การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์

Testing for degradation of Rock phosphate and Potash feldspar using microorganism

ภาควิชาปฐพีวิทยา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

Department of Soil Science

Faculty of Agricultural Technology

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

King Mongkut's Institute of technology
Chaokhuntaharn Ladkarbang
Bangkok, 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี

ภาควิชาปฐพีวิทยา

เรื่อง

การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์

Testing for degradation of Rock phosphate and Potash feldspar using microorganism

โดย

นายธวัชชัย เทพเที่ยม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....

(ผศ.ดร.วัฒนชัย พงษ์นาค)

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ 25 เดือน ม.ค. พ.ศ. 52

.....

(รศ.ดร.เกษม สร้อยทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

วันที่ 25 เดือน ม.ค. พ.ศ. 52

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม)

หัวหน้าภาควิชาปฐพีวิทยา

วันที่ 27 เดือน ม.ค. พ.ศ. 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์

Testing for degradation of Rock phosphate and Potash feldspar using microorganism

T099625

โดย

นายธวัชชัย เทพเปียม

เสนอ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....99625
วัน,เดือน,ปี.....15 Jun 2009

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์
ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ	Testing for degradation of Rock phosphate and Potash feldspar using microorganism
โดย	นายธวัชชัย เทพเปี่ยม
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ภาควิชา	ปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วัฒนชัย พงษ์นาค
อาจารย์ที่ปรึษร่วม	รศ.ดร.เกษม สร้อยทอง

บทคัดย่อ

หินฟอสเฟต (Rock phosphate) และแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ (Potash felspar) เป็นหินและแร่ที่นำมาใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมให้แก่พืช โดยการผ่านกรรมวิธีการบดให้ละเอียด ทั้งนี้หินและแร่ทั้งสองชนิด เกษตรกรสามารถนำมาใช้โดยวิธีการดังกล่าวข้างต้น ซึ่งไม่ยุ่งยากและเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกกว่าปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามหินและแร่ดังกล่าวยังมีปัญหาในด้านการละลายและการปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ออกมาได้ค่อนข้างน้อย ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำเอาจุลินทรีย์ชนิดต่างๆมาทดสอบประสิทธิภาพในการช่วยย่อยสลายหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ โดยนำเอาจุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์ ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., *Chaetomium lucknowense*, Actinomycetes C4-8, Actinomycetes T1-V, Actinomycetes T2-4, Actinomycetes T2-10 และ Actinomycetes T2-ญ หมักร่วมกับหินฟอสเฟตบดและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อกับไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ โดยมีการวางแผนแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) มี 18 ตำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ (Replication) โดยทำการหมักเป็นเวลา 30 วัน

ผลจากการศึกษาพบว่า หินฟอสเฟตบดที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆและผ่านการฆ่าเชื้อ จะให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) โดยเฉลี่ยสูงกว่าตำรับที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ และมีค่าสูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสายพันธุ์ที่มีศักยภาพในการย่อยสลายหินฟอสเฟตได้ดี ได้แก่ *Penicillium* sp. (166.75 ppm) รองลงมาได้แก่ *Chaetomium lucknowense* , *Aspergillus niger* และ Actinomycetes C4-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกรณีไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ กลุ่ม Actinomycetes T1-V , Actinomycetes T2-10 และ *Aspergillus niger* จะให้ค่า P_2O_5 สูงกว่าตำรับอื่นๆ

สำหรับกรณีของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์ทั้ง 8 สายพันธุ์ พบว่าการผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ผ่านการฆ่าเชื้อให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การหมักร่วมกับจุลินทรีย์มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับตำรับที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control) ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (K_2O) พบว่าการหมักแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ กับ Actinomycetes T2-4 ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ จะให้ค่า K_2O สูงสุดคือ 20 ppm ซึ่งไม่ต่างจาก ตำรับที่หมักกับ Actinomycetes T2-4 และ Actinomycetes T1-V ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ซึ่งให่ค่า K_2O โดยเฉลี่ย 19.00 ppm ส่วนตำหรับที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control) จะให้ค่า K_2O โดยเฉลี่ย 8.00 และ 28.00 ppm (ฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อ) ตามลำดับ

จากผลการศึกษาสรุปได้ชัดเจนว่าการหมักหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดร่วมกับจุลินทรีย์ที่นำมาทดสอบ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการปลดปล่อยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น ควรมีการทำวิจัยหรือการทดสอบในภาคสนามต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณท่าน ผศ.ดร.วัฒนชัย พงษ์นาค และ รศ.ดร.เกษม สร้อยทอง เป็นอย่างสูงโดยท่านกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในเรื่องต่างๆ รวมทั้งให้การสนับสนุนในการทดลองครั้งนี้ตลอดจนถึงการตรวจสอบแก้ไขเนื้อหาเพิ่มเติมจนเสร็จสมบูรณ์

ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกคนที่ได้ให้การสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์และคอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้จัดทำด้วยดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่านที่เป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้จัดทำสามารถนำความรู้ที่ได้รับมาเป็นแนวทางในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณพี่ๆ ปริญญาโทและปริญญาเอกและเพื่อนๆปฐพีวิทยารุ่น 21 ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำปัญหาพิเศษรวมทั้งพี่ที่กรมพัฒนาที่ดินเขต 8 จังหวัดพิษณุโลก ฝ่ายวิเคราะห์ดิน ที่ได้กรุณาในการวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในการหมักจุลินทรีย์ร่วมกับหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ให้ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	II
สารบัญภาคผนวก	III
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีทดลอง	17
ผลการทดลอง	22
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ปริมาณแร่สำรองและปริมาณฟอสเฟตของแร่ฟอสเฟตในประเทศไทย 6
2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการละลายฟอสเฟต 10
3 แสดงค่าเปรียบเทียบฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ระหว่างหินฟอสเฟตบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ และหินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 วัน 32
4 แสดงค่าเปรียบเทียบโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ระหว่างแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บด ที่ผ่านการฆ่าเชื้อและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อร่วมกับจุลินทรีย์ เป็นเวลา 30 วัน 34

ตารางภาคผนวกที่

1 สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 41
2 แสดงค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายโดยจุลินทรีย์ของ หินฟอสเฟตบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อ 42
3 แสดงค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายโดยจุลินทรีย์ ของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อ 42
4 แสดงค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากการหมักร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 วัน 43
5 แสดงค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์จากการหมักร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 วัน 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 โคโลนี และ Conidial Structure ของ *Aspergillus niger* 23

2 โคโลนี และ Conidial structure ของ *Penicilium* sp. 24

3 โคโลนี และ Conidial structure ของ *Chaetomium lucknowense* 25

4 โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes C4-8 26

5 โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes T1-V 27

6 โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes T2-4 28

7 โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes T2-10 29

8 โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes T2-ญ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน การเกษตรในประเทศได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับเพื่อเพิ่มคุณภาพและผลผลิตต่อพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ปุ๋ยให้กับพืชเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้และรู้จักกันมานานแล้ว ปุ๋ยที่ใช้กันมากคือปุ๋ยเคมีที่มีส่วนผสมของธาตุอาหารหลัก แต่ปุ๋ยเคมีดังกล่าวมีราคาแพงจึงอาจเป็นข้อจำกัดในการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร (ชัยณรงค์, 2533) สำหรับหินฟอสเฟต (Rock phosphate) และแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ (Potash felspar) เป็นหินและแร่ที่นำมาใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมให้แก่พืชโดยการผ่านกรรมวิธีการบดให้ละเอียดเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมี ทั้งนี้หินและแร่ทั้งสองชนิดนี้ เกษตรกรสามารถนำมาใช้โดยวิธีการดังกล่าวข้างต้นซึ่งไม่ยุ่งยากและเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกกว่าปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียม ชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงน่าจะมีการศึกษาถึงแนวทางที่จะนำหินและแร่ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการนำเอาจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆมาใช้ในการช่วยย่อยสลายหินฟอสเฟต (Rock phosphate) และแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ (Potash felspar) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เป็นปุ๋ย Matineze และคณะ (1993) ได้ทำการทดลองโดยการใช้เชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับหินฟอสเฟตในแปลงปลูกข้าวฟ่างพบว่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินและในพืชเพิ่มขึ้น Tomar และคณะ (1996) พบว่าเมื่อใส่แบคทีเรียร่วมกับฟอสเฟตในแปลงปลูกถั่วเขียวสามารถทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม

อย่างไรก็ตามการใช้หินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ยังมีปัญหาในด้านการละลายและการปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available-P and available-K) ออกมาได้ค่อนข้างน้อย การศึกษาครั้งนี้จึงได้นำเอาจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆมาทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ที่ผ่านการบดให้ละเอียด โดยนำจุลินทรีย์ในกลุ่มเชื้อราและแอคติโนมัยซิท จำนวนทั้งหมด 8 สายพันธุ์ มาทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ ทั้งนี้โดยการนำจุลินทรีย์มาหมักร่วมกับหินและแร่ดังกล่าวซึ่งบดให้ละเอียดก่อนนำมาแยก โดยทำการฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อและนำไปหมักตามระยะเวลาที่กำหนด หลังจากปั่นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายหินและแร่ดังกล่าวโดยจุลินทรีย์ทั้ง 8 สายพันธุ์ ซึ่งจะทำให้ทราบศักยภาพจุลินทรีย์ที่นำมาทดลองว่าสายพันธุ์ใดบ้างที่ควรนำมาพัฒนาใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

การศึกษานี้ มีเป้าหมายเพื่อการค้นหา จุลินทรีย์สายพันธุ์ที่มีศักยภาพในการช่วยย่อยสลายหินฟอสเฟต และแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ เพื่อใช้ทางการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายหินฟอสเฟต ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษา

2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆใน การศึกษา

3. เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ของหินฟอสเฟต และแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ ที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์ที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

1. บทบาทและความสำคัญของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากธาตุหนึ่งปริมาณที่พบในพืชอยู่ในลำดับที่ 8 เรียงจาก ไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ฟอสฟอรัสที่พบในพืชเกือบทั้งหมดได้มาจากดิน ฟอสฟอรัสในพืชและในดินเป็นพวกออร์โทฟอสเฟต เฉพาะในพืชประมาณร้อยละ 30-60 ของฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในรูปไอออนลบฟอสเฟต สารที่เหลือเป็นสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟต (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541)

1.1 บทบาทของฟอสฟอรัสในพืช ไอออนลบฟอสเฟตอิสระอยู่ในน้ำในทางลำเลียงน้ำ (xylem) และอยู่ในน้ำในเซลล์ของพืชโดยทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระดับความเป็นกรดเป็นด่างภายในพืชให้คงที่ขณะเดียวกันก็เป็นวัตถุดิบของกระบวนการสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับระบบการถ่ายทอดพลังงานในพืช สารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตมี 3 ประเภทคือ 1) สารพวกที่จำเป็นของเซลล์ที่มีชีวิต เช่น nucleic acid, nucleoprotein 2) สารพวกที่เป็นแหล่งสะสมของฟอสฟอรัสไว้ให้พืชใช้ เช่น phytin และ phospholipids ซึ่งพบในเมล็ด เป็นแหล่งของฟอสเฟตของต้นกล้าที่เริ่มงอกเมื่อรากยังไม่สามารถหาฟอสเฟตมาใช้ได้ และ 3) สารพวก intermediate metabolite เช่น phosphorylated sugars ต่างๆและ highenergy phosphate ต่างๆ เช่น adenosine triphosphate, ATP, di- และ tri-phosphate pyridine nucleotide, flavin nucleotide เป็นต้น ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของ nucleic acid, nucleoprotein และยิ่งกว่านั้นฟอสฟอรัสยังเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของสารฟอสเฟตที่ทำหน้าที่รับช่วงถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารต่างๆของระบบต่างๆ ด้วยเหตุเหล่านี้ฟอสฟอรัสจึงเกี่ยวข้องกับการสร้างเสริมการเติบโต ความแข็งแรงของพืชทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและราก ตลอดจนการออกดอกออกผล ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการจะทำให้การเติบโตของพืชผิดปกติ ในกรณีที่ความขาดแคลนรุนแรงพืชโดยทั่วไปจะแสดงลักษณะอาการผิดปกติดังนี้ คือ พืชมีการเติบโตที่จำกัด ต้นเล็กผอมแกร็น ไม้เถาอาจพบลำต้นบิดเกลียว เนื้อไม้แข็งเปราะหักง่าย ใบเล็กผิดปกติ สีของใบล่างมักมีสีเหลืองอมสีอื่น ออกดอกช้ากว่าปกติ ดอกอาจเล็กและเปอร์เซ็นต์ของดอกที่ติดผลต่ำกว่าปกติ และมีจำนวนจำกัด (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541)

1.2 ปริมาณของฟอสฟอรัสในดิน ดินมีฟอสฟอรัสต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยทั่วไปมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available-P) ต่อพืชค่อนข้างจำกัดเนื่องจากส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำยาก นอกจากนี้ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินยังมีค่าต่ำมาก คือ อยู่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 0.08 - 0.22 เท่านั้น (สรสิทธิ์, 2527)

1.3 สารประกอบของฟอสฟอรัสในดิน ฟอสฟอรัสในดินเกือบทั้งหมดปรากฏอยู่ในรูปของพวกออร์โทฟอสเฟตหรือพวกที่แปลงมาจากกรดออร์โทฟอสฟอริค (H_3PO_4) เกือบทั้งสิ้น ฟอสเฟตในดินแบ่งออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ อินทรีย์ฟอสเฟตกับอนินทรีย์ฟอสเฟต ในดินโดยทั่วๆไปมีฟอสเฟตทั้งสองส่วนนี้ต่างกัน พวกอินทรีย์ฟอสเฟตมีแนวโน้มที่มีมากหรือน้อยตามปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน ดังนั้นในดินชั้นล่างจึงมีอินทรีย์ฟอสเฟตน้อยและมีมากในดินชั้นบน จากผลการวิเคราะห์ดินทั่วๆไปพบว่าดินบนมีอินทรีย์ฟอสเฟตอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 95% ของฟอสเฟตทั้งหมดในดิน แต่ในดินที่ใช้ในการเขตกรรมทั่วๆไป มีอนินทรีย์ฟอสเฟตมากกว่า 90% ของฟอสเฟตในดิน (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541)

1.4 ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน โดยทั่วไปเข้าใจว่าพืชดูดกินฟอสฟอรัสในรูปของไอออนฟอสเฟต ซึ่งส่วนใหญ่ควรจะเป็น monobasic orthophosphate ($H_2PO_4^-$) และ dibasic orthophosphate (HPO_4^{-2}) ส่วน tribasic orthophosphate (PO_4^{-3}) พืชอาจดูดกินได้แต่ไม่มีโอกาสเพราะมักมีน้อยมากในสารละลายเมื่อเทียบกับพวก mono และ dibasic orthophosphate แม้จะมีผู้ทดลองในสารละลายธาตุอาหารพบว่า พืชสามารถจะดูดกินฟอสฟอรัสในรูปของอินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ phytin ได้โดยไม่ต้อง mineralized เสียก่อนก็ตาม แต่ในสภาพดินตามธรรมชาติคงเป็นได้ในปริมาณที่น้อยมาก (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541)

1.5 การตรึงฟอสเฟตในดิน เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายได้ดีลงไปในดินจำนวนหนึ่ง พืชจะดูดกินปุ๋ยเข้าไปสร้างเนื้อเยื่อของมันได้เพียงส่วนน้อยคือประมาณ 10-25% ของฟอสเฟตที่ละลายได้ในปุ๋ยเท่านั้น ฟอสเฟตที่ละลายได้ส่วนที่ขาดจำนวนไปประมาณ 75-90% นี้เรียกว่าฟอสเฟตที่ถูกตรึง (fixed) อยู่ในดินให้อยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำยากต่อพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณของปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงในดินจะถูกตรึงมากน้อยแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับอำนาจการตรึงของดินอำนาจการตรึงของดินขึ้นอยู่กับ (1) ชนิดของส่วนประกอบและสภาพดินนั้นๆ เช่น ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (2) ระดับของ pH ของดิน (3) ปริมาณของไอออนบวกและสารประกอบของเหล็ก อะลูมินัม แมงกานีส แคลเซียม แมกนีเซียม (4) ปริมาณของไฮดรอกไซด์ของเหล็กและของอลูมินัมและ (5) ปริมาณของ clay mineral ต่างๆ (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แหล่งที่มาและความสำคัญของหินฟอสเฟต

หินฟอสเฟต หมายถึง หินที่มีแร่อะพาไทต์ (apatite) เป็นองค์ประกอบสำคัญ มีปริมาณฟอสฟอรัสมากพอที่จะใช้ได้เป็นปุ๋ยได้โดยตรง หรือทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อเปลี่ยนเป็นปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายง่าย (ยงยุทธ, 2551)

2.1 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 (ยงยุทธ, 2551)

2.2 แหล่งของหินฟอสเฟตในประเทศไทย ประเทศไทยสำรวจหาแหล่งฟอสเฟตเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยมานานแล้ว การสำรวจอย่างจริงจังเริ่มภายใต้โครงการสำรวจแร่ที่ใช้เป็นปุ๋ยตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมฉบับที่2 ระหว่างปี 2508 ถึง 2514 โดยพยายามสำรวจหาแหล่งฟอสเฟตที่ทับถมโดยอิทธิพลของทะเล ในหินชั้นยุคต่างๆแต่ยังไม่พบ พบแต่แหล่งกัวโนเท่านั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในเทือกเขาหินปูนและมีปริมาณน้อย ไม่สามารถจะพัฒนามาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีในโรงงานผลิตปุ๋ยขนาดใหญ่ได้ ส่วนใหญ่ได้ขุดมาเพื่อใช้ในโรงงานปุ๋ยขนาดเล็ก (สมบูรณ์, 2517 และ สุธรรม, 2521)

หินฟอสเฟตในประเทศไทยพบแทรกอยู่ตามรอยแตกและตามแอ่งของหินปูนหรือในถ้ำ มีลักษณะเป็นกระเปราะตามรอยต่อระหว่างฟอสเฟตกับหินปูน โดยหินฟอสเฟตมีลักษณะเป็นแผ่นกว้างมากบ้าง น้อยบ้าง เช่นแหล่งหินฟอสเฟตเขาคลองวาฬ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และเขาพักม้า อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี (สมบูรณ์, 2517) บางครั้งอาจพบในลักษณะเป็นหินโผล่ (outcrop) อยู่กลางที่ราบลุ่มน้ำ เช่น บ้านสบเมย อำเภอแม่ท่า จังหวัดลำพูน หรือพบในลักษณะที่ฟอสเฟตโผล่เป็นก้อนขนาด 1 ถึง 2 เมตร โดยเกิดปนอยู่กับหินทราย ในบริเวณที่ราบ หรือ เนินเล็กๆ เช่นที่บ้านเหล่าขาม อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด เป็นต้น (สุธรรม, 2521) ซึ่งแหล่งแร่ฟอสเฟตที่สำคัญของประเทศไทย แสดงไว้ในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. ปริมาณแร่สำรองและปริมาณฟอสเฟตของแหล่งแร่ฟอสเฟตในประเทศไทย

ลำดับที่	ที่ตั้งแหล่งแร่	ปริมาณแร่สำรอง(ตัน)	ปริมาณฟอสเฟต ($\%P_2O_5$)
1	เขาพักม้า อ.เมือง จ.ราชบุรี	4,000	10-40
2	เขาพริก อ.เมือง จ.ราชบุรี	200	20-33
3	เขาถ้ำกลอย อ.เมือง จ.ราชบุรี	100	16-38
4	เขาทะลุ อ.จอมบึง จ.ราชบุรี	100	24-31
5	เขากระโจม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี	50	23
6	เขาคลองวาฬ อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์	100	18
7	บ้านนากาญจน์ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	ประมาณ 100,000	30-40
8	เขาเป้ง อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	ประมาณ50,000	25-30
9	บ้านหนองตาหลวง อ.วัดสิงห์ จ.ชัยนาท	100	20-25
10	เขาชะโงก อ.ชนแดน จ.เพชรบูรณ์	10,000	10-30
11	บ้านสบเมย อ.แม่ทา จ.ลำพูน	50,000	30-38
12	บ้านหาดปู่ด้าย อ.เกาะคา จ.ลำปาง	100	30
13	เขาหนองงิ้ว อ.วังสะพุง จ.เลย	-	12
14	บ้านโคกสูง อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด	125,000	10-20
15	บ้านเหล่านาขาม อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด	80,000	10-20
16	เขารักเกียรติ์ อ.รัตภูมิ จ.สงขลา	900	15-30

ที่มา: (สุธรรม, 2521)

2.3 การใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ย หินฟอสเฟตสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตและใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตอื่นๆได้ แต่หินฟอสเฟตนั้นควรมีปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป จึงจะเหมาะสมและใช้ทำเป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตได้ดี ปุ๋ยหินฟอสเฟตนี้นอกจากจะให้ธาตุฟอสฟอรัสแล้ว ยังให้ธาตุอาหารพืชอื่นๆ ได้แก่ ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอีกด้วย

การนำหินฟอสเฟตมาทำเป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตนั้นจะต้องแปรสภาพหินให้เหมาะสมเสียก่อน การแปรสภาพทางฟิสิกส์เป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้หินฟอสเฟตเหมาะสมต่อการใช้มากขึ้น ซึ่งวิธีที่นิยมได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การบดหินฟอสเฟต เนื่องจากหินฟอสเฟตในธรรมชาตินั้นละลายน้ำได้ยาก พืชจึงดูดมาใช้ประโยชน์ได้น้อยมากและในหินฟอสเฟตยังมีแคลเซียมอีกด้วย ทำให้เกิดด่าง ด้วยเหตุนี้จึงมีการปรับปรุงแต่งหินฟอสเฟตให้อยู่ในรูปต่างๆเพื่อให้ละลายน้ำได้ดีขึ้นและลดแคลเซียม การใช้หินฟอตเฟตใส่ให้กับต้นไม้นั้น ต้องนำมาบดให้ละเอียดก่อน (ปฐพีชล, 2550) เช่น บดให้มีขนาดของอนุภาค 100 เมชแล้วจึงนำไปใช้เป็นปุ๋ย เรียกว่าหินฟอสเฟตบด (ธงชัย, 2546)

2) การเผาหินฟอสเฟต การนำหินฟอสเฟตไปเผาที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส แล้วบดให้ละเอียดเป็นปุ๋ย เช่นปุ๋ย rhenamai phosphate ที่ผลิตขึ้นใช้ในออสเตรเลีย (ธงชัย, 2546)

2.4 ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต การนำหินฟอสเฟตมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงนั้น ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตที่มีต่อพืชนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่

2.4.1 ธรรมชาติของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตที่เกิดจากแหล่งต่างๆกัน จะมีปริมาณฟอสเฟตที่ละลายออกมาให้พืชใช้แตกต่างกัน อรุณ และคณะ (2513) พบว่าหินฟอสเฟตที่เกิดจากหินอัคนีจะมีคุณภาพต่ำกว่าหินฟอสเฟตที่เกิดจากหินชั้น ส่วน Gomez และคณะ (1980) ได้สรุปว่าหินฟอสเฟตที่มีคาร์บอเนตสูงสุดจะมีคุณภาพดีที่สุด

2.4.2 ชนิดและสภาพของดิน ดินที่มีสภาพเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน จะมีผลทำให้การละลายของหินฟอสเฟตแตกต่างกันด้วย โดยปกติแล้วความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพดีในดินกรด สูงกว่าดินเป็นกลางและด่างตามลำดับ นอกจากนี้แล้ว ความมากน้อยของการละลายของหินฟอสเฟตยังขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการดูดซับฟอสฟอรัส (index of P-adsorption) ของดินด้วย

2.4.3 ขนาดของอนุภาคของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตที่ใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงจะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็ก Cooke (1980) รายงานว่า การบดหินฟอสเฟตให้มีขนาด 110 เมช ก็เพียงพอ การบดให้ละเอียดมากกว่านี้ไม่มีความจำเป็นเพราะทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่มีต้นทุนสูงขึ้นอีก

2.4.4 การใส่ปูน การใส่ปูนทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตลดลง Sadik และคณะ (1978) รายงานว่าการใส่แคลเซียมคาร์บอเนตลงไปทำให้อิทธิพลของกรดฮิวมิคที่ช่วยให้หินฟอสเฟตละลายได้ดีขึ้นนั้นหมดไป จึงทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตลดลงได้

2.4.5 การเติมกรด กรดช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น การเติมกรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) ลงไปในดินจะทำให้การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น (Collins และ Laver, 1976) Sadik และคณะ (1978) รายงานว่ากรดฮิวมิคก็มีอิทธิพลทำให้หินฟอสเฟตทั้งประเภทที่ผ่าการเผาด้วยความร้อนและไม่ผ่านการเผา ละลายดีขึ้นเช่นกัน และถ้าหากว่ากรดฮิวมิคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

functional group มาก ก็จะทำให้การละลายของหินฟอสเฟตดีขึ้น นอกจากนี้แล้ว Marwaha และคณะ (1981) รายงานว่าการใส่กรดฟอสฟอรัสลงไปจะทำให้ประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตดีขึ้น และพบว่าการเติมกรดนี้จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมกรดออกซาลิค

2.4.6 การใส่กำมะถัน กำมะถันเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและมีผลกระทบต่อความเป็นกรดด่างของดิน การใส่กำมะถันลงไปในดินที่มี pH ประมาณ 6.7 ในสภาพความจุความชื้นสนามจะทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาได้ดี และพืชดูดกินฟอสฟอรัสได้ดีขึ้นด้วย การใส่กำมะถันในอัตราที่เหมาะสมลงไปในดินที่มี pH สูง จะทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาได้มากขึ้น แต่ถ้าหากใส่กำมะถันในอัตราที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้การละลายของหินฟอสเฟตและปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดไปใช้ได้ลดลง June และ Bromfield (1974) รายงานว่าการใส่กำมะถันในสัดส่วน P : S เท่ากับ 1: 0.7 จะทำให้พืชตอบสนองต่อหินฟอสเฟตทัดเทียมกับการใส่ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต Ahmed และคณะ (1969) รายงานว่าการใส่กำมะถันลงไปในดินนาน้ำขัง ไม่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดมาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นแต่ในบางกรณีการใช้กำมะถันผงร่วมกับเชื้อ *Thiobacillus* จะทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น (Scofield และคณะ, 1981)

2.4.7 การใส่อินทรีย์วัตถุ การใส่อินทรียวัตถุบางชนิดลงไปในดินจะช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น อินทรียวัตถุที่สลายตัวได้ง่าย เช่น กลูโคส และ ซูโครส จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตสูงขึ้น เช่นเดียวกับปุ๋ยคอกซึ่งทำให้การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น แต่การใส่แป้งไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น

2.4.8 การใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีบางชนิด เช่น แอมโมเนียม และโพแทสเซียมคลอไรด์ลงไปในดิน จะมีผลให้หินฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น แต่บางโอกาสก็อาจทำให้การละลายของหินฟอสเฟตลดลงได้ เพราะปุ๋ยดังกล่าวมีผลไปทำให้ความจุในการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเพิ่มขึ้น ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในดินจึงลดลง สาเหตุที่พืชดูดฟอสฟอรัสได้มากขึ้นนั้นอาจเนื่องมาจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชดูดฟอสฟอรัสได้มาขึ้นด้วย อาจไม่ใช่สาเหตุจากหินฟอสเฟตละลายออกมามากขึ้นโดยตรง แต่ในกรณีของยูเรียนั้นพบว่าสามารถทำให้ฟอสเฟตละลายออกมามากขึ้น เนื่องจากยูเรียจะเร่งการสลายตัวของอินทรียวัตถุเกิดสารเคมีที่สามารถเกิดคีเลตกับแคลเซียม ส่งผลให้การละลายของหินฟอสเฟตดีขึ้น

2.4.9 การขังน้ำ การขังน้ำจะทำให้หินฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อข้าวมากขึ้น เนื่องจากมีธาตุอาหารอื่นที่มีประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น ทำให้พืชเจริญเติบโตดี สามารถดูดฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.10 ชนิดของพืช พืชต่างชนิดกันมีความสามารถในการใช้ประโยชน์ของหินฟอสเฟตได้แตกต่างกัน หินฟอสเฟตมักมีผลตกค้างในระยะยาวจึงใช้ได้ดีสำหรับพืชที่มีระยะการเจริญเติบโตยาว เช่น ไม้ผล ทุ่งหญ้า อย่างไรก็ตาม พืชฤดูเดียว เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และถั่วต่างๆ ก็ตอบสนองต่อการใช้หินฟอสเฟตได้ดีเช่นกัน

2.5 การละลายฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ในดินหลายชนิดสามารถละลายฟอสเฟตได้ ได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซิท (ตารางที่ 2) ฟอสเฟตที่ละลายได้นี้ ส่วนใหญ่เกิดจากการสร้างกรดแล้วปลดปล่อยออกมาดังนี้

1) กรดอินทรีย์ (organic acids) กรดอินทรีย์ที่พบเสมอๆว่าจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างและปลดปล่อยออกมาได้แก่ กรดฟอร์มิก อะซิติค โปรปิโอนิค แลคติค ไกลโคลิค ฟูมาริค และ ซัคซินิค เป็นต้น ส่วนมากแล้วเฮทเทอโรโทรพจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาจำนวนหนึ่งเสมอในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์แต่มีความแตกต่างกันทั้งชนิด และปริมาณของกรดอินทรีย์

2) กรดอนินทรีย์ (inorganic acids) จุลินทรีย์บางชนิดสร้างและปลดปล่อยกรดอนินทรีย์ออกมาได้แก่ กรดไนตริคและกรดซัลฟูริค จากกิจกรรรมของ *Nitrobacter* และ *Thiobacillus* ตามลำดับ กรดต่างๆ ที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะส่งผลให้ pH ลดลง และเกิดการละลายของฟอสเฟตมากขึ้น

กรดอินทรีย์บางชนิดอาจเกิดคีเลตกับแคลเซียม และเหล็ก ทำให้การละลายและการใช้ฟอสเฟตมีมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณการละลายฟอสเฟตจะแตกต่างกันตามความสามารถในการละลายของจุลินทรีย์แต่ละชนิด รวมทั้งลักษณะ และชนิดของหินฟอสเฟตด้วย โดยทั่วไปแล้วเชื้อราจะมีความสามารถสูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการละลายฟอสเฟต

จุลินทรีย์	ชนิดของฟอสเฟต
แบคทีเรีย	**Mineral**
Bacillus sp.,*B. pulvifaciens*, *B. megaterium*	Tricalcium phosphate
B. circulans, B. subtilis, B. mycoides	Calcium phosphate
B. mesentericus, B. fluorescens	Iron phosphate
B. circulans	Hydroxy apatite
Pseudomonas sp. , *Ps. Putida, Ps. Liquifaciens*	Flourapatite
Ps. Calcis, Ps. Rathoria	Rock phosphate
Escherichia freundii, E. intermedia	
Xanthomnas spp.	**Organic**
Flavobacterium spp.	Calcium phosphate
Brevibacterium spp.	calcium glycerophosphate
Serretia spp.	Phytin
Alcaligenes spp.	Lecithin
Achromobacter spp.	Hexose monophosphatic
Aerobacter aerogenes	ester
Erwinia spp.	Phenyl phosphate
Nitrosomonas spp.	Orther organic phosphate
Thiobacillus thiooxidans	
เชื้อรา	
Aspergillus sp., *A. niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *A. awamori*,	
Penicillium sp., *P. lilacinum, P. digitatum, Fusarium sp., F. oxysporum*,	
Curvularia lunata, Humicola sp., *Sclerotium rolfsii*, *Pythium* sp., *Aerothecium* sp.,	
Phoma sp., *Mortierella* sp., *Paecilomyces* sp., *Cladosporium* sp.,	
Rhizoctonia sp., *Cunninghamella* sp., *Rhodotorula* sp., *Candida* sp.,	
Schwanniomyces occidentalis, Oideodendron sp., *Pseudogymnoascus* sp.	
แอคติโนไมซิท	
Streptomyces sp., *Nocardia* sp.	

ที่มา: Subba Rao (1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การใช้จุลินทรีย์ร่วมกับหินฟอสเฟต

กลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายหินฟอสเฟตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (phosphate solubilizing microorganisms) ซึ่งพบในประเทศไทยในปริมาณมาก แต่การนำมาใช้ยังไม่แพร่หลาย การที่จะใช้หินฟอสเฟตให้เป็นประโยชน์จะต้องทำการแปรรูปให้มีการละลายดีขึ้น ปัจจุบันได้มีการพบว่ามีจุลินทรีย์ดินหลายชนิด ทั้งแบคทีเรียและเชื้อราที่สามารถทำให้หินฟอสเฟตละลายเป็นประโยชน์แก่พืช เช่น *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Thiobacillus* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. และอื่นๆอีกมากดังตารางที่ 2 การที่จะให้หินฟอสเฟตละลายได้ดีจะต้องทำให้เกิดสภาพกรด ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะผลิตกรดออกมาละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ (มุกดา, 2545)

ธงชัย และคณะ (2533) ได้ศึกษาปริมาณของเชื้อราและแบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟตได้จากชุดดินร้อยเอ็ด บางเลน กำแพงแสน และเสนา พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตได้แตกต่างกันและยังพบอีกว่ามีปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้คิดเป็น 15.25, 13.36, 6.16 และ 33.00 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในดินร้อยเอ็ด บางเลน กำแพงแสน และเสนา ตามลำดับ

Matineze และคณะ (1993) ได้ทดลองใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟตได้ในข้าวฟ่างและพบว่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินและฟอสฟอรัสในพืชเพิ่มขึ้น

Tomar และคณะ (1996) พบว่าเมื่อใส่แบคทีเรียฟอสเฟตในถั่วเขียวทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 2.23 เป็น 2.46 ตันต่อเฮกตาร์

Alonso และคณะ (1995) พบว่าเมื่อใส่จุลินทรีย์ที่ละลายได้ ได้แก่ *Pseudomonas fluorescens* ลงไปในดินที่ปลูกกล้วยจะทำให้กล้วยมีผลใหญ่กว่าตำรับควบคุมและพบฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆของต้นพืชด้วย

Khan and Bhatnagar (1979) พบว่า *Aspergillus niger* ที่แยกจากดินในเขตรากข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการละลายหินฟอสเฟตมากที่สุด โดยวัดปริมาณฟอสฟอรัสในอาหารเหลวทดสอบได้ 297 ppm ที่เวลา 7 วันและ 225 ppm ที่เวลา 21 วัน

Naplekova (1967) พบว่าเชื้อราใน genus *Fusarium*, *Chaetomium*, *Stachybotrys*, *Rhizopus*, *Rhizopus* และ *Cephalosporium* สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟตในอัตรา 5.0-8.7% ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ขณะที่เชื้อราจะตรึงฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ประมาณ 47-73 % ของส่วนที่ละลายออกมา

พงษ์เทพและคณะ (2531) ได้ทำการศึกษาการละลายของหินฟอสเฟตโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ พบว่า *Aspergillus* sp. No.1 มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการทดสอบในอาหารเหลววัดปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายได้ 140 ppm ที่เวลา 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บทบาทและความสำคัญของโพแทสเซียม

ความสำคัญของโพแทสเซียมที่มีต่อการเพิ่มผลผลิตของพืชนั้นเพิ่งมีผู้ทราบเมื่อเริ่มศตวรรษที่ 19 นี้เอง ทั้งๆที่ผู้ใช้สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่เพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชมาช้านานแล้ว เช่น ทราบกันดีว่ามูลสัตว์ ซากพืช และเถ้าถ่านของไม้เป็นสารที่ช่วยปรับปรุงให้ดินดีขึ้นแม้ว่าเราจะทราบความสำคัญของโพแทสเซียมในแง่ที่เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชมานานพอสมควร แต่การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่งจะเริ่มมาไม่นานนี้เอง ทั้งนี้เพราะวัตถุต้นกำเนิดดินมักจะมีปริมาณของโพแทสเซียมสูง จึงใช้เวลานานกว่าที่จะทำให้พืชที่ปลูกขาดโพแทสเซียม มีผู้รายงานไว้ว่าปริมาณโพแทสเซียมในผิวโลกมีถึง 2.4 เปอร์เซ็นต์

4.1 บทบาทของโพแทสเซียมที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชธาตุหนึ่งในจำนวน 16 ธาตุที่เรารู้จักกันดีโพแทสเซียมเมื่อเข้าไปอยู่ในพืชแล้วไม่ได้เปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์เหมือนกับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียมและแมกนีเซียม แต่จะอยู่ในรูปเกลืออินทรีย์หรืออนินทรีย์ซึ่งละลายได้ โพแทสเซียมจำเป็นต่อกิจกรรมหรือกระบวนการสร้างสมดุลต่างๆในเซลล์ที่มีชีวิต โพแทสเซียมมีอิทธิพลต่อพืชดังนี้

1) กระบวนการสร้างน้ำตาลและแป้ง มีผู้พบว่าในพืชที่ขาดโพแทสเซียมจะมีปริมาณแป้งต่ำกว่าปกติ เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของ reducing sugar ต่อปริมาณแป้งทั้งหมดในพืชบางชนิดจะพบว่ามี reducing sugar เพิ่มขึ้นและ non-reducing sugar ลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในราก เมื่อดินมีโพแทสเซียมต่ำลง

2) การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล จากการศึกษาพบว่า การเคลื่อนย้ายของน้ำตาลในอ้อยหยุดชะงักเนื่องจากขาดโพแทสเซียมมีผู้พบว่าในอ้อยซึ่งมีโพแทสเซียมพอเพียงมีอัตราการเคลื่อนย้ายน้ำตาลเท่ากับ 2.5 ซม./นาที แต่ในอ้อยที่ขาดโพแทสเซียม อัตราการเคลื่อนย้ายลดลงไปมาก ประมาณว่าน้อยกว่า 1.25 เซนติเมตรต่อนาที

3) กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ได้มีการศึกษาการตอบสนองข้าว 2 พันธุ์ต่อโพแทสเซียม และพบว่าผลผลิตของข้าวจะเพิ่มขึ้นและเมื่อข้าวได้รับแสงไม่เต็มที่จะแสดงการตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทสเซียมมากกว่าเมื่อได้รับเต็มที่นอกจากนี้ยังพบว่าพืชหัวต้องการโพแทสเซียมในปริมาณที่มากกว่าพืชที่ให้โปรตีน การเจริญของรากของพืชหัวจะลดลงมากถ้ามีโพแทสเซียมจำกัด เมื่อเทียบกับการเจริญของใบ

4) ปริมาณกรดอินทรีย์และไนโตรเจนซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ใช่โปรตีน โพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ pyruvate kinase ในการเกิด pyruvate ใน Kreb cycle เมื่อมีโพแทสเซียมมากๆ ปฏิกิริยาจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ส่วนของกรดอินทรีย์ หรือ intermediate compound มีอยู่น้อย มีผู้พบว่า ความเข้มข้นของ citrate และ malate ลดลงเมื่อใส่โพแทสเซียมแก่พืช กรด malonic, malic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ citric โดยปกติมีสูงถึง 72% ของกรดทั้งหมดในพืช มีผู้พบว่าพืชที่ขาดโพแทสเซียมมีส่วนของ nonprotein nitrogen สะสมอยู่และการสร้างโปรตีนลดลง แต่ถ้ามีโพแทสเซียมมากขึ้นมีการใช้กรดอะมิโน (amino acid) ในกระบวนการสร้างโปรตีนมากขึ้น

5) โครงสร้างของเอนไซม์ มีเอนไซม์กว่า 40 ชนิดที่ต้องการแคตไอออนที่มีประจุบวก 1 ประจุ (monovalent cation หรือ univalent cation) ไปกระตุ้นให้ทำงานได้ดีขึ้น บทบาทของแคตไอออนต่างๆ เหล่านี้เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเอนไซม์ซึ่งเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดของไอออนบวกที่อยู่รอบๆ เมื่อมีโพแทสเซียมหรือ monovalent cation อื่นๆ ที่สามารถจะไปเร่งปฏิกิริยาได้ active site ของเอนไซม์นี้จะอยู่ในสถาพที่จะรวมกับ substrate ได้ ในทางตรงกันข้ามเมื่อ monovalent cation อื่นๆที่ไม่สามารถจะเร่งปฏิกิริยาได้ active site จะอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถรวมกับ substrate ได้ อิทธิพลของโพแทสเซียมที่มีต่อเอนไซม์อื่นยังไม่มีการทดลองมากเท่ากรณีของ pyruvate kinase

6) ความต้านทานโรค โรคต่างๆ ที่เกิดกับพืชหลายชนิดจะลดลงถ้าดินมีโพแทสเซียมเพียงพอหรือใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้แก่ดินที่ขาดโพแทสเซียม ทั้งนี้เพราะว่า โพแทสเซียมจะทำให้ผนังเซลล์ของพืชหนาและมั่นคง ยากต่อการเข้าทำลายของโรค นอกจากนี้โพแทสเซียมยังเป็นตัวเร่งให้เซลล์ทำงานได้ดีขึ้น

7) คุณภาพของผักและผลไม้ การขาดโพแทสเซียมจะทำให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตของพืชต่ำลง คุณภาพของผลไม้ที่ลดลงนี้รวมถึง สี ขนาด ความเป็นกรด และคุณภาพในการเก็บรักษา(คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541)

4.2 อาการขาดธาตุโพแทสเซียมของพืช เมื่อพืชขาดโพแทสเซียม ขอบใบจะมีสีซีด (chlorosis) แล้วปลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งไปในที่สุดอาการเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ ระหว่างเส้นใบอาจจะมีจุดสีน้ำตาลแห้ง โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ (mobile) ในพืช เพราะฉะนั้นลักษณะอาการขาดจะเกิดขึ้นที่ใบแก่ก่อนใบอ่อน อาการขาดโพแทสเซียมจะเห็นได้ชัดกับข้าวโพดและพืชตระกูลหญ้า พวกธัญพืชมักจะให้เมล็ดลีบและน้ำหนักเบาผิดปกติ พืชที่ให้หัวที่รากจะมีแป้งน้อยแต่น้ำมาก ข้าวโพดจะให้ฝักที่เมล็ดไม่เต็มจนถึงปลายฝัก ฝักจะเล็กและรูปร่างผิดปกติ ใบยาสูบจะมีคุณภาพในการติดไฟต่ำ ผลไม้จะมีสีไม่สวยและเนื้อฟ่าม พืชที่ให้น้ำมันก็จะมีน้ำมันน้อย นอกจากนั้นการขาดโพแทสเซียมยังทำให้พืชล้ม (lodging) ได้ง่าย เพราะพืชที่ขาดโพแทสเซียมจะมีลำต้นอ่อน พืชพวกฝ้ายจะมีสีน้ำตาลปนแดง สมอจะไม่อ้าเต็มที่เมื่อแก่

4.3 การสูญเสียโพแทสเซียมในดิน โพแทสเซียมในดินมีทางที่จะสูญเสียไปจากดินได้ 5 ทางคือ

1) พืชดูดไปใช้ (crop removal) พืชดูดโพแทสเซียมไปใช้ในปริมาณที่สูงพอๆกับไนโตรเจน และประมาณ 3-4 เท่าของฟอสฟอรัสหากมีโพแทสเซียมในดินมาก พืชจะดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพแทสเซียมไปใช้ในปริมาณมากกว่าที่พืชจะต้องใช้จริงๆมีผู้คำนวณอย่างคร่าวๆว่าดินจะสูญเสียโพแทสเซียมในปีหนึ่งราว 12-16 กิโลกรัมต่อไร่

2) ถูกชะละลาย (leaching) การสูญเสียโพแทสเซียมโดยการชะละลายจะเห็นได้จากการวิเคราะห์น้ำที่ระบายลงสู่ดินชั้นล่างการสูญเสียโพแทสเซียมโดยวิธีนี้จะน้อยกว่าไนโตรเจนแต่จะมากกว่าฟอสฟอรัสบางครั้งปริมาณที่ถูกชะละลายอาจพอๆกับปริมาณที่พืชดูดเข้าไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่กับดินทรายจะถูกชะละลายมาก

3) การกร่อนของผิวดิน (erosion of surface soil) น้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดินเมื่อชะเอาอนุภาคของดินออกไปก็จะทำให้โพแทสเซียมที่อยู่ในดินสูญหายไปด้วย การสูญเสียโพแทสเซียมไปเนื่องจากการกร่อนผิวดินก่อให้เกิดปัญหาน้อยกว่าการสูญเสียไนโตรเจนโดยวิธีเดียวกัน ทั้งนี้ก็เพราะว่าการกระจายตามความลึกของธาตุอาหารทั้งสองต่างกัน โพแทสเซียมจะมีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอที่ระดับความลึกต่างๆ

4) การตรึงโพแทสเซียม (potassium fixation) ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่เพิ่มเติมลงไปในดินบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชยากขึ้นซึ่งเรียกว่าถูกตรึง การตรึงส่วนใหญ่เกิดโดยแร่ดินเหนียวในดินการที่โพแทสเซียมที่ใช้ประโยชน์ได้เปลี่ยนเป็นรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ยากมีผลดีในแง่ที่ว่า เป็นการอนุรักษ์โพแทสเซียมไว้แทนที่จะสูญเสียไปโดยการชะละลายหากอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โพแทสเซียมที่ถูกตรึงนี้จะกลายเป็นโพแทสเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้หากโพแทสเซียมในรูปที่พืชใช้ได้ลดลงโดยพืชดูดไปหรือถูกน้ำชะละลายไป

5) ถูกพืชดึงดูดเข้าไปมากเกินความต้องการ (luxury consumption) หากในดินมีระดับโพแทสเซียมสูง พืชจะดูดขึ้นไปสะสมในปริมาณที่เกินความต้องการ โดยที่ไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตไป ปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมมากเกินพอนี้ก็จะสูญหายไปด้วยเพราะฉะนั้นการใส่โพแทสเซียมลงไปในดินมากๆจึงเป็นการใช้ปุ๋ยที่ไม่มีประสิทธิภาพและไม่ถูกหลักเศรษฐกิจ มีผู้ทดลองการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมกับอัลฟัลฟา (alfalfa) และพบว่าการใช้ปุ๋ยทีละน้อยแต่บ่อยครั้งจะให้ผลดีกว่าการใส่ครั้งละมากๆแต่ใส่น้อยครั้ง (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541)

4.4 รูปของโพแทสเซียมในดิน โพแทสเซียมในดินมีความสำคัญโดยเฉพาะในแง่ที่เกี่ยวข้องกับการเป็นธาตุอาหารพืชนั้น ปริมาณเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ซึ่งอยู่ในสภาพต่างๆ และพอแบ่งได้เป็น 3 รูปใหญ่ๆคือ

1) รูปที่ละลายน้ำได้ (water soluble forms) เป็นโพแทสเซียมที่อยู่ในสภาพของไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวกละลายอยู่ในสารละลายดินซึ่งพืชจะใช้ประโยชน์ได้ทันทีโดยดูดกินไปใช้โดยทางราก เป็นรูปที่มีอยู่ในดินเป็นปริมาณน้อยที่สุด

2) รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable forms) ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในสภาพของไอออน (K^+) ที่ดูดยึดเอาไว้ที่ที่ผิวของสารคอลลอยด์ดิน โดยเฉพาะแร่ดินเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) รูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (non-exchangeable forms) ได้แก่ รูปของโพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากมาก แบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อยๆคือ(1) โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่างๆในดินและ (2) โพแทสเซียมที่ถูกตรึงเอาไว้โดยอนุภาคดินเหนียว

4.5 การตรึงโพแทสเซียมในดิน การตรึงโพแทสเซียมในดินเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนรูปของโพแทสเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที หรือรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่า คือรูปของไอออนที่ละลายอยู่ในสารละลายดินและอนุภาคของไอออนที่ถูกดูดยึดไว้ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ให้ไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้โดยตรง โพแทสเซียมส่วนที่ถูกตรึงอยู่นี้จะอยู่ในสภาพของไอออนที่ถูกยึดเอาไว้ด้วยแรงจำนวนมากระหว่างแร่ดินเหนียว 2 อนุภาค ส่วนการที่จะปลดปล่อยกลับคืนให้มาอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้เป็นจำนวนมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียวที่ตรึงโพแทสเซียมไอออนนี้เอาไว้ และขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของดิน กล่าวคือ ถ้าดินมีแร่ดินเหนียวหรือชนิดของดินเหนียวประเภท illite เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่มาก ก็จะทำให้การปลดปล่อยโพแทสเซียมกลับคืนมาได้ยากกว่า เพราะ illite จะสามารถตรึงโพแทสเซียมเอาไว้ได้แน่นหนากว่าแร่ดินเหนียวประเภทอื่น เช่น montmorillonite เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่จะส่งเสริมให้โพแทสเซียมที่ถูกตรึงอยู่ถูกปลดปล่อยกลับมาให้พืชได้ใช้ใหม่อีกคือ ดินมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น หรือดินที่มีน้ำขังอยู่เป็นเวลานานๆ เช่นดินใช้ทำนา ดังนั้นจึงมักพบเสมอว่าดินนาซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นดินที่มีความเป็นกรดและเนื้อดินละเอียด มีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบอยู่มาก จะมีธาตุโพแทสเซียมให้แก่พืชใช้เป็นปริมาณที่พอเพียงเสมอ (เอกสารการสอนชุดวิชา เกษตรทั่วไป 4, 2528)

5. แหล่งที่มาและความสำคัญของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์

เฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบหินที่มีมากที่สุด พบได้ทั่วไปในหินอัคนี หินตะกอน แต่แร่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจได้จากสายน้ำแร่ร้อน นอกจากนี้แล้วยังมีการผลิตเฟลด์สปาร์จากส่วนที่เป็นหินกราฟิกแกรนิต หินแกรนิตสีขาว หินแอไพลต์ และหินเฟลด์สปาร์เป็นแร่ที่สลายตัวได้ง่ายที่สุดแร่หนึ่ง สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำหรือกรดคาร์บอนิกได้ดี เมื่อสลายตัวแล้วจะกลายเป็นดินเหนียวต่อไป มีสูตรทางเคมีเป็น $X.AlSi_3O_8$ (เมื่อ X คือธาตุโพแทสเซียม โซเดียมและแคลเซียม) แร่นี้มีสีขาวทึบหรือสีขาวขุ่น มีความแข็งมาตรฐานเท่ากับ 6 (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน)

5.1 การพัฒนาปุ๋ยโพแทช สำหรับการผลิตปุ๋ยโพแทชจากน้ำเค็มเริ่มต้นในปี พ.ศ. 2404 และเมื่อ พ.ศ. 2443 มีการพัฒนาปุ๋ยชนิดใหม่ เช่น ทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต ไนตริกฟอสเฟตและแอมโมเนียมฟอสเฟต ออกมาในขั้นศึกษาทดลอง โพแทสเซียมไนเตรตเป็นปุ๋ยเก่าแก่อีกชนิดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเกษตรกรรู้จักใช้ก่อนโพแทสเซียมคลอไรด์ เดิมทีโพแทสเซียมไนเทรตที่ใช้กันนั้น เป็นผลพลอยได้จากการผลิตโซเดียมไนเทรตในประเทศชิลีและได้มีโรงงานผลิตปุ๋ยนี้โดยตรงใน พ.ศ. 2506 (Mortvedt และคณะ, 1999)

5.2 แหล่งที่มาของแร่โพแทชเฟลสปาร์ในประเทศไทย ประเทศไทยมีแหล่งแร่โพแทชที่คอนข้างใหญ่ในแอ่งโคราช (Khorat basin) และแอ่งสกลนคร (Sakhon Nakhon basin) ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แร่สำคัญที่พบคือแร่คาร์นาลไลต์และซิลวิไนต์ ประมาณว่าในแอ่งโคราชที่อำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิมีทรัพยากรสินแร่ (ore resource) ประมาณ 366 ล้านตัน K_2O ส่วนแหล่งโพแทชในแอ่งสกลนคร บริเวณจังหวัดอุดรธานีนั้น มีแร่ซิลวิไนต์เป็นหลัก พบทรัพยากรสินแร่ 250 ล้านตัน K_2O (ยงยุทธ, 2551)

5.3 การใช้แร่โพแทชเป็นปุ๋ย ในปัจจุบันนี้ประมาณร้อยละ 95 ของเกลือโพแทชที่ผลิตทั่วโลกใช้เป็นปุ๋ย อีกร้อยละ 5 ใช้ในการอุตสาหกรรมอื่น ประมาณร้อยละ 92 ของปุ๋ยที่ใช้คือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่เหลือเป็นปุ๋ยโพแทชชนิดอื่น ได้แก่โพแทชเซียมซัลเฟต (sulfate of potash,SOP) โพแทสเซียมไนเทรต และโพแทสเซียมฟอสเฟต (Lazo de la Vega, 2006)

6. การใช้จุลินทรีย์ร่วมกับแร่เฟลด์สปาร์

บทบาทสำคัญของจุลินทรีย์ดินต่อความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องในกระบวนการ mobilization โดยการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติค กรดซิตริค และกรดออกซาลิค เป็นต้น หรือกรดอนินทรีย์ เช่น กรดคาร์บอนิค กรดไนตริค และกรดซัลฟูริค เป็นต้น ในการละลายแร่ และวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีโพแทชเซียมเป็นองค์ประกอบจุลินทรีย์ที่สามารถปลดปล่อยกรดออกมาละลายแร่อะลูมิโนซิลิเกต เช่นแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* และ *Pseudomonas* ราในกลุ่มของ *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium* โดยอาจละลายได้จากแร่ในกลุ่มไมก้า เช่น biotite, muscovite ละลายจากแร่ในกลุ่มของเฟลด์สปาร์ เช่น microcline, nephelite, leucite, orthoclase เป็นต้น และมีรายงานพบว่าโพแทสเซียมจะถูกละลายออกมาจากรูปที่ตกตะกอนโดยการผลิตกรดอนินทรีย์และกรดอินทรีย์จากแบคทีเรียในกลุ่ม *Thiobacillus*, *Clostridium* และ *Bacillus* (วารสารอนุรักษณ์ดินและน้ำ, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์การทดลอง

1. จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่แยกสายพันธุ์โดย รศ.ดร.เกษม สร้อยทอง ณ. ห้องปฏิบัติการราวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังซึ่งจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่

1.1 เชื้อรา (Fungi) จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่

Aspergillus niger

Penicilium sp.

Chaetomium lucknowense

1.2 แอคติโนมัยซิท (Actinomycetes) จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่

Actinomycetes C4-8

Actinomycetes T1-V

Actinomycetes T2-4

Actinomycetes T2-10

Actinomycetes T2-ญ

2. อาหารเลี้ยงเชื้อ

2.1 เชื้อรา ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA (Potato Dextrose Agar)

2.2 เชื้อแอคติโนมัยซิท ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ YSA (Modified Yeast Starch Agar Medium)

3. อุปการณ์ที่ใช้ในการขยายเชื้อและใช้ในการหมักเชื้อ

3.1 จานเลี้ยงเชื้อ (Plate)

3.2 หม้อนึ่งความดัน

3.3 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

3.4 ตู้เขี่ยเชื้อ และเข็มเขี่ยเชื้อ

3.5 ตะเกียงแอลกอฮอล์

3.6 หลอดขยายเชื้อ

3.7 ถุงพลาสติกขนาด 6x12 นิ้ว

3.8 เครื่องปั่นผลไม้

4. แอลกอฮอล์ 95 % และ 70%

5. หินฟอสเฟตบดและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

99625

วิธีการทดลอง

1. การทดสอบความสามารถในการละลายของหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์โดยใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆ

1.1 การทดสอบความสามารถในการละลายหินฟอสเฟตของเชื้อราและ แอคติโนมัยซิท โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Ranpletely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยจุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์เป็นปัจจัยที่ 1 และหินฟอสเฟตบด 2 ชนิด (ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ) เป็นปัจจัยที่ 2 โดยมีตำรับการทดลองดังนี้

ปัจจัย A1: หินฟอสเฟตบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ	- B1 : ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control 1) -B2 : *Aspergillus niger* -B3 : *Penicilium* sp. -B4 : *Chaetomium lucknowense* -B5 : Actinomycetes C4-8 -B6 : Actinomycetes T1-V -B7 : Actinomycetes T2-4 -B8 : Actinomycetes T2-10 -B9 : Actinomycetes T2-ญ
ปัจจัย A2: หินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ	-B1 : ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control 2) -B2 : *Aspergillus niger* -B3 : *Penicilium* sp. -B4 : *Chaetomium lucknowense* -B5 : Actinomycetes C4-8 -B6 : Actinomycetes T1-V -B7 : Actinomycetes T2-4 -B8 : Actinomycetes T2-10 -B9 : Actinomycetes T2-ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้จุลินทรีย์ ทั้ง 8 สายพันธุ์ได้แก่ เชื้อรา 3 สายพันธุ์คือ *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., และ *Chaetomium lucknowense* โดยทำการเลี้ยงบนอาหาร PDA (Potato Dektrose Agar) บ่มจุลินทรีย์ที่เลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ยกเว้น *Chaetomium lucknowense* บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วัน และแอคติโนมัยซิท 5 สายพันธุ์ คือ Actinomycetes C4-8, Actinomycetes T1-V, Actinomycetes T2-4, Actinomycetes T2-10 และActinomycetes T2-ญ โดยเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ YSA (Modified Yeast Starch Agar Medium) บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำเชื้อที่ได้จากการบ่มดังกล่าวทั้งหมด 8 สายพันธุ์ นำจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์มาปั่นในเครื่องปั่นผลไม้ (โดยใช้อัตราส่วนน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อปริมาตร 50 มิลลิลิตร ต่อ จุลินทรีย์ 5 plate) หลังจากนั้นนำจุลินทรีย์ที่ปั่นเสร็จแล้วรวมทั้งน้ำกลั่นและอาหารเลี้ยงเชื้อใส่ลงไปคลุกในหินฟอสเฟตที่ผ่านการบด (โดยใช้อัตราส่วน 5 plate ต่อหินฟอสเฟตบด 0.5 กิโลกรัม) แล้วนำมาใส่ลงไปในถุงพลาสติก ปิดให้สนิททิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 วัน เมื่อครบระยะเวลาดังกล่าวนำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available-P) โดยวิธี Bray II แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

สำหรับการฆ่าเชื้อหินฟอสเฟตนั้น วิธีการคือ เติมน้ำให้มีระดับสูงพอสมควรในหม้อนึ่งความดันไอแล้วยกหม้อนึ่งความดันไอตั้งบนเตาแก๊สและนำถุงที่ใส่หินฟอสเฟตบดที่เตรียมไว้ใส่ลงในหม้อแล้วทำการปิดฝาหม้อนึ่งความดันไอให้สนิท รอให้น้ำเดือดเป็นไอ และให้ไอน้ำเดือดไล่อากาศออกให้หมดทาง Ejector ที่เปิดไว้ แล้วปิด Ejector ซึ่งจะทำให้ความดันของไอน้ำค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากนั้นปรับไฟแก๊สเพื่อควบคุมให้ความดันคงที่ตลอดระยะเวลาที่กำหนดคือ ระหว่าง 30 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด ปิดไฟและรอจนกระทั่งอ่านมาตรวัดความดันที่ลดลงจนถึง 0 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จึงคลาย Ejector เพื่อให้ไอน้ำออกจนหมด แล้วจึงนำหินฟอสเฟตบดที่อยู่ในถุงพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วไปทำการหมักกับจุลินทรีย์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การทดสอบความสามารถ ในการละลาย แร่โพแทชเฟลด์สปาร์ของเชื้อรา และแอคติโนมัยซิท โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Ranpletely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยจุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์เป็นปัจจัยที่ 1 และแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บด 2 ชนิด (ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ) เป็นปัจจัยที่ 2 โดยมีตำรับการทดลองดังนี้

ปัจจัย A1: แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ	- B1 : ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control 1)
	-B2 : *Aspergillus niger*
	-B3 : *Penicilium* sp.
	-B4 : *Chaetomium lucknowense*
	-B5 : Actinomycetes C4-8
	-B6 : Actinomycetes T1-V
	-B7 : Actinomycetes T2-4
	-B8 : Actinomycetes T2-10
	-B9 : Actinomycetes T2-ญ
ปัจจัย A2: แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ	-B1 : ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control 2)
	-B2 : *Aspergillus niger*
	-B3 : *Penicilium* sp.
	-B4 : *Chaetomium lucknowense*
	-B5 : Actinomycetes C4-8
	-B6 : Actinomycetes T1-V
	-B7 : Actinomycetes T2-4
	-B8 : Actinomycetes T2-10
	-B9 : Actinomycetes T2-ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาทำในลักษณะเดียวกับหินฟอสเฟตคือ นำเชื้อทั้ง 8 สายพันธุ์ได้แก่ เชื้อรา 3 สายพันธุ์คือ *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., และ *Chaetomium lucknowense* โดยทำการเลี้ยงบนอาหาร PDA (Potato Dektrose Agar) บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ยกเว้น *Chaetomium lucknowense* บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วัน และแอคติโนมัยซิท 5 สายพันธุ์ คือ Actinomycetes C4-8, Actinomycetes T1-V, Actinomycetes T2-4, Actinomycetes T2-10และ Actinomycetes T2-ญ โดยเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ YSA (Modified Yeast Starch Agar Medium) บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำเชื้อที่ได้จากการบ่มดังกล่าวทั้งหมด 8 สายพันธุ์ นำจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์มาปั่นในเครื่องปั่นผลไม้ (โดยใช้อัตราส่วนน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อปริมาตร 50 มิลลิลิตร ต่อจุลินทรีย์ 5 plate) หลังจากนั้นนำจุลินทรีย์ที่ปั่นเสร็จแล้วรวมทั้งน้ำกลั่นและอาหารเลี้ยงเชื้อใส่ลงไปในแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ที่ผ่านการบด (โดยใช้อัตราส่วน 5 plate ต่อแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บด 0.5 กิโลกรัม) แล้วนำมาใส่ลงไปในถุงพลาสติก ปิดให้สนิททิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 วัน เมื่อครบระยะเวลาดังกล่าว นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available-K) โดยวิธี 1 N Ammonium acetate แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

สำหรับการฆ่าเชื้อแร่โพแทชเฟลด์สปาร์นั้น ทำเช่นเดียวกับหินฟอสเฟตคือใช้วิธีการฆ่าเชื้อโดยหม้อนึ่งความดัน ก่อนนำแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่อยู่ในถุงพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วไปทำการหมักกับจุลินทรีย์ต่อไป

2. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of varience) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธี NMRT (New Multiple Rang Test) โดยใช้โปรแกรม Sirichai 6

3. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการเลี้ยงเชื้อและหมักเชื้อกับหินฟอสเฟตและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ที่ตึกเห็ดราวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4. ระยะเวลาของการทดลอง

การทดลองเริ่มต้นตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2551 สิ้นสุดเดือนกุมภาพันธ์ 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. การเตรียมและคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 8 สายพันธุ์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร.เกษม สร้อยทอง โดยแบ่งเป็นเชื้อรา 3 สายพันธุ์ได้แก่ *Aspergillus niger* , *Penicilium* sp., *Chaetomium lucknowense* และ แอคติโนมัยซิทมี จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ Actinomycetes C4-8 , Actinomycetes T1-V, Actinomycetes T2-4, Actinomycetes T2-10, Actinomycetes T2-ญ โดยศึกษาแยกเชื้อจากลักษณะโคโลนีและลักษณะโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์จากการเลี้ยงบนอาหาร PDA (Potato Dektrose Agar) และ YSA (Modified Yeast Starch Agar Medium) เมื่ออายุ 7 วัน พบว่า *Aspergillus niger* โคโลนีมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่1), *Pennicilium* sp. โคโลนีมีลักษณะสีเขียวเข้ม (ภาพที่ 2), *Chaetomium lucknowense* โคโลนีมีลักษณะสีเขียวอ่อน (ภาพที่ 3), Actinomycetes C4-8 โคโลนีมีลักษณะมีสีเทา สปอร์ต่อกันเป็นโซ่บิดเป็นเกลียว (ภาพที่ 4), Actinomycetes T1-V โคโลนีมีลักษณะสีเทาน้ำตาล (ภาพที่ 5), Actinomycetes T2-4 โคโลนีมีลักษณะสีขาวถึงขาวเหลือง (ภาพที่ 6), Actinomycetes T2-10 โคโลนีมีลักษณะสีเทาเข้ม (ภาพที่ 7), Actinomycetes T2-ญ โคโลนีมีลักษณะสีขาวเทา (ภาพที่ 8)

จุลินทรีย์ที่นำมาศึกษาทั้งหมด ได้คัดแยกจุลินทรีย์ที่มีความบริสุทธิ์ ไม่มีการปนเปื้อน เพื่อนำไปคลุกเคล้ากับหินฟอสเฟต และแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่เตรียมไว้ทดสอบในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 1. โคโลนี และ Conidial structure ของ *Aspergillus niger*

A : โคโลนี *Aspergillus niger* บนอาหาร PDA อาหารเลี้ยงเชื้อที่อายุ 7 วัน

B : Conidia ที่กำลังขยาย 400 เท่า

C : Conidial head ของ *Aspergillus niger* กำลังขยาย 100 เท่า

D : foot cell ของ *Aspergillus niger* กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2. โคโลนี และ Conidial structure ของ *Penicilium* sp.

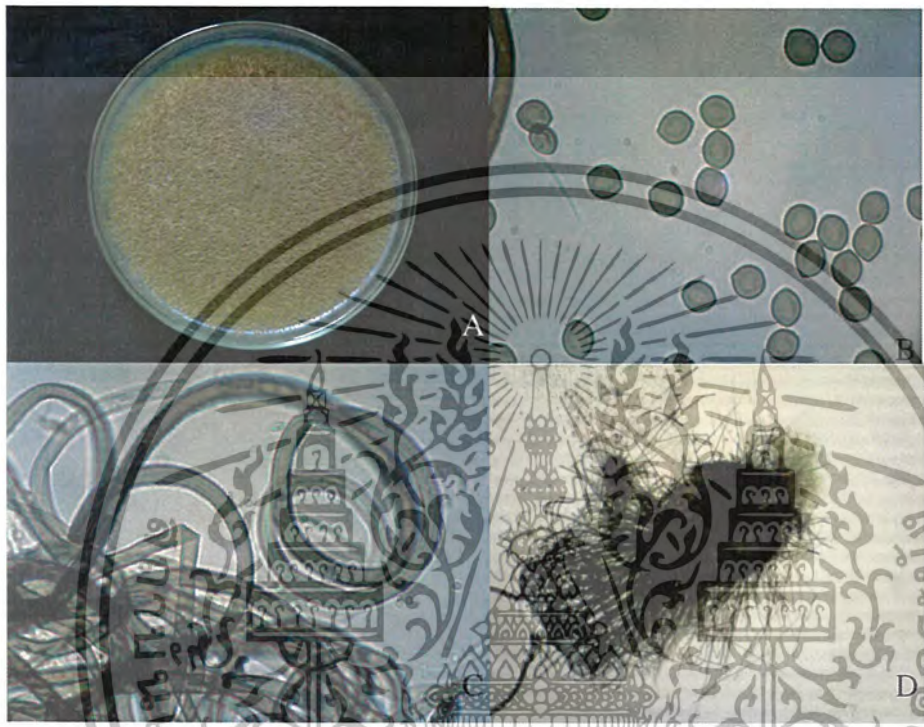
A : โคโลนี *Penicilium* sp.บนอาหาร PDA อาหารเลี้ยงเชื้อที่อายุ 7 วัน

B : Conidia ที่กำลังขยาย 400 เท่า

C : Conidial head ของ *Penicilium* sp. กำลังขยาย 400 เท่า

D : foot cell ของ *Penicilium* sp. กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3. โคโลนี และ Conidial structure ของ *Chaetomium lucknowense*

A : โคโลนี *Chaetomium lucknowense* บนอาหาร PDA อาหารเลี้ยงเชื้อที่อายุ 20 วัน

B : Ascospores ที่กำลังขยาย 400 เท่า

C : Ascomatal hairs ของ *Chaetomium lucknowense* กำลังขยาย 400 เท่า

D : Ascomata ของ *Chaetomium lucknowense* กำลังขยาย 40เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4. โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes C4-8

A : โคโลนี Actinomycetes C4-8 บนอาหาร YSA อาหารเลี้ยงเชื้อที่อายุ 7 วัน

B : สปอร์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

C : เส้นใยที่กำลังขยาย 1000 เท่า

D : เส้ยใยและสปอร์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5. โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes T1-V

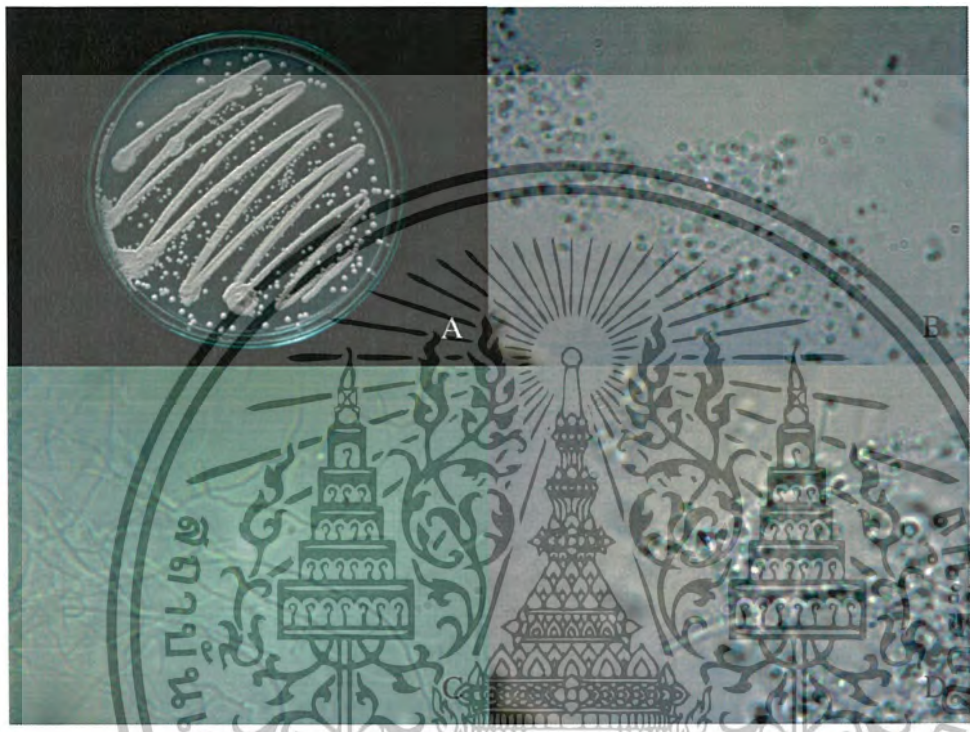
A : โคโลนี Actinomycetes T1-V บนอาหาร YSA อาหารเลี้ยงเชื้อที่อายุ 7 วัน

B : สปอร์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

C : เส้นใยที่กำลังขยาย 1000 เท่า

D : เส้นใยและสปอร์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6. โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes T2-4

A : โคโลนี Actinomycetes T2-4 บนอาหาร YSA อาหารเลี้ยงเชื้อที่อายุ 7 วัน

B : สปอร์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

C : เส้นใยที่กำลังขยาย 1000 เท่า

D : เส้นใยและสปอร์ที่กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 7. โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes T2-10

A : โคโลนี Actinomycetes T2-10 บนอาหาร YSA อาหารเลี้ยงเชื้อที่อายุ 7 วัน

B : สปอร์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

C : เส้นใยที่กำลังขยาย 1000 เท่า

D : เส้นใยและสปอร์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 8. โคโลนี และโครงสร้างของสปอร์กับเส้นใย ของ Actinomycetes T2-ญ

A : โคโลนี Actinomycetes T2-ญ บนอาหาร YSA อาหารเลี้ยงเชื้อที่อายุ 7 วัน

B : สปอร์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

C : เส้นใยที่กำลังขยาย 1000 เท่า

D : เส้นใยและสปอร์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการทดสอบประสิทธิ์ภาพการย่อยสลายหินฟอสเฟต

จากการศึกษาประสิทธิภาพ การย่อยสลายหินฟอสเฟตของจุลินทรีย์ สายพันธุ์ต่างๆ ทั้ง 8 สายพันธุ์ คือ *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., *Chaetomium lucknowense*, Actinomycetes C4-8, Actinomycetes T1-V, Actinomycetes T2-4, Actinomycetes T2-10 และ Actinomycetes T2-ญ นั้น ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 3 ซึ่ง แสดงค่าปริมาณฟอสฟอรัสบดในตำรับการทดลองต่างๆ หลังหมักร่วมกับจุลินทรีย์ เป็นเวลา 30 วัน

จากผลการศึกษาพบว่าหินฟอสเฟตบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อนึ่งความดันก่อนนำมาหมักร่วมกับจุลินทรีย์ มีแนวโน้ม การปลดปล่อยปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาได้มากกว่า กรรมวิธีที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ในกลุ่มเชื้อรา โดยตำรับที่ใช้ *Penicillium* sp. จะให้ค่า P_2O_5 ที่วิเคราะห์ได้สูงสุด คือ 166.75 ppm รองลงมาคือ *Chaetomium lucknowense* และ คือ *Aspergillus niger* ซึ่งให้ค่า P_2O_5 เท่ากับ 161.50 และ 161.25 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

อย่างไรก็ตาม แอคติโนมัยซิท บางตัวก็มีศักยภาพในการย่อยสลายหินฟอสเฟต เช่น Actinomycetes T2-ญ ให้ค่า P_2O_5 ที่วิเคราะห์ได้คือ 160.25 ppm ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มเชื้อรา แต่ผลการศึกษาแสดงให้เห็นชัดว่าในตำรับที่ไม่ใช่เชื้อจุลินทรีย์ใดๆ จะให้ค่าวิเคราะห์ P_2O_5 ต่ำสุด (ประมาณ 8.00 ppm) และมีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับที่ใช้จุลินทรีย์ ในระดับความเชื้อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาในกรณีไม่ต้องฆ่าเชื้อหินฟอสเฟต ก่อนนำมาหมักร่วมกับจุลินทรีย์ ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ กลุ่ม แอคติโนมัยซิท จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายหินฟอสเฟตได้ดีกว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มเชื้อรา แต่ก็ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ กล่าวคือ ในกรณีไม่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ สายพันธุ์ Actinomycetes T1-V จะให้ค่า P_2O_5 ที่วิเคราะห์ได้สูงสุด คือ 164.25 ppm รองลงมาคือ Actinomycetes T2-10 ให้ค่า P_2O_5 เท่ากับ 162.25 ppm ซึ่งก็ไม่แตกต่างจากตำรับการทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อื่นๆ ในทางสถิติ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับตำรับที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ใดๆ (ตำรับ Control) ซึ่งมีค่า P_2O_5 เพียง 28.00 ppm

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า การหมักหินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดสอบในตำรับต่างๆ จะเพิ่มปริมาณความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตบดอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใช้จุลินทรีย์ และเป็นที่น่าสังเกตว่า กรณีฆ่าเชื้อหินฟอสเฟต และการไม่ฆ่าเชื้อก่อนหมักร่วมกับจุลินทรีย์นั้น กลุ่มจุลินทรีย์พวกเชื้อราจะมีประสิทธิภาพดีกรณีฆ่าเชื้อก่อนหมัก แต่จุลินทรีย์พวก แอคติโนมัยซิท จะมีประสิทธิภาพดีกว่าในกรณีที่ไม่มีการฆ่าเชื้อหินฟอสเฟตก่อนหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าเปรียบเทียบฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ระหว่างหินฟอสเฟตบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อและหินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 วัน

	ตำรับทดลอง	ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)
ปัจจัย A1: หินฟอสเฟตบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ	- B1 : ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control 1)	8.00 h [1/]
	-B2 : *Aspergillus niger*	161.25 abc
	-B3 : *Penicilium* sp.	166.75 a
	-B4 : *Chaetomium lucknowense*	161.50 abc
	-B5 : Actinomycetes C4-8	159.50 abcd
	-B6 : Actinomycetes T1-V	157.75 bcdef
	-B7 : Actinomycetes T2-4	151.75 f
	-B8 : Actinomycetes T2-10	153.25 def
	-B9 : Actinomycetes T2-ญ	160.25 abcd
ปัจจัย A2: หินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ	-B1 : ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control 2)	28.00 g
	-B2 : *Aspergillus niger*	160.50 abcd
	-B3 : *Penicilium* sp.	159.00 bcde
	-B4 : *Chaetomium lucknowense*	156.25 cdef
	-B5 : Actinomycetes C4-8	152.25 ef
	-B6 : Actinomycetes T1-V	164.25 ab
	-B7 : Actinomycetes T2-4	159.75 abcd
	-B8 : Actinomycetes T2-10	162.25 abc
	-B9 : Actinomycetes T2-ญ	159.00 bcde

หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 4

จากการศึกษาแสดงให้เห็นชัดเจนว่าในกรณีแร่โพแทชเฟลด์สปาร์กรรมวิธีการฆ่าเชื้อ และไม่ฆ่าเชื้อ ก่อนการหมักร่วมกับจุลินทรีย์ ให้ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (K_2O) ที่วิเคราะห์ได้ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และ ผลการศึกษา มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน กล่าวคือ จุลินทรีย์กลุ่ม แอคติโนมัยซิท จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ได้ดีกว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มเชื้อราทั้งในกรณีผ่านการฆ่าเชื้อ และไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ

จุลินทรีย์ที่มีศักยภาพมากที่สุดในการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ ได้แก่ Actinomycetes T2-4 ซึ่งให้ค่า K_2O ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 20 .00 ppm (กรณีไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ) และ 19.00 ppm (กรณีผ่านการฆ่าเชื้อ) รองลงมาคือ Actinomycetes T1-V ซึ่งให้ค่า K_2O เท่ากับ 18.50 (กรณีไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ) และ 19.00 ppm (กรณีผ่านการฆ่าเชื้อ) ตามลำดับ ส่วนแอคติโนมัยซิท สายพันธุ์อื่นๆ ก็ให้ค่า K_2O ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ใดๆ จะให้ค่า K_2O ที่วิเคราะห์ได้เพียง 12.00 ppm (กรณีไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ) และ 9.50 ppm (กรณีผ่านการฆ่าเชื้อ)

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่ากรณีของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ จุลินทรีย์ที่นำมาทดสอบ มีแนวโน้มดีกว่าการใช้แร่โพแทชเฟลด์สปาร์เพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษา โดยการวิเคราะห์ทางสถิติไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับศักยภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหินฟอสเฟต ซึ่งควรที่จะมีการศึกษา และทดสอบจุลินทรีย์สายพันธุ์อื่นๆกับแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ในโอกาสต่อไป เพื่อหาสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความเหมาะสม หรือ มีศักยภาพในการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าเปรียบเทียบโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ระหว่างแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อและแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 วัน

ตำรับทดลอง		ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ppm)
ปัจจัย A1: แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ	- B1 : ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control 1)	9.50 g [1/]
	-B2 : *Aspergillus niger*	14.50 cdef
	-B3 : *Penicilium* sp.	16.50 abcde
	-B4 : *Chaetomium lucknowense*	15.00 bcdef
	-B5 : Actinomycetes C4-8	17.00 abcde
	-B6 : Actinomycetes T1-V	19.00 ab
	-B7 : Actinomycetes T2-4	19.00 ab
	-B8 : Actinomycetes T2-10	18.00 abcd
	-B9 : Actinomycetes T2-ญ	18.00 abcd
ปัจจัย A2: แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ	-B1 : ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (Control 2)	12.00 fg
	-B2 : *Aspergillus niger*	14.50 cdef
	-B3 : *Penicilium* sp.	16.00 abcdef
	-B4 : *Chaetomium lucknowense*	13.00 efd
	-B5 : Actinomycetes C4-8	17.00 abcde
	-B6 : Actinomycetes T1-V	18.50 abc
	-B7 : Actinomycetes T2-4	20.00 a
	-B8 : Actinomycetes T2-10	17.00 abcde
	-B9 : Actinomycetes T2-ญ	18.00 abcd

หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ, ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์ ในการช่วยย่อยหินฟอสเฟต และแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ เพื่อที่จะดูว่าจุลินทรีย์สายพันธุ์ใดบ้างที่มีศักยภาพในการช่วยให้มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาจากหิน และแร่ดังกล่าว

ผลการศึกษาพบว่า กรณีของหินฟอสเฟตนั้น การนำหินฟอสเฟตบด มาผ่านการฆ่าเชื้อ โดยหม้อนึ่งความดัน ก่อนนำหมักร่วมกับจุลินทรีย์กลุ่มเชื้อราจะให้ผลดีที่สุดโดยเฉพาะสายพันธุ์ *Penicilium* sp. และ *Chaetomium lucknowense* ซึ่งให้ค่า P_2O_5 ที่วิเคราะห์ได้ เท่ากับ 166.75 และ 161.50 ppm ตามลำดับ กรรมวิธีที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อก่อนนำมาหมักร่วมกับจุลินทรีย์ ค่าวิเคราะห์ P_2O_5 ที่ได้จากการย่อยสลาย กลุ่ม แอคติโนมัยซิท จะให้ผลดีกว่าจุลินทรีย์พวกเชื้อราซึ่งเป็นไปได้ว่า เมื่อผ่านกรรมวิธีการฆ่าเชื้อ จะทำให้ศักยภาพในการย่อยสลายหินฟอสเฟตของจุลินทรีย์พวกเชื้อรามีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อหินฟอสเฟตก่อนนำมาหมักร่วมกับจุลินทรีย์นั้น จุลินทรีย์กลุ่มแอคติโนมัยซิท จะมีประสิทธิภาพมากกว่า

ส่วนกรณีของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ กรรมวิธีการฆ่าเชื้อ และไม่ผ่านการฆ่าเชื้อของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ก่อนนำมาหมักร่วมกับจุลินทรีย์ ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆ และโดยทั่วไป ค่า P_2O_5 ที่วิเคราะห์ได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 13.00 – 20.00 ppm ทั้งนี้จุลินทรีย์สายพันธุ์ที่มีศักยภาพน่าจะนำมาพัฒนา หรือ ศึกษาวิจัยต่อไป คือ Actinomycetes T2-4 , Actinomycetes T1-V และ Actinomycetes T2-10

จากผลการศึกษาสรุปได้ชัดเจนว่ากรณีหินฟอสเฟต ซึ่งเป็นแหล่งปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับพืช มีการตอบสนองอย่างชัดเจนเมื่อหมักร่วมกับจุลินทรีย์ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างอย่างดี ส่วนกรณีแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ผลการทดลองยังไม่ชัดเจนควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน. **แร่เฟลด์สปาร์หรือแร่ฟันม้า.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.dpim.go.th/ppr/title.php?tid=000001074138525

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2551. ทางออกวิกฤติปุ๋ยเคมี. **วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ.** 23(2): 45-49.

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

ธงชัย มาลา. 2546. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพเทพมหานคร.

ธงชัย มาลา, สุภาพ บูรณากาญจน์ และวันทนีย์ พึ่งแสง. 2533. การใช้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายหินฟอสเฟตเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตและผลผลิตของพืช.I. ปริมาณและการกระจายของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตในดินต่าง, **รายงานผลงานวิจัยประจำปีเสนอต่อสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

ปฐพีชล วายุอัคคี. 2550. **ดินและปุ๋ย**. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพมหานคร.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. **ปุ๋ยอินทรีย์.** สำนักพิมพ์บ้านและสวน, กรุงเทพมหานคร.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 2527. **คู่มือประกอบการบรรยายความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

สมบูรณ์ เสกธีระ. 2517. **ฟอสเฟต.** รายงานสัมมนาทางวิชาการเรื่องอุตสาหกรรมปุ๋ยกับการเกษตร, หน้า 139-173 ใน รายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่องปุ๋ยของประเทศไทย โดย สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์และ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

สุธรรม แย้มนิยม. 2521. **ฟอสเฟต.** รายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่องอุตสาหกรรมปุ๋ยกับการเกษตร, หน้า 13-21 ในรายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่องอุตสาหกรรมเรื่องปุ๋ยของประเทศไทย โดยสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์และ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

อรุณ จักษุจินดา, ปิยะ ดวงพัตรา, สมโภชน์ สุวรรณวงศ์ และ เบน อารี แจคสัน. 2513. **ผลการเปรียบเทียบคุณค่าของหินฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆต่อผลผลิตข้าว.** เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการกรมการข้าว, 8 กันยายน 2513. กรุงเทพ.

เอกสารการสอนชุดวิชา เกษตรทั่วไป 4. 2528. **ดิน น้ำและปุ๋ย**. หน่วยที่1-7. สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

Ahmed, I. U., S Rahman and M. Rahman. 1969. **Effect of sulfer of sulfur on the uptake of phosphorus by rice plant from soil fertilized with rock phosphate**. Pakist. J. Soil Sci. 1: 1-10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alonso-Reyes, R., M. Gonzalez- Parra, L. Exposito-Garcia, R., Grubelo-Rodrigez, L. Roque-Marinez, M. Pazos-Gonzalez. 1995. **The Influence of mycorrhizae and phosphate solubilizing bacteria on the growth and development of banana vitroplants. Infomusa**. 4:(2) 9-10.

Collins, D.D. and F.W. Laver. 1976. **Treatment of phosphate rock in soil to provide fertilizer and gypsum**. U. S. Abstract in Fert. Abstr.10: 35.

Cooke, G.W. 1980. **Fertilizing for Maximum Yield**. Gramada Publishing Ltd., London.

Gomez, A.J. H., L.J. Cajustle and R. Nunez Escobar.1980. **Chemcal and mineralogical Characterization and agronomic evaluation of rock phosphate from different deposites Agrociencia** 41: 95-112.

Jone, M.L. and A.R. Bromfield. 1974. **Rock phosphate as phosphate source for Nigerian agriculture**. Samaru Agr. Newsl. 16: 78-80.

Khan, J.A. and R.M.Bhatnagar. 1979. **Study on Solubilization of Insoluble Phosphates by Microorganisms:Part I – Solubilization of Indian Phosphate Rocks by *Aspergillus niger* and *Penicillium* sp. Fertizer Technology.** 14(4): 329-333.

Lazo de la Vega , J.R. 2006a. **Fertilizer material and products. In IFDC:International Workshop on NPK Production Alternative.** Novem 6-10, 2006 Bangkok, Thailand

Lindsay, W.L. 1979. **Chemical Equilibria in Soils**. John Wiley & Sons, New York, USA.

Naplekova, N.N. 1967. **Rolease of Release of Relatively Immobile Phosphates by Fungi and Actinomycetes Growing on Cellulose. Soviet Soil Science.** No.11: 1495-1503.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Matines, A., J. Ferran, A. Delgado, V. Martinez, D.R. Villegas and D. Ponce de Leom. 1993. **Phsphorus solubilizing microorganisms in Typic red ferrallitic soil and reddish brown fersiallitic soil of Cuba. Memorias del XI congreso Latinoamericano y II congreso Cubano de la ciencia del Suelo.**11-17 March 1990, la Habana , Cuba. Vonferencias y symposios. 1993,1392-1395.

Tomar, R.K.S. , K.N. Namdeo and J.S. Ranghu. 1996. **Efficiency of phosphate solubilizing bacteria biofertilizer with phosphorus or growth and yield of gram.** Lndian Journal of Agronomy. 41(41): 412-415

Mortvedt J.J., L.S. Murphy and R.H. Follett.1999. **Fertilizer Technology and Application.** Meister Publishing Company, Ohio.

Sadik, M. K., I.A. Andel Latif and R.S. Abd Aal. 1978. **Solubility of rock phosphate as affected by calcium carbonate and humic acid**. Annual of Agr. Sci. Moshtohor. 10: 29-35.

Subba Rao, N.S. 1986. **Biofertilizer in Agriculture.** Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, lndia. 186 p. Szekely, T. Grose.1972. Stratigraphy of the carbonate, black Shale and phosphate of the Pucara group (upper Triassic-lower jurassic), Central Andes, Peru. Geol. Soc. Amer. Bull. 83: 407- 428.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ	ชนิดและปริมาณวัสดุที่ใช้		
1. PDA (Potato Dektrose Agar)	Potato	200	กรัม
	Dektrose	20	กรัม
	Agar	17	กรัม
	น้ำกลั่น	1.0	ลิตร
2. 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2. แสดงค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายโดยจุลินทรีย์ของหินฟอสเฟตบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อ

Source	df	SS	MS	F	F.05
Treatment	17	143350.0694	8432.3570	438.15	1.84
จุลินทรีย์(A)	8	61234.9444	7654.3681	397.73	2.09
หินฟอสเฟต(B)	1	1.125	1.1250	0.06	4.00
AxB	8	82114	10264.2500	533.34	2.09
ERROR	54	1039.25	19.2454		
TOTAL	71	14438903194	2033.6524		

Grand Mean = 143.4028

CV = 3.05%

ตารางภาคผนวกที่ 3. แสดงค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายโดยจุลินทรีย์ของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อ

Source	df	SS	MS	F	F.05
Treatment	17	492.9444	28.9967	4.57	1.84
จุลินทรีย์(A)	8	299.4444	37.4306	5.89	2.09
แร่โพแทชเฟลด์สปาร์(B)	1	2.7222	2.7222	0.43	4.00
AxB	8	190.7778	23.8472	3.75	2.09
ERROR	54	343.0000	6.3519		
TOTAL	71	835.9444	11.7739		

Grand Mean = 15.9722

CV = 15.77%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4. แสดงค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากการหมักร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 วัน

ตำรับทดลอง	Replication 1 – 4 (ppm)				ค่าเฉลี่ย
	R1	R2	R3	R4	
หินฟอสเฟตบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (B1)	10	6	10	6	8.00
หินฟอสเฟตบดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ(B2)	25	30	25	32	28.00
Aspergillus niger และ(B1)	163	161	163	158	161.25
Aspergillus niger และ(B2)	158	160	163	161	160.50
Penicilium sp. และ(B1)	168	167	165	167	166.75
Penicilium sp. และ(B2)	156	158	160	162	159.00
Chaetomium lucknowense และ(B1)	155	168	160	163	161.50
Chaetomium lucknowense และ(B2)	158	155	156	156	156.25
Actinomycetes C4-8 และ(B1)	164	156	168	150	159.50
Actinomycetes C4-8 และ(B2)	152	150	155	152	152.25
Actinomycetes T1-V และ(B1)	163	163	150	155	157.75
Actinomycetes T1-V และ(B2)	165	164	165	163	164.25
Actinomycetes T2-4 และ(B1)	148	151	158	150	151.75
Actinomycetes T2-4 และ(B2)	161	160	160	158	159.75
Actinomycetes T2-10 และ(B1)	161	157	140	155	163.25
Actinomycetes T2-10 และ(B2)	164	161	160	164	162.25
Actinomycetes T2-ญ และ(B1)	157	167	160	157	160.25
Actinomycetes T2-ญ และ(B2)	160	153	167	156	159.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 5. แสดงค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์จากการหมักร่วมกับจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 วัน

ตำรับทดลอง	Replication 1 – 4 (ppm)				ค่าเฉลี่ย
	R1	R2	R3	R4	
แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ฆ่าเชื้อ (B1)	10	10	8	10	9.5
แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ฆ่าเชื้อ(B2)	10	12	14	12	12
Aspergillus niger และ(B1)	16	16	12	14	14.5
Aspergillus niger และ(B2)	16	16	8	14	14.5
Penicilium sp. และ(B1)	12	20	20	14	16.5
Penicilium sp. และ(B2)	20	16	16	12	16
Chaetomium lucknowense และ(B1)	16	12	16	16	15
Chaetomium lucknowense และ(B2)	12	12	12	16	13
Actinomycetes C4-8 และ(B1)	16	20	16	16	17
Actinomycetes C4-8 และ(B2)	12	16	20	20	17
Actinomycetes T1-V และ(B1)	16	12	12	16	14
Actinomycetes T1-V และ(B2)	20	20	20	14	18.5
Actinomycetes T2-4 และ(B1)	20	20	20	16	19
Actinomycetes T2-4 และ(B2)	20	16	24	20	20
Actinomycetes T2-10 และ(B1)	16	20	16	20	18
Actinomycetes T2-10 และ(B2)	16	20	16	16	17
Actinomycetes T2-ญ และ(B1)	20	20	16	16	18
Actinomycetes T2-ญ และ(B2)	20	16	20	16	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้