ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี
ภาควิชาปฐพีวิทยา

เรื่อง

การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟต

Testing for Degradation of Rock Phosphate using Microorganism

โดย

นางสาววีรานุช ปล้องทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....

(ผศ.ดร.วัฒนชัย พงษ์นาค)

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ 28 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2557

หลักสูตรรับรองแล้ว

.....

(รศ.ดร.สุมิตรา ภูวโรดม)

ประธานบริหารหลักสูตรปฐพีวิทยา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟต

Testing for Degradation of Rock Phosphate using Microorganism

โดย

นางสาววีรานุช ปล้องทอง

เสนอ

หลักสูตรปฐพีวิทยา

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟต
ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ	Testing for Degradation of Rock Phosphate using Microorganism
โดย	นางสาววีรานุช ปล้องทอง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ภาควิชา	ปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วัฒนชัย พงษ์นาค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.เกษม สร้อยทอง

บทคัดย่อ

การศึกษาการเปรียบเทียบจุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟต โดยการวัดปริมาณของฟอสฟอรัสที่แลกเปลี่ยนได้ (available phosphorus) หลังจากหมักหินฟอสเฟตบดร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 60 วัน โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ *Penicillium* PK02 , *Aspergillus* PK01 , *Emericella rugulosa* , *Eurotium* EU07 , Red-Orange bacteria (*Rhodopseudomonas*) , Purple-bacteria , *Bacillus subtilis* J-01 และ Actinomycetes T2-10 และใช้แผนการทดลองแบบ 2 Factors Factorial in CRD มี 18 ตำรับการทดลอง (Treatmrnt) จำนวน 4 ซ้ำ (Replication)

ผลการศึกษาจากการหมักจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆร่วมกับหินฟอสเฟตบดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ พบว่า เชื้อรา *Aspergillus* PK01 จะมรประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 186.75 ppm.P รองลงมา ได้แก่ Actinomycetes T2-10 , *Eurotium* EU07 และ *Bacillus subtilis* J-01 มีค่าเท่ากับ 183.75 , 183.00 และ 180.50 ppm.P ตามลำดับ ทั้งนี้ เกือบทุกตำรับการทดลองที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์ จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่ใช้จุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นตำรับที่ใช้ *Penicillium* PK02 จะมีค่าต่ำสุดเพียง 103.00 ppm.P

สำหรับตำรับการทดลองที่หมักจุลินทรีย์ร่วมกับหินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้ โดยทั่วไปมีค่าต่ำกว่าการหมักกับหินฟอสเฟตบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดย *Bacillus subtilis* J-01 จะมีศักยภาพเด่นที่สุด เนื่องจากมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากถึง 180.25 ppm.P รองลงมา ได้แก่ *Aspergillus* PK01 และ Actinomycetes T2-10 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 178.50 และ 178.25 ppm.P ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากการอบฆ่าเชื้อและไม่อบฆ่าเชื้อหินฟอสเฟตก่อนการหมัก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษานี้ จุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการพิจรณานำมาผลิตปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟต ได้แก่ *Aspergillus* PK01 , *Bacillus subtilis* J-01 และ Actinomycetes T2-10 และควรมีการศึกษาในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วัฒนชัย พงษ์นาค และ รศ.ดร.เกษม สร้อยทอง เป็นอย่างสูง โดยท่านกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในเรื่องต่างๆรวมทั้งให้การสนับสนุนในการทดลองครั้งนี้ตลอดจนถึงการ*ตรวจสอบแก้ไขเนื้อหาเพิ่มเติมจนเสร็จสมบูรณ์*

ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกคนที่ได้ให้การสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์และคอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้จัดทำด้วยดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่านที่เป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้จัดทำสามารถนำความรู้ที่ได้รับมาเป็นแนวทางในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณพี่ๆ ปริญญาโท ปริญญาเอก และเพื่อนๆปฐพีวิทยา ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำปัญหาพิเศษ

นางสาววีรานุช ปล้องทอง

พฤษภาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
สารบัญผนวก	ง
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	12
ผลการทดลอง	15
สรุปผลการทดลอง	21
เอกสารอ้างอิง	22
ภาคผนวก	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	เรื่อง	หน้า
1	แหล่งหินฟอสเฟตในประเทศไทย	4
2	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้จากการหมักหินฟอสเฟตบด (อบฆ่าเชื้อ) ร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ	16
3	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้จากการหมักหินฟอสเฟตบด (ไม่อบฆ่าเชื้อ) ร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ	18
4	แสดงค่าเปรียบเทียบฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ระหว่างหินฟอสเฟตบดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อและหินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อหมักร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 60 วัน	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	เรื่อง	หน้า
1	แหล่งผลิตหินฟอสเฟตที่สำคัญของโลก	4
2	วงจรฟอสฟอรัสในดิน	5
3	ปัจจัยและกระบวนการที่สำคัญต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญผนวก

ตารางผนวกที่	เรื่อง	หน้า
1	แสดงค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากการหมักเป็นเวลา 60 วัน	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟต

Testing for Degradation of Rock Phosphate using Microorganism

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมาตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน การเกษตรในประเทศได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับเพื่อเพิ่มคุณภาพและผลผลิตต่อพื้นที่ การใส่ปุ๋ยให้กับพืชเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้และรู้จักกันมานานแล้ว ปุ๋ยที่ใช้กันมากคือปุ๋ยเคมีที่มีส่วนผสมของธาตุอาหารหลัก แต่ปุ๋ยเคมีดังกล่าวมีราคาแพง จึงอาจเป็นข้อจำกัดในการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร (ชัยณรงค์, 2533)

หินฟอสเฟต (Rock phosphate) เป็นหินที่นำมาใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุฟอสฟอรัสให้แก่พืชโดยการผ่านกรรมวิธีการบดให้ละเอียด ทั้งนี้เกษตรกรสามารถนำมาใช้โดยไม่ยุ่งยากและเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกกว่าปุ๋ยฟอสเฟตชนิดอื่นๆ โดยสามารถได้ธาตุฟอสฟอรัสจาก หินฟอสเฟต (Rock phosphate) แต่หินฟอสเฟตมีอัตราการละลายธาตุฟอสเฟตออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ ดังนั้นจึงน่าจะมีการศึกษาถึงแนวทางที่จะนำหินและแร่ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยฟอสเฟตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆมาใช้ย่อยสลายหินฟอสเฟต (Rock phosphate) แต่อย่างไรก็ตามการละลายฟอสฟอรัสจะได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ ถ้าคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมากก็สามารถละลายฟอสฟอรัสออกจากหินฟอสเฟตได้มาก

การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการละลายหินฟอสเฟตของจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 8 สายพันธุ์ แบ่งเป็น เชื้อรา 4 สายพันธุ์ , แบคทีเรีย 3 สายพันธุ์ และ แอคติโนมัยซีส 1 สายพันธุ์ เพื่อศึกษาศักยภาพของจุลินทรีย์เหล่านี้ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus) จากปุ๋ยชีวภาพฟอสฟอรัสที่ได้จากการหมักหินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่นำมาทดสอบ ซึ่งเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพของการใช้หินฟอสเฟตทางการเกษตรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

I. ทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายของหินฟอสเฟต โดยใช้จุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซิส

2. เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจเอกสาร

1. ธาตุฟอสฟอรัส(Phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากธาตุหนึ่งปริมาณที่พบในพืชอยู่ในลำดับที่ 8 เรียงจากไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ฟอสฟอรัสที่พบในพืชเกือบทั้งหมดได้มาจากดิน ฟอสฟอรัสในพืชและในดินเป็นพวกออร์โทฟอสเฟต เฉพาะในพืชประมาณร้อยละ 30-60 ของฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในรูปไอออนลบฟอสเฟต สารที่เหลือเป็นสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟต ไอออนลบฟอสเฟตอิสระอยู่ในน้ำในทางลำเลียงน้ำ (xylem) และอยู่ในน้ำในเซลของพืชโดยทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระดับความเป็นกรดเป็นด่างภายในพืชให้คงที่ขณะเดียวกันก็เป็นวัตถุดิบของกระบวนการสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับระบบการถ่ายทอดพลังงานในพืช

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของ nucleic acid , nucleoprotein และยิ่งกว่านั้นฟอสฟอรัสยังเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของสารฟอสเฟตที่ทำหน้าที่รับช่วงถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารต่างๆของระบบต่างๆด้วยเหตุนี้ฟอสฟอรัสจึงเกี่ยวข้องกับการสร้างเสริมการเติบโต ความแข็งแรงของพืชทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและรากตลอดจนการออกดอกออกผลถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการจะทำให้การเติบของพืชผิดปกติในกรณีที่ความขาดแคลนรุนแรง พืชโดยทั่วไปจะแสดงลักษณะอาการผิดปกติดังนี้ คือ พืชมีการเติบโตที่จำกัด ต้นเล็กผอมแกร็น (สุธรรม,2521)

1.1 แหล่งของหินฟอสเฟตในประเทศไทย

ประเทศไทยสำรวจหาแหล่งฟอสเฟตเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยมานาน แล้ว การสำรวจอย่างจริงจังเริ่มภายใต้โครงการสำรวจแร่ที่ใช้เป็นปุ๋ยตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมฉบับที่ 2 ระหว่างปี 2508 ถึง 2514 โดยพยายามสำรวจหาแหล่งฟอสเฟตที่ทับถมโดยอิทธิพลของทะเล ในหินชั้นยุคต่างๆแต่ยังไม่พบ พบแต่แหล่งกัวโนเท่านั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในเทือกเขาหินปูนและมีปริมาณน้อย ไม่สามารถจะพัฒนามาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีในโรงงานผลิตปุ๋ยขนานใหญ่ได้ ส่วนใหญ่ได้ขุดมาเพื่อใช้ในโรงงานปุ๋ยขนาดเล็ก

หินฟอสเฟตในประเทศไทยพบแทรกอยู่ตามรอยแตกและตามแอ่งของหินปูนหรือในถ้ำ มีลักษณะเป็นกระเปาะตามรอยต่อระหว่างฟอสเฟตกับหินปูน โดยหินฟอสเฟตมีลักษณะเป็นแผ่นกว้างมากบ้าง น้อยบ้าง เช่นแหล่งหินฟอสเฟตเขาคลองวาพ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และ เขาพักม้า อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี บางครั้งอาจพบในลักษณะเป็นหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โผล่ (outcrop) อยู่กลางที่ราบลุ่มน้ำ เช่น บ้านสบเมย อำเภอแม่ท่า จังหวัดลำพูน หรือพบในลักษณะที่ฟอสเฟตโผล่เป็นก้อนขนาด 1 ถึง 2 เมตรโดยเกิดปนอยู่กับหินทรายในบริเวณที่ราบหรือเนินเล็กๆ เช่นที่บ้านเหล่าขาม อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด เป็นต้น

ตารางที่ 1. แหล่งหินฟอสเฟตในประเทศไทย

สถานที่	ปริมาณสำรอง (เมตริกตัน)	% P_2O_5 (Total)
1. บ้านโคกสูง อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด	125,000	10-20
2. บ้านนากาญจน์ อ. เมือง จ. กาญจนบุรี	100,000	20-40
3. บ้านแหล่งขาม อ. เมือง จ. ร้อยเอ็ด	80,000	10-20
4. เขาเป้ง อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี	50,000	30-80
5. บ้านสบเมย อ. แม่ทา จ. ลำพูน	50,000	30-38
6. เขาชะโงก อ. ชนแดน จ. เพชรบูรณ์	10,000	10-30
7. เขาพักม้า อ. เมือง จ.ราชบุรี	4,000	10-40

ที่มา : สุธรรม(2521)

ที่มา: Cisse and Mrabet (2004)

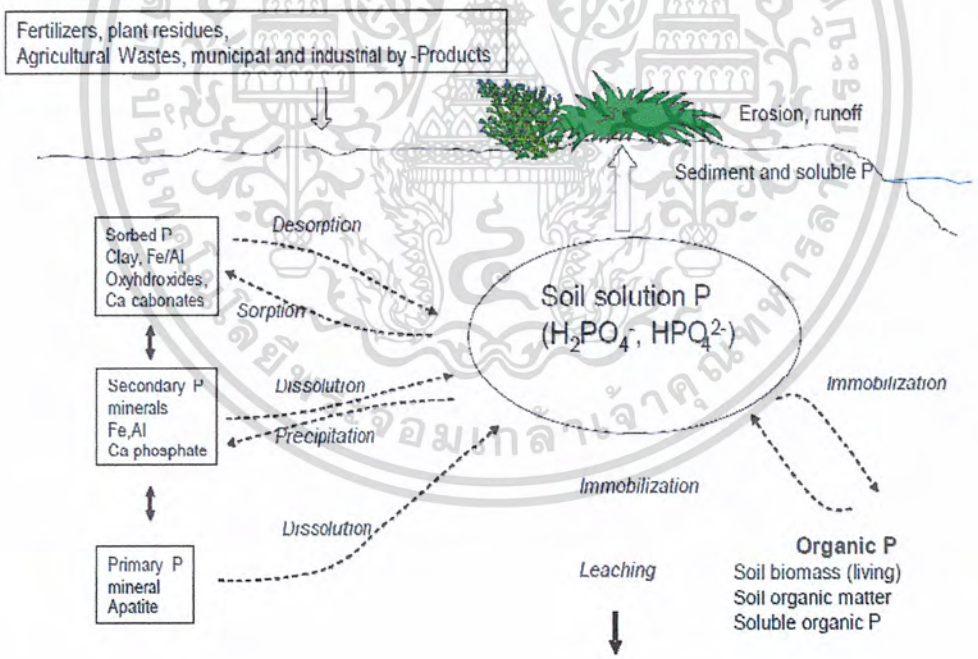
ภาพที่ 1. แหล่งผลิตหินฟอสเฟตที่สำคัญของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัส (P) ที่อยู่ในสารละลายดินเท่านั้นที่พืชสามารถดูดใช้ได้ แต่อย่างไรก็ตามจากการที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ในสารละลายดินมีค่อนข้างต่ำมาก สำหรับการชดเชยที่มาจากการละลายของฟอสฟอรัส อาจจะไม่พอเพียง สำหรับวิธีการชดเชยที่จะทำให้ฟอสฟอรัส ในสารละลายดินมีเพียงพอถือว่าเป็นสิ่งที่มีความซับซ้อน เพราะฟอสฟอรัสพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในดินแล้วเกิดเป็นสารประกอบต่างๆ เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัส มีปริมาณต่ำและไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (ภาพที่2) ฟอสฟอรัสสามารถแบ่ง 4 กลุ่ม (*Categories*)

1. ฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน
2. ฟอสฟอรัสดูดยึดอยู่กับอนุภาคดิน
3. ฟอสฟอรัสที่จับอยู่กับอินทรียวัตถุในดิน
4. สารประกอบอนินทรีย์ ฟอสฟอรัส



ที่มา: Jensen and Husted (2005)

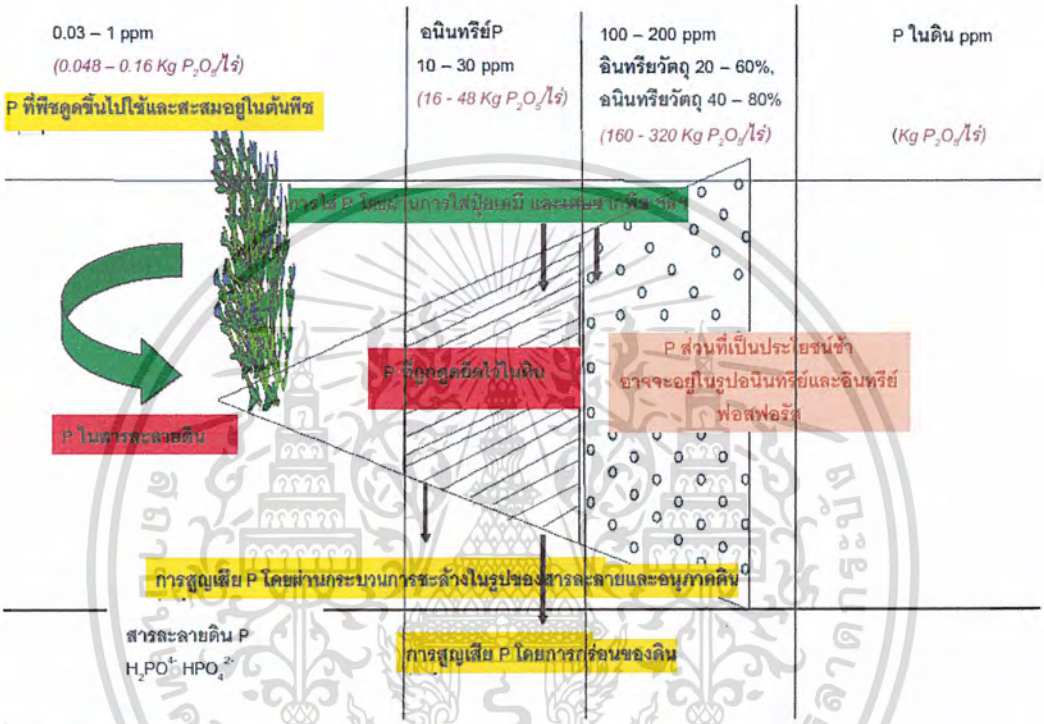
ภาพที่ 2. วงจรฟอสฟอรัสในดิน (Phosphorus cycle in soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินในดินทั่วไปนั้นจะมีค่าประมาณ 10^{-5}M ซึ่งถ้าความเข้มข้นต่ำกว่าค่านี้ หมายถึง ดินจะไม่สามารถจัดส่งฟอสฟอรัสให้พืชได้อย่างเพียงพอและพืชจะแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสที่สามารถสังเกตด้วยตาได้ (Visual Phosphorus Deficiency) โดยทั่วไปปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในสารละลายดิน (Soil solution) ในบริเวณรากพืช (Root zone) มีค่าน้อยกว่า 80 กรัมต่อไร่ โดยทั่วไปพืชจะดูดใช้ฟอสฟอรัส จากสารละลายดินในช่วงที่มีการเจริญเติบโต จากค่าดังกล่าวนั้น หมายความว่าจะต้องใช้ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มเข้าไปมากกว่า 40 เท่า เพื่อให้มีฟอสฟอรัสอยู่ในสารละลายดินในปริมาณนั้นต้องเพียงพอต่อความต้องการของพืชได้ และปริมาณฟอสฟอรัส ที่จะใส่เพิ่มเข้าไปนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราที่ฟอสฟอรัสจะถูกดูดยึด(Absorbed) หรือ ฟอสฟอรัสที่ละลาย (Solubilized P) ออกมาจากส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสฟอสฟอรัส ที่ปรากฏอยู่ในดินนั้นจะอยู่ในสารประกอบรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัส (Organic P) และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic-P) ซึ่งอัตราส่วนของฟอสฟอรัสทั้งสองรูปนี้จะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน สำหรับการเปลี่ยนสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัส ไปเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส(P mineralization) จัดว่ามีความสำคัญเพราะว่ามีส่วนสำคัญในการสร้างความสมดุลระหว่าง Phosphorus adsorbed และ ฟอสฟอรัสในสารละลายดินให้เกิดขึ้น นอกจากนี้ การที่พืชรับฟอสฟอรัสเพียงพอต่อความต้องการนั้น จะได้ผ่านจากกระบวนการ Diffusion (การแพร่) ของฟอสฟอรัสไปยังรากพืชยังมีความสำคัญด้วย ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนของอินทรีย์สารจะมีความแตกต่างกันน้อยมากสำหรับในพื้นที่การเกษตรนั้น ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส นั้นสามารถเป็นแหล่งฟอสฟอรัสสำหรับพืชได้ แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีการวิจารณ์ในเรื่องของความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน และชี้ให้เห็นว่าอินทรีย์ฟอสฟอรัสสามารถเปลี่ยนมาอยู่ ในรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ในช่วงที่มีพืชเจริญเติบโตในพื้นที่นั้น โดยการศึกษาของ Tarafdar and Junk (1987) แสดงให้เห็นว่าพืชพวกถั่ว Clover และข้าวสาลีนั้นสามารถใช้อินทรีย์ฟอสฟอรัส ได้ถึง 65 และ 86% ในบริเวณรากพืชการที่เกิดกระบวนการ Mineralization ของฟอสฟอรัสสูงในบริเวณรากพืชนั้น เพราะบริเวณรากพืชมีเอนไซม์ Phosphatase ปลดปล่อยมาจากรากพืช นอกจากนี้ รากพืชยังปลดปล่อยสารอินทรีย์ (Root exudate) ที่ง่ายต่อการย่อยสลายและไปกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินในบริเวณรากพืชดังกล่าวทำให้การย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินมีเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนของอินทรีย์ฟอสฟอรัส นับว่ามีส่วนสำคัญที่จะทำให้การเปลี่ยนสภาพ P ให้อยู่ในสภาพที่เป็นประโยชน์ได้ทั้งในสภาพดินที่ใช้ทำการเกษตรหรือดินป่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้การอาศัยร่วมกัน (Symbiotic) ระหว่างรากพืชกับรา (Fungi) บางชนิด จะทำให้ฟอสฟอรัสมีประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เพราะราสามารถที่ช่วยพืชดูดใช้ฟอสฟอรัสจากดินได้ (Schjorring and Jeson,2005)



ที่มา: Rechcigl (1995)

ภาพที่ 3. ปัจจัยและกระบวนการที่สำคัญต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยและกระบวนการที่ควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่การดูดยึดและการปลดปล่อยฟอสฟอรัสนอกจากนี้ ฟอสฟอรัสอาจสูญเสียโดยการชะล้าง (Leaching) การไหลบ่าหน้าดิน(Surface run-off) และการพังทลายของดินโดยลม (Wind erosion) แต่อย่างไรก็ตาม การสูญเสียโดยผ่านกระบวนการพังทลายโดยลมอาจจะเกิดขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญเท่าไหร่ สำหรับการสูญเสียต่างๆ ดังกล่าวนี้จะมีผลต่อคุณภาพของแหล่งน้ำเสียรวมทั้งสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่แหล่งน้ำนั้นด้วย เพราะ P ทำให้เกิดมลพิษของแหล่งน้ำที่เรียกว่ากระกระบวนการ Eutrophication (Rechcigl,1995)

1.3 ปุ๋ยฟอสฟอรัสชนิดต่างๆ

สำหรับปุ๋ยฟอสฟอรัสนี้ทำมาจากหินชนิดหนึ่งเรียกว่า หินฟอสเฟตบ้านเราก็พอมีแต่คุณภาพยังไม่ได้มาตรฐานสากล และมีปริมาณไม่มากพอที่จะลงทุนด้านอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศที่มีมากได้แก่ สหรัฐอเมริกา,มอร์อคโค,จอร์แดน,รัสเซีย, จีน เป็นต้น วิธีการผลิตปุ๋ยฟอสฟอรัสที่นิยมกันคือ เอาหินฟอตเฟสมาบดละเอียดมาทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันจะได้กรดฟอสฟอริก กรดฟอสฟอริกนี้ถือเป็นตัวต้นน้ำของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่างๆกรดฟอสฟอริกเป็นของเหลว เก็บยาก ใช้ยาก ขนส่งยากจึงมักนำมาทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเป็นแม่ปุ๋ย DAP (Diammonium Phosphate) แม่ปุ๋ย MAP (Monoammonium Phosphate) หรือปุ๋ย NPK สูตรต่างๆ อย่างที่เรารู้จักกันทั่วไป บริษัท ปุ๋ยแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) สมัยที่ยังผลิตปุ๋ยก็มีการผลิตกรดฟอสฟอริก จากหินฟอสเฟตและนำกรดฟอสฟอริกที่ผลิตได้มาทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย เป็นปุ๋ย NPK สำหรับปุ๋ยตัวฟอสฟอรัสนั้น ถ้าหินฟอสเฟตราคาแพง ปุ๋ยฟอสฟอรัสก็จะแพง และถ้ากรดกำมะถัน (Sulfuric acid) ราคาแพงปุ๋ยฟอสฟอรัสก็จะแพงด้วย กล่าวเพียงเฉพาะวัตถุดิบหลัก ๆ เท่านั้น ปุ๋ยฟอสฟอรัสเป็นตัวสำคัญ สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันนี้คือ ปุ๋ย DAP เพื่อเป็นแม่ปุ๋ยสำหรับผลิตปุ๋ย NPK สูตรต่าง ๆ ประเทศไทยจะนำเข้าปุ๋ยฟอสฟอรัส ปีละประมาณห้าแสนตันจากประเทศอเมริกา มอร์อคโค จีน และประเทศอื่นๆ บ้าง

ปุ๋ยฟอสเฟต (Phosphate fertilizers) หรือปุ๋ยฟอสฟอรัส (phosphorus fertilizers) คือ ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัส ปุ๋ยฟอสเฟตที่ใช้กันในปัจจุบันได้มาจากแร่พวกหินฟอสเฟต ซึ่งเป็นแร่พวกแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะการเกิด และสะสมแบบตกตะกอน (Sedimentary origin) เป็นส่วนใหญ่ กล่าวคืออนุภาคของสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งเกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมกับฟอสเฟตที่มาจากการผุพังของแร่ apatite ดั้งเดิม ซากของอินทรียวัตถุมูลสัตว์ในสมัยดึกดำบรรพ์จะตกตะกอนทับถมกันเป็นชั้นหนาใต้ท้องทะเล ต่อมาพื้นโลกมีการเปลี่ยนแปลงระดับ ทำให้บริเวณดังกล่าวสูงขึ้นมาจากน้ำเป็นพื้นดินหรือภูเขา บางแห่งเป็นหินแข็ง บางแห่งก็เป็นก้อนๆ เกาะกับหิน โดยมีหินปูนเชื่อม บางแห่งก็คล้ายก้อนกรวดรวมกันอยู่หลวมๆ เป็นชั้นๆ ใต้ดิน หินฟอสเฟตที่ขุดพบและใช้ทำ ปุ๋ยส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นพวก Francolite ซึ่งได้แก่ Calcium carbonate – fluorapatite ธาตุนี้อยู่ในรูปของสารประกอบฟอสเฟต เช่น ไดแอมโมเนียมฟอสเฟตและปุ๋ยอื่นๆ(Schjorring and Jeson,2005)

1.4 การใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ย

หินฟอสเฟตสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตและใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตอื่นๆ ได้โดยการบดหินฟอสเฟต แต่หินฟอสเฟตนั้นควรมีปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป จึงจะเหมาะสมและใช้ทำเป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตได้ดี ปุ๋ยหินฟอสเฟตนี้นอกจากจะให้ธาตุฟอสฟอรัสแล้ว ยังให้ธาตุอาหารพืชอื่นๆ ได้แก่ ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 การพัฒนาปุ๋ยฟอสเฟต

บารอนลีบิก (Baron Justus von Liebig) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน เป็นคนแรกที่ริเริ่มวางรากฐานของอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยตั้งแต่ พ.ศ. 2383 ลิบิกใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อศึกษาความต้องการธาตุอาหารพืช ชนิดของปุ๋ยที่ควรใช้ และวิธีการใช้ในไร่นา ในด้านการผลิตปุ๋ยนั้นได้ทดลองผลิตปุ๋ยหลายชนิด เช่น 1) ปรับปรุงให้ฟอสเฟตในกระดูกเป็นประโยชน์แก่พืชมากขึ้น โดยนำกระดูกไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก และ 2) นำปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตมาทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย เพื่อลดกรดและเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ย อันเป็นหลักการของกระบวนการแอมโมนิเอชัน (ammoniation) ของปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปัจจุบัน

1.6 ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต

การนำหินฟอสเฟตมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงนั้น ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตที่มีต่อพืชนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่

1.6.1. ธรรมชาติของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตที่เกิดจากแหล่งต่างๆกัน จะมีปริมาณฟอสเฟตที่ละลายออกมาให้พืชใช้แตกต่างกัน

1.6.2. ชนิดและสภาพของดิน ดินที่มีสภาพเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน จะมีผลทำให้การละลายของหินฟอสเฟตแตกต่างกันด้วย โดยปกติแล้วความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพดีในดินกรด สูงกว่าดินเป็นกลางและด่างตามลำดับ นอกจากนี้แล้วความมากน้อยของการละลายของหินฟอสเฟตยังขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการดูดซับฟอสฟอรัส (index of P-adsorption) ของดินด้วย

1.6.3. ขนาดของอนุภาคของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตที่ใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงจะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็ก การบดหินฟอสเฟตให้มีขนาด 110 เมช ก็เพียงพอ การบดให้ละเอียดมากกว่านี้ไม่มีความจำเป็นเพราะทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่มีต้นทุนสูงขึ้นอีก

1.6.4. การใส่ปูน การใส่ปูนทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตลดลง การใส่แคลเซียมคาร์บอนเนตลงไปทำให้อิทธิพลของกรดฮิวมิคที่ช่วยให้หินฟอสเฟตละลายได้ดีขึ้นนั้นหมดไป จึงทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตลดลงได้

1.6.5. การเติมกรด กรดช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น การเติมกรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) ลงไปในดินจะทำให้การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น และถ้าหากว่ากรดฮิวมิคมี functional group มาก ก็จะทำให้การละลายของหินฟอสเฟตดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.6. การใส่กำมะถัน กำมะถันเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีผลกระทบต่อความเป็นกรดด่างของดิน การใส่กัมมะถันลงไปในดินที่มี pH ประมาณ 6.7 ในสภาพความจุความชื้นสนามจะทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาได้ดี และพืชดูดกินฟอสฟอรัสได้ดีขึ้นด้วย การใส่กำมะถันในอัตราที่เหมาะสมลงไปในดินที่มี pH สูง จะทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาได้มากขึ้น แต่ถ้าหากใส่กำมะถันในอัตราที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้การละลายของหินฟอสเฟตและปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดไปใช้ได้ลดลง

1.6.7. การใส่อินทรียวัตถุ การใส่อินทรียวัตถุบางชนิดลงไปในดินจะช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น อินทรียวัตถุที่สลายตัวได้ง่าย เช่น กลูโคส และซูโครส จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตสูงขึ้น เช่นเดียวกับปุ๋ยคอกซึ่งทำให้การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น แต่การใส่แป้งไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น

1.6.8. การใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีบางชนิด เช่น แอมโมเนียม และโพแทสเซียมคลอไรด์ลงไปในดิน จะมีผลให้หินฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น แต่บางโอกาสก็อาจทำให้การละลายของหินฟอสเฟตลดลงได้ เพราะปุ๋ยดังกล่าวมีผลไปทำให้ความจุในการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเพิ่มขึ้น ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในดินจึงลดลง สาเหตุที่พืชดูดฟอสฟอรัสได้มากขึ้นนั้นอาจเนื่องมาจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชดูดฟอสฟอรัสได้มาขึ้นด้วย อาจไม่ใช้สาเหตุจากหินฟอสเฟตละลายออกมามากขึ้นโดยตรง แต่ในกรณีของยูเรียนั้นพบว่าสามารถทำให้ฟอสเฟตละลายออกมามากขึ้น เนื่องจากยูเรียจะเร่งการสลายตัวของอินทรียวัตถุ เกิดสารเคมีที่สามารถเกิดคีเลตกับแคลเซียม ส่งผลให้การละลายของของหินฟอสเฟตดีขึ้น

1.6.9. การขังน้ำ การขังน้ำจะทำให้หินฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อข้าวมากขึ้น เนื่องจากมีธาตุอาหารอื่นที่มีประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น ทำให้พืชเจริญเติบโตดี สามารถดูดฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

1.6.10. ชนิดของพืช พืชต่างชนิดกันมีความสามารถในการใช้ประโยชน์ของหินฟอสเฟตได้แตกต่างกัน หินฟอสเฟตมักมีผลตกค้างในระยะยาวจึงใช้ได้ดีสำหรับพืชที่มีระยะการเจริญเติบโตยาว เช่น ไม้ผล ทุ่งหญ้า อย่างไรก็ตาม พืชฤดูเดียว เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และถั่วต่างๆ ก็ตอบสนองต่อการใช้หินฟอสเฟตได้ดีเช่นกัน(Williams and Zellars,1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายธาตุอาหารพืช

2.1 การละลายฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ในดินหลายชนิดสามารถละลายฟอสเฟตได้ ได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีส ฟอสเฟตที่ละลายได้นี้ ส่วนใหญ่เกิดจากการสร้างกรดแล้วปลดปล่อยออกมา ดังนี้

2.1.1. กรดอินทรีย์(organic acids) กรดอินทรีย์ที่พบเสมอๆว่าจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างและปลดปล่อยออกมาได้แก่ กรดฟอร์มิก อะซิติค โปรปีโอนิค แลคติค ไกลโคลิค ฟูมาริค และ ซัคซินิค เป็นต้น ส่วนมากแล้วเฮทเทอโรโทรพจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาจำนวนหนึ่งเสมอในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์แต่มีความแตกต่างกันทั้งชนิด และปริมาณของกรดอินทรีย์

2.1.2. กรดอนินทรีย์ (inorganic acids) จุลินทรีย์บางชนิดสร้างและปลดปล่อยกรดอนินทรีย์ออกมาได้แก่ กรดไนตริคและกรดซัลฟูริคจากกิจกรรรมของ Nitrobacter และ Thiobacillus ตามลำดับ กรดต่างๆ ที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะส่งผลให้ pH ลดลง และเกิดการละลายของฟอสเฟตมากขึ้น กรดอินทรีย์บางชนิดอาจเกิดคีเลตกับแคลเซียม และเหล็ก ทำให้การละลายและการใช้ฟอสเฟตมีมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณการละลายฟอสเฟตจะแตกต่างกันตามความสามารถในการละลายของจุลินทรีย์แต่ละชนิด รวมทั้งลักษณะ และชนิดของหินฟอสเฟตด้วย โดยทั่วไปแล้วเชื้อราจะมีความสามารถสูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ

2.2 การใช้จุลินทรีย์ร่วมกับหินฟอสเฟต

กลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายหินฟอสเฟตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (phosphate solubilizing microorganisms) กิจกรรมของจุลินทรีย์พวกนี้จะช่วยทำลายหินฟอสเฟตซึ่งพบในประเทศไทยอยู่ในปริมาณมาก แต่การนำมาใช้ยังไม่แพร่หลาย เพราะมีปริมาณฟอสเฟตที่จะละลายออกให้พืชได้น้อย การที่จะใช้หินฟอสเฟตให้เป็นประโยชน์จะต้องทำการแปรรูปให้มีการละลายดีขึ้น ปัจจุบันได้มีการพบว่ามีจุลินทรีย์ดินหลายชนิด ทั้งแบคทีเรียและเชื้อราที่สามารถทำให้หินฟอสเฟตละลายเป็นประโยชน์แก่พืช เช่น *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Thiobacillus* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. และอื่นๆอีกมาก การที่จะให้หินฟอสเฟตละลายได้ดีจะต้องทำให้เกิดสภาพกรด ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะผลิตกรดออกมาละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ (พงศ์เทพ,2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. เชื้อจุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

    1.1. เชื้อรา (Fungi) จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่

    Pennicilium PK02

    Aspergillus PK01

    Emericella rugulosa

    Eurotium EU07

    1.2. แบคทีเรีย (Bacteria) จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่

    Red-Orange bacteria (Rhodopseudomonas)

    Purple – bacteria

    Bacillus subtilis J-01

    1.3. แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes) จำนวน 1 สายพันธุ์ ได้แก่

    Actinomycetes T2-10 (green)

2. อาหารเลี้ยงเชื้อ

    2.1. เชื้อรา ใช้อาหาร PDA (Potato dextrose agar)

    2.2 เชื้อแบคทีเรีย ใช้อาหาร PDPB (Potato dextrose peptone Broth)

    2.3 เชื้อแอคติโนมัยซิส ใช้อาหาร YSA (Yeast starch agar medium)

3. หินฟอสเฟตบด

4. อุปกรณ์การวิเคราะห์หาค่า ฟอสฟอรัส ในห้องปฏิบัติการ

5. อุปกรณ์อื่นๆ

    5.1 จานเลี้ยงเชื้อ (Plate)

    5.2 หม้อนึ่งความดัน

    5.3 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

    5.4 ตู้เขี่ยเชื้อ และ เข็มเขี่ยเชื้อ

    5.5 ตะเกียงแอลกอฮอล์

    5.6 หลอดขยายเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. แผนการทดลอง : วางแผนการทดลองแบบ 2 Factors Factorial in CRD มี 4 ซ้ำ (Replications) จำนวน 18 ตำรับการทดลอง(Treatments) โดยที่

Factor A ได้แก่ ชนิดของหินฟอสเฟตบด ประกอบด้วย

A1 = หินฟอสเฟตบดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ

A2 = หินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ

Factor B ได้แก่ สายพันธุ์จุลินทรีย์จำนวน 8 สายพันธุ์ ประกอบด้วย

B1 = *Penicillium* PK02

B2 = *Aspergillus* PK01

B3 = *Emericella rugulosa*

B4 = *Eurotium* EU07

B5 = Red-Orange bacteria (*Rhodopseudomonas*)

B6 = Purple-bacteria

B7 = *Bacillus subtilis* J-01

B8 = Actinomycetes T2-10

B9 = ไม่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ (Control)

โดยแบ่งตำรับการทดลองเป็น 18 ตำรับการทดลอง (Treatments) ดังนี้

T1 = A1B1	T10 = A2B1
T2 = A1B2	T11 = A2B2
T3 = A1B3	T12 = A2B3
T4 = A1B5	T13 = A2B4
T5 = A1B5	T14 = A2B5
T6 = A1B6	T15 = A2B6
T7 = A1B7	T16 = A2B7
T8 = A1B8	T17 = A2B8
T9 = A1B9(Control)	T18 = A2B9(Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์และการหมักปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟต โดยทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 8 สายพันธุ์มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อตำรับต่างๆเป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดไปหมักกับหินฟอสเฟตบดในอัตรา 250 กรัม ต่อ เชื้อจุลินทรีย์ 3 plate

3. การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ หลังจากหมักหินฟอสเฟตบดกับจุลินทรีย์ตามตำรับการทดลองต่างๆแล้ว นำมาวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์(available phosphate) โดยใช้วิธี Bray II

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ตาราง ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

สถานที่ทำการทดลอง

ทำการเลี้ยงเชื้อ และหมักเชื้อกับหินฟอสเฟต ณ. ห้องปฏิบัติการ Biocontrol คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองเริ่มต้นตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 สิ้นสุดเดือนพฤษภาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

เป็นขั้นตอนการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์และการแยกเชื้อบริสุทธิ์ เพื่อใช้ในการหมักกับหินฟอสเฟตบด โดยแบ่งกลุ่มของจุลินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1.1 กลุ่มเชื้อรา (Fungi) มี 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Pennicilium* PK02 , *Aspergillus* PK01 , *Emericella rugulosa* และ *Eurotium* EU07 ทำการเลี้ยงเชื้อในอาหาร PDA (Potato dextrose agar)

1.2 กลุ่มของแบคทีเรีย (Bacteria) มี 3 สายพันธุ์ ได้แก่ Purple – bacteria , Red-Orange bacteria (Rhodopseudomonas) และ Bacillus subtilis J-01 ทำการเลี้ยงเชื้อในอาหาร PDPB (Potato dextrose peptone Broth)

1.3 แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes) มี 1 สายพันธุ์ ได้แก่ Actinomycetes T2-10 *ทำการเลี้ยงเชื้อในอาหาร YSA (Yeast starch agar medium)*

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ และการเลี้ยงเชื้อบริสุทธิ์ ใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์ โดยเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ละ 10-15 plates รวมประมาณ 80-100 plates และนำเชื้อบริสุทธิ์ที่ไม่มีการปนเปื้อนไปหมักร่วมกับหินฟอสเฟตบด ตามตำรับการทดลองต่างๆ

2. ประสิทธิภาพในการย่อยสลายหินฟอสเฟตของจุลินทรีย์ที่ทดสอบ

2.1 หินฟอสเฟตบดที่ผ่านการบดฆ่าเชื้อ

ในตำรับการทดลองที่หมักจุลินทรีย์ร่วมกับหินฟอสเฟตบดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อก่อนหมัก พบว่าปริมาณค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์(available-P) ที่วัดได้จะมีความแตกต่างกันในตำรับการทดลองต่างๆ ดังแสดงในตางที่ 2. จะเห็นได้ว่าหินฟอสเฟตบด(อบฆ่าเชื้อ)ที่หมักร่วมกับเชื้อรา *Aspergillus* PK01 จะมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากสุด คือ 186.75 ppm.P รองลงมาได้แก่ หินฟอสเฟตที่หมักร่วมกับ Actinomycetes T2-10 , *Eurotium EU07 และ Bacillus subtilis J-01 ซึ่งมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 183.75 , 183.00* และ 180.50 ppm.P ตามลำดับ ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะไม่แสดงความแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 2.) ส่วนกลุ่มที่มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยสุด ได้แก่ หินฟอสเฟตที่หมักด้วย *Pennicilium* PK02 (103.00 ppm.P) และตำรับควบคุม(หินฟอสเฟตบดที่ไม่ใช้จุลินทรีย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 123.5 ppm.P ซึ่งมีความแตกต่างกับกลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษานี้สรุปได้ว่า จุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการช่วยให้หินฟอสเฟตปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ดีขึ้น ได้แก่ *Aspergillus* PK01 , Actinomycetes T2-10 , *Eurotium* EU07 และ Bacillus subtilis J-01

ตารางที่ 2. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้จากการหมักหินฟอสเฟตบด(อบฆ่าเชื้อ) ร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

Treatment	**ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm.P)**
Aspergillus PK01 (T2)	186.75 a
Actinomycetes T2-10 (green) (T8)	183.75 ab
Eurotium EU07 (T4)	183.00 ab
Bacillus subtilis J-01 (T7)	180.50 abc
Red-Orange bacteria (Rhodopseudomonas) (T5)	174.00 bcd
Emericella rugulosa (T3)	172.50 bcde
Purple-bacteria (T6)	169.75 cdef
หินฟอสเฟตบดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ (Control) (T9)	123.50 ef
Pennicilium PK02 (T1)	103.00 f
F-test	*

หมายเหตุ : ns = non significant

* = $p < 0.05$

* = $p < 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากหินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์ตามตำรับการทดลองต่างๆ พบว่า ผลจะต่างจากการหมักกับหินฟอสเฟตบดที่อบฆ่าเชื้อ ดังที่แสดงในตารางที่ 2. กล่าวคือ ในการทดลองที่ไม่อบหินฟอสเฟตนั้น จุลินทรีย์ที่มีประสอทธิภาพในการย่อยสลายและปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุด ได้แก่ Bacillus subtilis J-01 ซึ่งมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 180.25 ppm.P รองลงมาได้แก่ *Aspergillus PK01 (178.50 ppm.P)*, *Actinomycetes* T2-10 (178.25 ppm.P) และ Purple-bacteria (178.0 ppm.P) ดังแสดงในตารางที่ 3.

สำหรับตำรับการทดลองที่มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยยังคงได้แก่ ตำรับที่หมักด้วย Pennicilium PK02 และตำรับควบคุมที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ ซึ่งผลที่ได้จะคลายคลึงกับหินฟอสเฟตที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) เช่นกัน

ผลการศึกษาแสดงว่า Bacillus subtilis J-01 เป็นสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตและมีกิจกรรมได้ดีในสภาพที่ไม่ต้องมีการอบฆ่าเชื้อหินฟอสเฟตก่อนการหมัก แต่ Aspergillus PK01 จะเจริญเติบโต และมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อหมักร่วมกับหินฟอสเฟตที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อก่อนการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้จากการหมักหินฟอสเฟตบด(ไม่อบฆ่าเชื้อ) ร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

Treatment	**ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm.P)**
Bacillus subtilis J-01 (T16)	180.25 a
Aspergillus PK01 (T11)	178.50 ab
Actinomycetes T2-10 (green) (T17)	178.25 abc
Purple-bacteria (T15)	178.00 abc
Emericella rugulosa (T12)	175.25 bcd
Red-Orange bacteria (Rhodopseudomonas) (T14)	172.00 bcde
Eurotium EU07 (T13)	171.75 bcde
หินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ (Control) (T18)	100.75 cdef
Pennicilium PK02 (T10)	92.50 f
F-test	*

หมายเหตุ : ns = non significant

* = $p < 0.05$

* = $p < 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของการอบและไม่อบฆ่าเชื้อหินฟอสเฟต

จากการศึกษาวิธีการหมักหินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ทั้ง 8 สายพันธุ์ที่ใช้ทดสอบนั้น การหมักหินฟอสเฟตที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อก่อนหมัก และ หินฟอสเฟตที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อก่อนหมัก ไม่มีผลแตกต่างกันมากนักสำหรับจุลินทรีย์แต่ละชนิด

จากข้อมูลในตารางที่ 4. จะเห็นได้ว่ากลุ่มจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการย่อยสลายหินฟอสเฟต จะมีประสิทธิภาพลดลง เมื่อหมักร่วมกับหินฟอสเฟตที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ เช่น Aspergillus PK01 กรณีอบและไม่อบฆ่าเชื้อ จะมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 186.75 และ 178.25 ppm.P ตามลำดับ Bacillus subtilis J-01 กรณีอบและไม่อบฆ่าเชื้อ จะมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 180.50 และ 180.25 ppm.P ส่วน Actinomycetes T2-10 กรณีอบฆ่าเชื้อ มีค่าเท่ากับ 183.75 ppm.P แต่ไม่อบฆ่าเชื้อมีเพียง 178.25 ppm.P

แม้ว่าค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้จะไม่แสดงความแตกต่างกันทางสถิติ แต่อาจสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพในการย่อยสลายหินฟอสเฟตของจุลินทรีย์จะดีขึ้นเมื่อหมักกับหินฟอสเฟตที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ทุกตำรับการทดลองที่ใช้จุลินทรีย์ จะให้ผลดีกว่าหินฟอสเฟตที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ จึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟตต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าเปรียบเทียบฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ระหว่างหินฟอสเฟตบดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อและหินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อหมักร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 60 วัน

Treatment	ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm.P)
Aspergillus PK01 (T2)	186.75 a
Actinomycetes T2-10 (green) (T8)	183.75 ab
Eurotium EU07 (T4)	183.00 ab
Bacillus subtilis J-01 (T7)	180.50 abc
Bacillus subtilis J-01 (T16)	180.25 abc
Aspergillus PK01 (T11)	178.50 abcd
Actinomycetes T2-10 (green) (T17)	178.25 abcd
Purple-bacteria (T15)	178.00 abcd
Emericella rugulosa (T12)	175.25 bcde
Red-Orange bacteria (Rhodopseudomonas) (T5)	174.00 bcde
Emericella rugulosa (T3)	172.50 bcdef
Red-Orange bacteria (Rhodopseudomonas) (T14)	172.00 bcdef
Eurotium EU07 (T13)	171.75 bcdef
Purple-bacteria (T6)	169.75 cdef
หินฟอสเฟตบดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ (T9)	123.50 cdef
Pennicilium PK02 และ (T1)	103.00 def
หินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ (T18)	100.75 ef
Pennicilium PK02 (T10)	92.50 f
F-test	*

หมายเหตุ : ns = non significant

* = $p < 0.05$

* = $p < 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์จำนวน 8 สายพันธุ์ ในการย่อยสลายหินฟอสเฟต โดยการเตรียมหินฟอสเฟตก่อนหมักร่วมกับจุลินทรีย์ ใน 2 ลักษณะ คือ การอบฆ่าเชื้อ และ ไม่ผ่านการแบฆ่าเชื้อ

กรณีการอบฆ่าเชื้อหินฟอสเฟตก่อนหมัก พบว่า จุลินทรีย์ที่มีศักยภาพมากสุด ได้แก่ Aspergillus PK01 , Actinomycetes T2-10 , Eurotium EU07 และ Bacillus subtilis J-01 ซึ่งให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์(available-P) เท่ากับ 186.75 , 183.75 , 183.00 และ 180.50 ppm.P ตามลำดับ

ส่วนกรณีหินฟอสเฟตที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ พบว่า จุลินทรีย์ที่มีศักยภาพสูงตามลำดับ ดังนี้ คือ Bacillus subtilis J-01(180.25 ppm.P) , Aspergillus PK01(178.50 ppm.P) , Actinomycetes T2-10(178.25 ppm.P) และ Purple-bacteria(178.00 ppm.P)

ดังนั้นสรุปได้ว่า จุลินทรีย์ที่มีศักยภาพ สมควรนำมาพัฒนาปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟตโดยการหมักร่วมกับหินฟอสเฟต ได้แก่ Aspergillus PK01(Fungi) , Bacillus subtilis J-01(Bacteria) และ Actinomycetes T2-10 อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาในประเด็นต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพที่มีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์หาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุธรรม แย้มนิยม. 2521. ฟอสเฟต. รายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่องอุตสาหกรรมปุ๋ยการเกษตร, หน้า 13-21. ใน **รายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่องปุ๋ยของประเทศไทย** โดยสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

พงศ์เทพ อันตะริกานนท์, ประเสริฐ อะมริต และนวรัตน์ เหล่าชวลิตกุล. 2531. **การละลายของหินฟอสเฟตโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์.** การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 26 ระหว่างวันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2531.

ชัยณรงค์ เหลืองกังวานกิจ. 2533. **การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราดินในการเพิ่มการละลายของหินฟอสเฟต.** ปัญหาพิเศษปริญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Barrow, N.J. 1974. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphateby soil. J. Soil Sci. 34: pp. 733-750.

Cisse, L. and T., Mrabet. 2004. World phosphate production: Overview and prospects. Phosphorus Research Bulletin, V15: pp. 21-25.

Rechcigl, Jack E. 1995. Soil amendments and environmentl quality. *In* Lewis Publishers is an imprint of CRC Press.

Sanyal, S.K. and S.K. De Datta. 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil. Advances in Soil Science. 16: 1 – 119.

Sanchez, C.A.2007. Phosphorus in "Handbook of Plant Nutrition" edited by Baker, A.V. and D.J.Pilbeam. CRC Press Tayloor & Francis Group, 6000 Broken, Sound Parkway NW, Suite 300Boca Raton .pp 51-90.

Schjorring, J.K. and L.S. Jensen. 2005. Phosphorus Fertrilizers and Fertilization, by L.S. Jensen & S.Husted. In: Applied Plant Nutrition Soil Fertility, Fertilizers and Manure Nutrient Management. Plant and Soil Science Labortory. The Royal Veterianry and Agricultural University.pp 1-35.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ มีด้วยกัน 3 สูตร ดังต่อไปนี้

1.PDA (Potato dektrose agar)

Potato	200	กรัม
Dektrose	20	กรัม
Agar	17	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

2.PDPB (Potato dektrose agar)

Potato	200	กรัม
Dektrose	20	กรัม
Peptone	20	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

3.YSA (Modified yeast starch agar medium)

Yeast extract	2.0	กรัม
$CaCO_3$	2.0	กรัม
Starch soluble	10.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1. แสดงค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากการหมักเป็นเวลา 60 วัน

Treatment	Replication 1 - 4 (ppm)				ค่าเฉลี่ย
	R1	R2	R3	R4	
หินฟอสเฟตบดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ (T18)	121	120	132	121	123.50
หินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ (T9)	98	103	101	101	100.75
Pennicilium PK02 (T1)	94	101	117	100	103.00
Pennicilium PK02 (T10)	99	91	91	89	92.50
Aspergillus PK01 (T2)	189	194	181	183	186.75
Aspergillus PK01 (T11)	179	178	179	178	178.50
Emericella rugulosa (T3)	164	178	172	176	172.50
Emericella rugulosa (T12)	177	181	179	164	175.25
Eurotium EU07 (T4)	185	192	166	189	183.00
Eurotium EU07 (T13)	167	164	175	181	171.75
Red-Orange bacteria (*Rhodopseudomonas*) (T5)	175	172	177	172	174.00
Red-Orange bacteria (*Rhodopseudomonas*) (T14)	169	172	172	175	172.00
Purple-bacteria (T6)	166	173	169	171	169.75
Purple-bacteria (T15)	186	171	187	168	178.00
Bacillus subtilis J-01 (T7)	184	179	182	177	180.50
Bacillus subtilis J-01 (T16)	191	174	184	172	180.25
Actinomycetes T2-10 (green) (T8)	189	176	182	188	183.75
Actinomycetes T2-10 (green) (T17)	176	182	176	179	178.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้