



ประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สามารถย่อยละลายฟอสเฟตต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดิน
และลำไยในจังหวัดเชียงใหม่

ณัฐพร บุญมา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

ชื่อเรื่อง

ประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สามารถย่อยละลายฟอสเฟตต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดิน
และลำไยในจังหวัดเชียงใหม่

โดย

ณัฐพร บุญมา

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ อินทสาร)

วันที่ 12 เดือน ต.ค. พ.ศ. 58

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร)

วันที่ 9 เดือน ต.ค. พ.ศ. 58

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรนุช เจริญกิจ)

วันที่ 13 เดือน ต.ค. พ.ศ. 58

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร

(อาจารย์ ดร.วิณา นิลวงศ์)

วันที่ 9 เดือน ต.ค. พ.ศ. 58

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาดุพงศ์ วาฤทธิ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 18 เดือน ต.ค. พ.ศ. 58

ชื่อเรื่อง	ประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สามารถย่อยละลายฟอสเฟตต่อ ปริมาณฟอสฟอรัสในดินและลำไยในจังหวัดเชียงใหม่
ชื่อผู้เขียน	นางสาวณัฐพร บุญมา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ อินทसार

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟตต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินและลำไย ในจังหวัดเชียงใหม่ บริเวณพื้นที่ 2 สวนลำไยอินทรีย์ ที่มีความแตกต่างกันของปริมาณฟอสฟอรัสในดินคือ สวนลำไยในเขตอำเภอค้อยสะเก็ดและเขตอำเภอสันป่าตอง ตั้งแต่เดือน มีนาคม 2555–เมษายน 2556 ทำการสุ่มตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตพบว่า มีจุลินทรีย์ 3 กลุ่มคือ เชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีท โดยคัดเลือกเฉพาะแบคทีเรียได้ทั้งหมด 135 Isolates และคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตสูงสุด 2 อันดับแรก ที่มีการละลายฟอสเฟตในอาหารแข็งและอาหารเหลวสูงสุดจากห้องปฏิบัติการ 2 Isolates คือ Isolate B04 และ Isolate B01 การวัดประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียในอาหารแข็งจากดัชนีการละลายฟอสเฟต วัดได้ 4.31 และ 3.94 ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสเฟตที่ละลายได้ในอาหารเหลวพบว่า Isolate B04 และ Isolate B01 ให้ค่าการละลายฟอสเฟตสูงสุด คือ 632 และ 446 mgP l⁻¹ ตามลำดับในการบ่มที่ 7 วัน ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ CRD (Completely Randomized Design) ในสวนลำไยในเขตอำเภอค้อยสะเก็ดและแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ RCBD (Randomized Complete Block Design) ในเขตอำเภอสันป่าตอง ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยมีดำรับการทดลองดังนี้คือ ดำรับควบคุม (Control) ดำรับที่เติมหินฟอสเฟต 30 kg rai⁻¹ (RP) ดำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B04 (Isolate B04) ดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับแบคทีเรีย Isolate B04 (RP+ Isolate B04) ดำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B01 (Isolate B01) และดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับแบคทีเรีย Isolate B01 (RP+ Isolate B01) จากการทดลองในพื้นที่ทั้ง 2 สวน พบว่าการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับแบคทีเรียย่อยละลายฟอสเฟต และการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างดินลำไยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าดำรับอื่นๆ ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุที่วัดได้ของสวนในอำเภอค้อยสะเก็ดทั้งดินบนและดินล่าง รวมทั้งสวนสันป่าตองในดินบนมีค่าตามตามเกณฑ์ที่เหมาะสม สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีการตอบสนองที่ดีกับดำรับ RP+ Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงถึง 49 mgP kg⁻¹ ในสวนอำเภอค้อย

สะกัดและ 242 mgP kg^{-1} ในสวนอำเภอสันป่าตอง ขณะก่อนการทดลองพบเพียง 22 และ 126 mgP kg^{-1} ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีการตอบสนองน้อยกว่าเมื่อมีการเติมแบคทีเรียย่อยละลายฟอสเฟตแต่จะมีค่ามากในตำรับที่เติมหินฟอสเฟตซึ่งมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูงกว่าตำรับควบคุมและตำรับอื่นๆ

ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างใบจากกิ่งที่ติดผลและกิ่งที่ไม่ติดผล จากสวนลำไยในเขตอำเภอดอยสะเก็ดพบว่า ตัวอย่างใบลำไยจากกิ่งที่ไม่ติดผล ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยที่ $0.15 \% \text{ P}$ สวนในเขตอำเภอสันป่าตองพบว่าตัวอย่างใบลำไยจากกิ่งที่ไม่ติดผลมีปริมาณฟอสฟอรัส เฉลี่ย $0.20 \% \text{ P}$ ขณะที่ตัวอย่างใบลำไยจากกิ่งที่ติดผลพบว่า ตำรับ RP + Isolate B04 และ RP + Isolate B01 มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในใบลำไยสูงสุด คือ $0.25 \% \text{ P}$ สูงกว่าตำรับควบคุม สำหรับผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของเปลือก เนื้อ เมล็ด ขนาดของผล ส่วนที่รับประทานได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนประกอบของผลลำไยพบว่าไม่มีการตอบสนองกับตำรับที่มีการเติมแบคทีเรียย่อยละลายฟอสเฟต ซึ่งให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ

คำสำคัญ : แบคทีเรียย่อยละลายฟอสเฟต, ฟอสฟอรัส, ลำไย

Title	Efficiency of Phosphate-Solubilizing Bacteria on the Amount of Phosphorus in Soil and Longan (<i>Dimocarpus longan</i> Lour.) in Chiang Mai Province
Author	Miss Nuttaporn Boonma
Degree of	Master of Science in Soil Science
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Jiraporn Inthasan

ABSTRACT

To study the efficiency of phosphate-solubilizing bacteria on the amount of phosphorus in soil and longan trees (*Dimocarpus longan* Lour.) in Chiang Mai province, phosphate-solubilizing bacteria were collected from organic longan orchards at Sanpatong and Doi Saket District, Chiang Mai during March 2012–April 2013. Soil samples were collected from soil to determine the amount of phosphate-solubilizing bacteria. Results showed 3 types of microorganisms: fungi, bacteria and actinomyces, from which 135 bacteria isolates were selected. Afterwards, bacteria that were able to solubilize phosphate with high efficiency consisting of 2 isolates (Isolate B04 and Isolate B01) were selected in the laboratory. Solubilization Index was then measured at 4.31 and 3.94, respectively, and dissolving concentration of phosphorus in both media was at 632 and 446 mgP l⁻¹, respectively, after incubation of 7 days. In this study, both CRD (Completely Randomized Design) and RCBD (Randomized Complete Block Design) were used as experimental designs. Six treatments which were each replicated 3 times were assigned as: 1) control; 2) Rock Phosphate 30 kg rai⁻¹ (RP); 3) Bacteria Isolate B04; 4) RP+ Isolate B04; 5) Bacteria Isolate B01; and, 6) RP+ Isolate B01, as conducted in 2 sites. Results showed that the application of RP combined with phosphate-solubilizing bacteria caused soil pH to have higher average than others. On the amount organic matter measured in Doi Saket, both from upper and lower soil and including upper soil from Sanpatong, the amount was considered suitable. The amount of extracted phosphorus from the soil showed a good reaction with RP+ Isolate B04 treatment having high extractable phosphorus at 49 mgP kg⁻¹ for Doi Saket and 242 mgP kg⁻¹ for Sanpatong with values prior to trial measured at 22 and 126 mgP kg⁻¹ respectively. The total phosphorus in the soil, there was less reaction when high amount of bacteria was added to

dissolve phosphorus in treatment with phosphate and was also higher than control and the rest of treatments.

Phosphorus concentration in sampled fruiting and non-fruiting leaves of longan from Doi Saket showed that leaf samples from non-fruiting branches were not significantly different in statistics, with mean of 0.15 and 0.2 %P from Doi Saket and Sanpatong areas, respectively. As for fruiting leaves, treatments 4 (RP+ Isolate B04) and 5 (RP+ Isolate B01) showed the highest concentration of phosphorus in leaves at 0.25 %P and also much higher than control. Analysis of fresh weight of longan rind, aril, seed, size of fruit, edible part, %TSS and amount of phosphorus in fruit content, showed non-significant reaction from the treatment of adding bacterial isolate that resulted to a non-significant difference in statistics.

Key Words: Phosphate-solubilizing bacteria, Phosphorus, Longan

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ อินทสาร ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมา สุธธิกุลบุตร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรนุช เจริญกิจ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ช่วยเหลือในการวางแผนการดำเนินงานทดลอง ช่วยสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองและให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากรสาขาปฐพีศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่คอยช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลต่างๆ รวมทั้งให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอจนทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าของพื้นที่สวนลำไยอินทรีย์ทั้งในเขตอำเภอดอยสะเก็ดและอำเภอสันป่าตองที่ให้พื้นที่ในการศึกษาและทำงานวิจัย ตลอดจนความสะดวกในพื้นที่การทดลอง

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการศึกษาเล่าเรียนมาโดยตลอด และขอบคุณญาติ พี่ น้อง ที่ให้ความรักและคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ณัฐพร บุญมา

ตุลาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
สารบัญภาคผนวก	(12)
สารบัญภาพผนวก	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
ปัญหาการขาดฟอสฟอรัส (Phosphorus) ของดินในภาคเหนือ	3
วิธีการจัดการปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสในดิน	4
ความเป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์	5
การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในการเกษตรและการใช้ประโยชน์	10
จากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตกับไม้ผล	13
หินฟอสเฟตในการเกษตร	15
ลำไย	23
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	23
สำรวจพื้นที่ทำการวิจัย	23
คัดเลือกแบคทีเรียจากตัวอย่าง	23
คัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตบนอาหารแข็ง	23
วัดประสิทธิภาพแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในอาหารเหลวและการขยายเชื้อ	24
การเก็บตัวอย่างดินและพืช	26
วิธีการเก็บข้อมูลของผลลำไย	26

การวิเคราะห์ดินและพืช	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	29
การคัดเลือกจุลินทรีย์ก่อนการวิจัย	29
ผลการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยละลายฟอสเฟตในอาหารเหลว (Broth)	38
คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการทดลองในอำเภอดอยสะเก็ด	43
คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ ในอำเภอดอยสะเก็ด	45
คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินระยะเก็บเกี่ยวในอำเภอดอยสะเก็ด	48
คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการทดลองในอำเภอสันป่าตอง	51
คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ ในอำเภอสันป่าตอง	53
คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินระยะเก็บเกี่ยวในอำเภอสันป่าตอง	56
การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในใบก่อนออกดอกและระยะเก็บเกี่ยวผลลำไย	59
การศึกษาหาผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของเปลือก เนื้อ เมล็ด ขนาดผล ส่วนที่รับประทานได้ (%Edible) Total Soluble Solid (°Brix) และปริมาณฟอสฟอรัสในผลลำไย อำเภอสันป่าตอง	62
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสในดินและปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือก เนื้อและเมล็ดลำไย	65
การวิจารณ์ผลการวิจัย	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	80
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก ตารางปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับลำไย	92
ภาคผนวก ข อาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียและภาพการทดลอง	95
ภาคผนวก ค ประวัติผู้วิจัย	104

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 การส่งออกลำไยสด อบแห้ง แช่แข็ง และกระป๋อง ตั้งแต่ปี 2554-2556	16
2 จำนวนแบคทีเรียโดยรวม และปริมาณความชื้นในดิน (%) จากใต้ทรงพุ่มลำไยใน อำเภอคอยสะเก็ด	29
3 จำนวนแบคทีเรียโดยรวม และปริมาณความชื้นในดิน (%) จากใต้ทรงพุ่มลำไยใน อำเภอสันป่าตอง	30
4 แสดงลักษณะโคโลนีที่แสดงบนผิวอาหารแข็งและดัชนีการละลายฟอสเฟต	31
5 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายฟอสเฟตในอาหารเหลวและ อาหารแข็ง Czapek's Agar	41
6 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการทดลองในอำเภอคอยสะเก็ด	44
7 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ในอำเภอคอยสะเก็ด	47
8 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินระยะการเก็บเกี่ยว ในอำเภอคอยสะเก็ด	50
9 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการทดลองในอำเภอสันป่าตอง	52
10 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ในอำเภอสันป่าตอง	55
11 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินระยะเก็บเกี่ยว ในอำเภอสันป่าตอง	58
12 ปริมาณฟอสฟอรัสในใบลำไย ก่อนการออกดอกและระยะผลสุกในอำเภอคอยสะเก็ด	60
13 ปริมาณฟอสฟอรัสในใบลำไย ก่อนการออกดอกและระยะผลสุกในอำเภอสันป่าตอง	61
14 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของเปลือก เนื้อ เมล็ด ขนาดของผล ส่วนที่รับประทาน ได้ (% Edible) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%Brix) และปริมาณฟอสฟอรัส ในผลลำไย	64

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 ลักษณะของแบคทีเรียที่คัดเลือก Isolate B01, Isolate B03, Isolate B04, Isolate B017 และ Isolate B024	37
2 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการย่อยละลายฟอสเฟตในอาหารเหลว และดัชนีการละลายฟอสเฟตในอาหาร แข็งที่ 3, 5 และ 7 วัน	42
3 ความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน และปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือกลำไย	66
4 ความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน และปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อลำไย	66
5 ความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน และปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดลำไย	66
6 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน และปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือก	68
7 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน และปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อลำไย	68
8 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน และปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ด	68
9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนต่อปริมาณฟอสฟอรัส ทั้งหมดในดินสวนดอยสะเก็ดและสวนสันป่าตอง	75

สารบัญภาคผนวก

ตารางภาคผนวก	หน้า
15 ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในดินลำไย	92
16 ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในใบลำไย (ค่ามาตรฐาน)	92
17 ปริมาณธาตุอาหารที่ลำไยใช้ในแต่ละระยะการแตกช่อใบ	93
18 ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของผลลำไยพันธุ์อีดอในระยะผลแก่	93
19 ปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตลำไย 1 กิโลกรัม	94

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวก	หน้า
10 วิธีการชั่งตัวอย่างดินเพื่อทำการเจือจางและใช้วิธี Spread plate Technical	98
11 ตัวอย่างเชื้อที่ได้หลังจาก 7 วัน ในอาหาร Czapek's medium	98
12 Streak plate method	98
13 ลักษณะ โคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารที่สังเกตรด้วยตาเปล่าและคำศัพท์ที่ใช้	99
14 ลักษณะการวัดความกว้างของวงใส (Clear zone)	99
15 วิธีการทดสอบในอาหารเหลว การเขี่ยเชื้อลงในขวดอาหารปลอดเชื้อ (ในตู้ปลอดเชื้อ) และวิธีการเขย่า 200 รอบต่อนาที	99
16 แสดงการย้อมและติดสีของแบคทีเรีย ส่องดูจากกล้องจุลทรรศน์	100
17 สวนในอำเภอสันป่าตองและสวนในอำเภอดอยสะเก็ด	101
18 แสดงตัวอย่างลำไยที่เก็บจากสวนลำไยมาเพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ	101
19 เครื่องวัดขนาดของผลโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ และการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) โดยใช้ Hand refractometer	101
20 แสดงวิธีการวิเคราะห์ หาค่าความเป็นกรด-ด่าง	102
21 แสดงวิธีการหาฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินโดยวิธีการย่อยในกรด	102
22 การทำกราฟมาตรฐานสำหรับการคำนวณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินด้วยเครื่อง Spectrophotometer	102

บทที่ 1

บทนำ

ฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักที่จำเป็นในการเจริญเติบโตและการออกดอกของพืช พืชจะได้รับธาตุฟอสฟอรัสจากสารละลายดินแต่ในดินทั่วไปในภาคเหนือมีความเป็นกรดค่อนข้างสูงจึงทำให้พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในสารละลายดินบริเวณนั้นได้ ซึ่งมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณธาตุที่มีประจุบวกทำให้ตกตะกอน เป็นต้น ขณะที่ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่พืชไม่สามารถขาดได้เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของ Nucleic acid, Nucleotides, ATP (Adenosine triphosphate) และ ADP (Adenosine diphosphate) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการชีวเคมีของเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของ Coenzyme ในปฏิกิริยา Oxido-reduction และกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ภายในเซลล์อีกด้วย (สมพร, 2549) ธาตุฟอสฟอรัสจึงมีความสำคัญต่อพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกดอก ซึ่งถ้าขาดธาตุนี้พืชจะไม่ออกดอกหรือดอกเล็กไม่สมบูรณ์ โดยพืชจะได้รับฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งจากที่มีอยู่แล้วในดิน และอีกส่วนหนึ่งได้จากการใส่เพิ่มเติมให้ในรูปของปุ๋ยเคมีหรือในรูปของหินฟอสเฟต ซึ่งปุ๋ยเคมีฟอสเฟตได้มาจากการนำหินฟอสเฟตไปแปรรูปโดยกระบวนการทางเคมีให้ได้ปุ๋ยฟอสเฟตในรูปของ Superphosphate, Doublesuperphosphate และ Triplesuperphosphate แล้วแต่กรรมวิธีในการผลิต ทำให้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตมีต้นทุนการผลิตที่สูงและกระบวนการผลิตยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย จึงมีการหันมาใช้วัสดุทดแทนซึ่งหนึ่งในนั้นคือ การใช้หินฟอสเฟต หินฟอสเฟตเป็นหินแร่ที่พบในธรรมชาติและมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญ ซึ่งหินฟอสเฟตที่พบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่ Apatite หินฟอสเฟตที่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นปุ๋ยควรมีปริมาณฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ (คิดในรูป P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ (ธงชัย, 2546) ปกติแล้วหินฟอสเฟตสามารถละลายให้อนุมูลฟอสเฟตที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยธรรมชาติอยู่แล้วแต่เป็นไปได้ช้าๆ แต่การละลายฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะต้องมีอัตราเร็วมากขึ้น โดยการจัดการดินเพื่อแก้ปัญหาการขาดฟอสฟอรัส สามารถทำได้ด้วยการยกระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้อยู่ในช่วง 6-7 ด้วยการเติมอินทรีย์วัตถุหรือการเติมวัสดุปูน และการใช้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายฟอสเฟตจากรูปที่ไม่ละลายให้กลายเป็นฟอสเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (มุกดา, 2547)

ถ้าโยจัดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอันดับหนึ่งของภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน (พาวัน, 2543) พื้นที่การผลิตลำไยส่วนใหญ่ยังมีการใช้สารเคมีและการใช้ปุ๋ยอยู่ทั่วไป ปัจจุบันเริ่มมีการทำเกษตรอินทรีย์เข้ามาอย่างต่อเนื่อง โดย

วีระ (2544) รายงานว่าปัจจุบันเกษตรกรได้คำนึงถึงผลเสียจากการใช้สารเคมีต่างๆ รวมทั้งการใช้ปุ๋ย ซึ่งได้ส่งผลเสียต่อชีวิตและความเป็นอยู่ ทำให้เกษตรกรกลุ่มที่ปลูกลำไยหลายกลุ่มหันมาผลิตลำไยอินทรีย์กันมากขึ้นซึ่งการใช้วัสดุอินทรีย์ในแปลงเกษตรกรรมนั้น กำหนดให้เดิมวัสดุได้ไม่ก็ประเภทหนึ่งในนั้นก็คือ การใช้หินฟอสเฟตที่เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารฟอสฟอรัส แต่ปัญหาที่พบกับเกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของหินฟอสเฟตเกิดขึ้นอย่างช้า ทำให้พืชไม่สามารถไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ทันที ทำให้เกิดปัญหาของปริมาณฟอสเฟตที่ไม่เพียงพอต่อกระบวนการผลิตของลำไย ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำจุลินทรีย์ที่สามารถละลายแร่ธาตุฟอสฟอรัส ในรูปสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกตรึงในดินให้ละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเกษตรได้ และเพื่อปรับปรุงคุณภาพของวัสดุปุ๋ยของหินฟอสเฟตเพื่อให้เกิดประโยชน์ในพื้นที่เกษตรอินทรีย์มากขึ้น โดยคาดว่าจะทำการศึกษาหาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สามารถย่อยละลายฟอสเฟตในดินที่มีการเติมหินฟอสเฟต เพื่อให้เกิดประโยชน์ในพื้นที่เกษตรอินทรีย์มากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อคัดเลือกและตรวจสอบแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยละลายฟอสเฟตจากสวนลำไยอินทรีย์ในจังหวัดเชียงใหม่
2. เพื่อศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของดินในแปลงปลูกลำไยต่อการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสในตัวอย่างลำไย

ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาหาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สามารถย่อยละลายฟอสเฟตต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินและความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในลำไย ในพื้นที่การทดลอง 2 แห่ง คือ สวนลำไยในอำเภอดอยสะเก็ดและสวนลำไยในอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้แบคทีเรียที่สามารถย่อยละลายฟอสเฟตเพื่อนำไปใช้ในการละลายหินฟอสเฟตในสวนลำไยที่ต้องการใช้ฟอสฟอรัสเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมี ได้ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินและการสะสมฟอสฟอรัสในตัวอย่างใบลำไยอินทรีย์

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

1. ปัญหาการขาดฟอสฟอรัส (Phosphorus) ของดินในภาคเหนือ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการมาก จึงจัดให้อยู่ในกลุ่ม Macronutrient ฟอสฟอรัสมาจากแหล่งวัตถุดิบกำเนิดตามธรรมชาติ มีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดินบริเวณภาคเหนือโดยทั่วไปจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชค่อนข้างต่ำ ดินส่วนใหญ่จะมีการระบายน้ำดีถึงปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและมีค่าความเป็นกรด-ด่างในระดับปานกลางจนถึงกรดจัด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) และมูกดา (2547) กล่าวว่าเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ถูกตรึงหรือเปลี่ยนรูปได้ง่ายกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อพืชลดลง ทำให้พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในดินได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการขาดฟอสฟอรัสเนื่องมาจากการตรึงฟอสเฟตในดิน ส่วนหนึ่งมาจากการเติมฟอสฟอรัสในรูปของปุ๋ย Superphosphate และ Triple superphosphate โดยฟอสฟอรัส (P) จะมีการทำปฏิกิริยากับ เหล็ก (Fe), อะลูมิเนียม (Al), แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก (อรรณพ, 2551) ขณะที่ Amberger (2006) รายงานว่าการขาดฟอสฟอรัสมี 2 ปัจจัย คือ 1. เมื่อฟอสฟอรัสอยู่ในรูปพันธะเคมีของเหล็กฟอสเฟตหรืออะลูมิเนียมฟอสเฟต เช่น ดินทราย พบดินในอันดับ Oxisols, Ultisols และ Entisols 2. Ironoxides และ Aluminumoxides รวมทั้งแร่ดินเหนียวบางชนิด ที่มีความสามารถดูดซับฟอสเฟตที่อยู่ในรูปสารละลายดิน เช่น ดินร่วน พบในอันดับดิน Alfisols และ Ultisols ฟอสฟอรัสในดินจะถูกแลกเปลี่ยนไว้มากโดยเฉพาะเหล็ก (Fe) และอะลูมิเนียม (Al) เมื่อมีการเติมปุ๋ย Superphosphate และ Triple superphosphate เกิดการสัมผัสของอนุภาคแร่ดินเหนียว Ironoxides และ Aluminumoxides ตรึงไว้ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้

ฟอสฟอรัสในดินสามารถสูญเสียไปจากดินได้หลายวิธีโดยส่วนใหญ่จะติดไปกับส่วนของพืชที่ออกไปจากดินเมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลผลิต ฟอสฟอรัสที่อยู่ในเมล็ด ตอซัง ต้นและใบของพืชปริมาณที่สูญเสียจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช เมื่อพืชถูกใช้ฟอสเฟตจากสารละลายดินปริมาณฟอสเฟตจากสารละลายดินจะมีปริมาณลดลง ฟอสเฟตจากส่วนอื่นจะละลายออกมาสู่สารละลายดินจากการ Mineralization ของอินทรีย์วัตถุ Barker and Pilbeam (2006) กล่าวว่าฟอสฟอรัสจะคล้ายกับไนโตรเจนที่มีการ Mineralization และ Immobilization โดยฟอสฟอรัสจะถูกปลดปล่อยออกมามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเศษซากพืชซากสัตว์หรืออินทรีย์วัตถุในดินโดย

เกิดจากการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารบางอย่างจากรากพืช (Root exudates) โดยเคลื่อนที่ไปสู่ส่วนของอินทรีย์ดิน นอกจากนั้นฟอสฟอรัสในสารละลายมีการชะละลายลงไปในดินชั้นล่าง (Leaching) หากดินนั้นมีเนื้อดินที่เป็นทรายมากกว่าเนื้อดินเหนียว และโดยการไหลบ่า (Run off) ไปกับน้ำดินทั้งรูปอินทรีย์และอนินทรีย์

2. วิธีจัดการปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสในดิน

จิราภรณ์ (2554) กล่าวว่าเนื่องจากฟอสฟอรัสในดินทั่วไปมีน้อยและไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดินเพื่อยกระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนั้น 80-90% มักจะถูกตรึงซึ่งยากต่อการที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ขณะที่ Amberger (2006) รายงานว่ารากพืชและจุลินทรีย์จะปลดปล่อยสารอินทรีย์ที่สามารถจับกับประจุบวกและทำให้สารตั้งต้นลดลง เช่น กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน และ Phenol ทำให้เหล็กและอะลูมิเนียมมาจับกับสารอินทรีย์เหล่านั้น ส่วนการเติมปูนจะเป็นการยกระดับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6-7 ลดความเป็นพิษที่รุนแรงของอะลูมิเนียมและแมงกานีส ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสโดยการละลายเหล็กฟอสเฟตและอะลูมิเนียมฟอสเฟต รวมถึงช่วยลดการดูดซับฟอสเฟตควรมีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตที่ละน้อยๆ แต่บ่อย เพื่อลดการจับตัวของฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือการเติมปุ๋ยที่ละลายช้า เช่น หินฟอสเฟตจะทำให้การปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เกิดอย่างสม่ำเสมอและทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงขึ้นเป็นผลดีต่อการเปลี่ยนรูปของฟอสเฟตที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

อินทรีย์ฟอสฟอรัสจะแปรสภาพเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Mineralization of organic phosphorus) เกิดขึ้นโดยอิทธิพลของแบคทีเรีย ราและแอคติโนมัยซีทในกลุ่ม Heterotrophic ที่ย่อยอินทรีย์วัตถุ จะเกิดขึ้นได้ดีมากในดินที่ไม่ได้ทำการเกษตร มีการแปรสภาพได้ดีในดินที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียสขึ้นไป โดยเฉพาะในช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์จำพวก Thermophilic การเปลี่ยนจากอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีอัตราเร็วขึ้นเร็วกว่าในช่วงของ Mesophilic ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส การแปรสภาพจะลดลง อัตราการแปรสภาพจะสูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงขึ้น โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลางจะเหมาะสมกับการแปรสภาพยิ่งขึ้น ธรรมชาติของอินทรีย์ฟอสฟอรัสก็มีส่วนควบคุมการแปรสภาพเช่นเดียวกัน Nucleic acid แปรสภาพได้ง่ายสุด และ Phytin ยากที่สุด ส่วน Lecithin อยู่ในระดับปานกลาง ฟอสฟอรัสในเซลล์ของจุลินทรีย์แปรสภาพได้ค่อนข้างง่าย โดยเฉพาะส่วนที่ละลายได้ในกรด รวมทั้ง Phospholipid และ DNA ส่วนฟอสฟอรัสในจุลินทรีย์ที่

อยู่ในรูปของ RNA นั้นแปรสภาพยากกว่า การแปรสภาพจากอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจาก Phytin หรือ Phytic acid ได้ Inositol และฟอสเฟต (สมศักดิ์, 2528)

ส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะแปรสภาพเป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัส (Immobilization of phosphorus) เมื่อมีการเจริญหรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ในดินทุกชนิดที่มีฟอสฟอรัส ทั้งนี้เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารที่อยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ด้วย ดังนั้นในการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินในระยะแรกๆ ถ้าในดินนั้นมีฟอสฟอรัสอยู่น้อย C/P ratio ในสัดส่วนที่สูง จุลินทรีย์จะดูดเอาฟอสฟอรัสจากดินโดยเฉพาะที่อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ไปใช้ ทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า “Immobilization of phosphorus” เมื่อกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุดำเนินต่อไปเรื่อยๆ มี CO_2 ถูกปล่อยออกไปจนทำให้ C/P ratio ในสัดส่วนที่ลดลง จึงมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุนั้น (Mineralization) เช่นเดียวกับกรณีของไนโตรเจน การละลายของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Solubilization of inorganic phosphorus) ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายในน้ำหรือกรดอ่อนๆ นั้นจะไม่ใช่ประโยชน์ต่อพืชหรือพืชดูดนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถทำให้ฟอสฟอรัสละลายอยู่ในน้ำหรือสารละลายได้ (Phosphate-dissolving microorganism) เท่าที่เคยมีการทดสอบกันปรากฏว่าจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน โดยทั่วไปทั้งหมดที่ละลายฟอสฟอรัสได้จัดอยู่ในสกุล *Pseudomonas*, *Mycrobacterium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Penicilium*, *Scherothium*, *Aspergillus* และอาจมีสกุลอื่นๆ อีกจำนวนมากที่มีความสามารถเช่นเดียวกัน จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเจริญได้ในสภาพที่มี $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ หรือที่เรียกว่า Apatite ซึ่งไม่ละลายน้ำผสมอยู่ในดินที่เป็นค้างอยู่ในรูป Calcium orthophosphate ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ในดินที่เป็นกรด อยู่ในรูป Crystalline ferric phosphate (FePO_4) และ Crystalline aluminium phosphate (AlPO_4) (สมศักดิ์, 2528) ซึ่ง Dave and Patel (2003) และ Chung et al. (2005) พบว่าจุลินทรีย์สามารถละลายฟอสฟอรัสได้จากแหล่ง Tricalcium phosphate และหินฟอสเฟต เป็นแหล่งที่ฟอสฟอรัสไม่สามารถละลายน้ำได้ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทดสอบจากอาหารวุ้นที่มีความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ส่วนใหญ่จะพบแบคทีเรียเหล่านี้ได้ในดินบริเวณรอบๆ รากพืชและจุลินทรีย์เหล่านี้ยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้กับพืชอีกด้วย (Gyaneshwar et al., 2002)

3. ความเป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์

ดินและพืชเป็นแหล่งที่พบว่ามีหลากหลายของจุลินทรีย์ทั้งจำนวนชนิดและปริมาณเพราะแหล่งทั้งสองเป็นถิ่นอาศัยที่เหมาะสม การเข้ามาอาศัยอยู่ร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์กับ

พืชหรือระหว่างจุลินทรีย์กับจุลินทรีย์ เกิดเป็นสังคมสิ่งมีชีวิตที่มีความสัมพันธ์อย่างหลากหลายและสลับซับซ้อน เช่น ความสัมพันธ์แบบพึ่งพิงอาศัย แบบแก่งแย่งแข่งขันและแบบปรสิต รูปแบบความสัมพันธ์เหล่านี้มีทั้งที่ก่อประโยชน์และโทษต่อกัน อีกทั้งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศ และระบบการเกษตรอย่างยิ่ง เพราะช่วยส่งเสริมการเจริญพัฒนาของพืช ปรับปรุงคุณภาพพืชและดิน จุลินทรีย์ดินที่พบทั่วไปมีหลายประเภทประกอบด้วย แบคทีเรีย เชื้อรา แอคติโนมัยซิส โปรโตซัว สาหร่ายและไวรัส จุลินทรีย์เหล่านี้มีส่วนสำคัญในวัฏจักรธาตุต่างๆ เช่น วัฏจักรคาร์บอน วัฏจักรไนโตรเจนและวัฏจักรฟอสฟอรัส เป็นต้น พร้อมทั้งยังช่วยในการยึดเกาะกันของอนุภาคดิน นอกจากนี้บริเวณรอบรากพืช (Rhizosphere) เป็นอีกบริเวณหนึ่งที่พบจุลินทรีย์หลากหลายชนิดเข้ามาอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากเนื่องจากกิจกรรมของพืชที่บริเวณรากปลดปล่อยสารบางอย่างที่เรียกว่า Root exudate ที่มีความสำคัญต่อการกำหนดอาณาบริเวณรอบรากพืชและช่วยดึงดูดให้จุลินทรีย์เข้ามาอาศัยอยู่บริเวณรากอีกด้วย เพราะสารนี้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งอาหารที่สำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (Barea et al., 2005) ซึ่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่พบบริเวณรอบรากพืชยังช่วยส่งเสริมการเจริญ การพัฒนาของรากและเพิ่มธาตุอาหารบางชนิดที่จำเป็นสำหรับพืช เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จุลินทรีย์เหล่านี้ยังสามารถพบได้ตามบริเวณส่วนต่างๆ ของดินพืช โดยกลุ่มที่พบภายนอกต้นพืชส่วนที่อยู่เหนือดิน เช่น ใบ ดอก ผลและลำต้น เรียกว่า Epiphyte สำหรับชนิดที่พบอาศัยอยู่ภายในเนื้อเยื่อพืช เรียกว่า Endophyte เป็นเชื้อที่ไม่ก่ออันตรายให้กับพืช โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในดินเมื่อพืชปลดปล่อยสารอินทรีย์ออกมาบริเวณรอบๆ รากพืช จะเป็นการกระตุ้นให้แบคทีเรียเข้าสู่รากพืชและสามารถแยกได้จากเนื้อเยื่อพืช (Lindow and Brandl, 2003) ปราบธนา (2555) ได้กล่าวว่า จุลินทรีย์ในธรรมชาติมีความหลากหลายทางชีวภาพ ทั้งชนิด ปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ มีบทบาทสำคัญในการหมุนเวียนทรัพยากรให้ใช้ประโยชน์ได้ใหม่โดยทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ให้เป็นธาตุอาหาร เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ของสารอินทรีย์ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมทางการเกษตรให้กลับมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยกระบวนการย่อยสลายหรือสังเคราะห์สารชนิดอื่นขึ้นมาใหม่ในธรรมชาติดังนั้นจึงมีนักวิจัยได้นำเอาจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรเพื่อทดแทนการใช้สารเคมี อาภารัตน์ (2549) กล่าวว่าจุลินทรีย์ในธรรมชาติที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบนิเวศและการเกษตร เช่น จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรียและเชื้อราที่มีความสามารถในการละลายแร่ธาตุฟอสฟอรัสในรูปสารประกอบอนินทรีย์ที่ถูกตรึงในดินให้ละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยจะช่วยส่งเสริมการเจริญของพืชและเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน และมุกดา (2547) ได้กล่าวว่าจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้คือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยดูดซับธาตุฟอสฟอรัสให้กับ

พืช ได้แก่ เชื้อราไมคอร์ไรซา เป็นเชื้อราที่อาศัยอยู่ในรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ส่วนของเส้นใยเชื้อราจะซอนไซเข้าไปในดินช่วยดูดธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ทำให้พืชที่มีเชื้อนี้อยู่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพียงพอ นอกจากนี้เชื้อราไมคอร์ไรซายังช่วยป้องกันไม่ให้ฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาถูกตรึงโดยปฏิกิริยาทางเคมีของดิน แต่เชื้อราไมคอร์ไรซามีข้อจำกัดที่ต้องอยู่กับพืชอาศัยที่มีความจำเพาะเจาะจง จึงยังไม่สามารถเลี้ยงและเพิ่มปริมาณในอาหารเลี้ยงเชื้อได้ การผลิตเพื่อเพิ่มปริมาณของเชื้อจำเป็นต้องเพาะเชื้อในพืชอาศัยและวัสดุปลูกที่เหมาะสมเท่านั้น และอีกกลุ่มเป็นจุลินทรีย์ย่อยสลายหินฟอสเฟต เป็นแบคทีเรียที่สามารถทำให้หินฟอสเฟตละลายเป็นประโยชน์ต่อพืช (Phosphate solubilizing bacteria ; PSB) มีอยู่หลายชนิด กิจกรรมของจุลินทรีย์พวกนี้จะช่วยย่อยสลายหินฟอสเฟตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืช

สำหรับแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilizing bacteria) จะสามารถละลายฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ในดินและหินแร่ในธรรมชาติให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีอยู่หลายชนิด เช่น *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Thiobacillus* โดยแบคทีเรียจะสร้างและปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาละลายฟอสฟอรัส (มุกดา, 2547) จากข้อมูลพบว่า *Bacillus* เป็นแบคทีเรียที่มีศักยภาพสูงในการละลายฟอสเฟต พบได้ในดินทั่วไปและมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับสิ่งแวดล้อมเพราะคุณสมบัติการสร้าง Endospore ซึ่งทำให้มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมสูงกว่าเซลล์ปกติ โดยปัจจุบันมีหลายประเทศให้ความสนใจและนำเอาแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงในการละลายฟอสเฟตมาผลิตเป็นผงเชื้อจุลินทรีย์ในรูปของปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizer) เช่น *Bacillus megaterium* var *phosphaticum* ทั้งนี้อาจใช้ในลักษณะเชื้อผสมเพื่อเพิ่มความหลากหลายของธาตุอาหารพืช เช่น *Azotobacter* sp. ซึ่งเป็นแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนขายเป็นการค้าและยังพบจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เช่น *Bacillus cereus*, *Pseudomonas syringae*, *Pseudomonas cichorii*, *Thiobacillus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Burkholderia caryophylli* และอื่นๆ (สมพร, 2549; สุภาพร และคณะ, 2553; Pradhan and Sukla, 2005) ซึ่งแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบมากที่สุดทั้งในชนิดและปริมาณ โดยทั่วไปพบในช่วง 10^8 - 10^9 เซลล์ต่อน้ำหนักกรัมดินแห้ง ในงานทดลองของ Ashara et al. (2007) พบจุลินทรีย์มากที่สุดที่บริเวณรากและในรากข้าวสาลีพันธุ์ *Oryza sativa* ในปริมาณ $2.70 \pm 0.19 \times 10^7$ โคโลนีต่อกรัมดินแห้ง และ $1.50 \pm 0.48 \times 10^7$ โคโลนีต่อกรัมดินแห้ง ศิริพรรณ (2550) กล่าวว่าแบคทีเรียมีทั้งพวกที่ไม่เคลื่อนที่และพวกที่เคลื่อนที่ได้โดยอาศัยแฟลกเจลลา (Flagella) มีความหลากหลายในการดำรงชีวิต เช่น พวกเคลื่อนที่ดำรงชีวิตแบบ Photoautotroph ซึ่งสามารถสังเคราะห์แสงได้ พวก Chemoautotroph ที่สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน แบคทีเรียบางพวกก็สามารถดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากออกซิเจนได้ (Anaerobe) บางพวกมีความสามารถในการตรึงก๊าซ

ไนโตรเจนจากอากาศได้(Nitrogen-fixing bacteria) แต่ส่วนใหญ่แล้วแบคทีเรียในดินจะเป็นพวก Heterotrophy ที่ดำรงชีวิตแบบ Saprophyte โดยย่อยสลายเศษซากพืชซากสัตว์หรือสารอินทรีย์วัตถุในดินเป็นอาหารหรือเรียกพวกนี้ว่า Autochthonous หรือ Indigenous species คือพวกที่อาศัยอาหารที่มีอยู่แล้วในดิน ไม่ต้องการอาหารจากที่อื่นอีก ปริมาณแบคทีเรียพวกนี้จะไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่แบคทีเรียบางพวกมีอยู่ในดินปริมาณน้อยแต่เมื่อมีอาหาร โดยเฉพาะอินทรีย์วัตถุที่เติมลงไปทำให้เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วแต่เมื่ออาหารที่เติมลงไปลดลง ปริมาณแบคทีเรียพวกนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว เรียกแบคทีเรียพวกนี้ว่า Zymogenous หรือ Fermentation-producing bacteria

วิทยา (2526) รายงานว่าดินที่อุดมสมบูรณ์จะสามารถพบแบคทีเรียได้มากถึง 7.8 ล้านจำนวนแบคทีเรียต่อดิน 1 g ซึ่งบริเวณที่มีแบคทีเรียอาศัยอยู่ในปริมาณที่สูงคือชั้นหน้าดินและลึกลงไปใต้ดินประมาณ 3-8 cm. ในดินที่มีความชื้นต่ำจะพบแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน(Aerobic bacteria) มากกว่าแบคทีเรียที่เจริญในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน(Anaerobic bacteria) ประมาณ 2-3 เท่า แต่ในดินชั้นที่ลึกจะพบแบคทีเรียกลุ่มนี้ได้มากกว่ากลุ่มที่ต้องการออกซิเจน มักมีอยู่ในดินในปริมาณที่แตกต่างกันไป แบคทีเรียจะอาศัยอยู่ในดินที่มีต้นกำเนิดหรือมีการสะสมของธาตุหรือสารประกอบชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดอยู่และดินกลุ่มที่มีความแตกต่างนี้ย่อมมีชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์แตกต่างไปจากดินโดยทั่วไปเพราะจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียที่มีอยู่ในดินจะต้องเป็นพวกที่สามารถใช้ประโยชน์หรือมีความทนทานต่อสภาพหรือสมบัติของดินบริเวณนั้นได้ดีจึงจะมีชีวิตและเจริญอยู่ได้ในดินนั้น เช่นเดียวกับสุบินชาติ (2552) กล่าวว่าในดินที่อุดมสมบูรณ์จะมีจำนวนประชากรของแบคทีเรียเกิดขึ้นอย่างมากมาย ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงบทบาทของจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญทางการเกษตรจะทำหน้าที่ย่อยสลายพวกเศษซากพืชซากสัตว์ต่างๆ ย่อยสลายธาตุอาหารให้กับพืชและสามารถย่อยสลายสิ่งมีชีวิตอื่นที่ย่อยสลายยาก เช่น ไคติน (Chitin) เซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุและสารอาหารต่างๆ ในดินได้ดี แบคทีเรียที่พบในดินได้แก่ *Arthrobacter* sp., *Bacillus* sp. และ *Pseudomonas* sp. เป็นต้น แบคทีเรียบางกลุ่มสามารถย่อยสลายธาตุอาหารให้กับพืช เช่น เชื้อไรโซเบียมเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถดึงไนโตรเจนจากอากาศและสร้างความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน หรือการใช้แบคทีเรียในกลุ่มที่ช่วยละลายฟอสเฟตร่วมกับหินฟอสเฟตที่มีราคาถูก เพื่อลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากหินฟอสเฟตที่บดละเอียดจะปลดปล่อยฟอสฟอรัสอย่างช้าๆ สู่อารละลายดิน การนำแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพมาช่วยละลายหินฟอสเฟตจะช่วยลดค่าใช้จ่าย เพิ่มประสิทธิภาพให้กับดินและพืชในระยะยาว และลดการถูกตรึงจาก เหล็ก (Fe), อะลูมิเนียม (Al) และแคลเซียม (Ca) เป็นต้น ในสภาพดินที่มีความเป็นกรดสูงหรือด่างสูงเกินไป และความเกี่ยวข้องของหินฟอสเฟตก็ได้มีงานวิจัยหลายงาน

ได้สนับสนุนการใช้จุลินทรีย์ในสภาพธรรมชาติเพื่อช่วยละลายฟอสเฟตเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ให้แก่พืช นิสารัตน์ (2549) อ้างอิงการศึกษาของ Banik (1982) พบว่าแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้ 0.01-11.0 % Inorganic phosphate อิสระในสารละลายดิน มีบทบาทสำคัญใน วัฏจักรฟอสฟอรัสซึ่งมีกลไกในการเพิ่มขึ้น 2 ทาง (Illmer and Schinner, 1992) คือ การใช้เอนไซม์ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ (เช่น Phosphomonoesters Phosphodiesteres ร่วมกับ Phospholipids และกรดนิวคลีอิก และ Phosphotri-esters) ตลอดจนสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟต (เช่น pyro-and meta phosphates) การละลายหินฟอสเฟตและสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟต โดยกลไกที่ไม่ใช่เอนไซม์ ปริมาณของเอนไซม์ฟอสฟาเทส (Phosphatase) ในดินมีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ เอนไซม์ที่จับกับ Soil colloid และ Humic substances เอนไซม์ฟอสฟาเทส (Phosphatase) อิสระในสารละลายดินที่อยู่กับพืชที่มีชีวิตและพืชที่ตายแล้วหรือในเซลล์จุลินทรีย์ อาจแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ Acid phosphatase และ Alkaline phosphatase ซึ่งมีบทบาทในดินกรดและดินด่างตามลำดับ

การแยกและคัดเลือกรูปร่างจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟต

การแยกและคัดเลือกรูปร่างจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตและการหาปริมาณการละลายของฟอสเฟตของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตนิยมใช้ฟอสเฟตรูปละลายยาก (Insoluble inorganic phosphate) เป็นแหล่งฟอสเฟต เช่น ไตรแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) หินฟอสเฟต หรืออะพาไทต์ เติมนลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ เช่น Pikovskaya's medium, Czapek's medium และ NBRIP เป็นต้น ทำการแยกเชื้อบนอาหารแข็งที่เติมน้ำ โดยวิธี Plate screening method สังเกตการสร้างบริเวณใสรอบโคโลนีของเชื้อที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ ศึกษาการละลายและหาปริมาณฟอสเฟตที่ละลายในอาหารเหลว (Liquid culture) การแยกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งพบการสูญเสียคุณสมบัติการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรีย Sperber (1958) รายงานว่าแบคทีเรียที่แยกจาก Rhizosphere ประมาณ 30-40 % และประมาณ 50 % ที่แยกจากดิน สูญเสียความสามารถในการละลายฟอสเฟตในรูปอะพาไทต์ ภายหลังทำการทดสอบบนอาหารแข็งในครั้งต่อไปและหลังจากถ่ายเชื้อผ่านไปจำนวน 6 ครั้ง คงเหลือแบคทีเรียที่แสดงการละลายฟอสเฟตได้อีกเพียงเล็กน้อย

การละลายฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์มีอย่างน้อย 2 กลไก คือ กลไกแรกที่สำคัญคือ การสร้างและปลดปล่อยกรดอินทรีย์ (Organic acid) ออกนอกเซลล์ ทำให้เกิดการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสภาพแวดล้อม กรดอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สร้างและปลดปล่อยออกมามีหลายชนิด เช่น Acetic acid, Gluconic acid, 2-ketogluconic acid, Lactic acid, Malonic acid, Oxalic acid และ

Succinic acid (Rodríguez and Fraga, 1999) ชนิดของกรดอินทรีย์ใน Culture filtrate ที่เกี่ยวข้องกับการละลายฟอสเฟตจากแบคทีเรียหลายชนิด สังเกตว่ากรดอินทรีย์ที่เชื้อแต่ละชนิดสร้างและปลดปล่อยออกมามีความคล้ายคลึงกัน แตกต่างกันบ้างที่จำนวนชนิดของกรดที่สามารถวิเคราะห์ได้ นอกจากนี้เชื้อชนิดเดียวกันอาจผลิตกรดที่เหมือนหรือต่างชนิดกันซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับอาหาร สภาพแวดล้อม เชื้อและวิธีการ กลไกการปลดปล่อยฟอสเฟตที่ถูกดูดซับหรือตกตะกอนอยู่กับธาตุโลหะประจุบวกของกรดอินทรีย์ เกิดจากการแข่งขันกันระหว่างไอออนประจุลบของกรดอินทรีย์กับฟอสเฟต ในการทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะประจุบวก เช่น เหล็ก (Fe), อะลูมิเนียม (Al) แมกนีเซียม (Mg) และแคลเซียม (Ca) ไอออนประจุลบของกรดอินทรีย์สามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพมากกว่าและทำให้ฟอสเฟตที่จับยึดอยู่กับโลหะประจุบวกถูกปลดปล่อยออกมาและอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช นอกจากบทบาทในการเพิ่มธาตุอาหารพืชของกรดอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอาหารพืชที่เคลื่อนที่ได้ยากอย่าง เช่น ฟอสฟอรัสพบว่ากรดอินทรีย์มีบทบาทในการลดความเป็นพิษของธาตุโลหะหนักบางชนิดให้กับพืชในดิน เช่น อะลูมิเนียม และสังกะสี (Jones, 1998; Ryan et al., 2001) กลไกที่สองเกี่ยวข้องกับการผลิตซัลไฟด์ (Sulfide) โดยจุลินทรีย์พวก *Desulfovibrio* ผลิตซัลไฟด์จากสารอินทรีย์กำมะถัน ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ Ferric phosphate ซึ่งไม่ละลายน้ำ กลายเป็น Ferrous sulfide ละลายน้ำได้ (สมศักดิ์, 2528)

การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในทางการเกษตรและการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตกับไม้ผล

จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตทั้งแบคทีเรียและรา ได้รับความสนใจศึกษาและพัฒนาจากหลายประเทศ ตั้งแต่การคัดเลือกเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อนำมาผลิตเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพัฒนาให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ ในรูปของผงเชื้อ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาและมีขายในทางการค้า เช่น ฟอสโฟแบคทีริน จากประเทศรัสเซีย ไออาร์ไมโครฟอส จากประเทศอินเดียและไบโอฟอสก้า จากประเทศไทย (อาภารัตน์, 2549)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ในงานทดลองของ Pradhan and Sukla (2005) ได้ทดสอบเชื้อรา 2 สายพันธุ์ที่ย่อย Tricalcium phosphate เพื่อหาประสิทธิภาพอาหารแข็งและอาหารเหลว แยกได้ คือ *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. ละลายได้ $48 \mu\text{gP ml}^{-1}$ และ $275 \mu\text{gP ml}^{-1}$ จาก Tricalcium phosphate 0.5% ส่วนในงานทดลองของ Dave and Patel (2003) และ Chung et al. (2005) พบว่าจุลินทรีย์ละลายแหล่งฟอสฟอรัสจาก Tricalcium

phosphate และหินฟอสเฟตสามารถเจริญได้ในสภาพอาหารที่มีความเป็นกรด รวมทั้งเพิ่มจุลินทรีย์กลุ่มที่มีศักยภาพในการย่อยละลายฟอสเฟตโดยมีส่วนร่วมกับการใช้หินฟอสเฟต ดังเช่นงานทดลองของ Seshadri et al. (2000) ศึกษาการละลายฟอสเฟตโดยแบคทีเรียสกุล *Azospirillum halopraeferans* ซึ่งพบมากบริเวณรากพืชในเขตร้อนชื้นและกึ่งร้อนชื้นในพืชตระกูลถั่วและอ้อย ได้ทดสอบใน Pikovskaya's medium พบแบคทีเรีย LMG 7109 มีค่าการละลายฟอสเฟตสูงสุดที่ $1,453 \text{ mgP l}^{-1}$ ใน 14 วัน และ Nibha et al. (2007) ศึกษาการละลายของ Tricalcium phosphate และหินฟอสเฟตในประเทศอินเดีย โดยการคัดเลือกจุลินทรีย์จากแร่โครไมต์ เหล็กและแมงกานีส ได้เชื้อรา 62 Isolates และแบคทีเรีย 253 Isolates จากจำนวนเหล่านี้ได้คัดกรองโดยใช้อาหารที่ผสม Tricalcium phosphate พบเชื้อรา 12 Isolates และแบคทีเรีย 19 Isolates แล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพการละลายพบว่า *Penicillium* sp. No.21 ละลายได้ในอาหารที่ผสม Tricalcium phosphate 81.48 mgP l^{-1} และ *Penicillium* sp. No.2 ละลายในหินฟอสเฟตได้ 4.87 mgP l^{-1} ขณะที่ Oliveira et al. (2009) ศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในดินบริเวณรอบๆ รากข้าวโพดในชุดดิน Oxisol ประเทศบราซิล พบแบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟตในอาหารที่ผสม tricalcium phosphate ซึ่ง B17 และ B5 มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อทดสอบประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตมีค่า 67 และ 58 % Total P ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) หลังจาก 10 วัน โดยจำแนกสายพันธุ์คือ *Bacillus* sp. และ *Burkholderia* sp. ตามลำดับ

El-Komy (2005) ได้ศึกษาการเพิ่มธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในข้าวสาลีของแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน *Azospirillum lipoferum* ร่วมกับแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *B. megaterium* โดยวิธีการตรึงเซลล์แบคทีเรียทั้งสองไว้บนวัสดุรองรับ พบว่าข้าวสาลีที่ได้รับเชื้อทั้งสองชนิด มีน้ำหนักแห้ง และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น อีกทั้งธาตุฟอสฟอรัสที่พบในพืชเพิ่มขึ้น 37 และ 53 % เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสาลีที่ได้รับเชื้อ *A. lipoferum* เพียงชนิดเดียว และข้าวสาลีที่ไม่ได้รับเชื้อทั้งสองชนิดตามลำดับ รวมถึงเสนอแนะว่าการใช้แบคทีเรียทั้งสองชนิดร่วมกันส่งเสริมการดูดซึมธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของพืชได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียช่วยปรับปรุงสมดุลธาตุอาหารให้แก่พืช

จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในธรรมชาติพบว่ามีรายงานการแยกเชื้อจากดินและบริเวณรอบรากพืช แสดงให้เห็นว่ามีทั้งแบคทีเรีย เชื้อราและแอคติโนมัยซิส ซึ่งแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟตได้มีหลากหลายชนิด ส่วนเชื้อราที่พบส่วนใหญ่เป็นพวก *Aspergillus* และ *Penicillium* โดยเชื้อที่แยกได้จาก Rhizosphere มีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตสูงกว่าเชื้อที่ไม่ได้แยกจาก Rhizosphere โดยแบคทีเรีย *Bacillus* และ *Pseudomonas* เป็นกลุ่มเชื้อที่มีศักยภาพสูงในการละลายฟอสเฟต (Tilak et al., 2005) แต่เชื้อราจะมีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตได้ดีกว่าแบคทีเรีย (Arcand and Schneider, 2006)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่ใช้กับไม้ผล งานทดลองของ Huseyin et al. (2007) ได้ศึกษาผลของการใช้เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของพืชและปริมาณธาตุอาหารไนโบแอปเปิล ได้ทำการทดลองตั้งแต่ปี 2002-2006 โดยใช้เชื้อ *Bacillus* M3, *Bacillus* OSU-142 และ *Microbacterium* FS01 ทดสอบโดยใช้เชื้อเดี่ยวหรือใช้รวมกันกับแอปเปิล (*Malus domestica* L.) เพื่อดูผลผลิต การเจริญเติบโต และธาตุอาหารไนโบ ทดลองในประเทศตุรกี พบว่าการใส่เชื้อ M3 และ/หรือ OSU-142 และ/หรือ FS01 ร่วมกัน ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและให้ผลผลิตที่แตกต่างกันทางสถิติ การใส่เชื้อทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (26.0-88.0%) น้ำหนักผล (13.9-25.5%) ความยาวต้น (16.4-29.6%) และเส้นผ่านศูนย์กลางเหนือราก (15.9-18.4%) มีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าควบคุม โดยธาตุอาหารทั้งหมดวิเคราะห์ได้ค่าที่เพิ่มขึ้นจากค่าควบคุม ยกเว้น Mg ปริมาณฟอสฟอรัสไนโบเพิ่มขึ้นจาก 0.29% ในค่าควบคุมเป็น 0.42, 0.37, 0.36 และ 0.35% พบในค่ารับที่ใส่ M3, M3+ FS01, M3+OSU-142 และ M3+OSU-142+ FS01 ตามลำดับ

Attia et al. (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้จุลินทรีย์ในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของกล้วยภายใต้อัตราการใส่ฟอสฟอรัสที่ต่างกัน ต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2005-2006 ในประเทศอียิปต์ พบว่าผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (PSB) และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่ต่างกันคือ 25%, 50% และ 75% P_2O_5 โดยเทียบกับค่าควบคุมที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว 100% P_2O_5 จากการใส่เชื้อ PSB (*Pseudomonas* spp. และ *Bacillus* spp.) มีการเพิ่มจำนวนของ PSB ทั้งสองชนิดนี้และพบมากที่สุดบริเวณรากกล้วยที่ใช้อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ 25% P_2O_5 ที่จะทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้นทั้งความยาวและเส้นใบ จำนวนและขนาดของใบ รวมทั้งน้ำหนักเครือและความยาว และคุณสมบัติทางเคมีบางประการ เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยมีค่าสูงสุด 3 อันดับแรกคือ ค่ารับที่มีการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งมากกว่าค่ารับควบคุมและค่ารับที่เติมจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียวซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกค่ารับ การทดลองและปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในใบกล้วยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในปี 2005 และปี 2006 ซึ่งพบว่าค่ารับการทดลองที่มีการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสไนโบสูงกว่าค่ารับที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพเพียงอย่างเดียวและการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว

Emine et al. (2006) ได้ศึกษาผลของ PGPR ต่อผลผลิต การเจริญเติบโตและธาตุอาหารพืชของราสเบอร์รี่อินทรีย์ ได้ทำการทดลองตั้งแต่ปี 2003-2005 ใช้ *Bacillus* 2 สายพันธุ์ คือ OSU-142 (N_2 -fixing) และ M3 (N_2 -fixing และ phosphate solubilizing) ทดลองโดยใช้แบบเดี่ยวและร่วมกันในประเทศตุรกี พบว่าค่ารับที่ใช้ *Bacillus* M3 ให้ผลผลิตและการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลผลิตมีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง *Bacillus* OSU-142 และ M3 (33.9% และ 74.9%) ความยาวของปล้อง (13.6% และ 15%) และจำนวนรากเบอร์รี่ต่อปล้อง (25.1% และ 36.0%) เมื่อเทียบกับค่าควบคุม ปริมาณธาตุอาหารในใบพบว่า ปริมาณ N ทั้งหมดในดิน ปริมาณ P, K, Ca, Mg, Zn และค่าความเป็นกรด-ด่างที่สกัดได้จากดินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีค่าที่เพิ่มขึ้นจาก $1.55 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ เป็น $2.83 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ โดย *Bacillus* สายพันธุ์ OSU-142 และ *Bacillus* สายพันธุ์ M3 มีค่า $5.36 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ ขณะที่ใช้ *Bacillus* ทั้ง 2 สายพันธุ์ OSU-142+M3 มีค่า $4.71 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้ *Bacillus* สายพันธุ์ M3 อย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับ *Bacillus* สายพันธุ์ OSU-142 มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิต การเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารของรากเบอร์รี่ภายใต้การปลูกแบบอินทรีย์

Esitken et al. (2010) ศึกษาผลการเจริญเติบโตโดยใช้แบคทีเรียต่อผลผลิตของผล การเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารพืช จากฟาร์มที่มีการจัดการแบบอินทรีย์ระหว่างปี 2006 และ ปี 2008 ใช้แบคทีเรีย 3 ชนิด คือ *Pseudomonas* BA-8, *Bacillus* OSU-142 and *Bacillus* M3 ซึ่งใช้แบบเดี่ยวหรือใช้ร่วมกัน แบคทีเรียทำให้ผลผลิต การเจริญเติบโตและปริมาณ P และ Zn ที่สกัดได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า M3+BA-8, BA-8+OSU-142, M3, M3+OSU-142 และ BA-8 เพิ่มผลผลิตได้ 33.2%, 18.4%, 18.2%, 15.3% และ 10.5% ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid) ค่ารับที่เติมจุลินทรีย์ BA-8 + OSU-142 มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุดคือ 9.08 °Brix และมีค่าระหว่าง 8.27-9.08 °Brix โดยทุกค่ารับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสในใบพบว่า ค่ารับที่มีการใช้ *Bacillus* M3 แบบเดี่ยว หรือใช้ร่วมกันกับ BA-8 และ/หรือ OSU-142 ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในใบมีค่าสูงสุด สูงกว่าค่ารับที่ไม่มีการใช้ *Bacillus* M3 และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. หินฟอสเฟตในการเกษตร

ฟอสฟอรัสมีความสำคัญกับการเจริญเติบโตของพืชและในดินมักพบปัญหาเกี่ยวกับการขาดหรือพืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ ส่วนมากจะเติมฟอสฟอรัสให้กับดินในรูปของปุ๋ยเคมี เช่น 15-15-15, 18-46-0 และ 16-20-0 เป็นต้น แต่จะทำให้เกิดผลกระทบกับดินจึงได้มีการเติมหินฟอสเฟตแทน แต่ก็มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติมหินฟอสเฟตลงในพื้นที่เพาะปลูก คือ วัตถุดิบกำเนิดและคุณสมบัติของหินฟอสเฟต การละลายช้า ขนาดของหินฟอสเฟต ชนิดและความต้องการของพืชที่ปลูก เวลาในการเติมปูนรวมถึงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน เช่น ความเป็นกรดเป็นด่างและการถูกตรึง (Richa, 2003) อาการ์ตัน (2549) กล่าวว่าแหล่งหินฟอสเฟตที่มีการ

สำรวจพบในประเทศไทย แบ่งตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 3 ลักษณะคือ แบบหินอัคนี แบบกัวโน และแบบหินตะกอนภาคพื้นมหาสมุทร แหล่งหินฟอสเฟตที่พบในประเทศไทย เป็นแหล่งแร่ ฟอสเฟตแบบกัวโน มีขนาดเล็ก พบตามถ้ำและเทือกเขาหินปูนในหลายจังหวัดของประเทศ หิน ฟอสเฟตที่พบส่วนใหญ่เป็นแบบกัวโน ที่เกิดจากการสะสมของมูลค้างคาว ซึ่งได้จากการสะสมของ มูลค้างคาว พบตามถ้ำและเทือกเขาหินปูน มีขนาดเล็กและปริมาณน้อย จึงไม่สามารถพัฒนาให้เป็น แหล่งแร่ฟอสเฟตที่มีศักยภาพสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยขนาดใหญ่ แหล่งแร่ฟอสเฟตแบบกัว โนพบได้หลายจังหวัดของประเทศไทย เช่น ราชบุรี กาญจนบุรี เพชรบูรณ์ แพร่ ลำพูน สุโขทัย เลย กระบี่ สุราษฎร์ธานี และภูเก็ต

หินฟอสเฟต

การใช้หินฟอสเฟตโดยทั่วไปเป็นการนำหินฟอสเฟตมาบดและใส่ลงดิน เพื่อใช้ เป็นปุ๋ยสำหรับเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสในดินโดยตรง หินฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นปุ๋ย ควรมีความฟอสเฟตทั้งหมดมากกว่า 20 % และมีปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช คิด ในรูป P_2O_5 ไม่น้อยกว่า 3% จึงจะเหมาะสำหรับการใช้เป็นปุ๋ยเพื่อเพิ่มฟอสฟอรัสให้แก่ดิน (ธงชัย, 2546) การใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยพบว่ามีข้อดี คือ สามารถใช้เป็นปุ๋ยได้โดยตรง มีราคาถูก ประหยัด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งธาตุอาหารอื่นที่จำเป็นสำหรับพืช ส่วนข้อเสีย บางประการของหินฟอสเฟตที่อาจจะไม่เหมาะสำหรับนำไปใช้กับพืชและดินบางชนิด เนื่องจากหิน ฟอสเฟตมีการละลายช้า จึงอาจไม่เหมาะจะนำไปใช้กับพืชที่มีระยะการเพาะปลูกสั้น อีกทั้งไม่ค่อย ละลายในดินที่มีสภาพเป็นด่างจึงทำให้ประสิทธิภาพของปุ๋ยลดลง นอกจากนี้หินฟอสเฟตยังมี องค์ประกอบของธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันตามแหล่งที่มา ทำให้คุณภาพและความเป็นประโยชน์ ของฟอสเฟตที่มีต่อพืชไม่แน่นอน (อาภารัตน์, 2549) ดังนั้นการนำหินฟอสเฟตมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง จึงควรคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตที่มีต่อพืชซึ่งมีอยู่ ด้วยกันหลายประการ ได้แก่ ปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากหิน ฟอสเฟต ความแปรปรวนจากขนาดของหินฟอสเฟต เกรดของหินฟอสเฟต คุณสมบัติของดินทั้ง ทางกายภาพและเคมีของดิน สภาพอากาศ ชนิดของพืช การจัดการภายในระบบการเกษตร และ วิธีการใส่ปุ๋ย เป็นต้น

การเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายของหินฟอสเฟตสามารถทำได้หลายวิธี เช่น โดยการบดให้เป็นผงละเอียด เเผาที่อุณหภูมิสูง ละลายหินฟอสเฟตในกรดและใช้จุลินทรีย์ที่มี ประสิทธิภาพในการละลายหินฟอสเฟต การเผาหินฟอสเฟตที่อุณหภูมิสูงและการละลายด้วยกรด

ถึงแม้จะเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตได้ดี แต่ต้นทุนในการดำเนินการค่อนข้างสูง ส่วนการบดหินฟอสเฟตให้เป็นผงนั้นจะเพิ่มการละลายของฟอสฟอรัสไม่มากนัก แต่ถ้านำหินฟอสเฟตมาใช้ร่วมกับวิธีชีวภาพ โดยการผสมคลุกเคล้ากับจุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถละลายฟอสเฟตก็จะให้ผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตดียิ่งขึ้น วิธีนี้ยังไม่ยุ่งยากซับซ้อนและต้นทุนในการผลิตไม่สูงมาก สำหรับไม้ผลอาจใช้หินฟอสเฟตบดเป็นปุ๋ยรองก้นหลุมหรือใส่เป็นประจำในกรณีที่ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในระดับต่ำถึงระดับปานกลางหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยสูตรต่างๆ สำหรับดินที่มีฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำ หินฟอสเฟตจะให้ผลดีมากโดยเฉพาะเมื่อดินเป็นกรดถึงกลาง ส่วนปริมาณที่ใช้กับไม้ผลแต่ละชนิดและไม้ผลอายุต่างกันต้องพิจารณาให้เหมาะสม การผลิตปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่ายและใช้ได้กับดินทุกสภาพ จึงได้มีการนำเอากรดมาทำปฏิกิริยากับหินฟอสเฟตที่บดละเอียด ผลที่ได้คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หรือละลายน้ำได้ 10-25 %P₂O₅ เรียกว่า Superphosphate หินฟอสเฟตที่ใส่ลงไปโดยตรงในดินส่วนมากจะละลายได้ช้ามาก ขึ้นอยู่กับชนิดของหินฟอสเฟตและความเป็นกรดของดิน ตลอดจนคุณสมบัติและอัตราการกระจายของอนุภาคของหินฟอสเฟต ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ Superphosphate ก็มีความสำคัญมาก เช่น อัตราการชะล้างของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำโดยเฉพาะในดินทรายและปริมาณของดินเหนียวในดินมีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งจะสามารถลดหรือป้องกันการชะล้างฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำได้ ลงไปสู่ดินชั้นล่างได้ (Barber, 1984)

5. ลำไย

ลำไย (Longan) เป็นไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อน มีลักษณะคล้ายลิ้นจี่และเงาะ นักพฤกษศาสตร์ได้จัดให้ลำไยเป็นไม้ผลตระกูล Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ อยู่หลายชื่อคือ *Euphoria longana* Lam.; *Euphoria longan* Strend.; *Nephelium longana* Camb. และ *Dimocarpus longan* Lour. ลำไยจัดเป็นไม้ผลสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคเหนือตอนบนของประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน โดยอนันต์ (2547) รายงานว่าลำไยให้คุณค่าทางด้านโภชนาการ ลำไยจัดว่าเป็นไม้ผลที่ให้พลังงานแก่ผู้บริโภคสูง เนื่องจากเนื้อของลำไยมีน้ำตาลอยู่ 3 ชนิดคือ กลูโคส ฟรุคโตสและซูโครส ผลลำไยสดและแห้งจะให้คุณค่าทางอาหารต่างๆ รวมทั้งแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ในทางการแพทย์แผนโบราณของจีนใช้ลำไยแห้งเป็นยาที่มีคุณสมบัติบำรุงหัวใจ บำรุงเลือด บำรุงประสาท ช่วยย่อยและเป็นอาหารบำรุงกำลัง เหมาะกับผู้ที่ร่างกายอ่อนแอ โดยเฉพาะหลังฟื้นจากโรคหรือหลังคลอดบุตรเพราะมีคุณสมบัติบำรุงเลือด บำรุงกำลังดีมาก นอกจากนี้ยังเป็นยาบำรุงประสาท จี๋ลิม กระสับกระส่าย เหงื่อออกมาก ด้วยเหตุนี้ลำไยจึงเป็นไม้ผลที่ถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญเนื่องจากมูลค่าการส่งออก

หลายพันล้านบาท ผลผลิตของลำไยสามารถส่งออกไปยังประเทศต่างๆ จากรายงานของ พาวิน (2543) พบว่า ผลผลิตของลำไยสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศทั้งในรูปของผลสดและอบแห้ง แช่แข็ง และลำไยกระป๋อง จึงทำให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์และกระทรวงพาณิชย์ได้จัดให้ลำไยเป็นผลไม้ยอดเยี่ยม (Product champion) สำหรับสถานการณ์ด้านการส่งออก กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2553) รายงานว่า เป็นผู้ส่งออกลำไยรายใหญ่ของโลก โดยมีตลาดส่งออกหลัก เช่น สาธารณรัฐประชาชนจีน อินโดนีเซีย สหราชอาณาจักรและเวียดนามในรูปของลำไยผลสด อบแห้ง และแช่แข็ง ส่วนลำไยกระป๋องตลาดส่งออกหลัก เช่น มาเลเซีย สิงคโปร์และสหรัฐอเมริกา กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2557) รายงานการส่งออกลำไยสดและผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ปี 2554-2556 มีปริมาณการส่งออกลำไยผลสด อบแห้ง แช่แข็งและกระป๋อง ในปี 2554 มีมูลค่าการส่งออกลำไยผลสด 6,209 ล้านบาท ขณะที่ในปี 2555 จะเห็นได้ว่าปริมาณการส่งออกลำไยอบแห้งและลำไยกระป๋องมีปริมาณลดลงแต่ในลำไยผลสดมีปริมาณเพิ่มขึ้น คิดเป็นมูลค่าการส่งออกของลำไยผลสด 8,454 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2554 จำนวน 2,245 ล้านบาท และในปี 2556 ปริมาณการส่งออกลำไยในรูปผลสดเพิ่มขึ้นจากปี 2554 และ ปี 2555 และปริมาณการส่งออกลำไยอบแห้งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากปี 2555 ดังตาราง 1

ตาราง 1 การส่งออกลำไยสด อบแห้ง แช่แข็ง และกระป๋อง ตั้งแต่ปี 2554-2556

ปี พ.ศ.	ลำไยผลสด	ลำไยอบแห้ง	ลำไยแช่แข็ง	ลำไยกระป๋อง
2554 ปริมาณ (ตัน)	382,013	162,441	28	12,146
มูลค่า (ล้านบาท)	6,209	8,232	3	579
2555 ปริมาณ (ตัน)	455,663	129,255	29	11,472
มูลค่า (ล้านบาท)	8,454	3,783	4	602
2556 ปริมาณ (ตัน)	413,400	140,232	55	12,274
มูลค่า (ล้านบาท)	8,503	4,026	9	633

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2557)

5.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเพาะปลูก

ดิน ลำไยสามารถเจริญเติบโตได้ดีกับดินแทบทุกชนิดแต่ดินที่เหมาะสมกับการปลูกลำไย คือ ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง เนื่องจากดินเป็นแหล่งที่ให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และออกดอกติดผล ลำไยต้องการดินที่มีค่าความเป็นกรดต่าง 5.0-7.0 และต้องเป็นดินที่มีการระบายน้ำดีเป็นพิเศษ

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญกับการเจริญเติบโต และการออกดอกของลำไย โดยทั่วไปแล้วลำไยต้องการอุณหภูมิต่ำในช่วงก่อนออกดอกเพื่อชักนำการเกิดตาดอก อุณหภูมิประมาณ 15–22 °C นานประมาณ 8–10 สัปดาห์ ยิ่งอากาศหนาวเย็น ลำไยก็จะมีการตอบสนองดีคือมีการออกดอกติดผลมาก อนันต์ (2547) กล่าวว่า ถ้าปีไหนอากาศหนาวเย็นนาน ๆ โดยไม่มีอากาศอบอุ่นเข้าแทรกลำไยจะมีการออกดอกติดผลดี เมื่อติดผลแล้วอุณหภูมิสูงขึ้นก็ไม่ส่งผลกระทบต่อ แต่ไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ผลแตก

น้ำ และปริมาณน้ำฝน น้ำเป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตของต้นลำไย เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่กำหนดความอุดมสมบูรณ์ และการเจริญเติบโตของต้นลำไยได้ โดยเฉพาะต้นที่ยังโตไม่เต็มที่ หากลำไยได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพออย่างสม่ำเสมอทั้งจากน้ำฝน และน้ำชลประทาน จะทำให้ต้นลำไยเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอ ต้นสมบูรณ์แข็งแรง ด้านทานต่อโรคได้ดี และโตเร็วกว่าการอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว ถ้าต้นลำไยขาดน้ำการเจริญเติบโตจะชะงัก แกร่งแกรน หรืออาจจะตายได้ ลำไยเป็นพืชที่ชอบน้ำขังและ ในแหล่งปลูกลำไยควรมีปริมาณน้ำฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยประมาณ 1,200–1,400 mm/year และจะต้องมีการให้น้ำช่วยด้วย ส่วนวันและการกระจายตัวของฝนควรมีประมาณ 100–150 day/year แต่อย่างไรก็ตามในบางช่วงลำไยต้องการน้ำน้อย คือ ช่วงก่อนออกดอก แต่ในช่วงออกดอกติดผลลำไยต้องการน้ำมาก

แสง โดยปกติลำไยจะออกดอกที่ปลายยอดบริเวณที่ได้รับแสง ส่วนกิ่งที่ไม่ได้รับแสงจะออกดอกน้อย ดังนั้นพื้นที่ปลูกลำไยส่วนใหญ่ต้องการแสงแดดตลอดเวลา เพื่อใช้ในการปรุงอาหารโดยการสังเคราะห์แสง สภาพโดยทั่วไปของประเทศไทยพบว่า เกือบทุกภาคของประเทศไทยมีความเข้มของแสงที่ต้นไม่จะใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสง และเจริญเติบโตได้เพียงพอ

ระดับความสูงของพื้นที่ ลำไยจะเจริญเติบโตได้ดีในเขตพื้นที่ราบลุ่มจนถึงพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000 เมตร

5.2 ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในการปลูกลำไย

การผลิตลำไยให้ได้ผลผลิตอย่างต่อเนื่อง จะต้องรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน หากดินขาดธาตุอาหารก็เพิ่มเติมธาตุลงไปให้กับต้นลำไยโดยการใส่ปุ๋ย แต่ถ้าไม่มีการจัดการปุ๋ยที่ดีลำไยก็จะเริ่มแสดงอาการขาดธาตุออกมา ดังนั้นควรต้องมีการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อจะทำให้ทราบว่าดินนั้นมีความอุดมสมบูรณ์เพียงใด โดยทำได้หลายวิธี เช่น การสังเกตอาการของพืช การวิเคราะห์ดินและการวิเคราะห์พืช วิธีการสังเกตอาการของพืชนั้นต้องมีการสังเกตต้นลำไย ซึ่งมีอาการผิดปกติไปจากเดิมหรือผลผลิตลดลงกว่าปีก่อนๆ หรือไม่ ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารในพืชหากดินมีการขาดแคลนธาตุหนึ่งธาตุใดหรือหลายธาตุ พืชจะมีลักษณะที่ผิดปกติ เช่น เจริญเติบโตช้า แคระแกรน ผลผลิตตกต่ำ ถ้าขาดรุนแรงมากพืชก็จะตาย เนื่องจากอาหารที่พืชแต่ละชนิดแสดงออกเมื่อเริ่มขาดธาตุหนึ่งจะแตกต่างกันมากในรายละเอียด เช่น ธาตุที่เริ่มแสดงอาการครั้งแรกที่ใบแก่ ซึ่งเป็นการขาดธาตุในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม หรือเริ่มแสดงอาการในใบอ่อนที่แตกออกมาใหม่ ได้แก่ ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และจุลธาตุ อย่างไรก็ตามเมื่อพบอาการที่แสดงว่าพืชขาดธาตุอาหาร ควรจัดการดังนี้ ถ้าปรากฏอาการในระยะเริ่มปลูกควรใส่ปุ๋ยที่พืชแสดงอาการขาดทางดินหรือทางใบ การพ่นทางใบจะแก้ไขได้เร็วกว่าแต่ต้องใส่ปุ๋ยทางดินร่วมด้วย เพื่อให้พืชได้รับธาตุนั้นอย่างเพียงพอตลอดฤดู สาเหตุที่พืชแสดงอาการอาจเกิดมาจากสาเหตุอื่นได้เช่นกัน เช่น แมลงรบกวน น้ำท่วมราก ดินแน่นเกินไป เป็นต้น นอกจากนี้สารกำจัดวัชพืชบางชนิด เช่น 2-4D, ไกลโฟเสท มีผลทำให้ใบลำไยผิดปกติ และหากไม่มีสาเหตุจากเรื่องโรคพืชหรืออื่นๆ จึงสามารถพิจารณาสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารพืชต่อไป รวมทั้งอาหารผิดปกติที่เกิดขึ้นมาจากดินที่มีสมบัติไม่เหมาะสมก็ได้ เช่น ดินเป็นกรดมีแนวโน้มที่จะขาดธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และโมลิบดีนัม และดินที่เป็นด่างมีแนวโน้มที่จะขาดฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส และโบรอน นอกจากนี้อาจเกิดจากการใส่ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักมากเกินไปทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน ทำให้พืชแสดงอาการขาดจุลธาตุอาหาร เช่น ดินที่มีฟอสฟอรัสมากเกินไปจะทำให้พืชมีอาการขาดธาตุ สังกะสี และทองแดง เป็นต้น ดังนั้นจึงควรทำการประเมินธาตุอาหารในดินโดยวิธีอื่นๆ ต่อไป สำหรับการสังเกตอาการของพืชจะต้องมีความเชี่ยวชาญ ไม่เช่นนั้นอาจทำให้การวินิจฉัยผิดพลาดได้ ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่ทำทุก 1-2 ปี คือการวิเคราะห์ดิน จะทำให้ทราบถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ทำได้โดยเก็บตัวอย่างดินบริเวณทรงพุ่มในสวนลำไย ส่งให้กับหน่วยงานที่มีบริการวิเคราะห์ดิน ปัจจุบันมีหน่วยงานการศึกษาหลายแห่งที่มีบริการด้านนี้ อาจจะต้องมีการเสียค่าใช้จ่าย เพราะการวิเคราะห์ต้องอาศัยเครื่องมือและสารเคมีที่มีราคาแพง แต่เมื่อเทียบกับผลที่จะได้รับนั้นถือ

ว่าคัมค่าเพราะสามารถที่จะให้ธาตุอาหารที่เหมาะสมแก่พืช ดังเช่นตาราง 15 (ภาคผนวก ก) แสดงปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในดินลำไย คือ ปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่าง ควรจะมีค่าเหมาะสมที่ 5.5-6.5, ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 2.0-3.0 %OM, ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม มีค่าที่เหมาะสมคือ 36-60 %P และ 100-120 %K เป็นต้น เมื่อได้ผลวิเคราะห์แล้วนำมาเทียบกับตารางพบว่าปริมาณธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณมากก็ไม่จำเป็นต้องใส่เพิ่ม และต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย ส่วนการวิเคราะห์พืชเป็นการตรวจสอบอาการของพืชที่แสดงผลได้ตรงจุด เมื่อพืชแสดงอาการขาด การใส่เพิ่มเติมลงไปทางดินจะต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆ เช่น สภาพความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง หรือรากถูกทำลาย ทำให้พืชไม่สามารถดูดธาตุอาหารได้อย่างเพียงพอ จึงแสดงอาการขาดอาหารออกมา ดังนั้นการใช้วิเคราะห์พืชซึ่งเป็นการนำชิ้นส่วนพืช เช่น ใบมาวิเคราะห์ว่ามีปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ซึ่งสามารถเทียบผลกับตาราง 16 (ภาคผนวก ก) ขณะที่ยุทธนา และคณะ (2543) ได้แสดงค่ามาตรฐานปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในใบลำไยทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ เช่น ปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) มีค่าที่เหมาะสมคือ 1.88-2.24 %N, 0.12-0.22 mgP kg⁻¹ และ 1.27-1.88 mgK kg⁻¹ ปริมาณแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) มีค่าที่เหมาะสมคือ 0.88-2.16 mgCa kg⁻¹ และ 0.20-0.31 mgMg kg⁻¹ และปริมาณเหล็ก (Fe), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), แมงกานีส (Mn) และโบรอน (B) มีค่าที่เหมาะสมคือ 68.11-86.99 mgFe kg⁻¹, 16.99-24.29 mgZn kg⁻¹, 16.32-18.45 mgCu kg⁻¹, 47.00-80.46 mgMn kg⁻¹ และ 22.30-45.58 mgB kg⁻¹ โดยสรุปแล้วการวิเคราะห์พืชจะมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. วินิจฉัยการขาดธาตุอาหารของพืช เพื่อยืนยันการขาดธาตุอาหารของพืชโดยสังเกตและการวิเคราะห์ดิน
2. ตรวจสอบระดับธาตุอาหารในพืชตลอดฤดูปลูกเพื่อประเมินความเพียงพอของปุ๋ยที่ใช้ และการจัดการอื่นๆ ที่มีผลต่อการใช้ธาตุอาหารของพืช เพื่อให้แน่ใจว่าพืชได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอตลอดฤดูปลูก (พาวัน และคณะ, 2547)

ในแต่ละปีลำไยต้องการธาตุอาหารในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ขณะที่ส่วนต่างๆ ของพืชจะมีการดูดใช้ธาตุอาหารอย่างเหมาะสมตามความต้องการในแต่ละระยะการเติบโต ซึ่งพาวัน (2544) ได้อธิบายปริมาณธาตุอาหารหลักที่ลำไยใช้ในระยะเวลาแตกช่อใบ ดังตาราง 17 (ภาคผนวก ก) โดยวัดจากขนาดทรงพุ่มของลำไยตั้งแต่ 1-7 เมตร ต่อปริมาณธาตุอาหารหลักที่ลำไยใช้ในระยะเวลาแตกช่อใบ เช่น ลำไยมีขนาดทรงพุ่ม 5 เมตร ต้องการปริมาณไนโตรเจน 96.4 กรัมต่อต้น ปริมาณฟอสฟอรัส 7.7 กรัมต่อต้น และปริมาณโพแทสเซียม 60.3 กรัมต่อต้น เมื่อลำไยได้รับปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอจะให้ผลผลิตที่ดี จึงควรทราบถึงปริมาณธาตุอาหารที่ลำไยต้องการในการสร้างผลผลิต ซึ่งสมคิด (2539) และ สัตยชัย (2538) ได้สรุปปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของ

ผลลำไยพันธุ์อีดอในระยะผลแก่ ดังตาราง 18 (ภาคผนวก ก) จากผลการวิเคราะห์ของสมคิด (2539) และ สัตยชัย (2538) ได้แยกส่วนต่างๆ ของผลลำไยคือ เปลือก เนื้อ และเมล็ด ให้ค่าปริมาณไนโตรเจน (N) ในเปลือกเท่ากับ 1.06 และ 0.88 %N ในเนื้อเท่ากับ 0.78 และ 0.76 %N ส่วนในเมล็ดมีค่า 1.11 และ 1.02 %N สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในเปลือกมีค่า 0.09 %P ในเนื้อมีค่า 0.15 และ 0.13 %P ในเมล็ดมีค่า 0.15 และ 0.14 %P ขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมในเปลือกมีค่า 0.67 และ 0.45 %K ในเนื้อมีค่าอยู่ที่ 1.11 และ 1.39 %K ส่วนปริมาณโพแทสเซียมในเมล็ดมีค่า 0.53 และ 0.31 %K เป็นต้น เมื่อทราบถึงความต้องการของลำไยเพื่อใช้ในระยะเริ่มต้นจึงให้ผลผลิตเพื่อเก็บเกี่ยว จะต้องมีการสูญเสียธาตุอาหารซึ่งติดไปกับผลผลิตของลำไย ขณะที่ยุทธนา และคณะ (2545) ได้ประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตของลำไยในการเปรียบเทียบกับผลผลิตลำไย 1 กิโลกรัม ในตาราง 19 (ภาคผนวก ก) ซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตมากที่สุดคือ ปริมาณโพแทสเซียม (K) โดยติดไป 3.73 g kg^{-1} รองลงมาคือปริมาณไนโตรเจน (N) 3.71 g kg^{-1} ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ปริมาณติดไปมีค่า 0.42 g kg^{-1} และแคลเซียม (Ca) มีค่า 1.53 g kg^{-1} สำหรับปริมาณแมกนีเซียม (Mg), เหล็ก (Fe), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), แมงกานีส (Mn) และ โบรอน (B) มีปริมาณที่ติดไปกับผลผลิตคือ 0.26, 0.0204, 0.0044, 0.032, 0.015 และ $0.0064 \text{ mg kg}^{-1}$ เมื่อเราทราบปริมาณธาตุอาหารที่ลำไยต้องการในระยะต่างๆ และปริมาณธาตุอาหารติดไปกับผลผลิตก็จะสามารถจัดการปุ๋ยได้อย่างถูกวิธีและมีประสิทธิภาพ

การรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อให้ต้นลำไยมีธาตุอาหารเพียงพอเพื่อการเจริญเติบโต การออกดอกอย่างสม่ำเสมอ และให้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพจำเป็นต้องมีการให้ปุ๋ยหรือเติมธาตุอาหารลงไปในดินเพื่อทดแทนส่วนที่สูญเสียไปหรือใช้ไปทุกปี (ปฏิภาณ, 2555) แต่อย่างไรก็ตามการผลิตลำไยอินทรีย์จะไม่สามารถใช้ปุ๋ยเคมีได้ ต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือวัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติเท่านั้น การจัดการธาตุอาหารลำไยอินทรีย์จึงต้องมีการศึกษาเพื่อคัดเลือกชนิดของวัตถุดิบที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงในการปลดปล่อยธาตุอาหารแก่ต้นลำไย รวมทั้งการพิจารณาความเหมาะสมชนิดของดินในการผลิต

เกษตรอินทรีย์

เกษตรอินทรีย์ เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่คำนึงถึงการใช้ปัจจัยการผลิตจากสารอินทรีย์ เพื่อรักษาความสมดุลของธรรมชาติ เลี่ยงการปฏิบัติที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนของมวลสารในผลผลิต รักษาสภาพแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพโดยมีระบบการจัดการนิเวศวิทยาที่คล้ายคลึงกับธรรมชาติและหลีกเลี่ยงการใช้สารสังเคราะห์ที่อาจก่อให้เกิดมลพิษใน

สภาพแวดล้อม รวมถึงการนำภูมิปัญญาชาวบ้านมาใช้ประโยชน์ด้วยเน้นการใช้อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยชีวภาพในการปรับปรุงดินให้มีความสมบูรณ์ การปลูกพืชหมุนเวียน รวมทั้งใช้หลักการควบคุมศัตรูพืชโดยชีวภาพ และเน้นการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน

เนื่องจากผู้ผลิตและผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเริ่มคำนึงถึงสุขภาพ ความปลอดภัย มลพิษในสิ่งแวดล้อมที่มากขึ้น ในปัจจุบันมีข้อกำหนดมาตรฐานการผลิตเกษตรอินทรีย์ในระดับสากลและใช้บังคับอยู่แล้วในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ได้ประกาศใช้พระราชบัญญัติผลิตภัณฑ์อาหารอินทรีย์ (Organic Food Production Act - OFPA) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 และแก้ไขเพิ่มเติมในปี พ.ศ. 2539 ตลาดร่วมยุโรป (European Union - Eu) ได้รวบรวมข้อกำหนดของผลิตผลเกษตรอินทรีย์ไว้ในข้อกำหนดของสภายุโรป (EEC No. 2092 / 91) และฉบับแก้ไข องค์การการค้าโลกยังไม่มีข้อกำหนดการผลิตเกษตรอินทรีย์แต่ใช้การปฏิบัติตามคำแนะนำของสมาพันธ์ผู้ผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federation of Organic Agriculture Movement - IFOAM) เพื่อให้บริการรองรับระบบกำหนดหน่วยตรวจ IOAS (International Organic Accreditation Service) ขึ้นเพื่อทำหน้าที่ให้บริการรองรับระบบงานนี้ ภายใต้กรอบของโครงการรับรองระบบงานอินทรีย์ IFOAM นี้จาก IOAS ตั้งแต่ปี 2544 โดยเป็นหน่วยรองรับเกษตรอินทรีย์แห่งแรกในเอเชียที่ได้รับรองในระบบงานนี้ สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) สามารถให้บริการตรวจรับรองเกษตรอินทรีย์ในขอบข่ายการปลูกพืช การเก็บผลผลิตจากป่าและพื้นที่ธรรมชาติ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การแปรรูปและจัดการผลผลิต และปัจจัยการผลิตเพื่อการค้า (สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์, 2555)

ปุ๋ยอินทรีย์ คือสารประกอบที่ได้จากสิ่งที่มีชีวิตได้แก่ พืช สัตว์และจุลินทรีย์ ผ่านกระบวนการผลิตทางธรรมชาติ ปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี รากพืชสามารถชอนไชได้ง่ายขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี ซึ่งธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ไนโตรเจนอยู่ในสารประกอบจำพวกโปรตีน เมื่อใส่ลงไปในดินพืชจะไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน แล้วปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นออกมาในรูปสารประกอบอินทรีย์ เช่นเดียวกันกับปุ๋ยเคมี จากนั้นพืชจึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ปุ๋ยอินทรีย์มี 3 ประเภท

1. ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์เลี้ยง เช่น โค กระบือ สุกร เป็ด ไก่และห่าน เป็นต้น โดยอาจจะใช้ในรูปแบบปุ๋ยคอกแบบมูลสด แบบแห้งหรือนำไปหมักให้เกิดการย่อยสลายก่อนแล้วค่อยนำไปใช้ ซึ่งต้องคำนึงถึงชนิดของดินและพืชที่ปลูกด้วย

โดยเฉพาะการใช้แบบมูลสดอาจทำให้เกิดความร้อนและมีการดึงธาตุอาหารบางตัวไปใช้ในการย่อยสลายมูลสัตว์แบบสด ซึ่งอาจทำให้มีผลกระทบต่อพืชรุนแรงถึงขั้นเหี่ยวและตายได้ นอกจากนี้จะมีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มธาตุอาหารพืชในดินแล้ว ยังช่วยทำให้ดินโปร่งและร่วนซุย ทำให้การเตรียมดินง่าย การตั้งตัวของต้นกล้าเร็วทำให้มีโอกาสรอดได้มาก

2. ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งได้จากการนำชิ้นส่วนของพืช วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น หญ้าแห้ง ใบไม้ ฟางข้าว ชังข้าวโพด กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาลและแกลบจากโรงสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ เป็นต้น มาหมักในรูปของการกองซ้อนกันบนพื้นดินหรืออยู่ในหลุม เพื่อให้ผ่านกระบวนการย่อยสลายให้เน่าเปื่อยโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้สารอินทรีย์วัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ

3. ปุ๋ยพืชสด เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการปลูกพืชบำรุงดินซึ่งได้แก่พืชตระกูลถั่วต่างๆ แล้วทำการไถกลบในช่วงที่กำลังออกดอก พืชตระกูลถั่วที่ควรใช้เป็นปุ๋ยพืชสดควรมีอายุสั้น มีระบบรากลึก ทนแล้ง ทนโรคและแมลงได้ดี เป็นพืชที่ปลูกง่ายและมีเมล็ดมาก ตัวอย่างพืชเหล่านี้ก็ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วเขียว ถั่วลาย ปอเทือง ถั่วขอ ถั่วแปบและโสน(ยงยุทธ และคณะ, 2551)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วิธีการวิจัย

1. สํารวจพื้นที่ทำการวิจัย

สำรวจพื้นที่สวนลำไยจากกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคเหนือตอนบนที่ได้รับมาตรฐานเกษตรอินทรีย์จากกรมวิชาการเกษตรจำนวน 2 สวน คือ สวนลำไยอินทรีย์ในเขตอำเภอคอสะเกตและสวนลำไยอินทรีย์ในเขตอำเภอสันป่าตอง ทั้งหมด 36 ต้น โดยแบ่งการทดลองเป็นสวนละ 18 ต้น

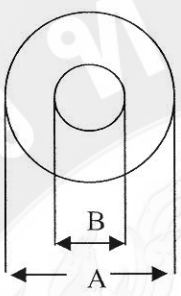
2. คัดเลือกแบคทีเรียจากตัวอย่างดิน

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนการวิจัย โดยเก็บดินได้ทรงพุ่มของลำไยที่จะทำการทดลองทุกต้นในดิน 2 ระดับ คือ ดินบน (0-5 cm) และดินล่าง (5-10 cm) วิธีการแยกเชื้อแบคทีเรียจากตัวอย่างดิน ด้วยวิธี Spread plate Technique (Prescott, 2002) ซึ่งตัวอย่าง 10 g เติมนลงในน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 95 ml เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นทำให้สารละลายเจือจางตั้งแต่ 10^{-2} - 10^{-6} คูดตัวอย่างสารแขวนลอยดินลงบน Czapek's medium จำนวน 0.1 ml ซึ่งมีการเติม Congo red 1% เพื่อให้เห็นวงใส (Clear zone) ได้อย่างชัดเจน จากนั้นใช้แท่งแก้วทดสอบการละลายเป็นวงกลมจนสารละลายซึมลงบนผิวหน้าอาหาร ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ และบ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องจนครบ 7 วัน ทำการคัดเลือกเชื้อที่เกิดวงใสและลักษณะที่แตกต่างกัน จากนั้นเขี่ยตัวอย่างแบคทีเรียลงบนอาหาร NA (Nutrient Agar) แบบ Cross streak จำนวน 3 ซ้ำ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง ทำซ้ำจนได้เชื้อแบคทีเรียที่บริสุทธิ์ เก็บรักษาเชื้อที่แยกได้ใน NA Slant ที่อุณหภูมิห้อง (Prescott, 2002)

3. การคัดเลือกแบคทีเรียย่อยละลายฟอสเฟตบนอาหารแข็ง

เมื่อได้ตัวอย่างแบคทีเรียที่บริสุทธิ์แล้วนำมาวัดประสิทธิภาพการย่อยละลายฟอสเฟตในอาหารแข็งโดยการ เขี่ยเชื้อแบคทีเรียที่บริสุทธิ์แล้วลงบนอาหารแข็งที่มี $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ เป็นแหล่งฟอสฟอรัส และใส่ Congo red 1% 10 ml ต่ออาหารวุ้น 1 ลิตร เพื่อให้เห็นการเจริญเติบโตและวงใสได้ชัดเจน ทำ 3 ซ้ำ บ่มไว้ 7 วัน จากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส (Clear zone) ที่เกิดรอบ Colony ของจุลินทรีย์และคำนวณดัชนีการละลายฟอสเฟตตาม Solubilization Index (SI) (Edi-

Premono, 1996) เพื่อหาแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 5 Isolates จากอาหารแข็ง และนำไปทดสอบในอาหารเหลวต่อไป (Prescott, 2002)

$$\text{Solubilization Index (SI)} = \frac{\text{Colony diameter} + \text{Halo diameter}}{\text{Colony diameter}}$$


A = Colony diameter + Halo diameter

B = Colony diameter

4. การวัดประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตในอาหารเหลวและการขยายเชื้อแบคทีเรีย

นำแบคทีเรียที่คัดเลือกจากอาหารแข็งในข้อ 3 ที่มีวงใสกว้างที่สุด 5 อันดับแรกมาทดสอบโดยใช้ Cork borer (เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm) เจาะตัวอย่างเชื้อบริสุทธิ์ที่คัดเลือกใส่ในอาหารเหลวที่บรรจุใน Erlenmeyer flask เลี้ยงไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3, 5 และ 7 วัน โดยมีการทดลอง 3 ซ้ำ เมื่อครบกำหนดระยะ กรองด้วยกระดาษกรอง แล้วนำมาวัดความเป็นกรด-ด่างทันที และวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธี Molybdenum-blue โดยพัฒนาสีด้วย Ascorbic acid (Murphy and Riley, 1962; สมพร, 2549)

เมื่อคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียได้แล้วทำการขยายเชื้อโดยการนำตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียที่มีวงใสกว้างที่สุด 2 เชื้อไปขยายใน Erlenmeyer flask ขนาด 1,000 ml โดยการใช้ loop เผลาไฟเจียเชื้อแบคทีเรียที่คัดเลือกลงไปใน Erlenmeyer flask เขย่าจนสังเกตได้ว่าเชื้อแบคทีเรียมีการเจริญเต็มที่แล้วจะมีลักษณะขุ่น ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้เวลาประมาณ 7 วัน และนำมาวัดจำนวนแบคทีเรียให้มีปริมาณเชื้อโดยประมาณ 10^7 - 10^8 cell ml⁻¹ แล้วทำตามดำรับการทดลอง

การวางดำรับการทดลอง

โดยแบ่งดำรับการทดลอง 6 ดำรับ 3 ซ้ำ คือ ดำรับควบคุม ดำรับที่เติมหินฟอสเฟต ดำรับที่เติมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด (ซึ่งคัดเลือกจากห้องปฏิบัติการ) ดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ดำรับที่เติมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพรองลงมา ดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพรองลงมา ได้ทำการวางแผนการทดลอง 2 แบบ คือ CRD (Completely Randomized Design) และ RCBD (Randomized Complete Block

Design) 3 ซ้ำ โดยสวนในอำเภอคอยสะเก็ดใช้วิธีการทดลองแบบ RCBD และสวนในอำเภอสันป่าตองใช้วิธีการทดลองแบบ CRD เนื่องจากมีความแตกต่างของพื้นที่ โดยทำการวางดำรับเหมือนกันทั้ง 2 สวน ดังนี้

ดำรับที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์

ดำรับที่ 2 หินฟอสเฟตในอัตรา 30 kg rai⁻¹

ดำรับที่ 3 เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตสูงสุด (10^8 cell ml⁻¹) ปริมาณ 125 ml โดยผสมน้ำและราครอบๆ ทรงพุ่มลำไย

ดำรับที่ 4 เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตสูงสุด (10^8 cell ml⁻¹) ปริมาณ 125 ml โดยผสมน้ำและราครอบๆ ทรงพุ่มลำไยร่วมกับหินฟอสเฟตในอัตรา 30 kg rai⁻¹

ดำรับที่ 5 เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตรองลงมา (10^8 cell ml⁻¹) ปริมาณ 125 ml โดยผสมน้ำและราครอบๆ ทรงพุ่มลำไย

ดำรับที่ 6 ใส่เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตรองลงมา (10^8 cell ml⁻¹) ปริมาณ 125 ml โดยผสมน้ำและราครอบๆ ทรงพุ่มลำไยร่วมกับหินฟอสเฟตในอัตรา 30 kg rai⁻¹

การวางแผนการทดลองในการเก็บตัวอย่างดิน ตัวอย่างใบและตัวอย่างผลลำไย

1. ก่อนการทดลองในเดือนมีนาคม 2555 เก็บตัวอย่างดินเพื่อทำการทดสอบจุลินทรีย์
2. เมื่อได้เชื้อที่มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตจึงทำตามแผนการทดลองในเดือนเมษายน 2555 พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินและตัวอย่างใบลำไยเพื่อทำการวิเคราะห์ทางเคมีดินก่อนการทดลอง

3. ทำการเก็บตัวอย่างดินหลังจาก 6 สัปดาห์ที่มีการวางดำรับทดลองในเดือนกรกฎาคม 2555

4. ทำการเก็บตัวอย่างดินในระยะการเก็บเกี่ยวผลผลิต (ผลลำไยสุกเต็มที่) ในเดือนตุลาคม 2555 เก็บตัวอย่างใบลำไยจากกิ่งที่ติดผลและกิ่งที่ไม่ติดผล รวมถึงผลลำไยที่สุกแล้วเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพแล้วปริมาณฟอสฟอรัสในแต่ละส่วนของผลลำไย โดยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ทำการคัดเลือกหาประสิทธิภาพของแบคทีเรียในการละลายฟอสเฟตในห้องปฏิบัติการและวางดำรับการทดลอง

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ผลของดำรับการทดลองต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ผลของค่ารับการทดลองต่อปริมาณฟอสฟอรัสในใบและผลลำไย รวมทั้งความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสในใบและผลลำไย

5. การเก็บตัวอย่างดินและพืช

1. สุ่มเก็บตัวอย่างดินโดยแบ่งเป็นดินบนที่มีความลึก 0-5 cm และดินล่าง 5-10 cm ทำการเก็บได้ทรงพุ่มลำไยทุกต้น ต้นละ 4 จุด ทำให้แห้งโดยตากดินไว้ในที่ร่ม (Air-dried) เมื่อแห้งแล้วจึงนำไปบดโดยใช้โกร่งบดดินและร่อนตะแกรงที่มีความละเอียด 2.0 mm และ 0.5 mm

2. การเก็บตัวอย่างใบลำไยทำการเก็บใบที่ 3 และ 4 นับจากยอดในระยะก่อนออกดอกและระยะติดผล นำใบลำไยมาล้างด้วยน้ำยาล้างจานเล็กน้อยเพื่อทำความสะอาดฝุ่นละอองและล้างน้ำประปาหลายๆ ครั้ง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นขั้นตอนสุดท้าย สลัดให้หมดหรือผึ่งให้หมาด นำเข้าตู้อบ (Oven air-dry) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 วัน (48 ชั่วโมง) หรือจนกระทั่งตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างพืชไปบด ด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืชแล้วบรรจุลงซองกระดาษสำหรับใส่ตัวอย่างพืช การนำตัวอย่างพืชมาใช้ทุกครั้งควรนำมาอบไล่ความชื้นทุกครั้งอย่างน้อย 30 นาที

3. การทำตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์โดยวิธีเผา (Dry Ashing) นำตัวอย่างใบที่บดแล้วเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 30 นาที นำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 °C ประมาณ 6-8 ชั่วโมง เมื่อได้ขี้เถ้าในถ้วยกระเบื้องเคลือบให้นำมาละลายด้วยกรด HCl 2 N จำนวน 15 ml ต่อน้ำกลั่น 15 ml หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง เก็บไว้ในขวดพลาสติกเป็น Stock เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาฟอสฟอรัส

6. วิธีการเก็บข้อมูลของผลลำไย

1. นำตัวอย่างผลทั้ง 6 คำรับ โดยแต่ละคำรับสุ่มมาจำนวน 25 ผล มาล้างทำความสะอาดบริเวณผิวโดยใช้น้ำยาล้างจานเล็กน้อยและล้างน้ำประปาหลายๆ ครั้งจนสะอาด ทำให้สะเด็ดน้ำและวัดขนาดผลโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Calipers)

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS) ตัวอย่างผลที่ได้จะถูกแยกส่วนเนื้อลำไย บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร แล้ววัดปริมาณ TSS ในสารละลายที่กรองแล้วด้วย Hand refractometer

3. แยกเปลือก เมล็ด เนื้อ ชั่งน้ำหนักเปียก (g) นำไปอบอุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 วัน นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง บดและเก็บไว้ในซองกระดาษเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

วิธีคำนวณการหาคุณภาพของลำไย

เปอร์เซ็นต์ในส่วนที่รับประทานได้ (Edible part) ของผลลำไยคำนวณได้จาก น้ำหนักรวมของผลลำไยต่อน้ำหนักเนื้อลำไย

$$\% \text{ ส่วนที่รับประทานได้ (Edible)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักเนื้อลำไย}}{\text{น้ำหนักรวมของผลลำไย}}$$

7. การวิเคราะห์ดินและพืช

1. การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยชั่งดิน 10 g ต่อน้ำกลั่น 10 ml คนให้เข้ากันทิ้งไว้ 5 นาที ทำ 2 รอบ และคนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 15 นาที วัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้ pH meter (นงลักษณ์, 2548)

2. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic mater) นำมาวิเคราะห์โดยชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm จำนวน 1 g เติมน้ำใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml เติมน้ำละลาย $K_2Cr_2O_7$ 10 ml เขย่าเบาๆ ให้เข้ากันและเติม H_2SO_4 เข้มข้น 20 ml ทิ้งไว้ 30 นาที ในตู้ดูดควัน เติมน้ำกลั่น 100 ml หยด O-phenanthroline เป็นอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด แล้วไทเทรตด้วย 0.5 N Ferrous sulphate จนเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง บันทึกเพื่อนำมาคำนวณค่า (นงลักษณ์, 2548)

3. การวิเคราะห์ดินปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (Extractable phosphorus) ด้วยวิธี Bray II คือ การชั่งตัวอย่างดิน 2.5 g ใส่ลงในหลอดเซนต์ปีแยร์ที่มีฝาปิดได้มิดชิด เติมน้ำยาสกัด Bray II 25 ml นำไปเข้าเครื่องเขย่า 1 นาที แล้วนำมาปั่นเหวี่ยงให้ดินตกตะกอนและกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายที่ได้ไปพัฒนาสีด้วย Ascorbic acid แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer อ่านค่า %T ที่ Wave length 882 nm (Watanabe and Olsen, 1962)

4. การวิเคราะห์ดินปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) การชั่งดินที่บดแล้วจำนวน 1.0 g ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมน้ำผสมกรด ($HNO_3 : HClO_4 = 6:1$) ลงไปจำนวน 15 ml ทิ้งค้างคืน แล้วนำไปตั้งบน Hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ $80^\circ C$ ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละน้อยจนถึง $150^\circ C$ ทำการย่อยตัวอย่างจนกระทั่งมีควันสีขาวขึ้นนั้นจึงลงกระทั่งสารตัวอย่างได้จึงยกออกจากเตาทิ้งไว้ให้เย็น นำมากรองด้วยกระดาษกรองโดยใช้น้ำกลั่นชะตัวอย่างลงทีละน้อยจนแน่ใจว่าตัวอย่างดินไม่ติดอยู่ใน Erlenmeyer flask นั้นแล้ว ปรับปริมาตรให้ได้ 25 ml นำสารละลายที่ได้มาพัฒนาสีด้วย Ascorbic acid แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer อ่านค่า %T ที่ Wave length 882 nm (Watanabe and Olsen, 1962)

5. วิธีการพัฒนาสี สำหรับสารสกัดตัวอย่างพืชและผล คูดจากขวดสต็อก 5 ml หรือน้อยกว่านี้ได้ในกรณีพืชที่มีฟอสฟอรัสสูง คือ คูด 1 หรือ 2 ml ใส่ลงไปใน Volumetric flask ขนาด 25 ml เติมน้ำ Vanadate reagent (Mixed Reagent) 5 ml ลงใน Volumetric flask ปรับปริมาตรด้วย

นำกลั่น รอให้ครบ 20 นาที สีที่ได้จะมีสีเหลือง จากนั้นเข้าเครื่อง Spectrophotometer อ่านค่า %T ที่

Wave length 470 nm (Watanabe and Olsen, 1962)



บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการวิจัย

การคัดเลือกจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟตต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินและลำไยในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งได้สำรวจและทำการทดลองในช่วงก่อนลำไยติดดอกถึงช่วงระยะการเก็บเกี่ยว โดยพบว่าก่อนการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อการคัดเลือกและรวบรวมแบคทีเรียจากสวนลำไยอินทรีย์ทั้ง 2 สวน คือ สวนในอำเภอคอยสะเกิด และสวนในอำเภอสันป่าตอง เพื่อนำมาหาศึกษาหาจำนวนแบคทีเรียโดยรวมที่สามารถเจริญบนอาหารเฉพาะ Czapek's medium (Atlas, 1993) ที่มีอินทรีย์ฟอสเฟต $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_4$ เป็นสารประกอบ

จากตารางที่ 2 แสดงปริมาณแบคทีเรียโดยรวมก่อนการทดลองของสวนในอำเภอคอยสะเกิดจะเห็นว่ามีความหนาแน่นของแบคทีเรียทั้งหมดในดินบนคือ 1.39×10^7 cfu/g dry soil และในดินล่างมีความหนาแน่นของแบคทีเรียทั้งหมดเท่ากับ 1.25×10^7 cfu/g dry soil ส่วนค่าความชื้นในดินบนมีค่า 15.12 % ส่วนในดินล่างมีความชื้นเท่ากับ 13.86 % ขณะที่ตารางที่ 8 แสดงค่าปริมาณแบคทีเรียโดยรวมของสวนในอำเภอสันป่าตอง ซึ่งดินบนมีค่า 1.56×10^7 cfu/g dry soil และในดินล่างมีความหนาแน่นของแบคทีเรียโดยรวมเฉลี่ย 1.62×10^7 cfu/g dry soil ซึ่งพบว่ามีค่าความชื้นทั้งในดินบนและดินล่าง คือ 18.71 % และ 15.97 % ตามลำดับ

ตาราง 2 จำนวนแบคทีเรียโดยรวม Colony Forming Unit per Gram Dry Soil และปริมาณความชื้นในดิน (%) จากใต้ทรงพุ่มลำไยในอำเภอคอยสะเกิด

Soil level	Total Bacteria (10^7 cfu/g dry soil)	Moisture (%)
Top soil (0 - 5 cm.)	1.39	15.12
Sub soil (5 - 10 cm.)	1.25	13.86

ตาราง 3 จำนวนแบคทีเรียโดยรวม Colony Forming Unit per Gram Dry Soil และปริมาณความชื้นในดิน (%) จากใต้ทรงพุ่มลำไยในอำเภอสันป่าตอง

Soil level	Total Bacteria (10^7 cfu/g dry soil)	Moisture (%)
Top soil (0 - 5 cm.)	1.56	18.71
Sub soil (5 - 10 cm.)	1.62	15.97

โดยผู้ทดลองได้ทำการคัดเลือกแบคทีเรียที่มีลักษณะแตกต่างกันในภาพ 13 (ภาคผนวก ก) เช่น รูปร่างของโคโลนี (form) ระดับความนูนของโคโลนี (elavation) ริมหรือขอบโคโลนี (margins) เป็นต้น มาแยกในอาหาร Nutrient agar (NA) แบบ Cross streak จนได้เชื้อที่บริสุทธิ์ทั้งหมด 135 Isolates โดยในสวนอำเภอดอยสะเก็ด (DSK) แบ่งเป็น 50 Isolates คือ ดินบน 32 Isolates และดินล่าง 18 Isolates สำหรับในอำเภอสันป่าตอง (SPT) แบ่งเป็น 85 Isolates ซึ่งบนดินบน 46 Isolates และดินล่าง 39 Isolates เช่นในตารางที่ 4 นำมาวัดประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตในอาหารแข็งซึ่งพบว่าดัชนีการละลายฟอสเฟตมีขนาดตั้งแต่ 1.00-4.37 ขณะที่รูปร่างของโคโลนี (form) เป็นแบบ Puncti มากที่สุดทั้งหมด 33 Isolates มีความนูนของผิวหน้าโคโลนี (elavation) แบบ Convex มากที่สุดทั้งหมด 34 Isolates และรูปร่างริมหรือขอบโคโลนี (margins) เป็นแบบ Entire มากที่สุดคือ 49 Isolates ยังพบว่าแบคทีเรียบางส่วนไม่สามารถขยายเชื้อต่อได้และบางส่วนมีการปนื้อนของเชื้ออื่น จึงทำการคัดเลือกประสิทธิภาพการย่อยละลายฟอสเฟตสูงสุดซึ่งนับจากดัชนีการละลายฟอสเฟต (SI) ทั้งหมด 5 Isolates ตามลักษณะในภาพ 1 โดยแบคทีเรียที่คัดเลือกมาจากดินบนทั้งสิ้น จากสวนสันป่าตอง 2 Isolates คือ Isolate B04 และ Isolate B24 ส่วนสวนในดอยสะเก็ด 3 Isolates คือ Isolate B01, Isolate B03 และ Isolate B17 ซึ่งจะนำไปทดสอบในอาหารเหลวและอาหารแข็ง เพื่อคัดเลือกเชื้อ 2 Isolates ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและนำไปทดสอบการย่อยละลายฟอสเฟตในหัวข้อต่อไป

ตาราง 4 ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียบนผิวอาหารแข็งและดัชนีการละลายของแบคทีเรียในพื้นที่

Isolate	Form	Elevation	Margins	SI	Site
B01	Irregular	Flat	Undulate	4.07	DSK
B02	Puncti	Umbonate	Entire	1.73	SPT
B03	Puncti	Convex	Entire	2.70	DSK
B04	Circular	Convex	Entire	4.37	SPT
B05	Circular	Convex/Raised	Entire	1.17	DSK
B06	ND	ND	ND	ND	SPT
B07	Circular	Raised	Entire	1.30	DSK
B08	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B09	Puncti	Flat	Undulate/Entire	1.30	DSK
B10	Puncti	Raised	Entire	0.80	SPT
B11	Puncti	Convex	Entire	1.73	DSK
B12	Circular	Convex	Undulate	1.23	SPT
B13	Circular	Pulvinate	Entire	1.37	DSK
B14	Circular	Pulvinate	Entire	1.27	SPT
B15	Irregular	Convex	Undulate/Lobate	1.27	DSK
B16	ND	ND	ND	ND	SPT
B17	Puncti	Convex	Entire	2.53	DSK
B18	Irregular	Flat	Undulate/Entire	1.23	SPT
B19	Circular/Puncti	Raised	Undulate/Lobate	1.37	DSK
B20	ND	ND	ND	ND	SPT
B21	Puncti	Convex	Entire	1.33	DSK
B22	Puncti	Flat	Entire	1.03	SPT
B23	ND	ND	ND	ND	DSK
B24	Circular	Pulvinate	Entire	3.00	SPT
B25	Circular	Convex	Entire	1.33	DSK

ตาราง 4 (ต่อ)

Isolate	Form	Elevation	Margins	SI	Site
B26	Puncti	Convex	Entire	1.03	SPT
B27	Contaminate	ND	ND	ND	DSK
B28	Circular	Raised	Undulate	1.00	SPT
B29	Spreader	ND	ND	ND	DSK
B30	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B31	ND	ND	ND	ND	DSK
B32	ND	ND	ND	ND	SPT
B33	Puncti	Raised	Undulate/Entire	2.67	DSK
B34	ND	ND	ND	ND	SPT
B35	Contaminate	ND	ND	ND	DSK
B36	Contaminate	ND	ND	ND	SPT
B37	Contaminate	ND	ND	ND	DSK
B38	Circular	Convex	Entire	1.42	SPT
B39	Puncti	Convex	Undulate/Entire	2.33	DSK
B40	ND	ND	ND	ND	SPT
B41	Puncti	Convex	Undulate/Entire	1.00	DSK
B42	Circular	Raised	Entire	2.75	SPT
B43	ND	ND	ND	ND	DSK
B44	ND	ND	ND	ND	SPT
B45	Contaminate	ND	ND	ND	DSK
B46	Circular	Raised	Entire	1.00	SPT
B47	Spreader	ND	ND	ND	DSK
B48	ND	ND	ND	ND	SPT
B49	Circular	Raised	Undulate/Entire	2.71	DSK
B50	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B51	ND	ND	ND	ND	DSK
B52	Contaminate	ND	ND	ND	SPT

ตาราง 4 (ต่อ)

Isolate	Form	Elevation	Margins	SI	Site
B53	Contaminate	ND	ND	ND	DSK
B54	Circular	Raised	Undulate/Entire	3.00	SPT
B55	Spreader	ND	ND	ND	DSK
B56	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B57	ND	ND	ND	ND	DSK
B58	ND	ND	ND	ND	SPT
B59	ND	ND	ND	ND	DSK
B60	Irregular	Flat	Undulate/Lobate	1.71	SPT
B61	Puncti	Umbonate	Entire	2.69	DSK
B62	Puncti	Convex	Entire	1.67	SPT
B63	Circular	Convex	Entire	1.29	DSK
B64	Circular	Convex/Raised	Entire	2.79	SPT
B65	Spreader	ND	ND	ND	DSK
B66	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B67	ND	ND	ND	ND	DSK
B68	ND	ND	ND	ND	SPT
B69	Irregular	Flat	Undulate/Lobate	1.67	DSK
B70	Puncti	Umbonate	Entire	1.29	SPT
B71	Puncti	Convex	Entire	1.54	DSK
B72	Irregular	Flat	Undulate/Entire	1.58	SPT
B73	Circular/Puncti	Raised	Undulate/Lobate	1.28	DSK
B74	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B75	Puncti	Convex	Entire	2.67	DSK
B76	Puncti	Flat	Entire	2.33	SPT
B77	Spreader	ND	ND	ND	DSK
B78	Circular/Puncti	Pulvinate	Entire	2.67	SPT

ตาราง 4 (ต่อ)

Isolate	Form	Elevation	Margins	SI	Site
B79	Circular	Convex	Entire	1.00	DSK
B80	Puncti	Convex	Entire	1.83	SPT
B81	Contaminate	ND	ND	ND	DSK
B82	Circular	Raised	Undulate	1.42	SPT
B83	Spreader	ND	ND	ND	DSK
B84	ND	ND	ND	ND	SPT
B85	Puncti	Convex	Undulate/Entire	1.00	DSK
B86	Puncti	Convex	Entire	1.63	SPT
B87	ND	ND	ND	ND	DSK
B88	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B89	Puncti	Convex	Entire	1.67	DSK
B90	Irregular	Flat	Undulate/Entire	1.29	SPT
B91	Circular/Puncti	Raised	Undulate/Lobate	2.63	DSK
B92	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B93	Puncti	Convex	Entire	1.54	DSK
B94	Puncti	Flat	Entire	1.71	SPT
B95	Spreader	ND	ND	ND	DSK
B96	Circular/Puncti	Pulvinate	Entire	1.50	SPT
B97	Circular	Convex	Entire	2.46	DSK
B98	Puncti	Convex	Entire	1.63	SPT
B99	Contaminate	ND	ND	ND	DSK
B100	Circular	Raised	Undulate	1.58	SPT
B101	Contaminate	ND	ND	ND	SPT
B102	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B103	Contaminate	ND	ND	ND	SPT
B104	Contaminate	ND	ND	ND	SPT

ตาราง 4 (ต่อ)

Isolate	Form	Elevation	Margins	SI	Site
B105	Puncti	Convex	Entire	1.00	SPT
B106	ND	ND	ND	ND	SPT
B107	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B108	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B109	Contaminate	ND	ND	ND	SPT
B110	Contaminate	ND	ND	ND	SPT
B111	Puncti	Convex	Entire	1.54	SPT
B112	Circular	Convex	Entire	1.71	SPT
B113	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B114	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B115	Circular	Convex/Raised	Entire	1.50	SPT
B116	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B117	Contaminate	ND	ND	ND	SPT
B118	Puncti	Convex	Entire	1.00	SPT
B119	Contaminate	ND	ND	ND	SPT
B120	Puncti	Convex	Entire	1.67	SPT
B121	Irregular	Flat	Undulate/Entire	1.29	SPT
B122	Circular/Puncti	Raised	Undulate/Lobate	1.08	SPT
B123	Contaminate	ND	ND	ND	SPT
B124	Puncti	Convex	Entire	2.00	SPT
B125	Puncti	Flat	Entire	1.38	SPT
B126	Spreader	ND	ND	ND	SPT
B127	Circular/Puncti	Pulvinate	Entire	2.04	SPT
B128	Circular	Convex	Entire	1.58	SPT
B129	Puncti	Convex	Entire	2.08	SPT
B130	Contaminate	ND	ND	ND	SPT

ตาราง 4 (ต่อ)

Isolate	Form	Elevation	Margins	SI	Site
B131	Circular	Raised	Undulate	1.42	SPT
B132	Contaminate	ND	ND	ND	SPT
B133	Puncti	Convex	Entire	1.67	SPT
B134	Circular	Convex	Entire	1.29	SPT
B135	Circular	Convex/Raised	Entire	1.00	SPT

หมายเหตุ

ND

Non-detect

Form

คือ รูปร่างของโคโลนี

Elevation

คือ ระดับความนูนของโคโลนี

Margins

คือ ริมหรือขอบโคโลนี

SI

คือ Solubilization Index ดัชนีการละลายฟอสเฟต

DSK

คือ ส่วนในอำเภอคอยสะเก็ด

SPT

คือ ส่วนในอำเภอสันป่าตอง

ภาพแสดงลักษณะเชื้อแยกได้ตามภาพ 13 ภาคผนวก ก (Prescott, 2002)



Isolate B01



Isolate B03



Isolate B04



Isolate B017



Isolate B024

ภาพ 1 ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่คัดเลือก Isolate B01, Isolate B03, Isolate B04, Isolate B017 และ Isolate B024

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายฟอสเฟตในอาหารเหลว

จากจำนวน 135 Isolates ได้คัดเลือกโดยใช้อาหารแข็ง Czapek's Agar เพื่อคัดเลือกหาแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ จากนั้นคัดเลือกตัวอย่างแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตในอาหารแข็ง 5 อันดับแรก โดยจากสวนดอยสะเก็ด 3 Isolates ได้แก่ Isolate B01, Isolate B03, และ Isolate B017 และจากสวนสันป่าตอง 2 Isolates Isolate B04 และ Isolate B024 ดังแสดงลักษณะโคโลนีไว้ในภาพ 1 มาทดสอบในอาหารเหลวและอาหารแข็ง Czapek's Agar อีกครั้ง ซึ่งทำการวัดผลหลังจากการบ่มเป็นเวลา 3, 5 และ 7 วัน ในอาหารเหลวซึ่งจะวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ และค่าดัชนีการละลายฟอสเฟต

ค่าความเป็นกรด-ด่าง จากผลการทดลองในตารางที่ 5 พบว่าแบคทีเรียทุก Isolates ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยในระยะ 3 วันหลังการบ่มพบว่า Isolate ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด คือ ดำรับควบคุมมีค่า 5.9 ซึ่งไม่แตกต่างกับ Isolate B03, Isolate B24 และ Isolate B17 คือ 5.8, 5.6 และ 5.1 ตามลำดับ ขณะที่ Isolate B04 ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด คือ 4.6 แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับ Isolate B17 และ Isolate B01 คือ 5.1 และ 4.9 ($P < 0.01$) หลังจากเขย่าต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน นำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะดำรับที่มีการใส่แบคทีเรียจะเห็นว่า การใส่แบคทีเรีย Isolate B03 ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าดำรับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนดำรับที่ Isolate B24, ดำรับที่ Isolate B01 และดำรับ Isolate B17 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ คือ 4.8, 4.5 และ 4.5 ตามลำดับ ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของ Isolate B04 มีค่าต่ำที่สุด คือ 3.8 ขณะที่หลังการบ่มและเขย่าเชื้อเป็นเวลา 7 วัน ค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้จากใส่เชื้อแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ดำรับที่ Isolate B03 มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุดเมื่อเทียบกับดำรับที่มีการใส่เชื้อแบคทีเรีย คือ 5.7 ส่วน Isolate B24 มีค่ารองลงมาโดยวัดค่าได้ 4.1 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับ Isolate B04 คือ 3.9 ขณะที่ดำรับ Isolate B01 และ Isolate B17 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างได้น้อยที่สุดคือ 3.8 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดำรับที่ Isolate B04 เมื่อนำมาลงจุดกราฟเส้นแสดงให้เห็นว่าดำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่เชื้อแบคทีเรียจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างจากเดิม สำหรับในดำรับที่เติมแบคทีเรีย มีค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงไปตามความสามารถของแบคทีเรียแต่ละชนิด โดยดำรับที่เติม Isolate B04 จะเห็นว่ากราฟเส้นที่ได้มีลักษณะลดลงมากใน 3 และ 5 วัน ใน 7 วัน เส้นกราฟมีลักษณะค่อนข้างคงที่ สำหรับในดำรับที่ Isolate B01, Isolate B17 และ Isolate B24 พบว่าเส้นกราฟมีค่าค่อยๆ ลดลงตามลำดับตั้งแต่ 3-7 วันที่บ่ม ดังภาพ 2 แสดงว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงยังมีค่าลดลง

เรื่อยๆ อย่างช้าๆ ในส่วนของ Isolate B03 มีค่าการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดลงเล็กน้อย และค่อนข้างจะคงที่เร็วกว่าตัวรับที่เดิมเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่นๆ

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้จากการบ่มเชื้อ พบว่าในช่วง 3 วัน หลังการบ่ม Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้สูงสุดคือ 632 mgP l^{-1} และแบคทีเรีย Isolate B01 มีค่ารองลงมา คือ 446 mgP l^{-1} ส่วนแบคทีเรีย Isolate B17, Isolate B24 และ Isolate B03 มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P < 0.01$) คือ 232, 190 และ 183 mgP l^{-1} ตามลำดับ ขณะที่ในตัวอย่างควบคุมมีค่าการละลายฟอสเฟตต่ำที่สุดคือ 89 mgP l^{-1} จะเห็นว่าไม่มีความแตกต่างกับตัวรับที่ Isolate B24 และ Isolate B03 สำหรับการบ่มเชื้อแบคทีเรียที่คัดเลือกในระยะเวลา 5 วันพบว่าแบคทีเรีย Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้คือ 434 mgP l^{-1} ซึ่งมีค่าแตกต่างกับตัวรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) สำหรับแบคทีเรียในตัวรับ Isolate B01, B03, B24, B17 และตัวรับควบคุมมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 232, 175, 90, 78 และ 61 mgP l^{-1} ตามลำดับ หลังจากการบ่ม 7 วัน พบว่าแบคทีเรียทุก Isolates ที่บ่มไว้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ลดลงซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือแบคทีเรีย Isolate B04 มีค่าสูงสุด 197 mgP l^{-1} รองลงมา คือ ตัวรับ Isolate B01 วัดค่าได้ 171 mgP l^{-1} ส่วนตัวรับ Isolate B03 วัดค่าได้ 150 mgP l^{-1} ในขณะที่ตัวรับ Isolate B24 และตัวรับ Isolate B17 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 56 และ 51 mgP l^{-1} ตามลำดับ โดยตัวรับควบคุมมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ต่ำที่สุดคือ 34 mgP l^{-1} จากภาพ 2 แสดงกราฟเส้นการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะโค้งลงในตัวรับที่มีการใส่เชื้อแบคทีเรียทุกตัวรับ แต่จะมีความเด่นชัดในตัวรับที่ Isolate B04 โดยมีค่าการละลายฟอสเฟตจุดที่สูงสุดใน 3 วันที่ทำการบ่ม และลดลงใน 5 และ 7 วันตามลำดับ สำหรับตัวรับ Isolate B17 และ Isolate B24 เมื่อดูจากกราฟเส้นใน 3-7 วันจะมีค่าการละลายฟอสเฟตไม่แตกต่างกัน แต่ใน Isolate B03 มีค่าการละลายฟอสเฟตค่อนข้างต่ำและคงที่กว่าตัวรับอื่นๆ

ในส่วนของการวัดประสิทธิภาพแบคทีเรียในอาหารแข็ง Czapek's Agar ที่มี $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ผสมอยู่ โดยมีการวัดความกว้างของขนาดวงใส (Clear zone) และคิดเป็นดัชนีการละลายฟอสเฟตในอาหารแข็ง ตัวรับควบคุมซึ่งไม่มีการใส่เชื้อลงในอาหารไม่มีขนาดของวงใสคือ 0 cm. เท่ากันทุกระยะเวลาการบ่มจึงทำการเปรียบเทียบเฉพาะตัวรับที่มีการใส่เชื้อแบคทีเรีย เมื่อบ่มเชื้อแบคทีเรียที่คัดเลือกไว้ 3 วัน พบว่าแบคทีเรียในตัวรับที่ Isolate B04 มีดัชนีการละลายฟอสเฟตกว้างที่สุดคือ 2.61 ซึ่งมีความแตกต่างกับตัวรับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ตัวรับที่ Isolate B01 มีดัชนีการละลายฟอสเฟตรองลงมาคือ 2.24 ในส่วนของแบคทีเรียตัวรับที่ Isolate B03 มีดัชนีการละลายฟอสเฟตน้อยที่สุดคือ 1.29 แต่มีค่าไม่แตกต่างในทางสถิติกับตัวรับ Isolate B24

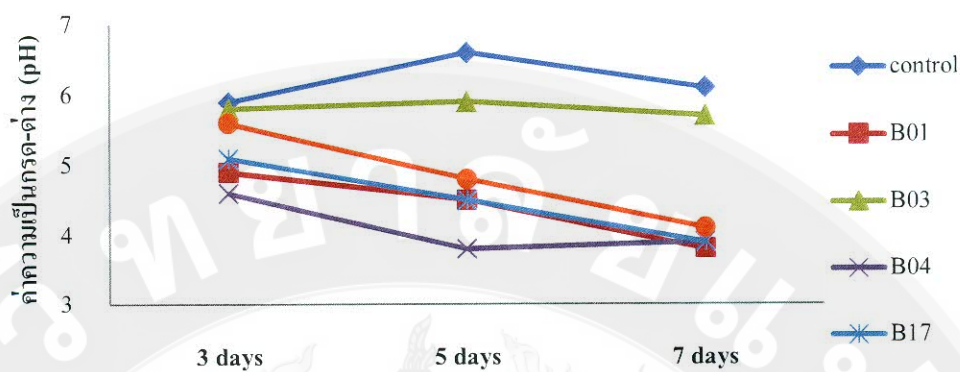
และ Isolate B17 คือ 1.42 และ 1.63 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 วัน พบว่าแบคทีเรียตัวรับที่ Isolate B04 มีดัชนีการละลายฟอสเฟตกว้างที่สุดคือ 3.22 และมีค่าไม่แตกต่างกับตัวรับที่ Isolate B01 วัดได้ 3.03 ขณะที่ Isolate B03 มีดัชนีการละลายฟอสเฟตน้อยที่สุด คือ 1.79 ซึ่งมีความแตกต่างกับตัวรับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่เมื่อบ่มครบ 7 วัน พบว่าในตัวรับที่ Isolate B04 มีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตสูงที่สุด คือ 4.31 และ Isolate B01 มีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตรองลงมาคือ 3.94 ตามลำดับ สำหรับแบคทีเรีย Isolate B03 มีดัชนีการละลายฟอสเฟตน้อยที่สุดคือ 2.42 ($P < 0.01$) สำหรับกราฟเส้นแสดงดัชนีการละลายฟอสเฟตจากภาพ 2 จะเห็นว่ากราฟเส้นในส่วนนี้ตรงกันข้ามกับ 2 ส่วนแรก คือ กราฟเส้นจะเพิ่มขึ้นตามลำดับโดยใน 7 วัน จะเห็นว่าดัชนีการละลายฟอสเฟตมีความสูงมากกว่าใน 3 และ 5 วัน โดยเป็นไปตามความสามารถการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรีย Isolates นั้นๆ

ตาราง 5 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยละลายฟอสเฟตในอาหารเหลว (Broth) และอาหารแข็ง (Czapek's Agar)

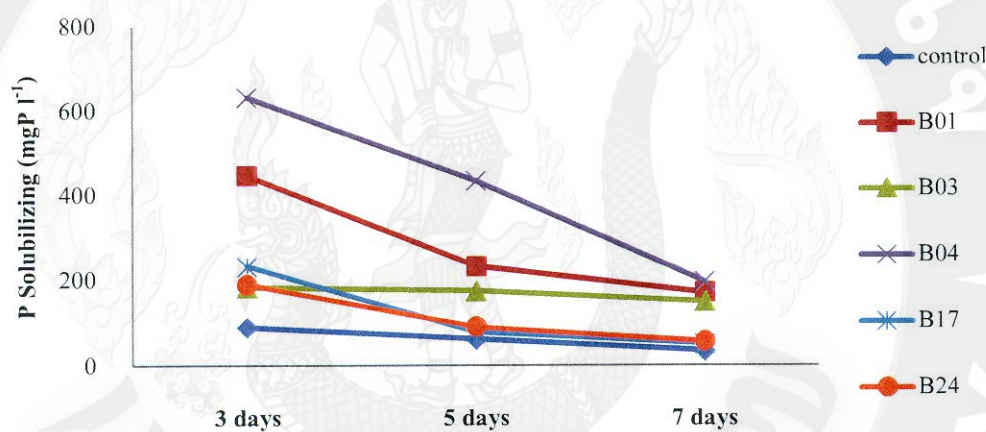
	Treatment	3 days	5 days	7 days
pH	Control	5.9 a	6.6 a	6.1 a
	Isolate B01	4.9 bc	4.5 c	3.8 d
	Isolate B03	5.8 a	5.9 b	5.7 b
	Isolate B04	4.6 c	3.8 d	3.9 cd
	Isolate B17	5.1 abc	4.5 c	3.8 d
	Isolate B24	5.6 ab	4.8 c	4.1 c
	Grand Mean	5.33	5.03	4.72
	F-test	**	**	**
	CV (%)	6.21	5.21	1.87
P Solubilizing (mg P l ⁻¹) Broth	Control	89 d	61 b	34 e
	Isolate B01	446 b	232 b	171 b
	Isolate B03	183 cd	175 b	150 c
	Isolate B04	632 a	434 a	197 a
	Isolate B17	232 c	78 b	51 de
	Isolate B24	190 cd	90 b	56 d
	Grand Mean	295	178	110
	F-test	**	**	*
	CV (%)	17.03	13.74	7.46
Solubilization Index (SI) Czapek's Agar	Control	1.00 d	1.00 d	1.00 e
	Isolate B01	2.24 b	3.03 a	3.94 b
	Isolate B03	1.29 cd	1.79 c	2.42 d
	Isolate B04	2.61 a	3.22 a	4.31 a
	Isolate B17	1.42 c	2.38 b	3.00 c
	Isolate B24	1.63 c	2.46 b	3.17 c
	Grand Mean	1.70	2.31	2.97
	F-test	**	**	**
	CV (%)	8.69	6.21	3.80

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างในทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

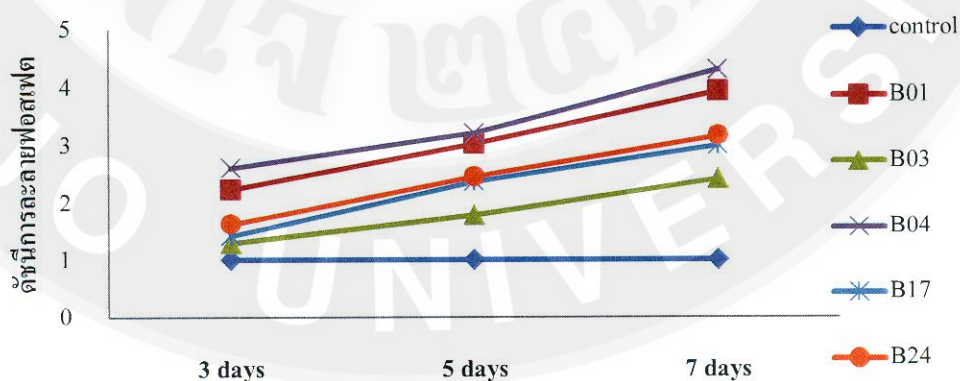
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง



ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้



ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียต่อดัชนีการละลายฟอสเฟต



ภาพ 2 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการย่อยละลายฟอสฟอรัสในอาหารเหลวและดัชนีการละลายฟอสเฟตอาหารแห้งที่ 3, 5 และ 7 วัน

คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินในอำเภอดอยสะเก็ดก่อนการทดลอง

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินในอำเภอดอยสะเก็ดก่อนการทดลองในตาราง 6 พบว่า ดินระดับบนมีค่าความเป็นกรด-ด่างในดาร์บที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01, ดาร์บที่ Isolate B04, ดาร์บที่ Isolate B01 และดาร์บที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่า 6.1, 6.0, 6.0 และ 5.8 ตามลำดับ ($P < 0.01$) แต่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดาร์บควบคุมที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด คือ 5.9 ขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินก่อนการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติวัดค่าเฉลี่ยได้ 3.45 %OM สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ก่อนการทดลอง ในดาร์บควบคุมมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงสุด 27.6 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวคือ 22.7 mgP kg^{-1} ($P < 0.01$) ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีค่าเฉลี่ย 733 mgP kg^{-1} ในดาร์บควบคุมมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูงสุดคือ 822 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวคือ 784 mgP kg^{-1} ขณะที่ดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าต่ำที่สุดคือ 659 mgP kg^{-1} ($P < 0.01$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดาร์บที่เติม Isolate B01 และดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01

ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินล่าง ดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวและดาร์บ Isolate B04 มีค่าสูงสุด คือ 6.3 แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 วัดค่าได้ 6.2 ($P < 0.01$) ขณะที่ดาร์บควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดคือ 5.9 ในส่วนของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.94 %OM สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่าสูงสุดคือ 6.6 mgP kg^{-1} รองลงมาคือ ดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่า 5.7 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดาร์บควบคุม, ดาร์บที่เติม Isolate B01 และดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่า 4.9, 4.9 และ 4.6 mgP kg^{-1} ตามลำดับ ($P < 0.01$) สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินในดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่า 468 mgP kg^{-1} และมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดาร์บในดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 แต่พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับดาร์บที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว ดาร์บควบคุม ดาร์บ Isolate B04 และดาร์บ Isolate B01 (427, 416, 368 และ 349 mgP kg^{-1} ตามลำดับ) ($P < 0.01$)

ตาราง 6 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการทดลองในส่วนอำเภอดอยสะเก็ด

Treatment	Top soil (0 - 5 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	5.4 c	3.86	27.6 a	822 a
Rock Phosphate (RP)	5.8 ab	3.63	22.7 ab	784 ab
Isolate B04	6.0 a	3.00	21.8 b	727 b
RP+ Isolate B04	5.6 b	3.37	19.9 b	659 c
Isolate B01	6.0 a	3.56	22.3 b	698 bc
RP+ Isolate B01	6.1 a	3.29	19.2 b	709 bc
Grand Mean	5.82	3.45	22.27	733
F-test	**	ns	**	**
CV (%)	2.76	11.53	8.96	5.34
Treatment	Sub soil (5 - 10 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	5.9 c	2.55	4.9 bc	416 b
Rock Phosphate (RP)	6.3 a	2.57	4.6 bc	427 b
Isolate B04	6.3 a	2.56	4.0 c	368 b
RP+ Isolate B04	6.1 b	2.56	5.7 b	453 a
Isolate B01	6.1 b	2.52	4.9 bc	349 b
RP+ Isolate B01	6.2 ab	2.51	6.6 a	468 a
Grand Mean	6.17	2.54	5.12	413
F-test	**	ns	**	**
CV (%)	2.11	2.95	11.08	796

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างในทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินในอำเภอดอยสะเก็ดหลังการทดลอง 6 สัปดาห์

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินบนในส่วนอำเภอดอยสะเก็ดหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ ในตาราง 7 พบว่า ดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด คือ 6.5 โดยมีค่าไม่แตกต่างกับดำรับที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว ดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 และดำรับที่เติม Isolate B01 ในทางสถิติ คือ 6.4, 6.3 และ 6.3 ตามลำดับ ($P < 0.01$) ขณะที่ในดำรับควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดค่าได้ต่ำที่สุดคือ 5.6 ในส่วนของดินระดับล่างพบว่าดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และดำรับที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่าสูงสุด คือ 6.6 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P < 0.01$) กับดำรับที่มีการเติม Isolate B01 คือ 6.5 ส่วนดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่า 6.4 และมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่มีการเติม Isolate B01 ขณะที่ดำรับควบคุมวัดค่าความเป็นกรด-ด่างได้น้อยที่สุดคือ 6.0 แต่มีค่าไม่แตกต่างกับดำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B04 ในทางสถิติ ($P < 0.01$)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินระดับบนหลังจาก 6 สัปดาห์ พบว่าดำรับที่วัดค่าได้สูงสุดคือ ดำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B01 วัดค่าได้ 3.75 %OM รองลงมา คือ ดำรับควบคุม 3.34 %OM ส่วนดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และดำรับที่เติม Isolate B04 มีค่า 3.23, 3.18 และ 3.12 %OM สำหรับดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าต่ำที่สุดคือ 2.97 %OM ขณะที่ทุกดำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนในดินล่างดำรับที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดคือ ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตและดำรับที่เติม Isolate B04 มีค่า 2.68 %OM ส่วนดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่าต่ำที่สุดคือ 2.50 %OM พบว่ามีค่าเฉลี่ย 2.58 %OM และไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

สำหรับผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้หลังจาก 6 สัปดาห์ ดินระดับบนพบว่าดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงสุด 43.2 mgP kg⁻¹ ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกดำรับการทดลองอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และดำรับที่มีการเติม Isolate B04 มีค่ารองลงมาและมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติคือ 32.9 และ 32.8 mgP kg⁻¹ ตามลำดับ ขณะที่ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่าน้อยที่สุดคือ 21.4 mgP kg⁻¹ และมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ กับดำรับควบคุมซึ่งวัดค่าได้ 25.1 mgP kg⁻¹ ($P < 0.01$) ในส่วนของดินล่างหลังจาก 6 สัปดาห์ พบว่าดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 8.5 mgP kg⁻¹ แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate

B01 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้อยู่ที่ 7.7 mgP kg^{-1} ส่วนตำรับที่มีค่าน้อยที่สุดคือ ตำรับที่เดิม Isolate B04 วัดค่าได้ 4.5 mgP kg^{-1} และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติกับตำรับที่ Isolate B01 และตำรับควบคุมคือ 5.9 และ 5.0 mgP kg^{-1} ($P < 0.01$)

จากงานทดลองแสดงค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินบนหลังจากวางตำรับ 6 สัปดาห์พบว่าตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวให้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้น คือ 949 mgP kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างกับทุกตำรับการทดลองอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่าต่ำที่สุด 740 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติกับตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 ตำรับควบคุม ตำรับที่เดิม Isolate B04 และตำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 คือ 828, 818, 803 และ 763 mgP kg^{-1} ตามลำดับ สำหรับดินล่างหลังจาก 6 สัปดาห์ พบว่าตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูงสุดคือ 562 mgP kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่า 549 mgP kg^{-1} แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติกับตำรับควบคุม ตำรับที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว ตำรับที่ Isolate B04 และตำรับ Isolate B01 โดยตำรับที่เติม Isolate B01 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินน้อยที่สุดคือ 383 mgP kg^{-1} ($P < 0.01$)

ตาราง 7 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ในอำเภอคลองสะแก

Treatment	Top soil (0 - 5 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	5.6 c	3.34	25.1 cd	818 b
Rock Phosphate (RP)	6.4 a	3.23	21.4 d	949 a
Isolate B04	6.1 b	3.12	32.8 b	803 b
RP+ Isolate B04	6.3 ab	2.97	43.2 a	763 b
Isolate B01	6.3 ab	3.75	28.3 c	740 b
RP+ Isolate B01	6.5 a	3.18	32.9 b	828 b
Grand Mean	6.18	3.27	30.61	816
F-test	**	ns	**	**
CV (%)	1.84	11.73	8.09	4.71
Treatment	Sub soil (5 - 10 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	6.0 d	2.55	5.0 bc	412 b
Rock Phosphate (RP)	6.6 a	2.68	6.1 b	466 b
Isolate B04	6.2 cd	2.68	4.5 c	406 b
RP+ Isolate B04	6.4 bc	2.59	8.5 a	549 a
Isolate B01	6.5 ab	2.53	5.9 bc	383 b
RP+ Isolate B01	6.6 a	2.50	7.7 a	562 a
Grand Mean	6.38	2.58	6.29	463
F-test	**	ns	**	**
CV (%)	1.31	8.55	9.56	6.87

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างในทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินในอำเภอดอยสะเก็ดในระยะเก็บเกี่ยว

ในการเก็บตัวอย่างดินในระยะนี้จะเห็นได้ว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุดของสวนในอำเภอดอยสะเก็ดคือ ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ B01 และดำรับที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากันคือ 6.7 ไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 และดำรับที่เติม Isolate B01 วัดค่าได้ 6.6 และ 6.4 ตามลำดับ ขณะที่ดำรับควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดมีค่า 5.8 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดำรับอื่นๆ เว้นดำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B04 ($P < 0.01$) ส่วนในดินระดับล่างพบว่า ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างได้สูงสุด คือ 6.9 แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 6.7 ขณะที่ดำรับควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดคือ 6.2 ($P < 0.01$)

สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินระดับบนหลังการเก็บเกี่ยว ดำรับที่เติม Isolate B01 มีค่าสูงสุด คือ 3.49 %OM สำหรับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากันและต่ำที่สุดคือ 3.03 %OM และมีค่าเฉลี่ย 3.29 %OM ซึ่งทุกดำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ขณะที่ดินล่างดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 เป็นดำรับที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดคือ 1.46 % OM รองลงมาคือ ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่า 1.41 %OM ส่วนดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟต ดำรับที่มีการเติม Isolate B01 และดำรับที่เติม Isolate B04 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.39, 1.35 และ 1.32 %OM ตามลำดับ โดยดำรับควบคุมมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุดคือ 1.30 %OM ขณะที่ในทุกดำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.37 %OM

ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุด คือมีค่า 49.7 mgP kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) สำหรับดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และดำรับที่เติม Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ คือ 40.6 และ 38.5 mgP kg^{-1} ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่เติม Isolate B01 คือ 36.4 mgP kg^{-1} ขณะที่ดำรับที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ ดำรับควบคุม มีค่า 23.6 mgP kg^{-1} ($P < 0.01$) สำหรับในดินระดับล่าง พบว่าดำรับที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงสุดคือ ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าสูงสุด 13.1 mgP kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับดำรับที่เติมหินฟอสเฟตซึ่งวัดค่าได้ 11.5 mgP kg^{-1} ส่วนดำรับที่มีค่าปริมาณ

ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินน้อยที่สุดคือ ดำรับที่มีการเติมแบคทีเรีย Isolate B04 ซึ่งมีค่า 5.0 mgP kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดำรับ Isolate B01 และดำรับควบคุม ($P < 0.01$)

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีค่าสูงสุดในดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟต มีค่า 942 mgP kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และ ดำรับที่เติม Isolate B04 และมีค่าเท่ากับ 938 936 และ 889 mgP kg^{-1} ตามลำดับ ขณะที่ดำรับที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินต่ำที่สุดคือ ดำรับที่เติม Isolate B01 ซึ่งวัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินได้ 813 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกับดำรับควบคุมในทางสถิติ ($P < 0.01$) สำหรับในดินระดับล่างดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูงที่สุด คือ 662 mgP kg^{-1} โดยมีค่าไม่แตกต่างกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวในทางสถิติ ($P < 0.01$) ซึ่งวัดค่าได้ 645 และ 631 mgP kg^{-1} ตามลำดับ ขณะที่ดำรับเติม Isolate B01 มีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินน้อยที่สุดคือ 435 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับควบคุมและดำรับที่เติม Isolate B04 มีค่า 451 และ 439 mgP kg^{-1} ตามลำดับ ($P < 0.01$)

ตาราง 8 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินระยะเก็บเกี่ยวในสวนอำเภอค้อยสะเกต

Treatment	Top soil (0 - 5 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	5.8 b	3.49	23.6 d	866 bc
Rock Phosphate (RP)	6.7 a	3.41	30.5 c	942 a
Isolate B04	6.1 b	3.34	38.5 b	889 ab
RP+ Isolate B04	6.6 a	3.03	49.7 a	938 a
Isolate B01	6.4 a	3.43	36.4 bc	813 c
RP+ Isolate B01	6.7 a	3.03	40.6 b	936 a
Grand Mean	6.4	3.29	36.55	897
F-test	**	ns	**	**
CV (%)	2.17	6.19	7.35	2.95
Treatment	Sub soil (5 - 10 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	6.2 d	1.30	5.7 c	451 b
Rock Phosphate (RP)	6.6 b	1.39	11.5 ab	631 a
Isolate B04	6.4 c	1.32	5.0 c	439 b
RP+ Isolate B04	6.7 ab	1.46	13.1 a	662 a
Isolate B01	6.5 bc	1.35	6.6 c	435 b
RP+ Isolate B01	6.9 a	1.41	10.4 b	645 a
Grand Mean	6.57	1.37	8.71	544
F-test	**	ns	**	**
CV (%)	1.84	4.89	7.74	6.56

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินในอำเภอสนป่าตองก่อนการทดลอง

สำหรับคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการวางดำรับการทดลองในส่วนอำเภอสนป่าตอง (ตาราง 9) ดินบนพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในดำรับที่เดิม Isolate B01 มีค่าสูงสุดคือ 6.3 แต่มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่เดิม Isolate B04 มีค่า 6.2 ขณะที่ดำรับที่เดิมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดคือ 5.9 แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดำรับควบคุมและดำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่า 6.0 สำหรับค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.97 %OM ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบน ดำรับที่มีการเติม Isolate B01, ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01, ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวและดำรับที่มีการเติม Isolate B04 มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (136, 132, 131 และ 121 mgP kg⁻¹ ตามลำดับ) (P<0.01) ขณะที่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับควบคุมและดำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่า 118 mgP kg⁻¹ ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินพบว่าดำรับที่เดิม Isolate B04 มีค่าสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกับดำรับที่เดิม Isolate B01 คือ 912 และ 863 mgP kg⁻¹ ตามลำดับ (P<0.01) ขณะที่ดำรับควบคุมมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินต่ำที่สุดคือ 787 mgP kg⁻¹ แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01

ขณะที่ดินล่าง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในดำรับที่เดิม Isolate B01 มีค่าสูงสุดคือ 6.8 และดำรับที่เดิม Isolate B04 มีค่ารองลงมาคือ 6.5 แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับควบคุม, ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 และดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 ซึ่งมีค่าเท่ากันคือ 6.3 และดำรับที่เดิมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่าต่ำที่สุดคือ 6.2 สำหรับค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.89 %OM ดำรับที่เดิม Isolate B01 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 112 mgP kg⁻¹ แต่มีค่าไม่แตกต่างกับดำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และดำรับที่เดิมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่า 111 และ 105 mgP kg⁻¹ ซึ่งดำรับที่เดิม Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 87 mgP kg⁻¹ แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 และดำรับควบคุมมีค่า 95 และ 92 mgP kg⁻¹ ตามลำดับ (P<0.01) ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินล่างดำรับที่เดิม Isolate B04, ดำรับที่เดิมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว, ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 และดำรับที่เดิม Isolate B01 มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ มีค่า 654, 644, 639 และ 627 mgP kg⁻¹ ตามลำดับ (P<0.01) แต่มีความแตกต่างกันกับดำรับควบคุมและดำรับดำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01

ตาราง 9 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการทดลองในอำเภอสันป่าตอง

Treatment	Top soil (0 - 5 cm)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	6.0 bc	2.76	118 b	784 c
Rock Phosphate (RP)	5.9 c	2.93	131 a	685 d
Isolate B04	6.2 ab	3.25	121 a	912 a
RP+ Isolate B04	6.1 b	3.00	118 b	651 d
Isolate B01	6.3 a	2.86	136 a	863 ab
RP+ Isolate B01	6.0 bc	2.82	132 a	797 bc
Grand Mean	6.09	2.94	126	782
F-test	*	ns	**	**
CV (%)	2.19	15.50	3.43	5.44
Treatment	Sub soil (5 - 10 cm)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	6.3 bc	1.86	92 c	484 b
Rock Phosphate (RP)	6.2 c	1.94	105 ab	644 a
Isolate B04	6.5 b	1.86	87 c	654 a
RP+ Isolate B04	6.3 bc	1.90	95 bc	639 a
Isolate B01	6.8 a	1.92	112 a	627 a
RP+ Isolate B01	6.3 bc	1.86	111 a	502 b
Grand Mean	6.41	1.89	100	591
F-test	**	ns	**	**
CV (%)	2.44	6.65	4.05	4.99

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินในอำเภอสันป่าตองหลังจาก 6 สัปดาห์

จากตาราง 10 แสดงถึงคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ในส่วนอำเภอสันป่าตอง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินระดับบน ทุกคำรับการทดลอง มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นและวัดค่าได้สูงสุดเท่ากัน 2 คำรับการทดลอง คือ คำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 และคำรับที่เติม Isolate B01 วัดได้ 6.7 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว คำรับที่เติม Isolate B01 และคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 คือ 6.5 ส่วนในคำรับที่ควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างวัดค่าได้น้อยที่สุดคือ 6.2 ($P<0.05$) ส่วนในดินระดับล่างพบว่า คำรับที่เติมหินฟอสเฟตมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุดคือ 6.6 แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 ซึ่งมีค่า 6.5 ($P<0.05$) ขณะที่คำรับควบคุม คำรับที่เติม Isolate B04 คำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 และคำรับ Isolate B01 มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดมีค่าอยู่ที่ 6.4 แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินระดับบนหลังจาก 6 สัปดาห์ คำรับที่เติม Isolate B01 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงที่สุดคือ 2.75 %OM ขณะที่คำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มี 2.65 %OM ส่วนคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 คำรับที่เติม Isolate B04 และคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 2.60, 2.37 และ 2.32 %OM ตามลำดับ ซึ่งทุกคำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.54 %OM ในขณะที่ดินล่างคำรับที่เติม Isolate B04 เป็นคำรับที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดมีค่า 2.12 %OM มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.97 %OM สำหรับคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับคำรับที่เติม Isolate B01 และคำรับควบคุมที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเท่ากับ 1.88 และ 1.79 %OM ขณะที่คำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำที่สุดคือ 1.71 %OM ($P<0.05$)

สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนพบปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดในคำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 และคำรับที่ใส่ Isolate B01 วัดค่าได้ 155 mgP kg^{-1} และมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับคำรับที่ใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวและคำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 วัดปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินคือ 151 และ 150 mgP kg^{-1} ขณะที่คำรับที่ Isolate B04 และคำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 131 mgP kg^{-1} ($P<0.01$) ส่วนในดินล่างฟอสฟอรัสที่สกัดได้หลังการทดลอง 6 สัปดาห์ พบว่าคำรับที่มีการเติมหิน

ฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 137 mgP kg^{-1} สำหรับตำรับที่เติม Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ 99 mgP kg^{-1} และมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับควบคุมที่วัดปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้เท่ากับ 107 mgP kg^{-1} ในขณะที่ตำรับที่เติม Isolate B04 และตำรับควบคุมมีความแตกต่างกับทุกตำรับอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($P < 0.01$)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 861 mgP kg^{-1} สำหรับตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่าสูงสุดคือ 973 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกับตำรับที่เติม Isolate B04 และตำรับที่เติม Isolate B01 ในทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ตำรับควบคุมมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินน้อยที่สุดคือ 745 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติกับตำรับที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวและตำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 วัดค่าได้ 790 และ 772 mgP kg^{-1} ตามลำดับ ($P < 0.01$) ขณะที่ดินระดับล่างมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูงที่สุดคือ ตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่า 770 mgP kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับทุกตำรับการทดลองในทางสถิติ ($P < 0.01$) ในขณะที่ตำรับที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว ตำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B04 ตำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และตำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B01 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนตำรับควบคุมพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินน้อยที่สุดคือ 484 mgP kg^{-1}

ตาราง 10 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ในอำเภอสนป่าตอง

Treatment	Top soil (0 - 5 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	6.2 b	2.52	131 b	745 b
Rock Phosphate (RP)	6.5 a	2.32	151 a	772 b
Isolate B04	6.5 a	2.37	131 b	954 a
RP+ Isolate B04	6.7 a	2.65	155 a	790 b
Isolate B01	6.7 a	2.75	155 a	933 a
RP+ Isolate B01	6.5 a	2.60	150 a	973 a
Grand Mean	6.51	2.54	146	861
F-test	*	ns	**	**
CV (%)	2.48	14.83	4.02	4.51
Treatment	Sub soil (5 - 10 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	6.4 b	1.79 bc	107 b	484 c
Rock Phosphate (RP)	6.6 a	1.72 c	137 a	702 b
Isolate B04	6.4 b	2.12 a	99 b	693 b
RP+ Isolate B04	6.4 b	1.71 c	135 a	770 a
Isolate B01	6.4 b	1.88 bc	123 a	656 b
RP+ Isolate B01	6.5 ab	1.97 ab	131 a	670 b
Grand Mean	6.43	1.86	122	663
F-test	*	*	**	**
CV (%)	1.51	6.77	5.06	3.80

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินในอำเภอสันป่าตองระยะเก็บเกี่ยว

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินระยะเก็บเกี่ยวในสวนอำเภอสันป่าตอง (ตาราง 11) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของสวนในอำเภอสันป่าตองคือ ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุดคือ 7.3 และในดำรับควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดคือ 6.1 ขณะที่ค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.93 ทุกดำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับในระดับดินล่างดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุดคือ 6.9 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวและดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 วัดค่าได้ 6.8 ขณะที่ดำรับที่เติม Isolate B04 มีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยที่สุดคือ 6.5 แต่ไม่มีความแตกต่างกันกับดำรับควบคุมในทางสถิติ ($P < 0.05$)

สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินระดับบนของสวนในอำเภอสันป่าตอง ดำรับที่มีค่าสูงสุดคือ ดำรับที่มีการเติม Isolate B04 มีค่า 2.89 %OM และดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่าต่ำที่สุดคือ 2.57 %OM ซึ่งปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.72 %OM ส่วนดินระดับล่างดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 เป็นดำรับที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด คือ 1.99 %OM รองลงมาคือ ดำรับที่มีการเติม Isolate B04 มีค่า 1.94 %OM สำหรับดำรับควบคุม ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟต และดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่า 1.91, 1.86 และ 1.80 %OM ตามลำดับ ส่วนดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุดคือ 1.76 %OM พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าเฉลี่ย 1.88 %OM และทุกดำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินลำไย ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าสูงสุดที่ 242 mgP kg⁻¹ และมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่า 230 mgP kg⁻¹ รองลงมาคือ ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ 201 mgP kg⁻¹ ซึ่งมีความแตกต่างกันกับดำรับที่เติม Isolate B01 ดำรับที่เติม Isolate B04 และดำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนดำรับที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ ดำรับควบคุมคือ 121 mgP kg⁻¹ ขณะที่ในดินระดับล่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุดคือ ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่า 167 mgP kg⁻¹ แต่ไม่แตกต่างกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 คือ 152 mgP kg⁻¹ ในส่วนของดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวและดำรับที่เติม Isolate B01 ขณะที่ดำรับควบคุมที่มีค่าฟอสฟอรัสที่

สกัดได้น้อยที่สุดคือ 104 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับดำรับที่เติม Isolate B04 คือ 118 mgP kg^{-1} ($P < 0.01$)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินวัดค่าได้สูงสุดคือ ดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่า $1,044 \text{ mgP kg}^{-1}$ มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 คือ 990 mgP kg^{-1} ส่วนในดำรับที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว ดำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B04 และดำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B01 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินคือ 960, 943 และ 941 mgP kg^{-1} ตามลำดับ ขณะที่ดำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินน้อยที่สุดและมีความแตกต่างกันกับดำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ซึ่งวัดค่าได้ 776 mgP kg^{-1} ส่วนในดินระดับล่างดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าสูงสุดคือ 844 mgP kg^{-1} และมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับดำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียววัดค่าได้ 808 mgP kg^{-1} ขณะที่ดำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B04 ดำรับที่เติมแบคทีเรีย Isolate B01 และดำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติคือ 679, 677 และ 705 mgP kg^{-1} ตามลำดับ สำหรับดำรับควบคุมมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินต่ำที่สุดและมีความแตกต่างกันกับดำรับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติมีค่าเท่ากับ 484 mgP kg^{-1} ($P < 0.01$)

ตาราง 11 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินระยะเก็บเกี่ยวในอำเภอสนป่าตอง

Treatment	Top soil (0 - 5 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	6.1	2.64	121 e	776 c
Rock Phosphate (RP)	7.1	2.86	201 b	960 b
Isolate B04	6.8	2.89	154 d	943 b
RP+ Isolate B04	7.3	2.62	242 a	1044 a
Isolate B01	6.9	2.69	175 c	941 b
RP+ Isolate B01	7.0	2.57	230 a	990 ab
Grand Mean	6.93	2.72	187	942
F-test	ns	ns	**	**
CV (%)	3.54	11.59	3.74	4.37
Treatment	Sub soil (5 - 10 cm.)			
	pH	OM (%)	Extractable P (mgP kg ⁻¹)	Total P (mgP kg ⁻¹)
Control	6.6 c	1.91	104 c	484 c
Rock Phosphate (RP)	6.8 ab	1.86	150 b	808 a
Isolate B04	6.5 c	1.94	118 c	679 b
RP+ Isolate B04	6.9 a	1.80	167 a	844 a
Isolate B01	6.7 b	1.76	142 b	677 b
RP+ Isolate B01	6.8 ab	1.99	152 ab	705 b
Grand Mean	6.73	1.88	139	701
F-test	*	ns	**	**
CV (%)	1.49	10.74	4.89	4.98

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างในทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในใบก่อนออกดอกและระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต

จากการเก็บตัวอย่างใบลำไยในช่วงก่อนการออกดอกในสวนลำไยอำเภอคอยสะเกิดและอำเภอสันป่าตอง ในเดือนเมษายน 2555 จากตาราง 12 จะเห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสในใบของสวนในอำเภอคอยสะเกิดมีค่าเฉลี่ย 0.17 % P ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดในตำรับที่เดิม Isolate B04 และ Isolate B01 มีค่า 0.18 %P และตำรับควบคุมและตำรับที่เดิมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่าต่ำที่สุดคือ 0.15 %P ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่การเก็บตัวอย่างใบที่ติดผลและไม่ติดผลในระยะเก็บเกี่ยว ช่วงเดือน ตุลาคม 2555 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในใบที่ติดผลในสวนอำเภอคอยสะเกิดไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากไม่มีการติดผลของลำไยจากการสอบถามเจ้าของสวนพบที่มีการติดดอกเพียงเล็กน้อยและดอกได้ร่วงจนกระทั่งไม่มีการติดผล ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสในใบที่ไม่ติดผลของสวนอำเภอคอยสะเกิด พบว่าในตำรับที่เดิมหินฟอสเฟต มีค่าสูงสุดคือ 0.17 %P ส่วนตำรับควบคุมและตำรับที่เดิม Isolate B01 มีค่าต่ำที่สุดคือ 0.13 %P ขณะที่ทุกตำรับการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.15 %P

ในขณะที่สวนในอำเภอสันป่าตองในตาราง 13 ปริมาณฟอสฟอรัสในใบก่อนออกดอกพบว่าในตำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสในใบสูงสุดคือ 0.33 %P และในตำรับ Isolate B04 มีค่าต่ำสุดคือ 0.24 %P ซึ่งทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.28 %P สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสในใบที่ติดผลในสวนอำเภอสันป่าตอง ตำรับที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างใบสูงสุดคือ ตำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และตำรับที่เดิม Isolate B04 มีค่าเท่ากัน คือ 0.25 %P แต่ไม่แตกต่างกับตำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 ตำรับที่เดิมแบคทีเรีย Isolate B01 และตำรับที่เดิมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวในทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ตำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสในใบติดผลต่ำที่สุดคือ 0.09 %P ในส่วนของใบที่ไม่ติดผลมีปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างใบลำไยมีค่าสูงสุดคือ ตำรับที่เดิมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีค่า 0.25 %P ขณะที่ไม่แตกต่างในทางสถิติกับตำรับควบคุม ตำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และตำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 โดยมีค่า 0.24, 0.22 และ 0.18 %P ตามลำดับ ($P < 0.05$) แต่ในตำรับที่เดิมแบคทีเรีย Isolate B04 และตำรับที่เดิมแบคทีเรีย Isolate B01 มีปริมาณฟอสฟอรัสในใบลำไยที่ไม่ติดผลของสวนในอำเภอสันป่าตองน้อยที่สุดเท่ากัน คือ 0.14 %P แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับที่เดิมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 ($P < 0.05$)

ตาราง 12 ปริมาณฟอสฟอรัสในใบลำไย ก่อนการออกดอกและระยะผลสุกของสวน ในอำเภอคอย
สะเก็ด

Treatment	Phosphorus in leaf (%P)	
	Before Flowering	Non-Fruiting leaf
Control	0.15	0.13
Rock phosphate (RP)	0.15	0.17
Isolate B04	0.18	0.16
RP + Isolate B04	0.16	0.16
Isolate B01	0.18	0.13
RP + Isolate B01	0.17	0.14
Grand mean	0.17	0.15
F-test	ns	ns
CV (%)	26.13	11.86

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่าง
กันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างในทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความ
แตกต่างกันในทางสถิติ

ตาราง 13 ปริมาณฟอสฟอรัสในใบลำไย ก่อนการออกดอกและระยะเก็บเกี่ยวของสวนในอำเภอ
สันป่าตอง

Treatment	Phosphorus in leaf (%P)		
	Before Flowering	Fruiting leaf	Non-Fruiting leaf
Control	0.29	0.09 b	0.24 a
Rock phosphate (RP)	0.28	0.14 ab	0.25 a
Isolate B04	0.24	0.25 a	0.14 b
RP + Isolate B04	0.33	0.24 a	0.18 ab
Isolate B01	0.26	0.18 ab	0.14 b
RP + Isolate B01	0.29	0.25 a	0.22 a
Grand mean	0.28	0.18	0.20
F-test	ns	**	*
CV (%)	33.52	15.53	17.77

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างในทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

การศึกษาหาผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของเปลือก เนื้อ เมล็ด ขนาดผล ส่วนที่รับประทานได้ (%Edible) Total Soluble Solid (°Brix) และปริมาณฟอสฟอรัสในผลลำไยในอำเภอสันป่าตอง

จากการการศึกษาหาผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของเปลือก เนื้อ เมล็ด ขนาดผล ส่วนที่รับประทานได้ (%Edible) Total Soluble Solid (°Brix) และปริมาณฟอสฟอรัสในผลลำไยในสวนอำเภอสันป่าตอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยน้ำหนักของลำไยผลสดซึ่งแยกออกเป็นส่วนๆ คือ เปลือก เนื้อ เมล็ด และน้ำหนักของผลสดต่อ 1 ผล พบว่าน้ำหนักของเปลือกลำไยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.16 g สำหรับน้ำหนักของเนื้อมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.80 g และน้ำหนักเมล็ดนั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.43 g ตารางที่ 18 จะเห็นว่าตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตมีแนวโน้มที่จะทำให้ น้ำหนักของเปลือก เนื้อและเมล็ดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมซึ่งไม่มีการเติมหินฟอสเฟตหรือแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ

สำหรับส่วนที่รับประทานได้ (%Edible) ของลำไยผลสดนั้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 61.65 % โดยตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตมีค่าสูงสุดคือ 62.94% ในส่วนที่รับประทานได้ของลำไยผลสด ตำรับที่มีค่าต่ำที่สุดคือ ตำรับควบคุมวัดค่าได้ 59.48 %Edible ซึ่งพบว่าตำรับที่มีการใส่เชื้อแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟตร่วมกับหินฟอสเฟตมีความเป็นไปได้ที่จะมีส่วนที่รับประทานได้ของผลลำไยมากกว่าตำรับที่ไม่มีการใส่เชื้อแบคทีเรียและไม่มีการใส่หินฟอสเฟต แต่ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ

สำหรับขนาดของผล ตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 วัดขนาดผลได้ใหญ่ที่สุดคือ 27.18 mm และตำรับควบคุมที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ 24.82 mm และมีค่าเฉลี่ยของขนาดผลเท่ากับ 25.65 mm

ในการศึกษา Total soluble solid (°Brix) มีค่าเฉลี่ย 17.56 °Brix ตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าสูงสุดคือ 18.95 °Brix สำหรับตำรับที่มีค่าต่ำที่สุดคือ ตำรับควบคุมวัดค่าได้ 16.81 °Brix ในการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดนั้นจะเห็นว่าการตอบสนองที่ดีกับตำรับที่มีการใส่เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพพร้อมกับหินฟอสเฟต ขณะที่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในเปลือกลำไยมีค่าเฉลี่ย 0.05 %P ในตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีค่าสูงสุดที่ 0.06 %P ส่วนตำรับที่เติม Isolate B01 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในเปลือกลำไยน้อยที่สุดคือ 0.04 %P ขณะที่ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในเนื้อลำไยพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในเนื้อมีค่าเฉลี่ย 0.10 %P ในตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟต ตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อแบคทีเรียที่คัดเลือกทั้ง

Isolate B04 และ Isolate B01 มีค่าเท่ากันและสูงสุดคือ 0.12 %P ขณะที่ค่ารับที่มีการเติม Isolate B04 และ Isolate B01 วัดปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในเนื้อลำไยได้น้อยที่สุดคือ 0.07 %P ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในเมล็ดพบว่าค่ารับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 วัดค่าได้สูงสุดคือ 0.15 %P และค่ารับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดน้อยที่สุด คือ 0.09 %P มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.12 %P



ตาราง 14 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักสดของเปลือก เนื้อ เมล็ด ขนาดของผล ส่วนที่รับประทานได้ (% Edible) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}$ Brix) และ ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนประกอบของผลลำไย

Treatments	Weight (g)			%Edible	Fruit Size (mm)	$^{\circ}$ Brix	Phosphorus in Fruiting (%P)		
	Rind	Aril	Seed				Rind	Aril	Seed
Control	1.85	4.85	1.40	59.48	24.82	16.81	0.05	0.10	0.09
Rock phosphate (RP)	2.31	6.51	1.53	62.94	25.87	17.75	0.05	0.12	0.13
Isolate B04	1.89	5.25	1.36	61.62	25.52	17.23	0.04	0.07	0.12
RP + Isolate B04	2.67	6.68	1.33	62.52	27.18	18.95	0.06	0.12	0.15
Isolate B01	2.08	5.73	1.47	61.68	25.01	17.13	0.04	0.07	0.11
RP + Isolate B01	2.36	6.31	1.49	62.15	26.47	18.04	0.05	0.12	0.14
Grand mean	2.16	5.80	1.43	61.65	25.76	17.56	0.05	0.10	0.12
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	3.24	5.44	6.42	2.27	2.35	7.27	11.63	4.28	4.47

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05, ** = มีความแตกต่างในทางสถิติที่ 0.01 และ ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

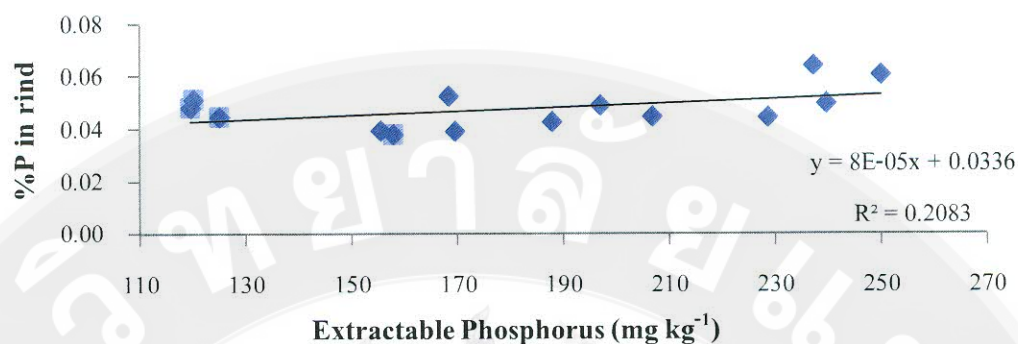
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินและปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในเปลือก เนื้อ รวมถึงเมล็ดลำไย

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนของสวนในอำเภอสันป่าตองและปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือกลำไยของสวนสันป่าตอง ซึ่งฟอสฟอรัสที่สกัดได้คือ ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ให้กับพืชโดยทันที พบว่าความสัมพันธ์ของค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนและปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในเปลือกลำไยไม่มีความสัมพันธ์กันในทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเท่ากับ 183 ± 10.29 และปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือกลำไยเท่ากับ 0.05 ± 0.002 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการ $y = 8E-05x + 0.0336$ ($R^2 = 0.2083$)

สำหรับการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินและปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อลำไย พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อลำไยเท่ากับ 0.11 ± 0.002 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการ $y = 0.0001x + 0.0858$ ($R^2 = 0.6083$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.01$) พบว่า ทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

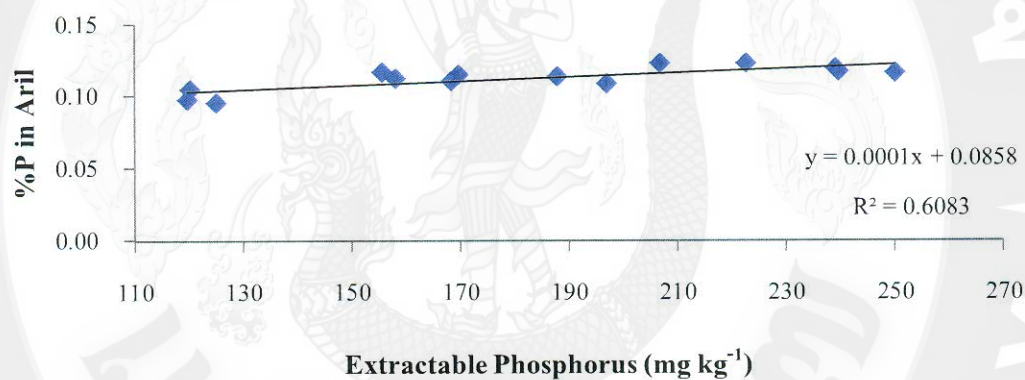
เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินและปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดลำไย พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดลำไย เท่ากับ 0.12 ± 0.005 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการ $y = 0.0004x + 0.0469$ ($R^2 = 0.9013$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.01$) พบว่า ทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

Correlation between extractable P in soil and rind



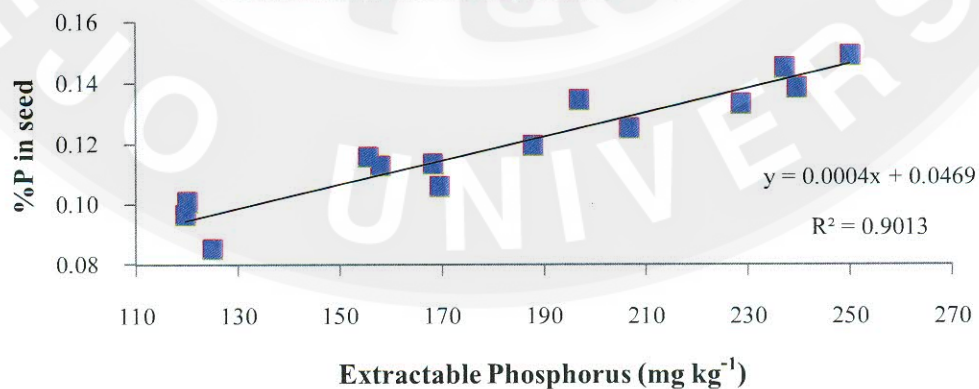
ภาพ 3 ความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนและปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือกลำไย

Correlation between extractable P in soil and aril



ภาพ 4 ความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนและปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อลำไย

Correlation between extractable P in soil and seed



ภาพ 5 ความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนและปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดลำไย

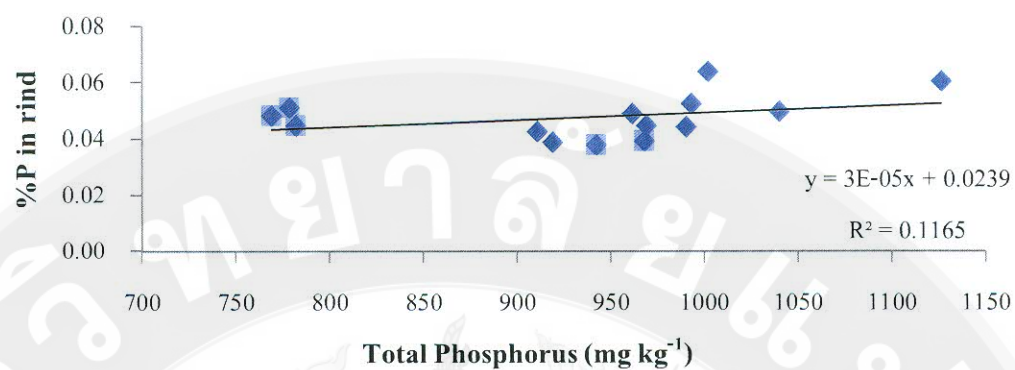
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินและปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือก เนื้อรวมถึงเมล็ดลำไย

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินบนของสวนในอำเภอสันป่าตองและปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือกลำไยของสวนสันป่าตอง สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเท่ากับ 939 ± 27.45 และปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือกลำไยเท่ากับ 0.05 ± 0.002 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการ $y = 3E-05x + 0.0239$ ($R^2 = 0.1165$) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินบนและปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือกลำไยของสวนสันป่าตองไม่มีความสัมพันธ์กัน

สำหรับการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินและปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อลำไย พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อลำไยเท่ากับ 0.11 ± 0.002 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการ $y = 6E-05x + 0.0551$ ($R^2 = 0.5555$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.01$) พบว่า ทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

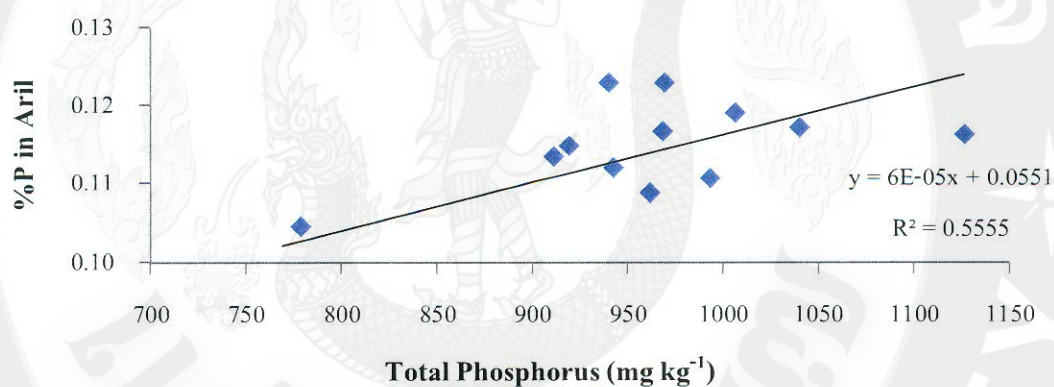
และการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินและปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดลำไย พบว่า ทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดลำไยเท่ากับ 0.12 ± 0.005 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการ $y = 0.0002x - 0.0332$ ($R^2 = 0.7804$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.01$)

Correlation between total P in soil and rind



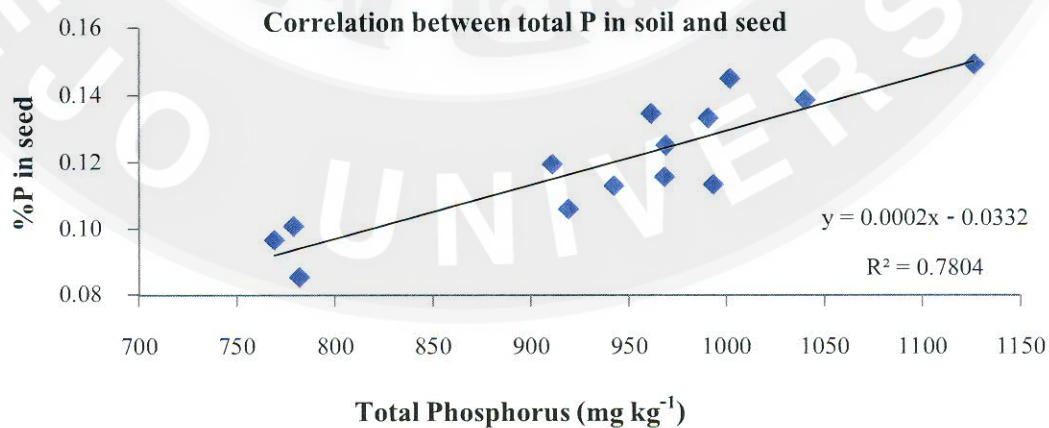
ภาพ 6 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินบนและปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือก

Correlation between total P in soil and aril



ภาพ 7 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินบนและปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อลำไย

Correlation between total P in soil and seed



ภาพ 8 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินบนและปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ด

วิจารณ์ผลการวิจัย การรวบรวมและคัดเลือกประสิทธิภาพของแบคทีเรีย

จากการคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในดินจาก 2 ส่วนลำไยอินทรีย์คือ ส่วนในอำเภอดอยสะเก็ดและส่วนในอำเภอสันป่าตองซึ่งมีความแตกต่างกันของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตทั้งหมด 5 Isolates คือ Isolate B01, Isolate B03, Isolate B04, Isolate B017 และ Isolate B024 ที่ดีที่สุดจากจุลินทรีย์ทั้งหมด 135 Isolates เมื่อนำมาทดสอบพบว่า แบคทีเรียทั้ง 5 Isolates ละลายฟอสฟอรัสได้ต่างกัน จึงนำแบคทีเรียที่คัดเลือกมาทดสอบประสิทธิภาพในอาหารเหลวและอาหารแข็งที่ผสม $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ เป็นเวลา 3, 5 และ 7 วัน การทดสอบประสิทธิภาพในอาหารแข็งโดยใช้ดัชนีการละลายฟอสเฟต (Solubilization Index) จากการบ่มเป็นเวลา 3, 5 และ 7 วัน พบว่าเมื่อเวลาบ่มนานขึ้นทำให้แบคทีเรีย Isolate B04 มีดัชนีการละลายฟอสเฟตกว้างมากขึ้นในวันที่ 7 คือ 4.31 มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรูปร่างโคโลนีแบบ Circular, Convex และ Entire ส่วนแบคทีเรีย Isolate B01 วัดดัชนีการละลายฟอสเฟตได้ 3.94 และมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรูปร่างโคโลนีแบบ Irregular, Flat และ Undulate ซึ่งถือว่าแบคทีเรียทั้ง 2 มีความสามารถในการละลาย $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ในอาหารแข็ง Czapek's Agar ได้ดีจึงวัดขนาดวงใสได้มาก สอดคล้องกับงานทดลองของ Perez et al. (2007) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (PSB) ในดินที่มีแร่เหล็กสูงและดินกรด ได้สำรวจแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในธรรมชาติที่มีแหล่งแร่เหล็กผสมอยู่ พบแบคทีเรียทั้งหมด 130 Isolates ที่แตกต่าง และได้คัดเลือกเชื้อที่ดีที่สุด 10 Isolates มาทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียพบว่าแบคทีเรีย MMB040 สามารถละลายฟอสเฟตในอาหารที่มี $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ได้ดีที่สุดมีลักษณะ Circular, Entire, Raised, Yellow และ Viscous และแบคทีเรีย MMB066 สามารถละลายฟอสเฟตในอาหารที่มี FePO_4 ได้ดีที่สุดมีลักษณะ Circular, Irregular, Raised, White และ Creamy

สำหรับการทดสอบในอาหารเหลวพบว่าแบคทีเรีย Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ 632 mgP l^{-1} ภายใน 3 วันหลังการใส่เชื้อ ในขณะที่เมื่อทดสอบการละลายฟอสเฟตใน 5 วัน และ 7 วัน พบว่าการใส่เชื้อแบคทีเรีย Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ 434 และ 197 mgP l^{-1} และแบคทีเรีย Isolate B01 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ 446, 232 และ 171 mgP l^{-1} ใน 3, 5 และ 7 วันตามลำดับ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้มีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองของ Perez et al. (2007) โดยพบว่าแบคทีเรีย MMB040 สามารถละลายฟอสเฟตในอาหารที่มี $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ได้ดีที่สุดซึ่งวัดปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายได้ 375 mgP l^{-1} และแบคทีเรีย MMB066 วัดปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายได้ 175 mgP l^{-1} แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้น้อยกว่าเมื่อ

เทียบกับงานทดลองของสุภาพร และคณะ (2553); วุฒิชัย และคณะ (2550); Seshadri et al. (2000); นิสารัตน์ (2549) โดยงานทดลองของสุภาพร และคณะ (2553) ศึกษาประสิทธิภาพในการละลาย Tricalcium phosphate $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ โดยพบว่าเมื่อบ่มเชื้อ 3 วัน วัดค่าการละลายฟอสเฟตได้ 878 mgP l^{-1} หลังจากผ่านไป 5 และ 7 วัน พบว่าทุก Isolates มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ลดลงซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกับงานทดลองของวุฒิชัย และคณะ (2550) ได้ศึกษาการคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร พบว่าตัวอย่างดินในพื้นที่ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ของประเทศไทย จำนวนทั้งหมด 424 ตัวอย่าง เมื่อแยกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตได้ทั้งหมด 134 สายพันธุ์ แบ่งเป็นแบคทีเรีย 81 สายพันธุ์ และเชื้อรา 53 สายพันธุ์ มาทำการทดสอบประสิทธิภาพการละลายแคลเซียมฟอสเฟต สามารถคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพสูงที่ละลายฟอสเฟตตั้งแต่ 500 mgP kg^{-1} ขึ้นไปได้ 43 สายพันธุ์ แยกเป็นเชื้อแบคทีเรีย 32 สายพันธุ์ และเชื้อรา 11 สายพันธุ์ ส่วนใหญ่พบในดินป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง โดยเฉพาะดินจากบริเวณรากพืชนำจุลินทรีย์มาทดสอบการละลาย $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ พบว่าเชื้อแบคทีเรียสามารถละลายฟอสเฟตสูงสุดอยู่ในช่วง $986\text{--}1,103 \text{ mgP l}^{-1}$ ที่ 40 ชั่วโมงหลังการบ่ม ขณะที่งานทดลองของ Seshadri et al. (2000) ได้ศึกษาการละลายฟอสเฟตในพืชตระกูลหญ้าและอ้อยโดยแบคทีเรียสกุล *Azospirillum halopraeferans* ที่พบมากบริเวณรากพืชในเขตร้อนชื้นและกึ่งร้อนชื้น รายงานว่าการละลายฟอสเฟตสูงสุดใน 14 วัน โดยวัดค่าได้ $1,453 \text{ mgP l}^{-1}$ ซึ่งมีการละลายสูงเทียบเท่าเชื้อราซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ดีอีกชนิด ดังเช่นในการทดลองของนิสารัตน์ (2549) ได้ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายฟอสเฟตพบว่าเชื้อรา F003 มีค่าการละลายฟอสฟอรัสสูงสุดที่ $1,090 \text{ mgP l}^{-1}$ และมีค่าการละลายฟอสฟอรัสที่วัดได้มากกว่างานทดลองของไตรธานี และคณะ (2555) ศึกษาเรื่องการส่งเสริมการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในสภาพเรือนทดลอง ให้ผลว่าสามารถแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้ทั้งหมด 19 Isolates และพบว่าแบคทีเรีย 4 Isolates มีกิจกรรมการละลายฟอสเฟตอยู่ระหว่าง $179\text{--}196 \text{ mgP l}^{-1}$ ซึ่งมีความสอดคล้องกันในเรื่องของระยะเวลาที่บ่มกับค่าการละลายฟอสเฟต โดยทุกตัวอย่างการทดลองให้ค่าที่เหมือนกัน คือ ในระยะเวลา 3 วันจะมีค่าการละลายฟอสเฟตสูงสุดเนื่องจากจุลินทรีย์มีกิจกรรมและมีประสิทธิภาพสูงรวมถึงอาหารที่มีอย่างเพียงพอเมื่อเวลาผ่านไป 5 และ 7 วัน พบว่าทุก Isolates มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ลดลงซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้จากแบคทีเรียทั้ง 5 ตัวอย่าง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างหลังการบ่มเป็นเวลา 7 วัน ในทุก Isolates มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ในตำรับที่ Isolate B04 ให้ประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตสูงสุดแต่วัดค่าความเป็นกรด-ด่างได้ต่ำสุดคือ 3.8 โดยค่า

ความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นคือ 7.3 ± 0.2 เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดสร้างและปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ได้แก่ กรดไนตริกและกรดซัลฟูริก กรดต่างๆ เหล่านี้ยังสามารถทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงและเกิดการละลายฟอสเฟตมากขึ้น (ธงชัย, 2546) สอดคล้องกับงานทดลองของ Arvind et al. (2010) ได้ทดลองเกี่ยวกับแบคทีเรียละลายฟอสเฟต 2 ชนิด คือ *Enterobacter* และ *Exiguobacterium* sp. ซึ่งแบ่งเป็นชนิดละ 3 ดำรับ *Enterobacter* sp. คือ LCR1, LCR2 และ LCR3 ส่วน *Exiguobacterium* sp. คือ LCR4, LCR5 และ LCR6 ได้รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 7 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 24 ชั่วโมงของแบคทีเรีย *Enterobacter* sp. คือ 3.91 ± 0.03 , 3.91 ± 0.01 และ 5.34 ± 0.01 ส่วน *Exiguobacterium* sp. คือ 5.65 ± 0.20 , 6.24 ± 0.08 และ 6.26 ± 0.00 สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น วัดที่ 24 ชั่วโมง แบคทีเรีย *Enterobacter* sp. วัดค่าได้ 3.93 ± 0.04 , 3.92 ± 0.07 และ 4.69 ± 0.47 ส่วน *Exiguobacterium* sp. คือ 4.90 ± 0.00 , 4.91 ± 0.02 และ 5.95 ± 0.21 และมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้แตกต่างกันตามระยะเวลาการทดลองที่ 4, 8, 12 และ 24 ชั่วโมง ดำรับที่ LCR1 และ LCR2 มีการละลายฟอสเฟตสูงสุดที่ 24 ชั่วโมง ส่วน LCR3, LCR4, LCR5 และ LCR6 มีการละลายสูงสุดใน 4 ชั่วโมง แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายคือ 3.8 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับงานทดลองของ Nibha et al. (2007) และงานทดลองของ Park et al. (2011) โดย Nibha et al. (2007) ได้ทดลองการละลายฟอสเฟตใน Tricalcium phosphate (TCP) และหินฟอสเฟต (RP) ในประเทศอินเดีย พบว่าแบคทีเรีย MB 98 Gram+cocci มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตสูงสุดคือ 28.47 mgP l^{-1} โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างจากก่อนเดิมเชื้อ 7.2 และค่าความเป็นกรด-ด่างหลังจากบ่ม 7 วันคือ 5.43 ส่วนแบคทีเรีย MB 11 Gram+cocci มีค่าความเป็นกรด-ด่างจากก่อนเดิมเชื้อ 7.2 และค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายคือ 5.42 ซึ่งมีค่าการละลายที่น้อยกว่าคือ 8.93 mgP l^{-1} เช่นเดียวกับงานทดลองของ Park et al. (2011) ได้เลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตและใช้ศักยภาพนั้นการยับยั้งการเคลื่อนที่ของสารตะกั่วในดินพบว่าแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้ดีในตัวอย่างที่ CS2-B1 ละลายได้สูงถึง 479.2 mgP l^{-1} มีค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายที่วัดได้คือ 4.3 ลดลงจากค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 7.01 รวมทั้งตัวอย่างแบคทีเรียอื่นๆ ที่ละลายฟอสเฟตได้ดีตั้งแต่ $216.8\text{--}387.0 \text{ mgP l}^{-1}$ จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 4.3-5.1 ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายฟอสเฟตในอาหารเหลวผู้ทดลองสามารถอธิบายได้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างไม่มีผลต่อการวัดประสิทธิภาพของการละลายฟอสเฟตแต่จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์นั้นๆ ดังเช่นงานทดลองของ Rodriguez and Fraga (1999) ได้ศึกษาการละลายฟอสเฟตและบทบาทของการเจริญเติบโตของพืช โดยเลือกแบคทีเรีย 3 ชนิด คือ *Pseudomonas*, *Bacillus* and *Rhizobium* จากจำนวนที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต ได้แก่ *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Serratia*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*

และ *Flavobacterium* ได้ทำการวัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีการสะสมในอาหารเหลวที่มีความแตกต่างของสายพันธุ์และการใช้สารตั้งต้น (substrate) ที่ต่างกัน 3 ชนิด คือ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, Hydroxyapatite และ Rock phosphate พบว่า *Pseudomonas striata* มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอาหารสูงสุด คือ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ มีค่า 156 mgP l^{-1} , Hydroxyapatite มีค่า 143 mgP l^{-1} และ Rock phosphate มีค่า 22 mgP l^{-1} ส่วน *Bacillus amyloliquefaciens* มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ละลายได้สูงสุด $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ เท่ากับ 395 mgP l^{-1} ขณะที่ *Bacillus polymyxa* สามารถวัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ เท่ากับ 116 mgP l^{-1} , Hydroxyapatite เท่ากับ 87 mgP l^{-1} และ Rock phosphate เท่ากับ 17 mgP l^{-1} แต่ *Rhizobium* ไม่สามารถวัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ในรูป Hydroxyapatite และ *Rhizobium leguminosarum* วัดค่าฟอสฟอรัสได้สูงสุด 356 mgP l^{-1}

คุณสมบัติทางเคมีบางประการของดิน

คุณสมบัติทางเคมีของดินพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสวนอำเภอคอยสะเก็ดและสวนสันป่าตองมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจากการใส่เชื้อ Isolate B01 และ B04 ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของทั้ง 2 สวนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่ารับควบคุมซึ่งไม่มีการใส่เชื้อและหินฟอสเฟต โดยค่ารับที่เติมหินฟอสเฟตทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุดในดินบนมีค่าตั้งแต่ 6.4-6.7 และในสวนสันป่าตองมีค่าระหว่าง 6.8-7.1 โดยดินล่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างในสวนอำเภอคอยสะเก็ดมีค่าระหว่าง 6.4-6.9 และในสวนสันป่าตองมีค่าระหว่าง 6.5-6.8 ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมสำหรับลำไย ซึ่งยุทธนา และคณะ (2545) ได้รายงานค่าความเหมาะสมของค่าความเป็นกรด-ด่างในดินลำไย ควรมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 5.5-6.5 ดังเช่นตารางที่ 1 (ภาคผนวก ก) มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของปฏิภาณ (2555) ได้ ศึกษาเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการธาตุอาหารลำไยอินทรีย์ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในจังหวัดเชียงใหม่ มีค่า 6.23–7.90 ที่ระดับความลึก 0-15 cm. และมีค่า 6.20-7.98 ที่ระดับความลึก 15-30 cm. ดินในพื้นที่การทดลองทั้ง 2 สวนมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ทดลองมีค่าเป็นกรดอ่อน และหลังการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับการทดลองของไตรธานี (2555) ศึกษาการส่งเสริมการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในสภาพเรือนทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินที่ใช้ในการทดลองมีค่า 6.07-7.32 แต่ขัดแย้งกับการทดลองของ Esitken et al. (2010) ศึกษาผลของแบคทีเรียที่ผลิตสารกระตุ้นการเจริญเติบโต (PGPB) และปริมาณธาตุอาหารในการปลูกสตรอเบอรี่อินทรีย์ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของการทดลองในค่ารับที่ใช้จุลินทรีย์ BA-8, OSU-142, BA-8+OSU-142, M3, M3+BA-8, M3+OSU-142 และ M3+BA-8+OSU-142 มีค่าลดจาก 7.55 ในก่อนการ

ทดลองและหลังการทดลองมีค่าระหว่าง 7.36-7.53 ในคำรับที่มีการเติมจุลินทรีย์แต่ทุกคำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และยังสอดคล้องกับงานทดลองของ Orhan et al. (2006) ศึกษาผลของแบคทีเรียที่ผลิตสารกระตุ้นการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในการปลูกราสเบอร์รี่อินทรีย์ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 6.7 และหลังการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงมากที่สุดถึง 5.6 ในคำรับที่ใส่จุลินทรีย์ M3 ขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุหลังการทดลองพบว่า ส่วนในอำเภอคอยสะเกิดและสวนในอำเภอสันป่าตองมีปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงเล็กน้อยเนื่องมาจากเกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของพืชและจุลินทรีย์ในดินแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ย 3.29 และ 2.72 %OM ตามลำดับและในดินล่างมีค่า 1.37 และ 1.88 %OM ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Esitken et al. (2010) ศึกษาผลของแบคทีเรียที่ผลิตสารกระตุ้นการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในการปลูกสตรอเบอร์รี่อินทรีย์ พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุของการทดลองในคำรับที่ใช้จุลินทรีย์ BA-8, OSU-142, BA-8+OSU-142, M3, M3+BA-8, M3+OSU-142 และ M3+BA-8+OSU-142 โดยก่อนการทดลองวัดค่าได้ 1.90 %OM และหลังการทดลองมีค่าระหว่าง 1.81-2.20 %OM ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

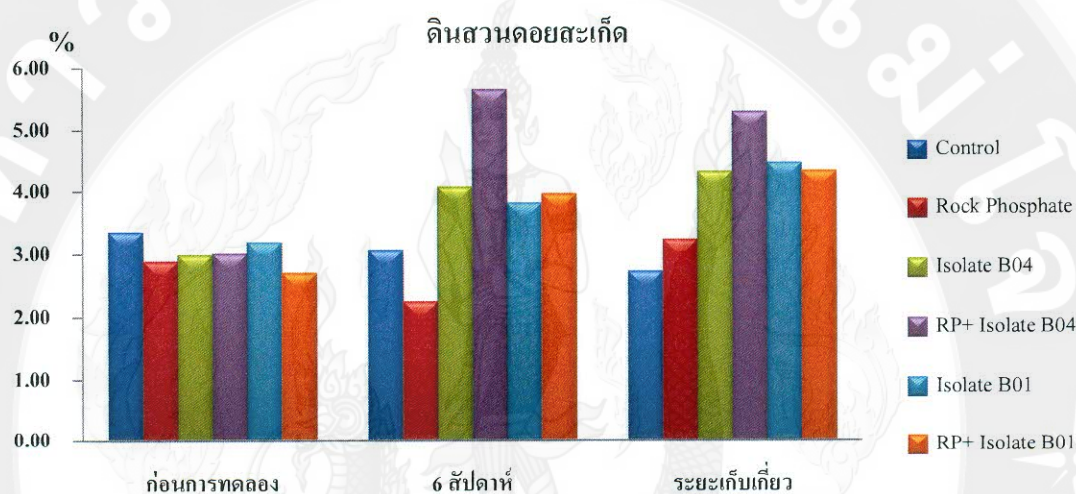
ขณะที่ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินพบว่าคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 และ B01 มีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลอง ในสวนสันป่าตองมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินและฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินวัดค่าได้ 782 และ 126 mgP kg⁻¹ ในสวนอำเภอคอยสะเกิดมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินบน 733 mgP kg⁻¹ แต่ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินพบเพียง 22.2 mgP kg⁻¹ และน้อยกว่านี้ในบางจุดของการสุ่มเก็บตัวอย่าง ส่วนในดินล่างมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน 413 mgP kg⁻¹ และฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินพบ 5.12 mgP kg⁻¹ หลังการทดลองพบว่าในสวนอำเภอคอยสะเกิดมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีค่าเพิ่มขึ้น 2 เท่าในดินบน และเกือบ 3 เท่าในดินล่าง โดยในดินบนมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในคำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อแบคทีเรีย Isolate B04 วัดค่าได้ 938 mgP kg⁻¹ และฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินพบ 49.7 mgP kg⁻¹ ขณะที่ในดินล่างพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินและฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพิ่มสูงขึ้นถึง 662 และ 13.1 mgP kg⁻¹ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินที่ทำการทดลองนี้มีผลมาจากการใส่เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพร่วมกับหินฟอสเฟตเนื่องจากแบคทีเรียจะไปช่วยละลายฟอสฟอรัสที่มีอยู่แล้วในดินซึ่งอยู่ในรูปที่ถูกตรึงโดยธาตุอื่นๆ ทำให้พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์และช่วยละลายหินฟอสเฟตที่เติมลงไปเพื่อให้หินฟอสเฟตเหล่านั้นมีประสิทธิภาพกับพืชยิ่งขึ้น ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินใกล้เคียงกับการทดลองของ สุภาพร และคณะ (2553) ศึกษาผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตก่อนการทดลองพบปริมาณ

ฟอสฟอรัสทั้งหมด $249.51 \text{ mgP kg}^{-1}$ และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 23 mgP kg^{-1} และหลังการทดลองพบว่าค่ารับที่เดิมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $312.3 \text{ mgP kg}^{-1}$ และ $45.22 \text{ mgP kg}^{-1}$ และมีความสอดคล้องกับงานทดลองของ Marisa (2006) ศึกษาธาตุอาหารในลำไย ลิ้นจี่และเงาะบริเวณพื้นที่ฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าหลังการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินลำไยมีค่า $40\text{--}225 \text{ mgP kg}^{-1}$ ตามลักษณะพื้นที่และพันธุ์ที่ปลูกจากการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินของงานทดลองครั้งนี้สามารถเปรียบเทียบระหว่างค่ารับการทดลองพบว่าในค่ารับที่มีการเติมแบคทีเรียเพียงอย่างเดียวและเติมแบคทีเรียร่วมกับหินฟอสเฟต ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าสูงขึ้นกว่าค่ารับควบคุมและสูงกว่าค่ารับที่เติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง Ponmurugan and Gopi (2002) สรุปว่าจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตทุกชนิดสามารถผลิต Phytohormone และเอนไซม์ฟอสฟาเตส ซึ่งช่วยในการเพิ่มแร่ธาตุฟอสฟอรัสในดินทำให้เมื่อเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพลงไปทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานทดลองของ Kurek et al. (2013) ได้ศึกษาผลของการใส่เชื้อ *Pseudomonas luteola* ต่อการละลายฟอสเฟตและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนแอปเปิ้ล ได้คัดเลือก *Pseudomonas luteola* ที่มีประโยชน์ในด้านการเจริญเติบโตของพืชมาทดสอบในกระถางที่ปลูกแอปเปิ้ลนาน 14 สัปดาห์ คัดเลือก *Pseudomonas luteola* BN08-34 พบว่าการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต BN0834 ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินต่อพืชในค่ารับที่มีการใส่ *P. luteola* ร่วมกับ MP (Mineral phosphate) และ *P. luteola* 10 เท่าร่วมกับ MP สามารถวัดปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงสุดคือ 16.2 และ 15.2 mgP kg^{-1} ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่ารับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 10.6 mgP kg^{-1} เขาสรุปว่าการใส่เชื้อ *P. luteola* ร่วมกับ MP ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินกระถางมีประโยชน์กับพืชเพิ่มมากขึ้น

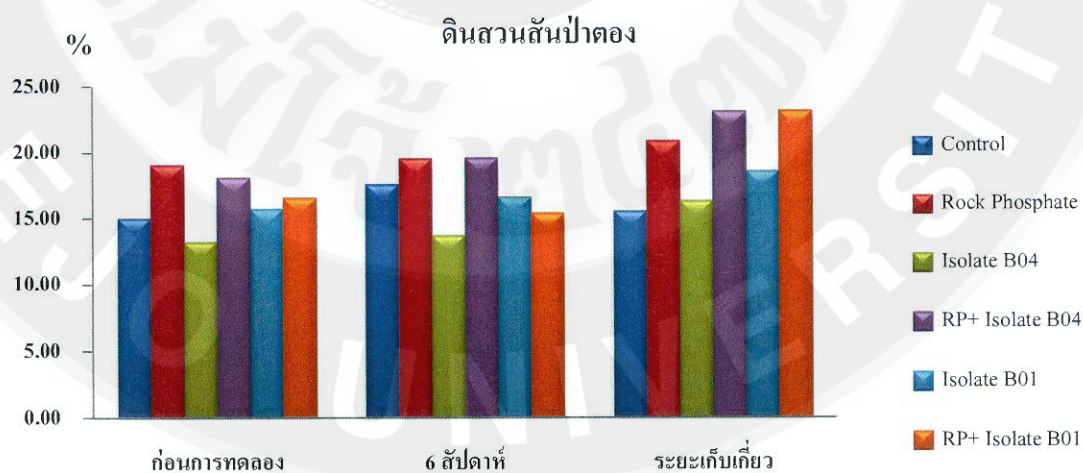
จากภาพ 9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินของสวนคอยสะเก็ดจะเห็นว่าก่อนการทดลองค่ารับควบคุมมีสัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินที่มากกว่าค่ารับอื่นๆ แต่หลังจาก 6 สัปดาห์พบว่าทุกค่ารับที่มีการเติมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพมีสัดส่วนของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าค่ารับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีสัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด เช่นเดียวกับระยะเก็บเกี่ยว เพราะฉะนั้นแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพมีการตอบสนองได้ดีกับดินในสวนคอยสะเก็ด ส่วนสวนในอำเภอสันป่าดงเดิมที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงอยู่แล้วทำให้สัดส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินก่อนการ

ทดลองมีค่อนข้างสูง แต่ใน 6 สัปดาห์ก็เริ่มเห็นสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 เพิ่มขึ้นและจะเห็นได้ชัดเจนในระยะเวลาเก็บเกี่ยวจะเห็นว่าในดินบนของสวนสันป่าตองมีสัดส่วนของตำรับที่เติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 มีค่าสูงขึ้นจากเดิม 17 % เป็น 23% ส่วนตำรับควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินน้อยที่สุด

เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดใน



เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดใน



ภาพ 9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินบนต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสวนดอยสะเก็ดและสวนสันป่าตอง

ปริมาณฟอสฟอรัสในใบและคุณภาพลำไย

ปริมาณฟอสฟอรัสจากตัวอย่างใบลำไยในอำเภอสวนดอยสะเก็ด พบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสในใบวัดค่าได้คือ 0.17 %P หลังจาก 6 สัปดาห์พบว่าสวนในอำเภอดอยสะเก็ดติดดอกน้อยถึงไม่ติดดอกจึงไม่มีผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในใบจากกิ่งที่ติดผล ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในใบของกิ่งที่ไม่ติดผลในสวนดอยสะเก็ดมีค่า 0.15 %P เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของปริมาณฟอสฟอรัสในใบลำไยมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.12-0.22 %P (ยุทธนา และคณะ, 2545) ขณะที่สวนลำไยในอำเภอสันป่าตองมีปริมาณฟอสฟอรัสในใบช่วงระยะก่อนการออกดอกคือ 0.28 %P ซึ่งถือว่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน และปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้จากกิ่งที่ไม่ติดผลมีค่าที่เหมาะสมคือ มีค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.14-0.25 %P และปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างใบลำไยจากกิ่งที่ติดผล มีค่าลดลงจากก่อนการทดลองซึ่งวัดได้ 0.09-0.25 %P โดยดำรับที่มีการเติมเชื้อแบคทีเรีย Isolate B04 และเติมหินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อแบคทีเรีย Isolate B01 ให้ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่ดีสูงสุดคือ 0.25 %P และมีค่าสูงกว่าดำรับควบคุมซึ่งไม่มีการใส่เชื้อแบคทีเรีย Isolate B01 และ Isolate B04 สอดคล้องกับงานทดลองของ Attia et al. (2009) ได้ศึกษาการใช้จุลินทรีย์ในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของกล้วยภายใต้อัตราการใช้ฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันพบว่า การทดลองในปี 2005 และปี 2006 ดำรับการทดลองที่มีการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพพร้อมกับการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในใบสูงกว่าดำรับที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพเพียงอย่างเดียวและการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่างๆ เพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับการทดลองของ Esitken et al. (2010) ศึกษาผลแบคทีเรียที่ผลิตสารกระตุ้นการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในการปลูกสตอเบอรี่อินทรีย์ โดยทุกดำรับมีการใส่ปุ๋ยคอกและหินฟอสเฟต ซึ่งวัดปริมาณฟอสฟอรัสในใบได้สูงที่สุดในดำรับที่เติมเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพพร้อมกัน 3 ชนิด คือ M3+BA-8+OSU-142 (*Pseudomonas* BA-8, *Bacillus* OSU-142 and *Bacillus* M-3) และทุกดำรับมีปริมาณฟอสฟอรัสในใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) แต่ขัดแย้งกับงานทดลองของ Kurek et al. (2013) และงานทดลองของ Istina et al. (2015) โดยที่ Kurek et al. (2013) ได้ศึกษาผลของการใส่เชื้อ *Pseudomonas luteola* ต่อการละลายฟอสเฟตและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนแอปเปิล ได้คัดเลือก *Pseudomonas luteola* ที่มีประโยชน์ในด้านการเจริญเติบโตของพืชมาทดสอบในกระถางที่ปลูกต้นแอปเปิลนาน 14 สัปดาห์ คัดเลือก *Pseudomonas luteola* BN08-34 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในใบตัวอย่างทุกดำรับไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ มีค่าระหว่าง 0.14-0.18 %P สำหรับ Istina et al. (2015) ได้ศึกษาจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตจาก Peat soil ต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของปาล์มน้ำมัน พบว่าดำรับที่ใส่เชื้อแบคทีเรีย *Penicillium aculeatum* และดำรับที่ใส่เชื้อแบคทีเรีย

Burkholderia gladioli มีปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินสูงกว่าค่ารับควบคุมแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การวัดคุณภาพของผลลำไยอินทรีย์แบ่งเป็น น้ำหนักผล ขนาด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยน้ำหนักของผลสดลำไยที่ซังได้ น้ำหนักเปลือกซังได้ 1.85-2.67 g น้ำหนักเมล็ด 1.33-1.53 g และน้ำหนักผล 4.85-6.68 g พบว่าในตำรับที่เดิมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพร่วมกับหินฟอสเฟตมีปริมาณค่าที่วัดได้สูงกว่าค่ารับควบคุมแต่ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการทดลองของ Esitken et al. (2010) ที่พบว่าน้ำหนักของสตรอเบอร์รี่ทุกตำรับที่มีการเติมปุ๋ยคอกและหินฟอสเฟตร่วมกับแบคทีเรียชนิดต่างๆ ให้น้ำหนักของผลสตรอเบอร์รี่มีค่าสูงสุดในตำรับที่เติมเชื้อ *Bacillus* OSU-142 แต่ทุกตำรับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าระหว่าง 6.66-7.13 g

สำหรับการศึกษาของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid) พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.5 °Brix โดยตำรับที่มีการเติมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพร่วมกับหินฟอสเฟตมีค่าสูงสุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมีค่าอยู่ระหว่าง 16.81-18.95 °Brix ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับงานทดลองของ Marisa (2006) ศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของลำไย ลิ้นจี่ และเงาะ ของหมู่บ้านสาวาย ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วงระหว่าง 18-21, 17-20 และ 16-18 °Brix ตามลำดับ และ Marisa (2006) ได้รายงาน จากการทดลองของ Paull et al. (1984), Kosiachinda et al. (1987), Tongdee (1997) และ Underhill et al. (1997) กล่าวว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของลำไยมีค่า 16-25 °Brix ลิ้นจี่ 13-20 °Brix และเงาะ 17-21 °Brix สอดคล้องกับงานทดลองของ Attia et al. (2009) ศึกษาการใช้จุลินทรีย์ในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของกล้วยภายใต้การใส่ฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันพบว่าในปี 2005 และ 2006 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยมีค่าสูงสุด 3 อันดับแรก โดยในตำรับที่มีการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตราต่างๆ มีค่ามากกว่าค่ารับควบคุมและตำรับที่เติมจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว คือ ใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตรา 25, 50 และ 75 %P มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 17.57, 17.00 และ 16.73 °Brix ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยในงานทดลองของ Esitken et al. (2010) ได้วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของสตรอเบอร์รี่พบว่าตำรับที่เติมจุลินทรีย์ BA-8 + OSU-142 มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุดคือ 9.08 °Brix และมีค่าระหว่าง 8.27-9.08 °Brix โดยทุกตำรับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ปณิศา (2555) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อผลผลิตและคุณภาพของลำไยในอำเภอดงหลวง จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่ปี 2553-2554 ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยมูลวัว และปุ๋ยมูลไก่ในอัตราชนิดละ 10 kg พบว่าปุ๋ยมูลวัวมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด คือ 16.6 °Brix จากการทดลองครั้งนี้

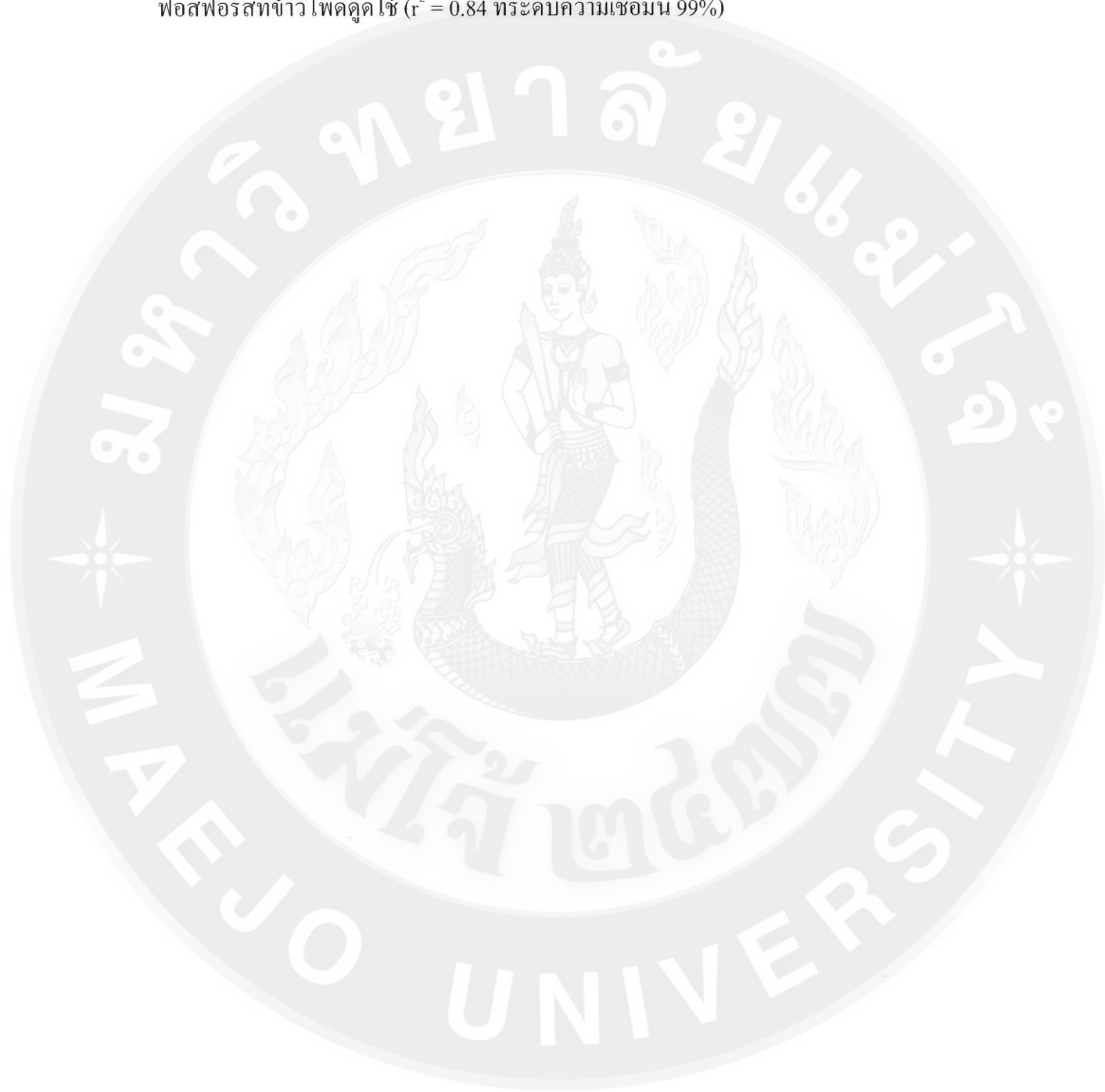
จะเห็นว่าการใช้แบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟตร่วมกับหินฟอสเฟตทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของลำไยมีค่ามากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือการใช้จุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว

สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในส่วนของเปลือก เนื้อและเมล็ดลำไยนั้น พบว่าในเมล็ดลำไยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้คือ 0.09-0.15 % P ส่วนของเปลือกและเนื้อ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ 0.04-0.06 % P และ 0.07-0.12 % P ตามลำดับ โดยทุกตำรับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสจะพบมากในเมล็ด เช่น ในตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว ตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 และตำรับที่มีการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B04 มีปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดเท่ากับ 0.13, 0.14 และ 0.15 %P สอดคล้องกับการทดลองของสมยศ และคณะ (2557) ศึกษาคุณภาพและปริมาณธาตุอาหารของส้มโอพันธุ์ทองดีจาก 3 พื้นที่ พบว่าสวนที่ 1 ที่มีการจัดการแบบอินทรีย์โดยการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับหินฟอสเฟต ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในส่วนของ เปลือก ผลและเมล็ดของส้มโอสูงกว่าสวนที่มีการจัดการแบบอื่น คือ 0.10, 0.20 และ 0.30 % P ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดจะมีค่าสูงเช่นเดียวกับการทดลองนี้ มีความแตกต่างกับงานทดลองของ Attia et al. (2009) ได้ศึกษาปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในผลของกล้วยในปี 2005 และ 2006 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในผลของกล้วยมีปริมาณที่วัดได้สูงสุดในตำรับที่ใช้ฟอสฟอรัสในอัตราต่างๆ ร่วมกับแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในปี 2005 คือ 0.124 % P และในปี 2006 มีค่า 0.127 % P โดยที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสรวมกับการใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟต ซึ่งเมื่อมีการใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวจะทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในผลต่ำที่สุดและมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับตำรับที่เติมปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 50 และ 75 %P ในปี 2005

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน กับปริมาณฟอสฟอรัสในเปลือก เนื้อและเมล็ดลำไย

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อและเมล็ดลำไยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($r^2 = 0.6083$ และ 0.9013) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าว มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริขวัญ และคณะ (2551) ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยา Bray II กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ รายงานว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยา Bray II มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ ($r^2 = 0.985$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%) และ สุรเชษฐ์ และคณะ

(2550) ได้การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ รายงานว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยา Bray II มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ ($r^2 = 0.84$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สามารถย่อยละลายฟอสเฟตต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินและลำไยในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งได้ทำการทดลองตั้งแต่เดือน เมษายน 2555-เมษายน 2556 สรุปการทดลองดังนี้

1. การรวบรวมและคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยละลายฟอสเฟตจากสวนลำไย

ผลการรวบรวมและคัดเลือกแบคทีเรียจากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินรอบๆ ลำต้นลำไยจาก 2 สวน ในเขตอำเภอคอยสะเก็ดและอำเภอสันป่าตอง พบว่าจำนวนแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยละลายฟอสเฟตจากอาหารแข็งมีทั้งหมด 135 Isolates และได้คัดเลือก 5 Isolates จากสวนคอยสะเก็ด 3 Isolates และสวนสันป่าตอง 2 Isolates เพื่อนำมาศึกษาประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตในอาหารเหลวและอาหารแข็ง Czapek's Agar

2. การตรวจสอบประสิทธิภาพในการย่อยละลายฟอสเฟตจากตัวอย่างแบคทีเรียที่คัดเลือก 5 Isolates

การตรวจสอบประสิทธิภาพในการย่อยละลายฟอสเฟตจากตัวอย่างแบคทีเรียในดินบนได้คัดเลือก 5 Isolates จาก 135 Isolates คือ Isolate B01, Isolate B03, Isolate B04, Isolate B17 และ Isolate B24 มีค่าการวัดในอาหารแข็งและอาหารเหลวซึ่งมี $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ เป็นแหล่งของฟอสฟอรัส พบว่า Isolate B04 และ Isolate B01 ให้ค่าการละลายฟอสฟอรัสในอาหารแข็งที่มีดัชนีการละลายฟอสเฟตสูงเป็นอันดับ 1 และอันดับ 2 ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพในอาหารเหลวพบว่าดำรับที่เดิมเชื้อแบคทีเรีย Isolate B04 ให้ค่าการละลายฟอสฟอรัสสูงที่สุด

3. ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินต่อการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสในตัวอย่างลำไย

ประสิทธิภาพของแบคทีเรียย่อยละลายฟอสเฟตจากการคัดเลือกต่อคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินและตัวอย่างลำไย โดยแบ่งเป็น 2 สวน คือ

1. สวนลำไยในเขตอำเภอคอยสะเก็ด

ประสิทธิภาพของแบคทีเรียย่อยละลายฟอสเฟตจากการคัดเลือกต่อคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินและตัวอย่างลำไยในอำเภอคอยสะเก็ด จากก่อนการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม และปริมาณฟอสฟอรัสในดินต่ำแต่มี

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูง เมื่อทำการใส่เชื้อแบคทีเรียพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน หลังการทดลอง 6 สัปดาห์ และช่วงระยะเก็บเกี่ยว ในดินบนไม่มีการตอบสนองต่อการใส่เชื้อแบคทีเรีย Isolate B01 และ Isolate B04 แต่ในดินล่างมีการตอบสนองได้ดีต่อการเติมแบคทีเรีย Isolate B01 ร่วมกับหินฟอสเฟต โดยทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มจาก 6.2 เพิ่มเป็น 6.9 ในระยะการเก็บเกี่ยว สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินไม่มีการตอบสนองต่อการเติมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีการตอบสนองได้ดีกับการเติมแบคทีเรีย Isolate B04 ร่วมกับหินฟอสเฟต ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองที่มีค่า 19.9 mgP kg^{-1} เป็น 49.7 mgP kg^{-1} ในระยะเก็บเกี่ยวโดยมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินไม่มีการตอบสนองต่อการเติมแบคทีเรีย ส่วนปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในตัวอย่างใบในระยะก่อนการออกดอกและระยะเก็บเกี่ยวไม่ตอบสนองต่อการเติมแบคทีเรีย Isolate B01 และ Isolate B04 แต่มีค่าที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน คือ 0.15 และ 0.17 %P

2. ส่วนลำไยในเขตอำเภอสันป่าตอง

ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินบนไม่มีความแตกต่างกัน คือ ไม่ตอบสนองต่อการเติมเชื้อแบคทีเรีย Isolate B01 และ Isolate B04 แต่ในดินล่างมีการตอบสนองได้ดีเมื่อมีการเติมแบคทีเรีย Isolate B04 ร่วมกับหินฟอสเฟต ซึ่งพบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงขึ้นถึงในระดับที่เหมาะสม ซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มธาตุอาหารอื่นๆ ในสารละลายดิน โดยเฉพาะปริมาณฟอสฟอรัสซึ่งมีความผันแปรต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินที่มีค่าเกินมาตรฐานตั้งแต่ก่อนการทดลอง แต่มีความสามารถในการตอบสนองกับดาร์บีที่เติมหินฟอสเฟต ร่วมกับ Isolate B04 และการเติมหินฟอสเฟตร่วมกับ Isolate B01 ใน 6 สัปดาห์ มีค่า 155 และ 150 mgP kg^{-1} ในดินล่างพบค่า 135 และ 131 mgP kg^{-1} โดยระยะเก็บเกี่ยวของดินบนมีค่า 242 และ 230 mgP kg^{-1} ในดินล่างมีค่า 167 และ 152 mgP kg^{-1} สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินบนอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม คือ 2.54 และ 2.72 %OM แต่ในดินล่างมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานทุกดาร์บีการทดลองยกเว้นหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ ในดาร์บีที่เติม Isolate B04 ให้ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่สูงที่สุดและมีค่าเหมาะสมสำหรับพืช คือ 2.12 %OM ขณะที่ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในตัวอย่างใบระยะก่อนการออกดอกมีค่าไม่แตกต่างกันและมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานสำหรับฟอสฟอรัสในใบลำไย ขณะที่ทุกดาร์บีที่มีการเติมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพและ/หรือหินฟอสเฟตมีการตอบสนองกับปริมาณฟอสฟอรัสในใบลำไยจากกิ่งที่ไม่ติดผล ซึ่งการทดสอบตัวอย่างใบลำไยที่ติดผลพบว่าการเติมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวไม่มีการตอบสนองกับปริมาณ

ฟอสฟอรัสที่สะสมในใบลำไยจากกิ่งที่ติดผลและมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานสำหรับฟอสฟอรัสในใบลำไยซึ่งมีค่าระหว่าง 0.14-0.25 %P

สำหรับน้ำหนักเปลือก เนื้อและเมล็ด ขนาดของผล และ Total Soluble Solid ของตัวอย่างลำไยผลสดพบว่าไม่มีการตอบสนองต่อการเติมแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟต



บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. ลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคเหนือและที่สูงตอนกลางของประเทศ
ไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. เอกสารวิชาการ
ฉบับที่ 53/03/48. 77 น.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. เศรษฐกิจการเกษตร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
<http://www.moac.go.th/main.php?filename=Project09> (1 สิงหาคม 2556).
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2557. ลำไย. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www.oae.go.th/
fruits/index.php/longan-data](http://www.oae.go.th/fruits/index.php/longan-data) (7 กุมภาพันธ์ 2558)
- จิราภรณ์ อินทสาร. 2554. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน Soil Fertility. เชียงใหม่: คณะผลิตกรรมการ
เกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 290 น.
- ไตรธานี เข้มม่อน, นันทวัน ฤทธิ์เดช, ประสิทธิ์ ใจสีล และโสภณ บุญลือ. 2555. การส่งเสริมการ
เจริญเติบโตของอ้อยด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในสภาพเรือนทดลอง. แก่น
เกษตร 40(3): 185-193.
- ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพเทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ:
คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 300 น.
- นงลักษณ์ ประณะพงษ์. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. เชียงใหม่: ภาควิชาทรัพยากรดินและ
สิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 248 น.
- นิสาร์ตน์ ทวีนุด. 2549. ประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ดินต่อการย่อยสลายฟอสเฟตและการตรึง
ไนโตรเจนในปุ๋ยหมัก. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
86 น.
- ปฎิภาณ สุทธิกุลบุตร. 2555. การพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการธาตุอาหารลำไย
อินทรีย์. เชียงใหม่: คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 112 น.
- _____. 2555. โครงการพัฒนาดัชนีแบบการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตลำไยอินทรีย์
ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน. เชียงใหม่: คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่
โจ้. 96 น.
- ปณิดา พันธุ์ชนะ. 2555. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางเคมีดินและปริมาณธาตุอาหารในใบลำไย
จากกิ่งที่ไม่ติดผล. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 91 น.
- ปรารธนา หงส์ฤทธิ์พันธุ์. 2555. การแยกและการคัดเลือกแบคทีเรียเอนโดไฟต์ตรึงไนโตรเจนใน
ข้าว. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 105 น.

- พาวัน มะโนชัย. 2543. ลำไย. เชียงใหม่: สาขาไม้ผล ภาควิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 115 น.
- _____. 2544. ใน เอกสารประกอบการเรียน. เชียงใหม่: สาขาไม้ผล ภาควิชาพืชสวนและ ภาควิชาดินปุ๋ย คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 157 น.
- พาวัน มะโนชัย, ยุทธนา เขาสุมะ, ชิตี ศรีตนทิพย์ และสันติ ช่างเจรจา. 2547. เทคโนโลยีการผลิต ลำไย. วารสารเกษตรการเกษตร. สำนักพิมพ์: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. 128 น.
- ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถสิทธิ์ วงศ์มณีโรจน์และ ชาลิต สงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 519 น.
- ยุทธนา เขาสุมะ, ชิตี ศรีตนทิพย์ และสันติ ช่างเจรจา. 2543. สภาพธาตุอาหารในดินและใบลำไย ต้นโทรมและต้นปกติใน จ.เชียงใหม่และลำพูน. ใน รายงานการประชุมวิชาการ ประจำปี 2543. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.
- _____. 2545. ดินและปุ๋ยลำไย. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมการจัดการดินและปุ๋ย พืชสวนเชิงธุรกิจ. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราช.
- วิทยา มะเสนา. 2526. จุลชีววิทยาทางดิน. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 228 น.
- วีระ ศรีบุญรัตน์. 2544. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ. สุรินทร์: คณะเกษตรศาสตร์บางพระ(สุรินทร์) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตสุรินทร์. 128 น.
- วุฒิชัย จันทรมบัติ, นวลจันทร์ ภาสดา, มนต์ระวี พิราวัชร และวีระ โรพันดุง. 2550. การคัดเลือก จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต เพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. กรุงเทพฯ: สำนัก เทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดินศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีปากช่อง. 49 น.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. ปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บ้านและสวน. 215 น.
- ศิริขวัญ ภูंना, ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ และ จงรักย์ จันท์เจริญสุข. 2551. การประเมินความเป็น ประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียม ฟอสเฟตในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ้อน โดยสกัดดิน ด้วยวิธีเบรย์-2 และการปลูกข้าวโพด. การประชุมวิชาการ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 7 น.
- ศิริพรรณ สารินทร์. 2550. จุลชีววิทยาสังแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดสาม-ลดดา. 310น.
- สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์. 2555. ระบบเกษตรอินทรีย์ IFOAM. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.actorganic-cert.or.th> (19 มิถุนายน 2558).

- สมยศ มีทา, พงษ์ศักดิ์ ยั่งยืน, สุภัทร อิศรางกูร ณ อยุธยา และ พชริน สังศรี. 2557. คุณภาพของ
ผลผลิตและปริมาณธาตุอาหารในส้มโอพันธุ์ทองดีจากสวนสามประเภท. **แก่น
เกษตร**. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 233-238 น.
- สมพร ชุนห์ลือชานนท์. 2549. **การผลิตปุ๋ยอินทรีย์-ชีวภาพเพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืช**. กรุงเทพฯ:
สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย(สกว.). 172 น.
- สมศักดิ์ วั่งใน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 160 น.
- สุบิณฑิต นิมรัตน์. 2552. **จุลชีววิทยาและการจัดการมลภาวะทางน้ำและดิน**. กรุงเทพฯ:
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 184 น.
- สุภาพร จันรุ่งเรือง, เบญจมาศ รสโสภา และ วรรณิการ์ สัจจาพันธ์. 2553. ผลของแบคทีเรียละลาย
ฟอสเฟต *Burkholderia* sp. สายพันธุ์ Rs01 ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน
พันธุ์อินทรี 2. **วิทยาสารกำแพงแสน** 8(1): 1-14 น.
- สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ และ เอ็จ สโรบล. 2550. การ
ประเมินฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินโดยวิธีเมลิช 3. น.
50-57. ใน **การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 45**. กรุงเทพฯ : คณะเกษตรศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรรวรรณ นัตตสีรุ่ง. 2551. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. เชียงใหม่ : ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์
ศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 253 น.
- อนันต์ ดำรงค์สุข. 2547. **ลำไย**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์อักษรสยามการพิมพ์. 152 น.
- อาภารัตน์ มหาจันทร์. 2549. **ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต กับอนาคตการเกษตรของ
ประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 67 น.
- Amberger, A. 2006. Soil Fertility and plant nutrition in the tropical and subtropics.
International Fertilizer Industry Association International Potash Institute.
96 p.
- Arcand, M.M. and K.D. Schneider. 2006. Plant- and microbial-based mechanisms to improve the
agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. **An. Acad. Bras. Cienc.**
78: 791-807.
- Arvind, K. B., Poonam and C.R., Lal. 2010. Isolate and molecular characterization of phosphate
solubilizing *Enterobacter* and *Exiguobacterium* species from paddy fields of
Eastern Uttar Pradesh, India. **Microbiology Research**, 4(9): 820-829.

- Ashara, P. H., Yasuyuki. O., Jumpen. G., Sayjai. S.O., Manoon. S., Takuro. W., Toshihiro and O., Mitsuru. 2007. Screening of phosphate-solubilizing microorganisms in rhizosphere and rhizoplane of adverse soil-adapting plants in Southern Thailand. **The Japan Society Ecology** 16(1): 1-7.
- Atlas, R.M. 1993. **Handbook of Microbiological Media**. The United States of America: CRC Press. 1957 p.
- Attia, M. M.A., Ahmed and M.R., El-sonbaty. 2009. Use of Biotechnologies to Increase Growth, Productivity and Fruit Quality of Maghrabi Banana under Different Rates of Phosphorus. **Agricultural Sciences** 5: 211-220.
- Barber, S.A. 1984. **Soil nutrient Bioavailability**. United States of America: John Wiley & Sons. 398 p.
- Barea, J.M., M.J. Pozo., R. Azcón and C. Azcón-Aguilar. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. **J. Exp. Bot.** 56: 1761-1778.
- Barker, A.V. and D.J., Pilbeam. 2006. **Handbook of Plant Nutrition**. CRC Press 632 p.
- Chung, H. M., Park. M., Madhaiyan. S., Seshadri. J., Song. H., Cho. and T., SA. 2005. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of crop plants of Korea. **Soil Biol. Biochem** 37: 1970-1974.
- Dave, A. and H.H., Patel. 2003. Impact of different carbon and nitrogen sources on phosphate solubilization by *Pseudomonas fluorescens*. **Indian J. Microbiol** 43: 33-36.
- Edi-Premono, M. A.M., Moawad and P.L.G., Vlek. 1996. Effect of phosphate solubilizing *Pseudomonas putida* on the growth of maize and its survival in the rhizosphere. **Indonesian Journal of Crop Science** 11: 13-23.
- El-Komy, H.M.A. 2005. Coimmobilization of *Azospirillum lipoferum* and *Bacillus megaterium* for successful phosphorus and nitrogen nutrition of wheat plants. **Food Technol. Biotechnol** 43: 19-27.
- Emine, O. A., Esitken. S., Ercisli. M., Turan and F., Sahin. 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. **Scientia Horticulturae** 111: 38-43.

- Esitken, A. H.E., Yildiz. S., Ercisli. M. F., Donmez. M., Turan and A., Gunes. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. **Scientia Horticulturae** 124: 62–66.
- Gyaneshwar, P., G. Naresh Kumar, L.J. Parekh and P.S. Poole. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and Soil** 245: 83-93.
- Huseyin, K. A., Esitken. M, Turan. and F, Sahin. 2007. Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient element contents of leaves of apple. **Scientia Horticulturae** 114: 16–20.
- Istina, N.I. H., Widiastuti. B., Joy and M., Antralina. 2015. Phosphate-Solubilizing Microbe From Saprist Peat Soil and Their Potency to Enhance Oil Palm Growth and P Uptake. **Procedia Food Science** 3: 426–435.
- Illmer, P. and F., Schinner. 1992. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolate from forest soil. **Soil Biol. Biochem** 24: 389-395.
- Jones, D.L. 1998. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. **Plant and Soil** 205: 25-44.
- Kosiyachinda, S. P.F., Lam. D.B., Mendoza. W., Broto. and K., Wanichkul. 1987. Maturity indices for harvesting of rambutan. In: Lam, P.F., Kosiyachinda, S. (Eds.), **Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN. ASEAN Food Handling Bureau**. Malaysia: Kuala Lumpur. 32–38.
- Kurek, E. E., Ozimek. P., Sobiczewski. A., Slomka and J.J., Sciseaa. 2013. Effect of *Pseudomonas luteola* on mobilization of phosphorus and growth of young apple trees (Ligol)—Pot experiment. **Scientia Horticulturae** 164: 270–276.
- Lindow, S.E. and M.T. Brandl. 2003. Microbiology of the phyllosphere. **Appl Environ Microbiol.** 69: 1875-1883.
- Marisa. M.W. 2006. Ascorbic acid and mineral composition of longan (*Dimocarpus longan*), lychee (*Litchi chinensis*) and rambutan (*Nephelium lappaceum*) cultivars grown in Hawaii. **Journal of Food Composition and Analysis**. 19: 655–663.
- Murphy, J. and J.P, Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta** 27: 31-36.

- Nibha, G. S., Jyotasanmayee. P., Reena. and K., Dipika. 2007. Solubilization of tricalcium phosphate and rock phosphate by microbes isolated from chromite, iron and manganese mines. **Acta Bot. Croat** 66(2): 197–204.
- Oliveira, C.A. V.M.C., Alves . I.E, Marriel. E.A., Gomes. M.R., Scotti. N.P., Carneiro. C.T., Guimarães. R.E., Schaffert. and N.M.H., Sa. 2009. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biol. Biochem** 41: 1782-1787.
- Orhan, E. A, Esitken. S, Ercisli. M, Turan. and F, Sahin. 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. **Scientia Horticulturae** 111: 38–43.
- Park, J. H. N., Bolan. M., Megharaj. and R., Naidu. 2011. Isolation of phosphate solubilizing bacteria and their potential for lead immobilization in soil. **Journal of Hazardous Materials** 185: 829–836.
- Paull, R.E., Chen, N.J., Deputy, J., Huang, H., Cheng. and G.F, Gao. 1984. Litchi growth and compositional changes during fruit development. **Hort Science** 109: 817–821.
- Perez, E. M., Sulbaran. M.M., Ball and L.A. Yarzabal. 2007. Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. **Soil Biology & Biochemistry** 39: 2905–2914.
- Ponmurugan, P. and C. Gopi. 2006. Distribution Pattern and Screening of Phosphate Solubilizing Bacteria Isolated from Different Food and Forage Crops. **Journal of Agronomy** 5: 600-604.
- Pradhan, N. and L.B., Sukla. 2005. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. **Africa Journal of Biotechnology** 5(10): 850-854.
- Prescott, L.M. 2002. **Microbiology**. America: McGraw-Hill. 1026 p.
- Richa, G. 2003. **Rock Phosphate and Phosphate solubilizing microbes as a source of nutrients for crop**. India: Master dissertation, Thapar University. 51 p.
- Rodríguez, H. and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnol (Adv.)** 17: 319-339.

- Ryan, P.R., E. Delhaize and D.L. Jones. 2001. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. **Plant Mol. Biol** 52: 527-560.
- Seshadri, S. R., Muthukumarasamy. C., Lakshminarasimhan. and S., Ignacimuthu. 2000. Solubilization of inorganic phosphates by *Azospirillum halopraeferans*. **Current Science** 79(5).
- Sperber, I.J. 1958. The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. **Aust. J. Res** 9: 778-781
- _____. 1958. Solution of apatite by soil microorganisms producing organic acids. **Aust. J. Res.** 9: 782-787.
- Tilak, K.V.B.R., N. Ranganayaki, K.K. Pal, R. De, A.K. Saxena, C.S. Nautiyal, S. Mittal, A.K. Tripathi and B.N. Johri. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. **Curr. Sci.** 89: 136-150.
- Tongdee, S.C. 1997. **Longan**. New York: Mitra, Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits. 335–345 p.
- Underhill, S.J. R, Coates. and L.M, Saks. 1997. **Litchi**. New York: Mitra, Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits. 191–208 p.
- Watanabe, F.S. and S. R., Olsen. 1962. Calorimetric determination of phosphorus in water extracts of soil. **Soil Science** 93: 183-188.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ตาราง 15 ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในดินลำไย

ธาตุอาหาร	ค่าที่เหมาะสม
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-6.5
อินทรีย์วัตถุ (% OM)	2.0-3.0
ฟอสฟอรัส (P) (mg kg^{-1})	36-60
โพแทสเซียม (K) (mg kg^{-1})	100-120
แคลเซียม (Ca) (mg kg^{-1})	800-1,500
แมกนีเซียม (Mg) (mg kg^{-1})	250-450
เหล็ก (Fe) (mg kg^{-1})	60-70
สังกะสี (Zn) (mg kg^{-1})	3-15
ทองแดง (Cu) (mg kg^{-1})	3-5
แมงกานีส (Mn) (mg kg^{-1})	20-60
โบรอน (B) (mg kg^{-1})	4-6

ที่มา: ยุทธนา และคณะ (2545)

ตาราง 16 ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในใบลำไย (ค่ามาตรฐาน)

ธาตุอาหาร	ค่าที่เหมาะสม
ไนโตรเจน (N) (%)	1.88-2.42
ฟอสฟอรัส (P) (%)	0.12-0.22
โพแทสเซียม (K) (%)	1.27-1.88
แคลเซียม (Ca) (mg kg^{-1})	0.88-2.16
แมกนีเซียม (Mg) (mg kg^{-1})	0.20-0.31
เหล็ก (Fe) (mg kg^{-1})	68.11-86.99
สังกะสี (Zn) (mg kg^{-1})	16.99-24.29
ทองแดง (Cu) (mg kg^{-1})	16.32-18.45
แมงกานีส (Mn) (mg kg^{-1})	47.00-80.46
โบรอน (B) (mg kg^{-1})	22.30-45.58

ที่มา: ยุทธนา และคณะ (2543)

ตาราง 17 ปริมาณธาตุอาหารที่ลำไยใช้ในระหว่างการแตกช่อใบ

ขนาดทรงพุ่ม (เมตร)	ปริมาณธาตุอาหาร		
	ไนโตรเจน (กรัม/ต้น)	ฟอสฟอรัส (กรัม/ต้น)	โพแทสเซียม (กรัม/ต้น)
1	6.0	0.5	3.8
2	11.7	0.9	7.3
3	28.3	2.3	17.7
4	55.3	4.4	34.6
5	96.4	7.7	60.3
6	156.5	12.5	97.8
7	241.4	19.3	150.9

ที่มา: พาวิน (2544)

ตาราง 18 ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของผลลำไยพันธุ์อีดอในระยะผลแก่

ธาตุอาหาร	ส่วนต่างๆ ของผล					
	เปลือก		เนื้อ		เมล็ด	
ไนโตรเจน (N) (%)	1.06	0.88	0.78	0.76	1.11	1.02
ฟอสฟอรัส (P) (%)	0.09	0.09	0.15	0.13	0.15	0.14
โพแทสเซียม (K) (%)	0.67	0.45	1.11	1.39	0.53	0.31
แคลเซียม (Ca) (%)	1.41	1.67	0.07	0.08	0.14	0.14
แมกนีเซียม (Mg) (%)	0.15	0.22	0.05	0.07	0.06	0.03
เหล็ก (Fe) (mg kg ⁻¹)	56.50		25.90		168.00	
แมงกานีส (Mn) (mg kg ⁻¹)	49.60		5.90		14.10	
สังกะสี (Zn) (mg kg ⁻¹)	10.70		8.50		18.40	
ทองแดง (Cu) (mg kg ⁻¹)	6.10		7.80		8.60	

ที่มา: สมคิด (2539) และ สัญชัย (2538)

ตาราง 19 ปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตลำไย 1 กิโลกรัม

ธาตุอาหาร	ปริมาณที่ติดไปกับผลผลิต (น้ำหนัก/ผลผลิตลำไย 1 กิโลกรัม)
ไนโตรเจน (g)	3.71
ฟอสฟอรัส (g)	0.42
โพแทสเซียม (g)	3.73
แคลเซียม (g)	1.53
แมกนีเซียม (g)	0.26
เหล็ก (mg)	20.51
สังกะสี (mg)	4.43
ทองแดง (mg)	3.35
แมงกานีส (mg)	15.12
โบรอน (mg)	6.40
ที่มา: พาวัน และคณะ (2547)	



อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Nutrient agar

Beef extract	3.0	กรัม
Peptone	5.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

หมายเหตุ: Nutrient broth คือ Nutrient agar ที่ไม่เติมวุ้น

หลังเตรียมส่วนผสมแล้ว นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์

2. Czapek's agar medium (ดัดแปลงจาก Atlas, 1993)

Sucrose	30.0	กรัม
NaNO ₃	2.0	กรัม
CaHPO ₄ ·H ₂ O*	1.5	กรัม
KCl	1.4	กรัม
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.5	กรัม
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.01	กรัม
Agar	15.0	กรัม
pH	7.3 ± 0.2 at 25°C	

ละลายสารในน้ำกลั่น ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 7.3 ± 0.2 ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121°C ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 20 นาที ในการเติมอาหารวุ้นใส่ Agar 15 g หลังปรับ pH

*ถ้าจะหา Clear zone ให้เปลี่ยนจาก CaHPO₄·H₂O ไปเป็น Ca₃(PO₄)₂ เติม Congo red 1% 10 มิลลิลิตรเพื่อความชัดเจนของ Clear zone

3. Czapek's broth medium (ดัดแปลงจาก Atlas, 1993)

Sucrose	30.0	กรัม
NaNO ₃	2.0	กรัม
Ca ₃ (PO ₄) ₂	1.5	กรัม
KCl	1.4	กรัม
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.5	กรัม
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.01	กรัม
pH	7.3 ± 0.2 at 25°C	

ละลายสารในน้ำกลั่น ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 7.3 ± 0.2 ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร
นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121°C ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 20 นาที

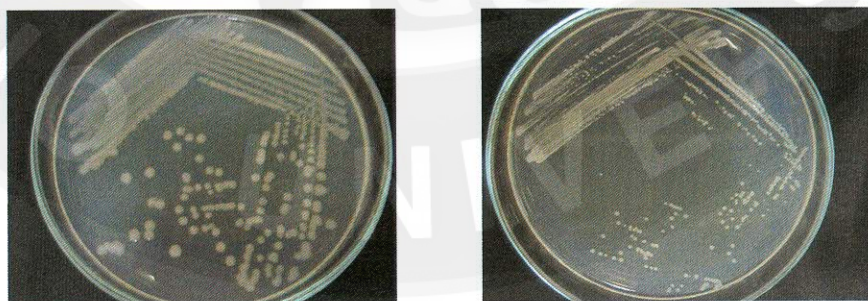
รูปภาพการหาแบคทีเรียจากห้องปฏิบัติการ



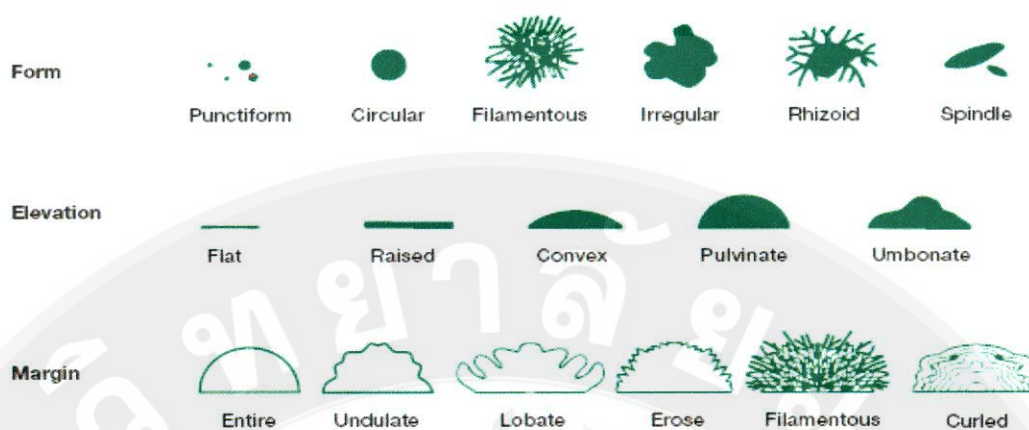
ภาพ 10 วิธีการชั่งตัวอย่างดินเพื่อทำการเจือจางและใช้วิธี Spread plate Technical



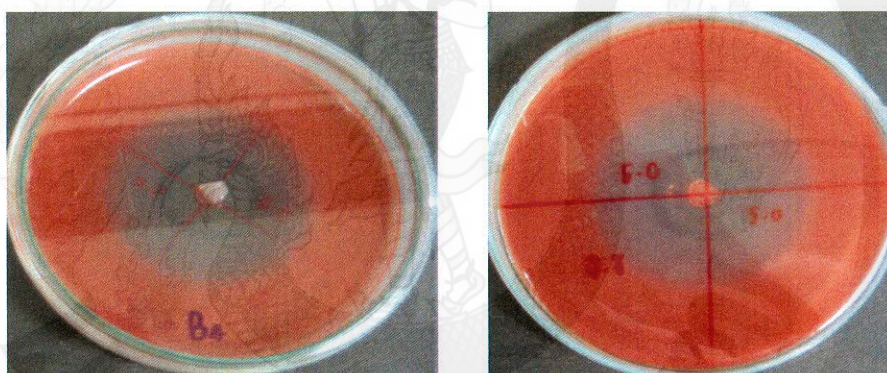
ภาพ 11 ตัวอย่างเชื้อที่ได้หลังจาก 7 วัน ในอาหาร Czapek's medium



ภาพ 12 Streak plate method



ภาพ 13 ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารโดยการสังเกตด้วยตาและคำศัพท์ (Key word) ที่ใช้ในการอธิบายลักษณะโคโลนี (Prescott, 2002)



ภาพ 14 ลักษณะการวัดความกว้างของวงใส (Clear zone)



ภาพ 15 วิธีการทดสอบในอาหารเหลว การเขี่ยเชื้อลงในขวดอาหารปลอดเชื้อ (ในตู้ปลอดเชื้อ) และเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3, 5 และ 7 วัน



ภาพ 16 แสดงการย้อมและติดสีของแบคทีเรีย เพื่อจะนำไปส่องดูจากกล้องจุลทรรศน์

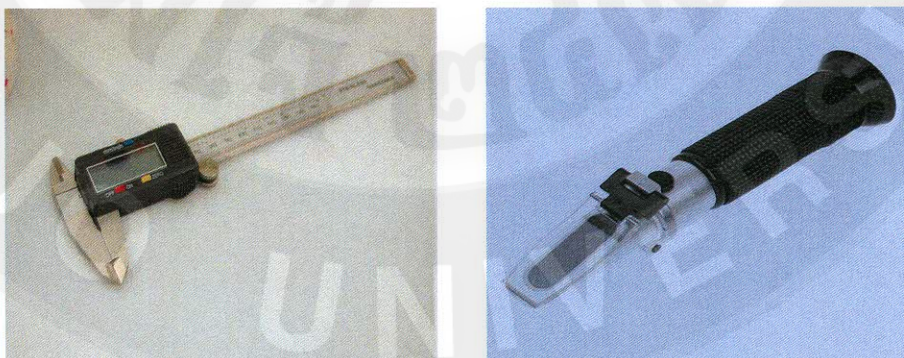
รูปภาพจากการทดลองในสวนลำไยและการวิเคราะห์ดินและพืช



ภาพ 17 สวนในอำเภอสันป่าตอง (ซ้าย) และสวนในอำเภอดอยสะเก็ด (ขวา)



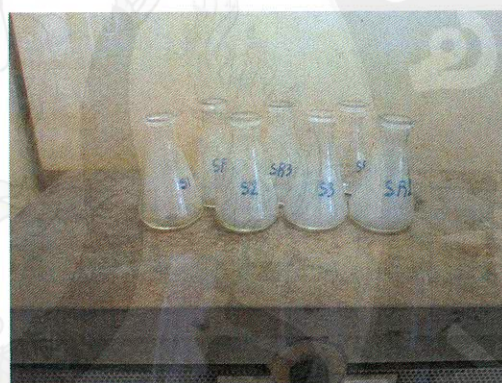
ภาพ 18 แสดงตัวอย่างลำไยที่เก็บจากสวนลำไยมาเพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ



ภาพ 19 เครื่องวัดขนาดของผลโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์และการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) โดยใช้ Hand refractometer



ภาพ 20 แสดงวิธีการวิเคราะห์ หาค่าความเป็นกรด-ด่าง



ภาพ 21 แสดงวิธีการหาฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินโดยวิธีการย่อยในกรด $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ (6:1)



ภาพ 22 การทำกราฟมาตรฐานสำหรับการคำนวณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ด้วยเครื่อง Spectrophotometer



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล

นางสาวณัฐพร บุญมา

เกิดเมื่อ

1 ตุลาคม 2531

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554 ปริญญาตรี สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

พ.ศ. 2549 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสันป่าตองวิทยาคม จังหวัด
เชียงใหม่

