้เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ (Gianinazzi-Pearson and Gianinazzi, 1988; Harley and Smith, 1983) และสำหรับ Phosphate Solubilizing Organisms (PSM) นั้น แบคทีเรียและเชื้อราที่สามารถเปลี่ยนรูปฟอสเฟตที่ละลายไม่ได้ให้เป็นรูปที่ละลายได้ ได้แก่ พวก Pseudomonas, Mycobacterium, Flavobacteruim, Sclerotium, Aspergillus เป็นต้น Kucey (1983) และ Thomas et al. (1985) ได้ทำการทดลองเลี้ยงจุลินทรีย์เหล่านี้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแคลเซียมฟอสเฟต, อพาไตท์ หรือ สารอื่นคล้ายๆกันที่ประกอบด้วยฟอสเฟตที่ละลายไม่ได้ พบว่า ไม่เพียงแต่จุลินทรีย์ที่ดูดย่อยฟอสเฟตเป็นอาหารเป็นประโยชน์ต่อตนเองแล้ว จุลินทรีย์ยังทำให้เกิดการละลายของฟอสเฟตเป็นจำนวนมากและปลดปล่อยจำนวนที่เหลือจากที่ใช้เป็นอาหารแล้วออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ตารางที่ 22 ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนของการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมระหว่างปี 2556-2558

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตเฉลี่ย 2 ปีของข้าวโพดฝักอ่อน (กิโลกรัมต่อไร่)
1.แปลงควบคุม (control)	1,050.23 e
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,163.56 e
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,181.44 cde
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,186.38 cde
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,209.50 cd
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,208.68 cd
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,230.24 bc
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,236.44 b
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,247.49 b
10. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,239.73 b
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,246.11 ab
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,251.41 a
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,267.78 a
ค่าเฉลี่ย	1,209.15
F-test (ตำรับ)	*
F-test (ตำรับxปีทดลอง)	ns
CV (%)	17.62

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง แตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4) การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดฝักอ่อน

จากการศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน เมื่อใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตราต่างๆ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ไมคอร์ไรซ่า(VAM) และแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (PSM) โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 2 ปี (คิดค่าใช้จ่ายในพื้นที่ 1 ไร่) ซึ่งแต่ละตำรับการทดลองจะมีการลงทุนที่แตกต่างกัน ซึ่งต้นทุนแต่ละตำรับการทดลองมีค่าใช้จ่าย ดังนี้ 1. ค่าแรง ได้แก่ ค่าหว่านปูน ค่าใส่ปุ๋ยเคมี ค่ากำจัดศัตรูพืช และวัชพืช 2.ค่าเตรียมพื้นที่ ได้แก่ ค่าเตรียมดิน 3.ค่าวัสดุการเกษตร ได้แก่ ค่าเมล็ดพันธุ์ ค่าปูนมาร์ล ค่าปุ๋ยเคมี

เมื่อนำผลผลิตทั้ง 2 ปี มาวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อน ในบริเวณพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และไมคอร์ไรซ่า (VAM) ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,267.78 กิโลกรัมต่อไร่ รายได้สุทธิสูงที่สุด คือ 9,428.75 บาทต่อไร่ รองลงมาได้แก่ อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่า (VAM) ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,251.41 กิโลกรัมต่อไร่ รายได้สุทธิเท่ากับ 9,166.83 บาทต่อไร่ ขณะที่การปลูกข้าวโพดฝักอ่อนโดยไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตและจุลินทรีย์ที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสให้ผลผลิตต่ำที่สุด 1,050.23 กิโลกรัมต่อไร่และรายได้สุทธิต่ำสุดเช่นกัน 6,046.65 บาทต่อ/ไร่ (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางศรษฐกิจของข้าวโพดฝักอ่อน (บาทต่อไร่)

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตเฉลี่ย 2 ปี (กิโลกรัมต่อไร่)	รายได้ (บาทต่อไร่)	ต้นทุน (บาทต่อไร่)	รายได้สุทธิ (บาทต่อไร่)
1.แปลงควบคุม (control)	1,050.23	16,803.60	10,756.95	6,046.65
2. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,163.56	18,616.88	10,789.85	7,827.03
3. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,181.44	18,902.96	10,789.85	8,113.11
4. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,186.38	18,982.08	10,789.85	8,192.23
5. RP อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,209.50	19,351.92	10,789.85	8,562.07
6. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,208.68	19,338.88	10,822.75	8,516.13
7. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,230.24	19,683.84	10,822.75	8,861.09
8. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,236.44	19,782.96	10,822.75	8,960.21
9. RP อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,247.49	19,959.84	10,822.75	9,137.09
10.RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.	1,239.73	19,835.6	10,855.65	8,979.95
11. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM	1,246.11	19,937.68	10,855.65	9,082.03
12. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+VAM	1,251.41	20,022.48	10,855.65	9,166.83
13. RP อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่.+PSM+VAM	1,267.78	20,284.40	10,855.65	9,428.75

1) ต้นทุนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

- ค่าแรงงานเตรียมดิน 500 บาทต่อไร่ ใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง 1,000 บาทต่อไร่
- ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อน (พันธุ์เกษตรศาสตร์ 2) 400 บาทต่อไร่ (ราคา 80 บาทต่อกิโลกรัม)
- ค่าเก็บเกี่ยวผลผลิต 500 บาท ต่อไร่
- ค่าปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ราคา 20 บาทต่อกิโลกรัม ปุ๋ยโพแตสเซียม (0-0-60) ราคา 22 บาทต่อกิโลกรัม ปุ๋ยหินฟอสเฟต (0-3-0) ราคา 2.20 บาทต่อกิโลกรัม และโดโลไมท์ราคา 1.20 บาทต่อกิโลกรัม

2) ราคาขายข้าวโพดฝักอ่อน 16 บาทต่อกิโลกรัม

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพื่อปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดได้ดำเนินการวิจัยบริเวณพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟต (Phosphate Solubilizing Microorganisms) ร่วมกับการใช้เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า (Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza) เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด และวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินและชีวภาพของดินหลังสิ้นสุดการ พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) และการใส่ไมคอร์ไรซ่า(VAM) ให้ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าทุกตำรับการทดลอง และให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าทุกตำรับการทดลองเช่นกัน ตำรับควบคุมให้ผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนต่ำสุด และสำหรับค่าวิเคราะห์ค่าทางเคมีดิน พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) หลังสิ้นสุดการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลง ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซนต์) เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้น และปริมาณอลูมินั่มที่สกัดได้ในดินมีค่าลดลงในทุกตำรับการทดลอง

จากการวิเคราะห์จุลินทรีย์ดินหลังสิ้นสุดการทดลองในทุกตำรับการทดลอง พบว่า ตำรับการทดลองการหินฟอสเฟต 24 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่า (VAM) ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) พบว่าจำนวนสปอร์เชื้อราอาร์บัสคูล่าไมคอร์ไรซ่ามากที่สุด 760 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม รองลงมา คือ ตำรับการทดลองการใช้หินฟอสเฟต 16 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่าร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตมีจำนวนสปอร์ 584 สปอร์ต่อดิน 100 กรัมและในตำรับการทดลองควบคุมมีจำนวนสปอร์ไมคอร์ไรซ่าต่ำสุด 195 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และจากการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต พบว่า ตำรับการทดลองการใช้หินฟอสเฟต 24 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่า (VAM) ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) ให้จำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตมากที่สุด $7.6x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้งและในตำรับการทดลองควบคุมมีจำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่ำสุด $6.4x10^3$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง และจากการศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 24 กิโลกรัมP_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับไมคอร์ไรซ่าให้รายได้สุทธิสูงที่สุด คือ 9,428.75 บาทต่อไร่ รองลงมาได้แก่ อัตรา 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่าเพียงอย่างเดียวให้รายได้สุทธิเท่ากับ 9,166.83 บาทต่อไร่ ขณะที่การปลูกข้าวโพดฝักอ่อนโดยไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตและไม่ใส่จุลินทรีย์ที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสให้รายได้สุทธิต่ำสุด 6,046.65 บาทต่อ/ไร่

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า การใช้เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด คือ วีเอ-ไมคอร์ไรซ่า และเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟตในดินกรด ช่วยทำให้ปริมาณธาตุอาหารในพืช ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ดินกรด ซึ่งมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในดินต่ำและเป็นสาเหตุทำให้พืชขาดแคลนธาตุฟอสฟอรัสและชะงักการเจริญเติบโต โดยใยราของวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า จะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับธาตุอาหาร และสามารถผ่านเข้าไปในช่องขนาดเล็กของดินและอนินทรีย์วัตถุได้ ทำให้พืชได้รับธาตุฟอสฟอรัสมากขึ้น และเพิ่มเจริญเติบโตของพืช สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟตนั้นจะทำหน้าที่ย่อยละลายหินฟอสเฟตซึ่งละลายได้ยาก ละลายออกมาเพื่อเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ อย่างไรก็ตามการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตลงไปในดินจะมีประสิทธิภาพอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการ และจำนวนของจุลินทรีย์จะผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมของดินจากผลการทดลองที่ได้รับ

ข้อเสนอแนะ

1.ในกรณีทำการทดลองในพื้นที่ขนาดใหญ่ เป็นไปได้ว่าการใช้เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า อาจดีกว่าเชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ทั้งนี้ เพราะว่า ใยราของวีเอไมคอร์ไรซ่าจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับธาตุอาหารและสามารถผ่านเข้าไปในช่องขนาดเล็กของดินและอนินทรีย์วัตถุซึ่งโดยปกติแล้วรากพืชไม่สามารถเข้าไปได้ ในขณะที่เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟตจะเจริญอยู่บริเวณเมล็ดและบริเวณที่ดินได้สัมผัสกับเชื้อเท่านั้น ไม่สามารถสัมผัสกับพืชได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นในทางปฏิบัติ ควรหว่านให้เชื้อจุลินทรีย์กระจายกันอย่างสม่ำเสมอ

2. เมื่อพิจารณาถึงตำรับการทดลองการใส่เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดร่วมกันแล้ว จะเห็นได้ว่าทำให้ปริมาณธาตุอาหารในพืช ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแตสเซียมและแคลเซียมมีมากกว่าการใส่เชื้อไมคอร์ไรซ่า

3. จากการทดลอง การใช้เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าและการใช้จุลินทรีย์ดินที่มีความสามารถย่อยละลายฟอสเฟต มีผลทำให้ปริมาณธาตุอะลูมินั่มลดลง เนื่องจากใยราของวีเอ-ไมคอร์ไรซ่าจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับธาตุอะลูมินั่ม และการใช้จุลินทรีย์ดินที่มีความสามารถย่อยละลายฟอสเฟต จะละลายฟอสเฟตออกมาและตรึงกับอะลูมินั่ม ไม่ทำให้เป็นอันตรายต่อพืช ดังนั้น น่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในพื้นที่ดินกรดหรือดินเปรี้ยวจัด เพื่อลดความเป็นกรดในดินหรือลดความเป็นพิษของสารเคมีที่ใช้ในทางการเกษตร

4. ในการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ดินเหล่านี้ ควรคำนึงถึงชนิดของเชื้อและระดับความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะกับเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนั้นๆ เช่น เชื้อวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า ระดับความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสม pH อยู่ระหว่าง 5-6 และเช่นเดียวกัน สำหรับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยละลายหินฟอสเฟต ระดับความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสม pH อยู่ระหว่าง 4.0-5.5 และในการหว่านเชื้อจุลินทรีย์นั้นควรหว่านให้เชื้อจุลินทรีย์กระจายอย่างทั่วถึง เนื่องจากเชื้อจะเจริญอยู่บริเวณเมล็ดและบริเวณที่ดินได้สัมผัสกับเชื้อเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 1 ดินบนพื้นที่ราบต่ำ กองสำรวจและจำแนกดิน.** กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2535. **การผลิตข้าวโพดฝักอ่อน.** กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

เจริญ เจริญจำรัส. 2541. **ดินเปรี้ยวจัดและการจัดการเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในประเทศไทย.** กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ

ธงชัย มาลา. 2540. **ผลกระทบของเชื้อ *Aspergilus* sp. และหินฟอสเฟตที่มีผลต่อผลผลิตและการดูดกินฟอสฟอรัสของถั่วเหลือง.** น. 577-586. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ธงชัย มาลา. 2546. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 300 หน้า.

ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล. 2540. **ผลของการใช้เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซ่าที่มีต่อการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสของถั่วเหลืองที่ปลูกบนชุดดินเขาย้อย.** น.173-178. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 (3-5 กุมภาพันธ์ 2540).

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 529 หน้า.

วุฒิชัย จันทรสมบัติ นวลจันทร์ ภาสดา มนต์ระวี พีราวัชร และวีระ โรพันดุง. 2552. **การคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร.** สำนักสำรวจและวางแผนการใช้ที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน.

สำนักสำรวจและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2548. **ลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคใต้ของประเทศไทย.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Abbasi, M. K., Manzoor, M., and Tahir, M. M. ๒๐๑๐. Efficiency of *Rhizobium* inoculation and P fertilization in enhancing nodulation, seed yield and P use efficiency by field grown soybean under hilly region of Rawalakot Azad Jammu and Kashmir, Pakistan**, J. Plant Nutr.** ๓๓: ๑๐๘๐–๑๑๐๒

.Alexander, M. 1969. Natural selection of microorganisms in extreme environments. **Plant and Soil** 43(2): 211-235. Final report. NASA-CR-105657.

Baker, D.E. 1972. **Soil chemistry of magnesium**. In: J.B. Jones, Jr., M.C. Blount and S.R. Wikinson (Ed.) Magnesium in the Environment: Soils, Crops, Animals and Man. pp 1-39. Tayler County Publ. Co., Reynolds.GA.

Banik A.K., and R. Ghosh. 1998. Optimum of different physical parameters for obtaining of phosphate by *Aspergillus niger* from Indian rock phosphate. **Indian J. Exp. Biol.** 36: 688-692.

Barea, J.M. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifier of soil fertility. **Advanced in Soil Sci.** 15 : 1-40.

Barea, J.M., J.L. Escudero, and C. Azcon-G. Deajuilar. 1980. Effects of indigenous VA mycorrhiza fungi on nodulation, growh of *Medicago sativa* in phosphate-fixing soils as affected by phosphorus fertilizers. **Plant and Soil.** 54 : 282-296.

Benson, H. J. 2002. **Microbiological Applications** 8th Edition. New York: McGraw Hill, 2002. Fig. 21-1. Pg. 87. Bacterial Population Counts. ICBN# 0-07-231889-9.

Bowen, G.D., and C. Theodorov. 1973. **Growth of ectomycorrhizal fungi around seeds and root. Ectomycorrhizae**: Their ecology and Physiology. New York: Academic Press.

Bray, R.H., and N. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59: 39-45.

Brown, M.S., Thamsurakul S. and Bethlenfalvay, G.J. 1988. The Glycine-Glomus-Braydy rhizobium symbiosis. IX Phosphorus – use efficiency of CO2 and N2 fixation in Mycorrhizal Soybean. **Physiol Plant** 74: 159-163.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 891-901. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Methods. **Am. Soc. Monogr. No. 9**, Madison, Wisconsin, USA.

Cress, W.A., G.O. Throneeberry, and D.L. Linsay. 1979. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and non- mycorrhizal tomato roots. **Plant Physiol.** 64: 484-487.

Gerdemann, J.W. and Nicolson T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Trans. Br. Mycol. Soc.** 46: 235–244.

Gerdemann, J.W. 1968 Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. Ann. Rew. **Phytopathal** 6 : 379-418.

Gianinazzi-Peason. V., and S. Gianinazzi, 1983. The physiology of vesicular-arbuscula Mycorrhizal roots. **Plant and Soil.** 71 : 107-209.

Harley, I.R.,and S.E.Smith. 1983. Mycorrhizal symbiosis. **Academic Press,** London.

Howeler, R. H., Sieverding, E. and Saif, S. 1987. Practical aspects of mycorrhizobiumzal technology in some tropical crops and pastures. pp. 249-283. **J. Plant and Soil**.

Illmer, P. and F. Schinner. 1992. Solubilization of inorganic phosphate by microorganism isolate from forest soil. **Soil Bio. Biochem**. 24: 389-395.

Illmer, P., A. Barbado and F. Schinner. 1995. Solubilization of hardly soluble $AlPO_4$ with P-solubilizing microorganisms. **Soil Bio. Biochem**. 27: 265-270.

Jintaridth B. and W. Keltjens. 1996. **Effects of magnesium, phosphorus and mycorhiza on growth of okra at high soil acidity**. MSc. Thesis Wageningen Agricultural University. The Netherlands.

Jintaridth B., L. Pittakorn, and I. Tippawan, 2006. **Role and the effectiveness of phospho-microorganisms with rock phosphate on growth of soybean in acid sulfate soils.** pp. 681. 18th World Congress of Soil Science (WCSS) Abstract, July 9-15 2006, Philadelphia, USA.

Katznelson, H. and B. Bose. 1962. Metaboilc activity and phosphate – dissolving capability of bacterrial isolates from wheat roots Rhizobiumzophere and non-Rhizobiumzospere **Soil Can J. Microbiol**. 5:79-85.

Kucey R.M.N., 1983. Phosphate – Solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. **Can J. Soil Sci.** 63: 670-678.

Linderrman, R.G. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. In : Mycorrhizae in sustainable agiculture**.** G.J. Bethlenfalvay and R.G. Linderrman, Eds. **ASA Special Publication** 54: 45-70.

Marschner, H. 2011. Mineral Nutrition of higher plants. The 3rd Edition. **Academic Press. Elsevier.** Massachusetts, USA.

Olfat, K. and K. Jajil. 2012. Spore density and root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in some species in the northwest of Iran. **Int. Res. J. of Applied and Basic Sciences** 3 (5): 977-982.

Osborne, J.F. 1984. **Report on UK technical assistance to the acid aulfate soils improvement project (ASSIP)**, Department of Land Development, Bangkok.

Peech, M., R.A. Olsen, and G.H. Bolt. 1953. The significance of potentiometric measurements involving liquid junction in clay and soil suspension. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 17: 214-218.

Pratt, P.E. 1965. Potassium. pp. 1022-1030. In C.A.Black. Methods of Soil Analysis, **Part 2. American Society of Agronomy**, Madison, Wisconsin.

Smith, S.E. 1980. Mycorrhizas of autotrophic higher plants. **Biol. Rev**. 55 : 475-510.

Smith, J.T., and P.A. Sanchez. 1980. Effects of lime, silicate, and phosphorus sorption on ion retention. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 44:500-505.

Sainz, M.J., and J. Arines. 1988. Effects of indigeneous and introduced vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and phosphate uptake of *Trifolium pretense* and on inorganic phosphorus fractions in a Cambisol. **Biol. Fert. Soil** 6:55-60.

Tinker, P.B., and B. Mosse. 1981. Endomycorrhiza. **Academic Press London** 30 : 152-170.

Thomas, G.V., Shantaram, M.V., and N. Saraswathy. 1985. Occurrence and activity of phosphate solubilizing fungi from plantation soils. **Plant Soil** 87:357-364.

Valentine, A.J., B.A. Osborne, and D.T.Mitchell. 2001. Interaction between phosphorus supply and total nutrient availatility on mycorrhizal colonization, growth and photosynthesis of cucumber. **Jour. of Sci. Hort** 88 : 177-189.

WOLF, B. 1982. An improved universal extracting solution and its use for diagnosing soil fertility. **Commu. Soil Sci. and Plant Anal.** 13:1005-1033.

Walker, R.F. 1990. Ectomycorrhizal formation by *Pisolithus tinctorius* on *Quercus gambelii* x *Quercus turbinella* hybrid in an acidic Sierra Nevada mine soil. **Great Basin Nat.** 50: 367-370.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science** 37: 29-38.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ชุดดินที่พบในพื้นที่ (ชุดดินต้นไทร)

ชุดดินต้นไทร (Thon Sai series: Ts) กลุ่มชุดดินที่ 14 (Fine-Loamy, mixed, semiactive, isohyperthermic Sulfic Endoaquepts) เกิดจากตะกอนน้ำกร่อยพามาทับถมอยู่บนบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเล สภาพพื้นที่ ค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0-1 เปอร์เซนต์ การระบายน้ำ เลวมาก การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ช้า การซึมผ่านได้ของน้ำ ช้าลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึก ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.5) ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทราย มีสีเทา มีจุดประสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปนเหลืองและดินชั้นล่างถัดไประหว่างความลึก 50-100 เซนติเมตร จะพบชั้นดินตะกอนน้ำทะเลที่มีสารประกอบซัลไฟด์อยู่สูง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548)

ตารางผนวกที่ 2 แสดงค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบสมบัติความเป็นกรดเป็นด่าง (pH 1:1)

ระดับ	ค่าที่วัดได้
กรดรุนแรงมากที่สุด	<3.5
กรดรุนแรงมาก	3.5-4.5
กรดจัดมาก	4.6-5.0
กรดจัด	5.1-5.5
กรดปานกลาง	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	6.1-6.5
กลาง	6.6-7.3
ด่างเล็กน้อย	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	7.9-8.4
ด่างจัด	8.5-9.0
ด่างจัดมาก	>9.0

ที่มา : Land Classification Division และ FAO Project Staff, 1973 ; Soil Survey Division Staff, 1993

ตารางผนวกที่ 3 ระดับการประเมินธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในดิน

ระดับ	%OM	P ($mgkg^{-1}$)	K ($mgkg^{-1}$)	Ca ($mgkg^{-1}$)	Mg ($mgkg^{-1}$)	S ($mgkg^{-1}$)	Na ($mgkg^{-1}$)
ต่ำมาก	<0.5	<3	<30	<400	<36	<5	<25
ต่ำ	0.5-1.5	3-10	30-60	401-1000	36-120	5-10	25-70
ปานกลาง	1.6-2.5	11-15	61-90	1001-2000	121-365	11-20	70-160
สูง	2.6-3.5	16-45	91-120	2001-4000	366-975	21-30	160-450
สูงมาก	>.3.5	>45	>120	>4000	>975	>30	>450

หมายเหตุ: ที่มา Standard rating USDA

ตารางที่ 4 การแบ่งระดับความเป็นพิษของอะลูมินั่มในดิน

Acidity Class	Values Used for Assignment*				
Parameters	I	II	III	IV	V
1. Extr.Aluminum (me/100 g Soil)	<1	1.0 – 5.0	5.1 – 9.0	9.1 -13.0	>13
2. % Al Saturation (Al/Al+Bases)	0-5.0	5.1 – 25.0	25.1 – 45.0	45.1 – 65.0	>65
3. Total Sulfur (%)	<0.05	0.05-0.10	0.11-0.24	0.25-0.40	>0.4
4. Acid Extr. S – Amm. Acetate (me/100 g Soil)					
0-40 cm	<-5	-5.0-2.5	2.6-10.0	10.1-20.0	>20
0-100 cm	<+5	5.1-15.0	15.1-25.0	25.1-35.0	>35

ที่มา: Osborne (1984)

*Class I: pH เป็นกลางถึงกรดอ่อน (neutral to slightly)

Class II: pH เป็นกรดอ่อน (slightly)

Class III: pH เป็นกรดค่อนข้างสูง (moderately)

Class IV: pH เป็นกรดสูง (severely)

Class V: pH เป็นกรดสูงมาก (very severely)

ภาพภาคผนวก

ภาพที่ 1 คุยกับเกษตรกรเจ้าของแปลงข้าวโพดฝักอ่อนก่อนดำเนินงานวิจัย อ.หลังสวน จ. ชุมพร

ภาพที่ 2 วัดความสูงของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่ออายุ 40 วัน

ภาพที่ 3 เก็บผลผลิตแปลงในข้าวโพดฝักอ่อน อ.หลังสวน จ. ชุมพร

ภาพที่ 4 ผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด อ.หลังสวน จ. ชุมพร