ผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และ หินฟอสเฟตที่มีต่อการปลูกข้าวในดินกรดจัด

Residual Effect of Diammonium Phosphate Fertilizer and Rock Phosphate for Rice Cultivation in Acid Sulfate Soil

หลักสูตรปฐพีวิทยา

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

Program in Soil Science

Department of Plant Production Technology

Faculty of Agricultural Technology

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

King Mongkut's Institute of Technology Chaokhuntaharn Ladkrabang Bangkok 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี

สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช

หลักสูตรปฐพีวิทยา

เรื่อง ผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และ หินฟอสเฟตที่มีต่อการปลูกข้าว ในดินกรดจัด

Residual Effect of Diammonium Phosphate Fertilizer and Rock Phosphate for Rice Cultivation in Acid Sulfate Soil

โดย

นาย ชานนท์ หมื่นอาจยิ้ม

นางสาว ราตรี บุญมี

นางสาว อาภาสิริ สุวรรณหงษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....

(ดร.สุกัญญา แย้มประชา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ 17 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2555

หลักสูตรรับรองแล้ว

.....

(รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม)

ประธานหลักสูตรปฐพีวิทยา

23 / มี.ค. / 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง ผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และ หินฟอสเฟตที่มีต่อการปลูกข้าวในดินกรดจัด

Residual Effect of Diammonium Phosphate Fertilizer and Rock Phosphate for Rice Cultivation in Acid Sulfate Soil

โดย

นาย ชานนท์ หมื่นอาจยิ้ม

นางสาว ราตรี บุญมี

นางสาว อาภาสิริ สุวรรณหงษ์

เสนอ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

หลักสูตรปฐพีวิทยา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พุทธศักราช 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่องภาษาไทย	ผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และ หินฟอสเฟต ที่มีต่อการปลูกข้าวในดินกรดจัด
ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ	Residual Effect of Diammonium Phosphate Fertilizer and Rock Phosphate for Rice Cultivation in Acid Sulfate Soil
โดย	นาย ชานนท์ หมื่นอาจยิ้ม
	นางสาว ราตรี บุญมี
	นางสาว อาภาสิริ สุวรรณหงษ์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการผลิตพืช
หลักสูตร	ปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สุกัญญา แย้มประชา

บทคัดย่อ

ดินเปรี้ยวเป็นดินที่มีฟอสฟอรัสในส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในปริมาณต่ำ ซึ่งในส่วนใหญ่ถูกตรึงในดิน ทำให้ขาดแคลนฟอสฟอรัสจึงแก้ไขโดยการใส่ปุ๋ย Diammonium Phosphate และ Rock Phosphate ซึ่งมีคุณสมบัติและธาตุที่แตกต่างกัน การทดลองนี้จึงศึกษาผลของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อการปลูกข้าวในชุดดินองครักษ์ จากการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและปุ๋ยหินฟอสเฟตที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 แหล่งที่ตกค้างอยู่ในดินกรดจัดต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำการทดลองโดยใช้ดินปลูกข้าวจากการทดลองของพิพัฒน์ (2553) ซึ่งมี 10 ตำรับการทดลองจะใส่ปูนเพื่อปรับให้ดินมี pH เฉลี่ยเท่ากับ 6 ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี80 (กข31) โดยทุกตำรับการทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรียในอัตรา 25 gN/กระถาง แบ่งใส่ 2 ช่วง คือ 40 และ 54 วัน และใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์เมื่อข้าวอายุ 50 วัน ในอัตรา 1.3 gK/กระถาง ทุกตำรับการทดลองไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส เก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตเมื่อข้าวอยู่ในระยะสุกแก่

จากผลการทดลองถึงผลตกค้างของปุ๋ยทั้ง 2 แหล่ง มีผลต่อการตอบสนองการแตกกอ น้ำหนักสดน้ำหนักแห้งและจำนวนรวงข้าว โดยพบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตราที่สูงที่สุด (1024 kg/ไร่) จะทำให้มีจำนวนการแตกกอ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรวงสูงกว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ข้าวที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate จะมีผลผลิตสูงที่สุดกว่าและแตกต่างจาก Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ยกเว้น Treatment ที่ได้ใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตราที่ต่ำสุด การตกค้างของปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 แหล่ง และ อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะมีอิทธิพลต่อผลผลิตข้าว โดย Treatment ที่ 10 ซึ่งได้ปุ๋ย Rock phosphate อัตรา 1,024 kg RP/ไร่มาก่อน มีปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 0.26 %P ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติใน Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Diammonium phosphate ทุก อัตรา และ Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตราที่ต่ำกว่าเนื่องจาก ปุ๋ย Diammonium phosphate มีการปลดปล่อยความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสได้เร็วกว่าและมากกว่า Rock phosphate จึงทำให้การทดลองในการปลูกข้าวครั้งที่ 2 ส่งผลให้ Treatment ที่เคยใส่ Rock phosphate ยังคงปลดปล่อยความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสอยู่และนานกว่า Treatment ที่เคยใส่ Diammonium phosphate ดังนั้นจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าควรแนะนำให้เกษตรกรใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตรา 1,024 kg/ไร่ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อผลผลิตของข้าวในระยะยาว อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงค่าความเป็นกรด-ด่างของดินด้วย เพราะปุ๋ย Rock phosphate จะละลายได้ดีใน pH ที่เป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ดร.สุกัญญา แย้มประชา อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา ชี้แนะ ติดตามความก้าวหน้าในการจัดทำปัญหาพิเศษ ให้ความช่วยเหลือหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของอาจารย์ที่ปรึกษาท่านนี้เป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำให้กำลังใจ ตลอดการศึกษาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำในการทดลองและอำนวยความสะดวกด้านวัสดุ อุปกรณ์ ในการทดลองเป็นอย่างดี

ขอบคุณและขอบใจ พี่ เพื่อน และน้องภาควิชาปฐพีวิทยาทุกคน ที่คอยถามไถ่ด้วยความห่วงใยและเป็นกำลังใจตลอดเวลา

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงเกิดขึ้นจากการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ขอน้อมบูชาพระคุณบิดา มารดา บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนให้เกิดความรู้ สติปัญญา ตลอดจนชี้นำคุณธรรม จริยธรรม วางรากฐานในการดำเนินชีวิตที่ดีแก่ผู้จัดทำ

นายชานนท์ หมื่นอาจยิ้ม
นางสาว ราตรี บุญมี
นางสาว อาภาสิริ สุวรรณหงษ์
มีนาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ฟอสฟอรัสในดินกำเนิดจากการสลายตัวผุพังของแร่บางชนิดในดิน การสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดินก็จะสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกได้ ฟอสฟอรัสในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$, HPO_4^-) ซึ่งจะต้องละลายอยู่ในสารละลายดิน สารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีอยู่เป็นจำนวนมากแต่ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก ดังนั้นจึงมักจะมีปัญหาเสมอว่าดินถึงแม้จะมีฟอสฟอรัสมากก็จริงแต่พืชก็ยังขาดฟอสฟอรัส เพราะส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำยาก เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสจะมีต้นแคระแกร็น ใบมีสีเขียวคล้ำ ใบล่างๆจะมีสีม่วงตามบริเวณขอบใบ รากของพืชชะงักการเจริญเติบโต พืชไม่ออกดอกและผล ส่วนพืชที่ได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอจะมีระบบรากที่แข็งแรงแพร่กระจายอยู่ในดินอย่างกว้างขวางสามารถดึงดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดี การออกดอกออกผลจะเร็วขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและรูปของฟอสฟอรัสในดิน ได้แก่ วัตถุต้นกำเนิดปริมาณอนุภาคดินเหนียวในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ค่าปฏิกิริยาดินและการใช้ที่ดิน รูปของฟอสฟอรัสในดิน จะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาของดินด้วยในดินที่เป็นกรด(pHต่ำ)ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงโดยเหล็กและอลูมินั่มแล้วตกตะกอนกลายเป็นสารประกอบอยู่ในรูปเหล็กฟอสเฟต(Fe-P)และอลูมินั่มฟอสเฟต(Al-P)ส่วนในดินที่เป็นด่าง(pHสูง)ฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและแมกนีเซียมแล้วตกตะกอนเป็นสารประกอบอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต(Ca-P) และแมกนีเซียมฟอสเฟต(Mg-P)เนื่องจากปุ๋ย Diammonium Phosphate และRock Phosphate เป็นปุ๋ยฟอสเฟตที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่การนำหินฟอสเฟตมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงมีประสิทธิภาพในการใช้ต่ำและมีขอบเขตเงื่อนไขการใช้ที่จำกัดมาก กล่าวคือ ในหินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงประมาณ 8-18% แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาและพืชสามารถนำไปใช้ได้เพียง 3% เท่านั้น ซึ่งอาจไม่เพียงพอและไม่ทันกับความต้องการของพืช ส่วนปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับออโทฟอสฟอรัส ละลายน้ำได้ดี และมีธาตุอาหารหลักสองธาตุ คือ NP (รวมกันสูงถึง 64 %) ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อความเจริญเติบโตของพืชได้ดี อย่างไรก็ตามไดแอมโมเนียมฟอสเฟตสามารถละลายได้อย่างรวดเร็ว ฟอสฟอรัสจึงอาจถูกตรึงได้ในดิน และพืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ ในขณะที่คุณสมบัติด้านการละลายได้ช้าของหินฟอสเฟตอาจเป็นข้อได้เปรียบ เนื่องจาก การใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวอาจทำให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช 2-3 ฤดู ในขณะที่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตสามารถละลายได้รวดเร็วจึงอาจให้ฟอสฟอรัสเพียงพอสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญเติบโตของพืชเพียงฤดูเดียวดังนั้นจุดประสงค์ของการศึกษาคือ เพื่อศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และหินฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของข้าว ในดินกรดจัด

1.การตรวจเอกสาร

ดินกรดจัด (Acid Sulfate Soil)

ดินกรดจัด หมายถึง ดินที่อาจจะมี กำลังมี หรือเคยมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นในในหน้าตัดดินอันเป็นผลมาจากกระบวนการสร้างดินและปริมาณของกรดที่เกิดขึ้นมีมากพอที่จะมีผลต่อคุณสมบัติของดินโดยทั่วไปดินจะมีจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบที่เรียกว่า จาโรไซต์ (jarosite;$KFe_2(SO_4)_2(OH)_6$) (สรสิทธ์, 2535) จากคำจำกัดความที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้จำแนกดินกรดจัดได้เป็น 3 ประเภทใหญ่คือ ดินซึ่งมีศักยภาพที่จะเป็นดินกรดจัดดินกรดจัดที่กำลังมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นในหน้าตัดดินและดินที่ผ่านการเป็นกรดจัดมาแล้ว ดินซึ่งมีศักยภาพที่จะเป็นดินกรดจัด (Potential Acid Sulfate Soil) หมายถึง ดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำทะเล และยังคงอยู่ในสภาพน้ำแช่ขัง มีปริมาณสารประกอบไพไรต์อยู่ในหน้าตัดดินมากกว่าร้อยละ 1แต่จะมีปริมาณของตะกอนที่เป็นปูนและตะกอนแร่ต่างๆที่มีคุณสมบัติเป็นด่างต่ำจนไม่สามารถสะเทินกรดนี้ได้ถ้าระบายน้ำออกจากดินประเภทนี้สารประกอบไพไรต์จะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นสารประกอบจาโร ไซต์ ซึ่งจะกลายสภาพเป็นดินกรดจัดทันที

ดินประเภทนี้หมายถึงดินที่เคยมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นแล้วแต่ต่อมากรดดังกล่าวส่วนใหญ่จะถูกชะล้างหายไปหรือถูกทำลายไปจนมีปริมาณเหลือเพียงเล็ก น้อยไม่ถึงกับเป็นอันตรายหรือทำความเสียหายต่อพืชที่ปลูกผลการสะเทินของ กรดโดยสารประกอบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะพบผลึกแร่ยิปซั่ม ที่มีลักษณะคล้ายผลึกแก้วเป็นรูปเข็มอยู่ในดิน ลักษณะของดินที่เคยผ่านการเปรี้ยวจัดมาแล้วจะมีลักษณะดังนี้ ชั้นดินบนเป็นดินร่วนปนเหนียวหรือดินเหนียวที่มีสีดำคล้ำความหนาประมาณ 15-25 เซนติเมตร เรียกว่าชั้นดินAชั้นถัดมาเป็นชั้นดินหรือหรือเหนียวปนทรายแป้ง สีเทาอ่อนหรือสีเทาบางที่อาจเป็นดินดินร่วนเหนียวปนทรายมักพบจุดประสี น้ำตาลสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีแดงและจุดประสีเหลืองฟางข้าวชั้นดินนี้เรียก ว่าชั้นดิน B ลึกลงไปประมาณ 90-150 เซนติเมตร มักพบชั้นดินเลนสีเทาปนน้ำเงินซึ่ง มีสารประกอบไพไรต์มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ชั้นดินนี้เรียกว่าชั้นดิน C แต่จะพบ ผลึกแร่ยิปซั่มเกิดทั่วไปในชั้นดินล่างซึ่งสามารถมองเห็นได้ชัดเจนและมักพบ สารประกอบจาโรไซต์ที่เป็นจุดประสีเหลืองฟางข้าวควบคู่กันไปด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

ลักษณะโดยทั่วไปของดินเปรี้ยวจัด เป็นดินอนินทรีย์ที่มีเนื้อละเอียด เนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินชั้นบนมีสีดำ ดินชั้นล่างมีสีเทาอ่อน ดินชั้นล่างตอนบนจะมีจุดประ (mottles) สีต่างๆ ส่วนจุดประสีเหลืองฟางข้าวจะเกิดขึ้นในชั้นล่างถัดลงมา จุดประสีเหลืองฟางข้าวเป็นลักษณะเด่นที่ปรากฏอยู่ในชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าตัดดินในระดับความลึกต่างๆ (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ชั้นที่มีจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซท์อยู่เรียกว่าชั้น cat clay มีความเป็นกรดสูงมาก มีค่าปฏิกิริยาดินต่ำกว่า 4.0 และบางแห่งค่าปฏิกิริยาดินจะต่ำกว่า 3.0 (van Breemen and Harmsen, 1975; อ้างโดยเสกสรร, 2547) ส่วนชั้นดินล่างที่ถัดจากชั้น cat clay ลงไปจะเป็นชั้นโคลน และหรือดินเหนียว และสีเทาปนน้ำเงินคล้ายโคลนก้นทะเล หรือสีเทาเข้ม และปฏิกิริยาดินจะเป็นด่างในชั้นนี้ (เฉลียว, 2530, 2531 อ้างโดยเสกสรร, 2547)

(Brinkman and Pons, 1973; อ้างโดย เสกสรร, 2547) ได้พิจารณาแบ่งดินเปรี้ยวจัดออกเป็น 3 กลุ่ม แยกตามคุณสมบัติอย่างกว้าง ๆ และได้ให้คำจำกัดความของดินเปรี้ยวจัด แต่ละกลุ่มไว้ดังต่อไปนี้

ดินเปรี้ยวจัดแฝง (potential acid sulfate soil) ได้แก่ดินที่มีกำเนิดมาจากตะกอนน้ำทะเล มีปริมาณซัลไฟด์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ไพไรท์ (pyrite) สูงประมาณร้อยละ 1-2.5 (van Breemen,1972) มีปริมาณของตะกอนที่เป็นปูน และตะกอนแร่ต่าง ๆ ที่มีสมบัติเป็นด่างต่ำ ปัจจุบันดินนี้ยังคงอยู่ในสภาพขังน้ำหรือยังไม่ได้มีการระบายน้ำ ชั้นของดินบนยังมี pH เป็นกลางหรือด่างอย่างอ่อนอยู่ (pH 7.0 - 8.0) เมื่อใดดินนี้ได้รับการระบายน้ำ และมีการถ่ายเทอากาศดีเกิดขึ้นในชั้นของดิน จะทำให้ดินนี้กลายเป็นดินเปรี้ยวจัด

ดินเปรี้ยวจัดที่แท้จริง (actual acid sulfate soils) ได้แก่ดินที่มีชั้นดินหนึ่งชั้นหรือมากกว่าหนึ่งชั้นที่ยังคงมีกรดกำมะถันอยู่ และประกอบด้วยสารประกอบซัลเฟตของอะลูมินัม และเหล็กซึ่งมีความเข้มข้นพอที่จะเป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกในสภาพไร่นาได้ นอกจากนี้พบว่ามีอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable aluminum) ในปริมาณที่สูง มี pH ต่ำกว่า 4 นอกจากนี้จะพบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซท์ และบางครั้งอาจพบจุดประสีขาวของอะลูมินัมซัลเฟต

ดินเปรี้ยวจัดเทียม (pseudo หรือ para acid sulfate soils) เป็นดินซึ่งได้เกิดกรดกำมะถันขึ้นในชั้นดินแล้ว แต่กรดส่วนใหญ่ได้ถูกชะล้าง (leached) อยู่ในชั้นของดิน หรือถูกทำให้สะเทิน (neutralized) จนมีปริมาณเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย ไม่ถึงกับเป็นอันตรายหรือเป็นปัญหาต่อการปลูกพืช แต่จะยังคงมีจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซท์อยู่ในชั้นของดิน ดินมี pH สูงกว่า 4 และจะมีอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยกว่าร้อยละ 60 ของ CEC มีปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำ และเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวด้วยอะลูมินัมสูง มีปริมาณอะลูมินัมที่ละลายอยู่น้อยจนไม่เป็นอันตรายต่อการปลูกพืช ดินนี้มีกรดกำมะถันเกิดขึ้นในชั้นหน้าตัดดิน แต่ในระหว่างที่เกิดกรดขึ้นนั้น กรดส่วนใหญ่ได้ถูกชะล้าง หรือถูกทำลายไปจนมีปริมาณเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยไม่ถึงกับเป็นอันตราย หรือเป็นปัญหากับการปลูกพืช (สรสิทธิ์, 2520; อ้างโดยเสกสรร, 2547)

บริเวณที่เกิดดินเปรี้ยวจัดส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนใต้ และโดยมากใช้พื้นที่ดังกล่าวในการปลูกข้าว ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้จำแนกชั้นสมรรถนะตามความเหมาะสมของดินในการปลูกข้าวออกเป็น 5 ชั้น คือ ชั้น P-I ถึง P-V โดยชั้น P-I เป็นดินที่เหมาะสมมากต่อการปลูกข้าว และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงตามลำดับจนกระทั่งถึง ชั้น P-V ซึ่งเป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว Kevie and Yenmanas (1972); Changprai *et al.* (1982) ได้จำแนกพื้นดินที่เปรี้ยวจัดของประเทศไทยออกเป็น 3 ชั้นความเหมาะสมคือชั้น P-IIa, P-IIIa และ P-IVa (a ที่ห้อยท้ายอยู่แสดงถึงข้อจำกัดของการใช้ที่ดินเนื่องจากความเป็นกรด) ซึ่งการจำแนกสมรรถนะความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดในการปลูกข้าว 3 ประเภท ได้แก่

1. ชั้น P-IIa เป็นดินที่เหมาะสมกับการทำนา โดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรคบ้าง เนื้อดินเป็นดินเหนียว หน้าดินลึก การระบายน้ำเลว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ดินบนมี pH ต่ำกว่า 5 พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซท์ภายในหน้าตัดดินตั้งแต่ความลึก 100 ซม. ลงไป ความสามารถในการให้ผลผลิตของดินโดยปราศจากการใส่ปูน และปุ๋ยจะได้ผลผลิต 25-35 ถัง/ไร่ ข้าวจะมีการตอบสนองเล็กน้อยต่อปุ๋ย และปูนที่ได้รับ มีพื้นที่ประมาณ 3,004,440 ไร่ (Kevie and Yenmanas, 1972) ชุดดินต่าง ๆ ในชั้นนี้ได้แก่ ชุดดินอยุธยา ชุดดินมหาโพธิ์ ชุดดิน อยุธยา/มหาโพธิ์ ชุดดินเสนา และชุดดินท่าขวาง
2. ชั้น P-IIIa เป็นดินที่เหมาะสมต่อการทำนาปานกลาง โดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรคในการปลูกข้าว ต้องมีการจัดการดินเป็นพิเศษเพื่อปลูกข้าว หน้าดินลึก การระบายน้ำเลว มีความเป็นกรดสูง pH ของดินแห้งมีค่าต่ำกว่า 4.5 พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซท์ ในดินระยะความลึก 40-100 ซม. ข้าวตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยต่ำ นอกจากจะมีการใส่ปูน ผลผลิตข้าวถ้าปราศจากการใส่ปุ๋ย และปูน ให้ผลผลิตข้าวประมาณ 15 - 25 ถัง/ไร่ มีพื้นที่ประมาณ 1,334,000 ไร่ (Kevie and Yenmanas, 1972) ชุดดินต่าง ๆ ที่จัดอยู่ในชั้นนี้ได้แก่ ชุดดินเสนา/รังสิต ชุดดินรังสิต ชุดดินรังสิต (ที่สูง) และชุดดินธัญญบุรี
3. ชั้น P-IVa เป็นดินที่ไม่เหมาะสำหรับทำนา เพราะดินมีความเป็นกรดรุนแรงมาก ข้าวที่ปลูกในดินชั้นนี้ให้ผลผลิตต่ำมาก pH ของดินต่ำกว่า 4.0 ซึ่งยากต่อการปรับปรุงแก้ไข จะต้องมีการจัดการดินอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซท์ ภายในความลึก 40 ซม. จากผิวดิน ผลผลิตข้าวที่ได้จากดินในชั้น P-IVa ต่ำกว่า 15 ถัง/ไร่ ส่วนใหญ่มีผลผลิตอยู่ระหว่าง 5 - 10 ถัง/ไร่ ดินประเภทนี้ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 525,060ไร่ (Kevie and Yenmanas, 1972) ได้แก่ ชุดดินชะอำ ชุดดินรังสิตกรดจัด และชุดดินองครักษ์

ดินกรดจัดในประเทศไทย

กระบวนการเกิดดินกรดจัดในประเทศไทยประกอบไปด้วยขบวนการที่สำคัญ คือ ขบวนการเกิดวัตถุต้นกำเนิดดินกรดจัดจะเกี่ยวข้องกับการเกิดไพไรต์(pyrite)หรือการเกิดซัลไฟต์และกระบวนการเกิดชั้นดินกรดจัดซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกซิไดส์สารไพไรต์เกิดเป็นกรดกำมะถัน

การเกิดดินกรดจัดในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กระบวนการเกิดวัตถุต้นกำเนิดดินกรดจัด (geogenetic process) กระบวนการนี้เกิดจากการสะสมตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ ปากอ่าว ตะกอนส่วนใหญ่ถูกพัดมาทางแม่น้ำ ลำน้ำ และน้ำทะเล มีลักษณะเนื้อละเอียด ได้แก่ ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียวรวมทั้งอินทรียวัตถุด้วย อาจมีตะกอนของสารประกอบซัลไฟด์โดยเฉพาะไพไรต์รวมอยู่ด้วย ปกติมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเวลาผ่านไปชั้นของตะกอนจะมีความหนาเพิ่มขึ้น บางบริเวณยังอยู่ในสภาพน้ำขัง บริเวณเหล่านี้มีพืชบางชนิดที่เจริญเติบโตได้ เช่น โกงกาง โปรง ลำแพน เสม็ด ลำพู และตะบูน เป็นต้น เมื่อพืชเหล่านี้ตายจะเน่าเปื่อยทับถมกันและสลายเป็นอินทรียวัตถุ จุลินทรีย์ในดินพวก *Desulfovibrio sp.* และ *Desulfotomaculum sp.* สามารถย่อยอินทรียวัตถุได้ในดินที่ขาดออกซิเจน และปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งทำให้สารประกอบซัลเฟต (SO_4^{2-}) และเหล็ก (Fe^{2+}) มีปริมาณมากในน้ำทะเลแปรสภาพไปเป็นสารไพไรต์

2. กระบวนการเกิดดินกรดจัด (pedogenetic process) กระบวนการนี้เกิดขึ้นบริเวณที่น้ำไม่แช่ขังอยู่ในดิน หรือเมื่อมีการระบายน้ำทะเลออกจากบริเวณดังกล่าว ทำให้ดินมีลักษณะแข็ง ตะกอนที่มีการสะสมสารประกอบไพไรต์อยู่ในปริมาณมากและมีถ่ายเทอากาศได้ดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีววิทยาของดิน แร่ไพไรต์จะถูกออกซิไดส์กลายเป็นเฟอริกซัลเฟตและกรดซัลฟิวริก หรือทำให้เกิดสารประกอบของจาโรไซต์ หรือจุดประสีสนิมเหล็กหรือสีแดงเข้ม กรดซัลฟิวริกที่เกิดขึ้นบางส่วนจะถูกชะล้างออกไปสู่แม่น้ำลำคลอง บางส่วนจะถูกทำลายโดยการเกิดปฏิกิริยากับปูนที่ละลายมากับน้ำและแร่บางชนิดที่สลายตัวได้ง่ายในดิน และอีกส่วนหนึ่งจะยังคงอยู่ในสภาพของกรดที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ซึ่งกรดส่วนนี้คือตัวการสำคัญที่ทำให้ดินเปรี้ยว (ทัศนีย์ อัตตะนัทท์, 2534)

ดินเปรี้ยวจัดของประเทศไทยเท่าที่มีรายงานพบว่า มีปริมาณของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้สูงสุดถึง 1,359 ppm (Attanandana, 1982) ระดับความรุนแรงในการเป็นพิษของ อะลูมินัม ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ นอกจากระดับความเข้มข้นของอะลูมินัมในสารละลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับ pH ของดินแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารอื่น ๆ ที่พืชได้รับ พันธุ์ข้าวต่างชนิดกัน อายุ และช่วงระยะเวลาในการเจริญเติบโตของข้าวรวมทั้งสภาพในการจัดการต่างๆ อีกด้วย Thawornwong and van Diest (1974) รายงานว่าถ้าในสารละลายมีความเข้มข้นของอะลูมินัม 2 ppm จะมีผลทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตช้าลง ความเข้มข้นของอะลูมินัม 0.05-0.2 ppm จะมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าอ่อน และถ้าความเข้มข้นของอะลูมินัมมีค่า 0.5-2.0 ppm ในน้ำยาปลูกพืชจะเป็นอันตรายต่อต้นข้าวที่มีอายุน้อย อะลูมินัมจะทำให้การแบ่งเซลล์ และการยืดหดตัวของเซลล์ลดลง อะลูมินัมมีผลต่อการทำงานของระบบเอนไซม์บางตัวในพืช โดยจะทำให้การทำงานของระบบนั้น ผิดปกติ (เสกสรร, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพปัญหาของดินกรดจัด

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีปัญหาประเภทหนึ่งในการปลูกพืช เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดจึงมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อทำการขังน้ำเพื่อปลูกข้าวจะได้ผลผลิตต่ำเนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดอย่างรุนแรง ทำให้การละลายของเหล็ก แมงกานีส และอะลูมินัมสูงขึ้น จนถึงระดับที่อาจเป็นพิษต่อข้าว ส่งผลให้เกิดการขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง นอกจากนี้ความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสจะอยู่ในระดับต่ำ บางครั้งถึงกับขาดแคลน (van Breemen and Pons, 1978) ซึ่งจากปัญหาต่างๆ ดังกล่าวนั้นพอสรุปได้ดังนี้

1. ความเป็นกรดของดิน โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว pH ต่ำมาก ๆ เท่านั้น พืชจึงได้รับอันตรายโดยตรงจากความเป็นกรด (ลัดดาวรรณ, 2528) ได้ทำการทดลองปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัด พบว่าที่ pH ระดับต่างๆ ข้าวจะเจริญเติบโต และมีผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ Thawornwong and van Diest (1974) ได้ศึกษาอิทธิพลของความเป็นกรดจัดต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวพบว่า ที่ pH 3.5 ความเป็นกรดจัดจะยับยั้งการดูดดึง metallic cation แต่ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของต้น และใบ และความเป็นกรดของดินนี้ มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารพืชในดิน ทำให้ธาตุบางชนิดมีการละลายมากขึ้นหรืออาจลดปริมาณลงได้ (Jackson, 1967) โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นของเหล็ก และอะลูมินัมที่ละลายน้ำได้ความเป็นพิษของอะลูมินัมจะเกิดขึ้นที่ pH < 4.5 และความเป็นพิษของเหล็กที่ pH < 6.5 นอกจากนี้ความเป็นพิษของ CO_2, organic acid และ H_2S จะรุนแรงที่ระดับ pH ต่ำ ๆ (Ponnamperuma, 1978)
2. ความเป็นพิษของอะลูมินัม van Breemen (1976) กล่าวว่าอะลูมินัมเป็นสารพิษที่สำคัญ ความสามารถในการละลายของอะลูมินัมขึ้นกับ pH ดินที่มี pH ต่ำแต่ไม่ต่ำมากจนส่งผลของความเป็นกรดให้เป็นอันตรายต่อต้นข้าวโดยตรง แต่ถ้าหากว่าปริมาณของอะลูมินัมที่ละลายได้สูงพอ จะทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโตได้ เมื่อยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้นตั้งแต่ 4.5 ขึ้นไปแล้ว อันตรายจากความเป็นพิษของอะลูมินัมจะไม่เกิดขึ้น (สรสิทธิ์, 2520) นอกจากนั้นการใช้อินทรียวัตถุยังมีส่วนทำให้ปริมาณอะลูมินัมลดลง Singh *et al.* (1987) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยหมัก และเศษซากพืชคลุมดิน ทำให้ปริมาณ Al saturation ในดินลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานของ Iyamuremye *et al.* (1996) ที่พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และเศษตอซังข้าว ทำให้ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ในดิน ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน Osborne (1985) ได้กล่าวว่าปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้เป็น3609 .ปัจจัยที่ดีที่นำมาสู่การประเมินความต้องการปูนที่ดินเปรี้ยวจัดจะได้รับ ซึ่งเชื่อมโยงไปสู่การประเมินระดับของปัญหาที่เกิดขึ้นในดินเปรี้ยวจัด โดยกำหนดให้ค่าของอะลูมินัมที่สกัดได้ อยู่ในชั้นความรุนแรงของความเป็นกรด ดังนี้

ขั้นความรุนแรงที่ I มีปริมาณที่สกัดได้น้อยกว่า 90 ppm

ขั้นความรุนแรงที่ II มีปริมาณที่สกัดได้ 90-450 ppm

ขั้นความรุนแรงที่ III มีปริมาณที่สกัดได้ 450-810 ppm

ขั้นความรุนแรงที่ IV มีปริมาณที่สกัดได้ 810-1170 ppm

ขั้นความรุนแรงที่ V มีปริมาณที่สกัดได้ 1170 ppm

3. ความเป็นพิษของเหล็ก ดินขังน้ำในสภาพที่มี pH ต่ำ และมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงพอควร เหล็กในรูปเฟอร์ริกจะถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูปเฟอร์รัส ดังสมการ

$$Fe(OH)_3 + \frac{1}{4} CH_2O + 2H+ \rightarrow Fe_2+ + \frac{1}{4} CO_2 + \frac{1}{4} H_2O$$

เหล็กในรูปเฟอร์รัสนี้เอง ถ้าสูงจนถึงระดับหนึ่งจะเป็นพิษต่อข้าวได้ (van Breemen and Moormann, 1978) ระดับความเข้มข้นของเหล็กที่ละลายน้ำได้ที่อาจเป็นพิษต่อข้าวนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น พันธุ์ อายุ ระดับธาตุอาหารอื่น ๆ และ pH ความเข้มข้นของเหล็กจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากอิทธิพลความเป็นกรดด่างของดิน Ponnamperuma (1964) พบว่าความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนในสภาพดินนาน้ำขังลดลง 100 หน่วย ถ้า pH เพิ่มขึ้น 1 หน่วย ส่วน Nhung and Ponnamperuma (1966) รายงานว่าในดินกรดจัดที่ทำการขังน้ำ ระดับ pH 7.5 จะมีปริมาณเฟอร์รัสไอออนในสารละลายดิน 3.5 ppm และเมื่อ pH ลดลงเท่ากับ 7.0, 6.5, 6.0 และ 5.7 ปริมาณเฟอร์รัสไอออนจะมีค่าสูงขึ้นเป็น 35, 350, 3500 และ 6,600 ppm ตามลำดับ และจากการศึกษาของ Nhung and Ponnamperuma (1966) ความเป็นพิษของเหล็กในดิน latosolic ที่ใช้ปลูกข้าว ที่มีการปรับสภาพความเป็นกรด - ด่าง ของดินให้แตกต่างกัน พบว่าในระยะข้าวออกรวง ดิน latosolic ปกติที่มี pH 6.45 มีปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้ 161 ppm ข้าวจะไม่แสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากเหล็ก แต่ถ้า pH 6.24 มีปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้ถึง 552 ppm ข้าวจะแสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากเหล็กอย่างชัดเจน ผลผลิตข้าวที่ได้รับลดลงถึงร้อยละ 80 และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบเพิ่มขึ้น และเมื่อ pH ของดินเพิ่มขึ้นจากดินปกติเล็กน้อยเป็น 6.53 ปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้เหลือเพียง 115 ppm ผลผลิตข้าวที่ได้รับสูงขึ้นร้อยละ 22 แต่ถ้า pH สูงเกินไปเท่ากับ 6.82 และ 7.55 ทำให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 13 และ 99 ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวเพิ่มสูงขึ้นมากเนื่องจากปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้ลดลงเหลือเพียง 35 และ 5 ppm (IRRI, 1964)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความเป็นพิษของแมงกานีส ในสภาพน้ำขังแมงกานีสในรูปของ Mn^{+4} จะเปลี่ยนเป็น Mn^{+2} ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของ Mn^{+2} ในสารละลายเพิ่มขึ้น และยังมีผลให้ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินมีค่าสูงขึ้นด้วย (Patrick and Turner, 1968; Gotoh and Patrick, 1972) การเกิดการเปลี่ยนแปลงแมงกานีสในสภาพรีดักชัน จะสืบเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก anaerobic bacteria และจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นก่อนหน้าการเปลี่ยนแปลงของเหล็ก เนื่องจากแมงกานีส มีระดับออกซิเดชันสูงกว่าเหล็ก (สรสิทธิ์, 2520; ทัศนีย์, 2542) ความเป็นพิษของแมงกานีสอันเนื่องมาจากความเข้มข้นของแมงกานีสที่ละลายน้ำได้มีปริมาณสูงขึ้น จะปรากฏในดินเปรี้ยวจัดที่มีระดับ pH ต่ำ และหรือ เมื่ออยู่ในสภาพน้ำขัง (Tadano and Yoshida, 1978) นอกจากนี้ Ponnamperuma (1972) ได้รายงานว่าดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดปานกลางนั้น แมงกานีสที่ละลายน้ำได้จะถึงจุดสูงสุดช้า และลดลงช้ากว่าดินที่เป็นกรดรุนแรง ส่วนในดินที่มีปริมาณแมงกานีสมากความเข้มข้นของแมงกานีสที่ละลายน้ำได้จะมีค่าสูงสุดอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 สัปดาห์หลังจากขังน้ำ ต่อมาจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ทั้งนี้เนื่องจากตกตะกอนเป็นแมงกานีสคาร์บอเนตเมื่อระยะเวลาขังน้ำยาวนานขึ้น แมงกานีสที่ระดับ 0.01 ppm จะทำให้ข้าวแสดงอาการขาดแมงกานีส และเมื่อแมงกานีสมีค่าอยู่ในระดับ 0.1 - 1.0 ppm ทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้ามีค่าสูงกว่าระดับดังกล่าวผลผลิตของข้าวจะลดลง (Ishizuka *et al.*, 1961) ส่วนไพบูลย์ และ ลัดดาวรรณ(2530) ได้ทดลองระดับความเป็นพิษของแมงกานีสในชุดดินรังสิตกรดจัด ที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวง โดยใช้แมงกานีสซัลเฟตใส่ลงในดินที่มีให้มีแมงกานีส ในความเข้มข้น 0, 750, 1,500 และ 3,000 ppm พบว่าได้ผลลัพธ์ในทางลบ โดยข้าวมีแนวโน้มที่มีผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อ Mn+2 ไม่เกิน 1,500 ppm และแมงกานีสที่ระดับสูงกว่า 1,500 ppm จะมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตข้าว และการเจริญเติบโตลดลง อาการเป็นพิษเนื่องจากแมงกานีสนั้น ข้าวจะมีอาการชะงักการแตกกอ ลำต้นแคระแกรน แผ่นใบและกาบใบจะเกิดจุดสีน้ำตาล ซึ่งมักจะเกิดกับใบล่างของต้นข้าว แต่ในสภาพทั่วๆ ไป ความเป็นพิษของแมงกานีสต่อข้าวจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยเพราะแมงกานีสในดินมักมีอยู่ไม่มากพอที่จะเกิดอันตรายต่อข้าว และแมงกานีสยังเป็นจุลธาตุอาหารที่ข้าวมีความต้องการมาก (Tanaka and Navasero, 1966c; ไพบูลย์ และ ลัดดาวรรณ, 2530)

5. ความเป็นพิษของซัลไฟด์ เมื่อดินถูกขังน้ำความเข้มข้นของซัลไฟด์ หรือกรดอินทรีย์ต่าง ๆ (organic acids) ในสารละลายดินจะเพิ่มขึ้น ถ้าการขังน้ำดำเนินต่อไป และยังคงมีปริมาณซัลเฟตอยู่ในดิน ความเข้มข้นของซัลไฟด์ของสารละลายดินจะเพิ่มขึ้น จนเกินระดับที่พืชจะทนทานได้ และพืชจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงอาการเป็นพิษออกมา (Tanaka and Yoshida, 1970) ในดินเปรี้ยวจัดที่มีน้ำขังซัลเฟตจะไม่เสถียรโดยเปลี่ยนรูปไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สรสิทธิ์, 2520) ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอันตรายต่อระบบรากของข้าวเพราะเป็นตัวลดความสามารถในการออกซิไดซ์ของรากข้าว ทำให้ข้าวมีความต้านทานต่อพิษของเหล็กน้อยลง ทำให้เหล็กถูกดูดขึ้นไปสะสมไว้ที่ส่วนยอดของต้นข้าวได้มากขึ้น และจะเพิ่มความรุนแรงเนื่องมาจากความเป็นพิษของเหล็ก (Tanada *et al.*,1966; สมศักดิ์ และคณะ, 2517) แต่ความเป็นพิษเนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจลดลงได้ ถ้าในดินมีปริมาณเหล็กอิสระสูงเพียงพอ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะตกตะกอนในรูปของเฟอร์รัสซัลไฟด์ (Park and Tanada, 1968) ดินที่ขังน้ำ และอยู่ในสภาพรีดักชันที่รุนแรง เนื่องจากขาดออกซิเจน และมีกิจกรรมของจุลินทรีย์สูง จะทำให้ซัลเฟตถูกรีดิวซ์เป็นซัลไฟด์ และจุลินทรีย์เหล่านั้นมีกิจกรรมได้ดีในช่วง pH 5.5 - 9.0 อุณหภูมิต่ำจะทำให้ปฏิกิริยานี้ช้าลง (ทัศนีย์, 2542)

6. การขาดแคลนฟอสฟอรัส ดินเปรี้ยวจัดมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำมาก (สรสิทธิ์, 2520) ปฏิกิริยาของฟอสฟอรัสในดินมีความสำคัญมาก เนื่องจากเกี่ยวข้องกับปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช สารประกอบฟอสเฟตต่าง ๆ ทั้งในสภาพธรรมชาติ และจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินโดยจะมีการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่ละลายน้ำได้ง่ายและเป็นประโยชน์ต่อพืช ไปเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ยากและเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยมาก การทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุ และสารประกอบต่างๆในดินเรียกกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟอสเฟตนี้ว่า กระบวนการตรึงฟอสฟอรัส (Brady, 1990; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; ชัยฤกษ์, 2536) ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตรึงฟอสฟอรัสในดินมีหลายประการด้วยกัน ได้แก่ ปริมาณหรือความเข้มข้นของฟอสเฟตไอออนสารละลายดิน รวมถึงระยะเวลาที่ฟอสเฟตได้ทำปฏิกิริยา ชนิด และปริมาณของแร่ดินเหนียว ปริมาณของเหล็ก และอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ ออกไซด์ของเหล็ก และอะลูมินัม และไฮดรอกไซด์ของเหล็ก และอะลูมินัม ชนิดของไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ อินทรียวัตถุในดิน ระดับ pH อุณหภูมิ และสภาพการขังน้ำ (Kawagchi and Kyuma, 1969; Tisdale and Nelson, 1975; Sanchez and Uehera, 1980; Brady, 1990; ชัยฤกษ์, 2536) ในดินที่มีความเป็นกรดรุนแรงมากขึ้น ประสิทธิภาพในการตรึงฟอสฟอรัสจะสูงมากขึ้นด้วย ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีน้อยลง (Bloomfield and Coulter, 1973) ในดินเปรี้ยวจัดจะพบเหล็ก และอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณที่สูงพอควรธาตุเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลฟอสเฟตในรูป H_2PO_4 อย่างทันที และรุนแรงทำให้เกิดสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ และไม่เป็นประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อพืช (Brady, 1990) แต่การขังน้ำในดินเปรี้ยวจัดทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ทำให้การตรึงฟอสฟอรัสจะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากสารประกอบในรูปเฟอร์ริกฟอสเฟตถูกรีดิวซ์เป็นเฟอร์รัสฟอสเฟตซึ่งละลายได้มากขึ้น ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตก็เพิ่มขึ้นด้วย (Patrick *et al.*, 1974) ในดินเปรี้ยวที่มีความเป็นกรดรุนแรง และมีการตรึงฟอสฟอรัสสูง มีการขาดฟอสฟอรัส เมื่อปลูกข้าวโดยไม่มีการให้ปุ๋ยฟอสเฟต ข้าวจะแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสโดยที่ข้าวจะมีลำต้นแคระแกรนการแตกกอถูกจำกัด ใบแคบสั้นตั้งตรงและมีสีเขียวเข้มให้ผลผลิตต่ำ (Yoshida, 1981) และในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำนี้จะเป็นปัจจัยหลักที่จำกัดการเจริญเติบโตของข้าว โดยข้าวจะไม่ตอบสนองต่อปูนหรือไนโตรเจนจนกว่าจะมีการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไป และผลผลิต ข้าวจะเพิ่มขึ้น 2-4 เท่าโดยการใส่ฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว (ทัศนีย์, 2542)

7. การมีสถานะความเป็นเบสต่ำ Attanandana (1990) ได้กล่าวถึงรายงานของ Sombatpanit (1970) ที่รายงานว่า ในดินเปรี้ยวจัดมีสถานะความเป็นเบสต่ำมาก เนื่องจากขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของชั้นหน้าตัดดินภายหลังที่มีการชะล้างอย่างรุนแรงนั้น ประจุบวกที่มีฤทธิ์เป็นเบสได้ถูกเคลื่อนย้ายลงไปพร้อมกับซัลเฟตไอออน บริเวณผิวที่แลกเปลี่ยนประจุบวกได้มีอะลูมินัมมาเกาะอยู่แทน เกิดการขาดแคลน K และ Ca ปริมาณ Ca และ Mg ที่สามารถแลกเปลี่ยนมีค่าเท่ากับ 3.5-5.0 และ 3.0-3.2 meq ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ
8. กิจกรรมของจุลินทรีย์ไม่เป็นไปตามปกติ ในสภาพดินเปรี้ยวจัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินจะถูกยับยั้งไม่ให้เป็นปกติเท่าที่ควร ทำให้กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของ จุลินทรีย์ดังกล่าวเกิดขึ้นน้อยมาก โดยเฉพาะในกระบวนการ nitrification และกระบวนการ denitrification และการสลายตัวของอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์พวก heterothophic microorganism มีอัตราเร็วในการสลายตัวขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยเฉพาะ pH ซึ่งถ้าระดับ pH สูง หรือต่ำเกินไปจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์หยุดชะงัก ทำให้อัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุเกิดขึ้นช้าลงเช่นกัน (ชัยฤกษ์, 2536) ทำให้ธาตุอาหารพืชที่จะได้จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงตามไปด้วย

แนวทางการจัดการดินกรดจัด

ควบคุมระดับน้ำใต้ดินเพื่อป้องกันกรดกำมะถันการควบคุมน้ำใต้ให้อยู่เหนือชั้นดินเลนที่มีสารประกอบไพไรต์มากเพื่อที่จะทำให้สารประกอบไพไรต์ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน หรือถูกออกซิไดซ์ ควรรักษาระดับน้ำในคูระบายน้ำให้อยู่ในระดับไม่ต่ำกว่า 1 เมตรจากผิวดินตลอดทั้งปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ไขความเป็นกรดจัดของดินด้วยวิธีการต่างๆที่เหมาะสม วิธีการที่นำมาใช้แก้ไขความเป็นกรดจัดมีอยู่ด้วยกัน3วิธี คือ 1.การใช้น้ำชะล้างความเป็นกรดวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายแต่หวังผลในระยะยาว 2.การใช้ปูนผสมคลุกเคล้ากับหน้าดิน วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายแต่แต่ปฏิบัติค่อนข้างยากเนื่องจากต้องใช้ปูนมาก 3.การใช้ปูนควบคู่กับการใช้น้ำชะล้างและควบคุมระดับน้ำใต้ดิน วิธีการนี้เป็นวิธีที่สมบูรณ์ที่สุด

การเลือกชนิดของพืชที่ปลูกการเลือกชนิดของพืชที่เหมาะสมกับสภาพของดินที่เป็นกรดจัดจะลดต้นทุนในการ ปรับปรุงดินและลดการเสี่ยงต่อการขาดทุน การใช้ประโยชน์จากดินเปรี้ยวต้องมีการวางแผนที่รอบคอบมีการวางระบบการจัดการน้ำที่เหมาะสมมีการจัดการดินที่ดี และต้องเลือกชนิดของพืชที่ปลูกให้เหมาะสมกับสภาพของดินและสอดคล้องกับความต้องการของตลาด
การปรับสภาพพื้นที่ซึ่งโดยทั่วไปมีอยู่ 2 วิธี คือ การปรับระดับผิวหน้าดิน และการยกร่องปลูกพืช

การใช้วัสดุปูนทางการเกษตร ลดความเป็นกรดในดิน ได้แก่ ปูนขาว ปูนมาร์ล หินปูนบด หินฝุ่น เปลือกหอยเผา ฝุ่นเตาเผาจากโรงงานปูนซิเมน คิล์นดัสท์ วัสดุปูนต่างๆดังกล่าว มีสมบัติเป็นด่างสามารถลดความเป็นกรดของดินได้ การใช้ปูนนอกจากจะให้ธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียมแก่พืชที่ปลูกแล้ว ยังช่วยป้องกันพิษที่เกิดจากเหล็กและอลูมินั่มที่ละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อพืชที่ปลูก และช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ ของธาตุฟอสฟอรัสอีกด้วย

วิธีการปรับปรุงดินกรดจัดเพื่อใช้ปลูกข้าว

เขตชลประทาน

- ดินที่มีค่า pH น้อยกว่า 4.0 ใช้ปูนอัตรา 1.5 ตัน/ไร่
- ดินที่มีค่า pH ระหว่าง 4.0-4.5 ใช้ในอัตรา 1 ตัน/ไร่

เขตเกษตรน้ำฝน

- ดินที่มีค่า pH น้อยกว่า 4.0 ใช้ปูนในอัตรา 2.5 ตัน/ไร่
- ดินที่มีค่า pH ระหว่าง 4.0-4.5 ใช้ปูนอัตรา 1.5 ตัน/ไร่

ขั้นตอนการปรับปรุงดินกรด

หลังจากหว่านปูนให้ทำการไถแปร และปล่อยน้ำให้แช่ขังในนาประมาณ 10 วัน จากนั้นระบายน้ำออกเพื่อชะล้างสารพิษ และขังน้ำใหม่เพื่อรอปักดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดการน้ำ

การจัดการน้ำเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ปรับปรุงแก้ไขดินเปรี้ยวจัดให้มีสภาพเหมาะสมต่อการปลูกข้าว เนื่องจากดินเปรี้ยวจัดเกิดจากการออกซิเดชันของสารประกอบไพไรต์ที่มีอยู่ในดินสภาพที่ดินแห้งสลับเปียก หรือดินแห้งเป็นระยะเวลาก่อให้เกิดกรดเพิ่มขึ้น ดังนั้นวิธีการป้องกันและแก้ไขสามารถทำได้โดยการขังน้ำไว้บนผิวดิน การชะล้างกรดออกจากดิน ควบคุมระดับน้ำหรือความชื้นในดิน และปรับสภาพน้ำเปรี้ยว ให้เป็นน้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้ในการปลูกข้าว การใช้น้ำชะล้างดินเปรี้ยวจัด จะช่วยลดความเป็นกรดของดินได้ จะทำให้ pH ของดินสูงขึ้น และสามารถลดความเข้มข้นของอลูมินั่มและเกลือต่างๆที่อาจเป็นพิษต่อข้าวได้ ในการใช้น้ำชะล้างนั้น ถ้าใช้น้ำทะเลหรือน้ำจืดปริมาณ 5 เท่าของน้ำหนักดินโดยใช้อัตราการชะล้างสม่ำเสมอ สามารถลดความเป็นกรดจากเดิมได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่การใช้น้ำชะล้างดิน ข้อจำกัดเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ในเขตชลประทานสามารถปิด-เปิด น้ำเข้าออกได้ตามความต้องการ และต้องใช้ระยะเวลานาน ดังนั้น ถ้าใช้น้ำชะล้างร่วมกับวิธีการใช้ปูนจะทำให้ปรับปรุงดินได้เร็วขึ้น (อ้างโดยพิพัฒน์,2553)

การใช้ปุ๋ยเคมี

เนื่องจากดินเปรี้ยวจัดมีปัญหาขาดแคลนธาตุอาหารหลัก โดยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ดังนั้น ในการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสม ดินเปรี้ยวจัดมีปัญหาขาดแคลนธาตุฟอสฟอรัสเนื่องจากฟอสฟอรัสถูกตรึงโดยอะลูมินั่มและเหล็กที่ละลายออกมามาก ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงเป็นวิธีการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดอีกวิธีการหนึ่ง ซึ่งปุ๋ยฟอสฟอรัสมีหลายชนิด ควรเลือกใช้ชนิดและอัตราที่เหมาะสม ดินที่ไม่มีการใส่ปูนเพื่อปรับ pH ของดินควรใช้ปุ๋ยที่ละลายช้า เช่น หินฟอสเฟต ส่วนดินที่มีการใส่ปูนเพื่อปรับ pH ของดินแล้วควรใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายเร็ว เช่น ทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยไม่มีการใช้ปูนปรับปรุงดินก่อนก็ไม่สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้มากเท่าที่ควรจะเป็น ในดินกรดจัดเหล็กและอะลูมิเนียมละลายได้ดีจึงตรึงฟอสฟอรัสอยู่ในรูปเหล็กฟอสเฟต ($Fe\text{-}PO_4$) และอะลูมิเนียมฟอสเฟต ($AI\text{-}PO_4$) เมื่อใส่ปูนลงไปจะลดการละลายของเหล็กและอะลูมิเนียมลงทำให้ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์กับพืชมากขึ้น ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้กันทั่วๆไป ได้แก่ ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (46%P) ปุ๋ยหินฟอสเฟต (0-3-0) และปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต (16-20-0) การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในดินเปรี้ยวจัดจะใช้ในช่วงเตรียมดิน และสำหรับข้าวการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตรองพื้นให้ข้าวในอัตรา 200-300 กิโลกรัมของปุ๋ยก็เป็นการเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญของฟอสฟอรัสต่อข้าว

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารมหัพภาค (Macronutrient) ที่พบในพืชส่วนใหญ่ในปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม (Tisdale and Nelson, 1975) แต่มีความสำคัญต่อพืชเป็นอันดับสองรองจากไนโตรเจน (Brady, 1974) เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารที่สำคัญมากมายหลายชนิด เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิพิด ATP และโคเอนไซม์ ซึ่งเกี่ยวข้องในกระบวนการเมทาบอลิซึมของพืช โดยพืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาค (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ (ยงยุทธ, 2546) เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัส สีเขียวของพืชจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม สีเขียวเข้มแกมน้ำเงิน ในข้าวโพดและหญ้าชนิดอื่นๆ มักพบว่าใบเปลี่ยนเป็นสีม่วงเนื่องจากการสะสมน้ำตาลซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในใบ (Havlin *et al.*, 2005) หากเกิดการขาดฟอสฟอรัสในข้าวจะมีผลให้ข้าวเจริญสู่ขั้น maturity ช้า (มักล่าช้าไป 1 สัปดาห์หรือมากกว่านั้น)ในกรณีที่ขาดแคลนมากๆ ข้าวอาจไม่ออกดอกในที่สุด เมล็ดลีบ ไม่มีการสร้างตัวของเมล็ด เมล็ดมีคุณภาพต่ำ ไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ไม่ทนทานต่ออากาศเย็น

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ในรูป $H_2PO_4^-$ ได้ง่ายที่สุด เมื่อสารละลายดินมี pH ต่ำกว่า 6.8 ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอนินทรียสารหลายชนิดในพืช ซึ่งมีอิทธิพลต่อขบวนการเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรทและการเคลื่อนย้ายซูโครสของใบพืช และกระบวนการสังเคราะห์แสง ถ้าพืชขาดฟอสฟอรัส ใบพืชจะเล็กและมีปริมาณน้อย มีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์ เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอกผลและเมล็ดน้อยลง ทำให้ผลผลิตต่ำ ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัสจะแคระแกรน การแตกกอน้อย ใบแคบ สั้น ตั้งตรงและมีสีเขียวเข้ม ลำต้นผอมเรียว ข้าวจะชะงักการเจริญเติบโต จำนวนใบ จำนวนรวงและจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง ใบอ่อนสมบูรณ์ดีแต่ใบแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายในที่สุด ถ้าพันธุ์ข้าวที่ปลูกสามารถผลิต Anthocyanin ได้ใบอาจเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือสีม่วง ในดินที่เป็นกรดการขาดฟอสฟอรัสมักจะเกิดร่วมกับเหล็กเป็นพิษ

สาเหตุของการขาดฟอสฟอรัสเกิดจากการมีระดับฟอสฟอรัสในดินนาต่ำหรือถูกตรึง โดยดินจนพืชนำมาใช้ประโยชน์ไม่ได้ (จะเกิดในดินที่เป็นกรดจัด) การใส่ปุ๋ยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช วิธีการปลูกแบบนาหว่านมีโอกาสทำให้ข้าวขาดฟอสฟอรัสมากกว่าปลูกแบบปักดำ เพราะต้นข้าวจะหนาแน่นกว่าและมีรากตื้นกว่าข้าวที่ปลูกแบบปักดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดการเพื่อการป้องกันและแก้ไขการขาดฟอสฟอรัสสามารถทำได้โดยควรไถกลบฟางข้าวลงในแปลง เพราะถึงแม้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในฟางข้าวจะมีน้อย แต่จะช่วยรักษาระดับฟอสฟอรัสในดินในระยะยาว ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ปุ๋ยคอกและวัสดุอินทรีย์อื่นๆ ให้กับข้าวอย่างพอเพียง เพื่อชดเชยกับธาตุอาหารที่สูญเสียไปจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต

ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium phosphate)

ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium phosphate) เรียกชื่อย่อว่า ดี เอ พี (DAP) มีสูตรทางเคมีคือ $(NH_4)_2 HPO_4$ มี N ร้อยละ 16-18 P_2O_5 ร้อยละ 46-48 มีสูตรปุ๋ยว่า 16-48-0 Diammonium phosphate เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับออโทฟอสฟอรัส ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตละลายน้ำได้ดีและมีธาตุอาหารหลักสองธาตุ คือ NP (รวมกันสูงถึง 64 เปอร์เซ็นต์) อ้างโดยเสกสรร(2547)

หินฟอสเฟต (Rock Phosphate)

สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ $Ca_{10}(PO_4CO_3)_6$ (F. Cl. OH)$_2$ เป็นหินแร่ที่เมื่อขุดออกมาบดละเอียดแล้วก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบบำรุงดินได้ดี เปอร์เซ็นต์ของฟอสเฟตอาจมีเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์จนถึง 30กว่าเปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์เมื่อนำมาใส่ลงดิน พอดินชุ่มชื้นจะเกิดการละลายออกมาใช้ได้ทันที 1 ใน 10 ของทั้งหมดฟอสเฟตส่วนที่เหลือยังจะค่อยๆ ละลายออกมาให้พืชได้ใช้อยู่เสมอโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการบำรุงดินด้วยปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยอินทรีย์ต่างๆ หินฟอสเฟตในดินเปลี่ยนรูปละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น นอกจากนี้หินฟอสเฟตยังมีประโยชน์ในแง่ที่นำมาใช้ผสมปุ๋ยอินทรีย์รองก้นหลุมหรือใส่แปลงผักตั้งแต่เตรียมดินช่วยให้พืชออกรากมากโตเร็วช่วยลดความเป็นกรดของดินช่วยให้ดินร่วนซุยเพิ่มแร่ธาตุในดินที่ละลายได้มากขึ้นและผลพลอยได้ คือจุลธาตุต่างๆ ที่ตกค้างในดินสามารถละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น อัตราที่แนะนำให้ใช้สำหรับพืชโดยทั่วไป คือ 20-50 กก./ไร่ อย่างไรก็ตามถ้าดินเป็นด่างอยู่แล้วไม่ควรใส่หินฟอสเฟต และปูนต่างๆ ปุ๋ยหินฟอสเฟตบดควรใส่ในดินกรดโดยวิธีหว่านแล้วจึงพรวนดินเพื่อให้ปุ๋ยคลุกเคล้ากับดินอย่างทั่วถึงซึ่งจะทำให้ฟอสฟอรัสในปุ๋ย ทำปฏิกิริยากับกรดในดินและละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้นอ้างโดยเสกสรร(2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลตกค้างของหินฟอสเฟตและไดแอมโมเนียมฟอสเฟต

หินฟอสเฟต (Phosphate Rock) จะมีฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ร้อยละ 30-40 ซึ่งเป็นฟอสเฟตในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เพียงร้อยละ 10 ปุ๋ยหินฟอสเฟตมีสมบัติในการละลายได้ช้า และปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาได้นาน ถ้า pH ของดินสูงขึ้นมากจะทำให้ปุ๋ยหินฟอสเฟตละลายความเป็นประโยชน์ออกมาได้น้อยลง เนื่องจากปุ๋ยหินฟอสเฟตจะละลายได้ดีใน pH ที่เป็นกรดอ่อนถึงกรดปานกลาง ซึ่งเป็นผลทำให้ฟอสฟอรัสที่ละลายจากปุ๋ยหินฟอสเฟตมีน้อยไปด้วย ข้าวจึงนำไปใช้ประโยชน์ในได้น้อยลงส่งผลให้หินฟอสเฟตมีการตกค้างอยู่ในดินมาก

การศึกษาความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต เมื่อใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงใส่ลงไปในดินมักจะใช้การตอบสนองของพืชเป็นตัววัด ซึ่งมักจะขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสฟอรัสที่ละลายได้ เนื่องจากหินฟอสเฟตที่ใส่ลงไปจะประกอบด้วยธาตุอื่น ๆ อีกมาก ดังนั้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตลงไปในดินโดยตรงมักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินด้วย เช่น การเปลี่ยน pH ของดิน จากรายงานหลายๆ ฉบับได้รายงานเอาไว้ว่า pH ของดินส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรง โดยเฉพาะดินที่มี pH เป็นกรด การที่ pH ของดินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้สมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไปหลายประการ เช่น ความเป็นกรดทั้งหมด ปริมาณอะลูมินั่มที่แลกเปลี่ยนได้ ลดลง (Chien *et al.*, 1987; ประพิศ และ วิศิษฐ์, 2532) ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของดิน เป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมปฏิกิริยาของหินฟอสเฟตในดิน ดินที่มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูง ทำให้หินฟอสเฟตสามารถละลายออกมาได้มากด้วย อย่างไรก็ตามความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อพืชก็จะลดลงเพราะว่าฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาถูกตรึงไว้ในดินจากการทดลองของกิตตินันท์ (2529) พบว่า การใช้หินฟอสเฟตใส่ลงในดินเปรี้ยวจัด ชุดดินรังสิตกรดจัด พบว่าการใส่หินฟอสเฟตจะให้น้ำหนักเมล็ดดีข้าวสูงสุด เมื่อมีการยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้นเป็น 6.4 ส่วนผลตกค้างของพบว่าการใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต จะให้น้ำหนักเมล็ดดีข้าวสูงกว่าการใช้หินฟอสเฟตเล็กน้อย การทดลองของ Sarkar and Sarkar (1982) ได้รายงานว่าผลตกค้างของหินฟอสเฟตที่ใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงในฤดูร้อนจะมีผลไปถึงข้าวที่ปลูกในฤดูฝนต่อมา จักพงษ์ และ คณะ (2529) พบว่าหลังจากการใช้หินฟอสเฟตต่อเนื่องกัน 3 ปีในดินเปรี้ยวจัด ทำให้ pH ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และปริมาณแคลเซียมสูงขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย

ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium Phosphate) จะมีลักษณะละลายน้ำได้ดี ละลายความเป็นประโยชน์ออกมาได้มาก พืชจึงสามารถนำไปใช้ในรูปประโยชน์ได้มากกว่าจึงมีการตกค้างอยู่ในดินน้อยกว่าปุ๋ยหินฟอสเฟต เมื่อดินเป็นกรดมากเกินไป ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบจะถูกตรึงอยู่ในดินไม่สามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ และจะกลายเป็นสารประกอบพวกเหล็กหรืออะลูมิเนียมฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 พื้นที่ศึกษา

ตัวอย่างดินในพื้นที่ที่เป็นดินกรดจัด ชุดดินองครักษ์ ต.ทรายมูล อ.องครักษ์ จ.นครนายก

2.2 อุปกรณ์การทดลอง

2.2.1 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน

2.2.2 เครื่อง pH meter

2.2.3 เครื่องบด Wiley cutting mill

2.2.4 กระดาษกรอง เบอร์ 1และ5

2.3 เครื่องแก้วและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

2.3.1 Beaker

2.3.2 Erlenmeyer flask

2.3.3 Cylinder

2.3.4 Volumetric flask

2.3.5 หลอดทดลอง

2.3.6 แท่งแก้ว

2.3.7 Test tube

2.3.8 กรวยกรอง

2.3.9 Pipet

2.3.10 Volumepipet

2.3.11 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.วิธีการทดลอง

การเตรียมดิน

นำกระถางที่ใช้ปลูกข้าวจากการทดลองของพิพัฒน์ (2553) ขังน้ำเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ย่อยดินให้เข้ากัน วัด pH และเก็บตัวอย่างดินเมื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้น จากการวัด pH พบว่ามี pH 4.05-4.42 ดังนั้น ก่อนการปักดำ 1 สัปดาห์ แต่ละตำรับการทดลองจะใส่ปูนในอัตรา 10 กรัม/กระถาง เพื่อปรับให้ดินมี pH เฉลี่ยเท่ากับ 6 เนื่องจากดินมีความเป็นกรดมากข้าวอาจไม่สามารถเจริญเติบโตได้จึงจำเป็นต้องปรับpH

โดยใช้ดินตัวอย่างจากการทดลองของ นายพิพัฒน์ ชัยพฤกษ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 10 ตำรับการทดลอง (ดินแต่ละตำรับใช้ 9 กก./กระถาง) แต่ละตำรับได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส ดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส		
ตำรับการทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก DAP	0.9	กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก DAP	1.81	กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 4 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก DAP	3.62	กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 5 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก DAP	5.43	กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 6 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก RP	64	กิโลกรัมหินฟอสเฟตต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 7 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก RP	128	กิโลกรัมหินฟอสเฟตต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 8 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส จาก RP	256	กิโลกรัมหินฟอสเฟตต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 9 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส จาก RP	512	กิโลกรัมหินฟอสเฟตต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 10ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส จาก RP	1024	กิโลกรัมหินฟอสเฟตต่อไร่

ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ดินจากแต่ละตำรับการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลตกค้างของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว ดังนั้นจึงไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มเติมในทุกตำรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปักดำและดูแลรักษา

เตรียมกล้าข้าวพันธุ์ปทุมธานี80 (กข31) โดยเพาะกล้าจนมีอายุ 15 วัน จึงปักดำลงในกระถางที่ใส่ปูนไปแล้ว 1 สัปดาห์ ปักดำกล้าข้าวจำนวน 2 ต้น/กระถาง โดยทุกตำรับการทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรียในอัตรา 25 gN/กระถาง แบ่งใส่ 2ช่วง คือ 40 และ 54 วันหลังเพาะกล้า และใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์เมื่อข้าวอายุ 54 วันหลังเพาะกล้าในอัตรา 1.3 gK/กระถาง

4.การเก็บและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การเก็บข้อมูล / การเก็บตัวอย่างดิน

4.1.1 เก็บตัวอย่างก่อนปลูกหลังจากขังน้ำ 2 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างดินแต่ละกระถางโดยจะเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 10 เซนติเมตร โดยใช้ Soil tube เพื่อวิเคราะห์ Avaible P , pH , Exchangble base และ จุลธาตุ

4.4.2 เก็บตัวอย่างหลังปลูกเพื่อวิเคราะห์ avaible P

4.2 การเก็บข้อมูลและตัวอย่างพืช

บันทึกข้อมูลวันออกรวงวันที่ (25 ตุลาคม 2554) ของข้าวในแต่ละตำรับเมื่อข้าวอยู่ในระยะสุกแก่ (อายุ 120 วัน) เก็บเกี่ยวผลผลิต บันทึกองค์ประกอบผลผลิตได้แก่ สีใบวัดโดย IRRI Leaf color chart วันที่ (10 สิงหาคม 2554) ความสูง จำนวนต้น / กอ จำนวนรวง / ต้น (วันที่ 9 ธันวาคม 2554) น้ำหนักเมล็ดดี และ น้ำหนักเมล็ดลีบ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (11 ธันวาคม 2554) นำเมล็ดข้าวและต้นข้าวอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดตัวอย่างพืชแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในพืช

5.การวิเคราะห์ตัวอย่าง

5.1 วิธีวิเคราะห์ดิน

5.1.1 ความเป็นกรด-ด่างของดิน(pH): ในอัตราส่วนดิน:น้ำ 1:1 โดยชั่งดินตัวอย่างละ 10 กรัม ใส่ในขวดพลาสติก เติมน้ำกลั่น 20 ml นำไปเขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้ตัวอย่างดินตกตะกอน และนำไปวัด pH ด้วย pH meter โดยวิธี Electrometry (สุมิตรา, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 AvaibleP โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945): สกัดโดยน้ำยา Bray II (1.0*N* NH_4F) สัดส่วน ดินต่อน้ำยาสกัด 1:5 โดยชั่งดิน 2.5 กรัม เติม Bray II 25 ml เขย่าเป็นเวลา 45 วินาที กรองทันทีหลังจากเขย่าด้วยกรดายกรอง Whatman เบอร์ 1 สารละลายที่ได้จะต้องใสไม่มีตะกอน แล้วนำไป Develop สี ด้วย Molybdenum blue โดยนำสารละลายที่กรองได้มาไปเปต Aliquot (ขึ้นกับปริมาณ P ใน Aliquot ถ้า Develop สีแล้วมีสีเข้มหรือจางเกินให้ลดหรือเพิ่มขึ้นปริมาณ Aliquot ตามความเหมาะสม) แล้วเติม Reagent B 4 ml เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 25 ml เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 10-15 นาที ก่อนนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง(% Transmittance)ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ Wavelength 882 nm แล้วอ่านค่าความเข้มข้นของ P ในสารละลายจาก Standard curve (สุมิตรา, 2554)

5.1.3 Exchageable K, Ca, Mg: วิเคราะห์โดยวิธี Ammonium Acetate Method สกัดด้วย 1*N* NH_4OAc (pH 7.0) โดยนำตัวอย่างดินมาทำให้เป็นสารแขวนลอยในน้ำสัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:10 โดยชั่งดินขนาด 2 mm ปริมาณ 2.5 กรัม เติมน้ำยาสกัด NH_4OAc 25 ml. เขย่าติดต่อกันเป็นเวลา 30 นาที (180 รอบ / นาที) กรองโดยใช้กระดายกรองเบอร์ 1 สารละลายนี้ใช้วัด K, Ca และ Mg โดย Atomic absorption spectroscopy (สุมิตรา, 2554)

5.1.4 Exchageable Fe, Mn, Cu, Zn: วิเคราะห์โดยชั่งดิน 10 กรัม ใส่ในหลอด สกัดด้วย DTPA (pH 7.3) 20 ml อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:2 ปิดฝาด้วย Parafilm หรือจุก Polyethylene ให้สนิทแล้วนำไปเขย่า เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมากรองผ่านกระดายกรอง Whatman เบอร์ 5 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หา Fe, Mn, Cu และ Zn ด้วย Atomic Absorption Spectroscopy (สุมิตรา , 2554)

5.2 วิธีวิเคราะห์พืช

5.2.1 วิเคราะห์ฟอสฟอรัสในเมล็ดและลำต้นโดยการบดพืชแล้วนำตัวอย่างพืช 1กรัม ใส่ใน digestion tube ขนาด 100 ml เติม Mix Acid (HNO_3: H_2SO_4: $HClO_4$ = 10 : 1 : 2) 10 ml และ predigest ไว้ใน fume hood อย่างน้อย 2 ชั่วโมง จากนั้น digest อุณหภูมิต่ำแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึงประมาณ 200-210°Cจนได้สารละลายใส หลังจากนั้นนำ ปิเปตaliquot 2 ml เติม 2*N* HNO_3 2 ml + Molybdate vanadate solution 1 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 10 ml ซึ่งทำกับปฏิกิริยากับ Vanado-molybdate solution จนเกิดสีเหลือง แล้ววัดหา% Transmittance ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ Wavelength 420 nm (สุมิตรา, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SAS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 แหล่งที่ตกค้างอยู่ในดินต่อการเจริญเติบโตของข้าว
2. ทราบถึงอัตราที่เหมาะสมของปุ๋ยหินฟอสเฟต ที่ควรใช้ให้แก่ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

สมบัติบางประการของชุดดินองครักษ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างดินในการทดลองของพิพัฒน์ (2553) ดินชุดดินองครักษ์ ดินลึก มีการระบายน้ำเลว น้ำซึมผ่านได้ช้า การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า เนื้อดินดินเหนียว มีสีเทา มีจุดประสีแดงปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่ ปฏิกิริยาดินเป็นกรด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ที่ 4.05-4.42 เมื่อวัดด้วย pH meter อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (ตารางที่1)

ตารางที่ 1 สมบัติดินบางประการก่อนการปลูกพืช

Treatment	pH	Available P (mg/kg)	Exchangeable (mg/kg)			Exchangeable (mg/kg)			
			K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
1	4.4a	5.39f	230.17a	1545.8b	337.50abc	261.32a	22.07c	6.87a	3.34ab
2	4.38a	6.84e	191.5b	1782.5ab	370ab	184.74b	25.64bc	8.07a	3.94a
3	4.38a	7.31e	179.67bc	1766.7ab	363.33abc	187.67b	25.25bc	7.9a	3.89a
4	4.36a	7.88de	763.83bcd	1715.0ab	349.17abc	194.57b	22.46c	6.98a	2.63abc
5	4.38a	7.63e	145.50de	1.530.8b	295.83c	189.01b	21.75c	7.24a	2.91abc
6	4.37a	7.74de	239.17a	1732.5ab	378.33a	216.10b	27.48abc	8.17a	2.56abc
7	4.05b	9.14d	225.33a	1684.2ab	332.50abc	212.43b	26.74abc	7.61a	1.67c
8	4.42a	12c	188.67b	1766.7ab	350.83abc	185.77b	29.32ab	8.2a	2.5abc
9	4.29ab	21.15b	152.50cde	1748.3ab	371.67ab	188.54b	26.46abc	7.47a	3.28ab
10	4.35a	38.87a	122e	1937.5a	300bc	201.87b	31.87a	8.75a	2.31bc
F-test									
rep	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
trt	*	**	**	ns	ns	*	*	ns	*
CV	3.6	6.3	9.68	9.82	10.93	11.52	12.48	12.87	25.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ช่วงระหว่าง 5.39-38.87 mg / kg และมีค่า exchangeable K, Ca และ Mg ที่สกัดด้วย 1*N* NH_4OAc pH 7.0 มีค่าในช่วง 122-763.88, 1530.8-1937.5 และ 295.83-378.33 mg/kg ตามลำดับซึ่งใน Treatment ที่ใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate มีฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 6.84-7.88 mg / kg และ Treatment ที่ใส่ปุ๋ย Rock phosphate และมีฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 7.774-38.87 mg/kg exchangeable Fe, Mn, Cu และ Zn ที่สกัดด้วย DTPA อยู่ในช่วง 184.74-261.32 21.75-31.87 6.87-8.75 และ 1.67-3.94 mg / kg ตามลำดับ จะเห็นได้ ว่า Available P ใน 10 Treatment มีค่าต่างกันทางสถิติเนื่องจากอิทธิพลของปุ๋ย Diammonium phosphate และ Rock phosphate ที่พิพัฒน์ (2553) ได้ใส่เอาไว้ในแต่ละ Treatment นอกจากนี้ปริมาณ Exchangeable K และ Exchangeable Fe Mn และ Zn ในแต่ละ Treatment ยังแตกต่างทางสถิติซึ่งอาจเป็นผลมาจากการสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิตข้าวในการทดลองครั้งก่อนหน้าซึ่งแต่ละ Treatment มีผลผลิตที่แตกต่างกัน

ความเป็นกรดเป็นด่างหลังจากขังน้ำ 2 สัปดาห์

ผลวิเคราะห์ดินหลังจากการขังน้ำเป็นเวลา 2 สัปดาห์ (ตารางที่ 2) จะพบว่าค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 6.1 - 6.29 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะพบว่าค่า pH ก่อนการขังน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) pH อยู่ในช่วงระหว่าง 4.05-4.42 ซึ่งมีสภาพเป็นกรดรุนแรงมาก (extramely acid) มีผลต่อการเจริญและแผ่ขยายของรากข้าว ทำให้รากข้าวชะงักการเจริญเติบโต ทำให้การดูดธาตุอาหารถูกกำจัด(รสมาริน, 2541)จึงปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินโดยการขังน้ำและใส่ปูน หลังจากขังน้ำและใส่ปูนค่า pH เพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าระหว่าง 6.1-6.29 เนื่องจากความเป็นกรดถูกสะเทินด้วยปูนที่ใส่ลงไปการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีดังกล่าวสามารถลดความเป็นกรดและยังช่วยป้องกันพิษที่เกิดจากเหล็กและอลูมินั่มที่ละลายออกมามากจนเป็นพิษและยังเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์และ pH ของดินหลังขังน้ำในทั้ง 10 Treatment ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (รสมาริน, 2541)

การแตกกอ

จากการวิเคราะห์ตัวเลขทางสถิติของค่าเฉลี่ยจำนวนต้น/กอ (ตารางที่2) พบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate ทุก Treatment คือ 2 3 4 และ 5 มีจำนวนต้นต่อกอเท่ากับ 13 7.66 9.33 และ 10.66 ต้น/กอ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับเมื่อเทียบกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control มีจำนวนต้น/กอเท่ากับ 10.33 ต้น/กอ ส่วน Treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในTreatment ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ Treatment ที่ 1 คือ Treatment ที่ 6 ซึ่งมีจำนวนต้นต่อกอเท่ากับ 12 ต้น/กอ โดย Treatment ที่ 3 ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate มีจำนวนต้น/กอน้อยที่สุดเท่ากับ 7.66 ต้น/กอ และ มีจำนวนต้น/กอมากที่สุด ใน Treatment ที่ 10 ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate เท่ากับ 29 ต้น/กอ แต่ไม่มีความแตกต่างกับ Treatment ที่ 9 มีจำนวนต้น/กอเท่ากับ 27 ต้น/กอ

จากผลการทดลองถึงผลตกค้างของปุ๋ยทั้ง 2 แหล่ง มีผลต่อการตอบสนองการแตกกอของข้าว พบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตราที่สูงจะทำให้มีจำนวนต้น/กอมากที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ทุก Treatment ซึ่งมีค่าต่ำกว่า จึงสรุปได้ว่า การที่ Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate มีจำนวนต้น/กอสูงกว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate จึงแสดงให้เห็นว่า Rock phosphate ยังคงปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่และมีมากกว่า Treatmentที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate และแสดงให้เห็นว่าชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสมีความสำคัญอย่างมากต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจึงส่งผลต่อการแตกกอของข้าว

ความสูงของต้นข้าว

จากการวิเคราะห์ตัวเลขทางสถิติความสูงของต้นข้าว (ตารางที่2) พบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate และ Rock phosphate ของทุก Treatment คือ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 มีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 88.33, 90.33, 89, 87.16, 94.16, 97.96, 90.33 และ 98.43 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control มีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 94.7 เซนติเมตร พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ ยกเว้น Treatment ที่ 10 ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate ในอัตรา 1,024 kg RP/ไร่ มีความสูงสูงสุดเท่ากับ 107.73 เซนติเมตร และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับทุก Treatment

จากการทดลองพบว่าผลตกค้างของปุ๋ยฟอสเฟตจากการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 แหล่ง มีอิทธิพลต่อความสูงของต้นข้าวชัดเจน และ ขณะเดียวกันอัตราของปุ๋ยก็มีความสำคัญต่อความสูงเห็นได้จากผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตราสูง ทำให้มีความสูง ๆ ที่สุด สัมฤทธิ์ (2544) รายงานว่าการที่ข้าวขาดแคลนฟอสฟอรัสจะทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโตและจำนวนการแตกกอลดลงเนื่องจากฟอสฟอรัสมีอิทธิพลต่อขบวนการเมตตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและการเคลื่อนย้ายของน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปโดยรวมแล้ว Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate ปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ได้นานกว่าปุ๋ย Diammonium phosphate จึงทำให้ Treatment ที่ 10 ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate มีความสูงสูงสุดเท่ากับ 107.73 เซนติเมตร

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่างหลังจากขังน้ำ 2 สัปดาห์ จำนวนต้นต่อกอ ความสูง (เซนติเมตร) และสีของใบเมื่อข้าวอายุ 1 วัน

Treatment	pH หลังขังน้ำ 2 สัปดาห์	จำนวน ต้น/กอ	ความสูง (เซนติเมตร)	color	จำนวน รวง/กอ
T1	6.26	10.33de	94.7bc	4	8.66de
T2	6.21	13.00cd	88.33bc	4.33	11.33cd
T3	6.26	7.66e	90.33bc	4	6.33e
T4	6.24	9.33de	89.00bc	4	8.00de
T5	6.28	10.66de	87.16c	4.33	8.33de
T6	6.29	12.00cde	94.16bc	4.66	11.00cd
T7	6.28	16.00bc	97.96b	4.66	13.67bc
T8	6.2	19.33b	90.33bc	4	17.67b
T9	6.11	27.00a	98.43b	4.66	23.66a
T10	6.25	29.00a	107.73a	4.66	26.33a
F-test					
Rep	**	ns	ns	ns	ns
Trt	ns	**	**	ns	**
CV	0.91	15.42	5.61	10.2	17.69

สีของใบ

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการใช้วิธีการใช้แผ่นเทียบสี (Leaf Color Chart : LCC) พบว่า Treatment ที่ 1, 2, 3, 4, และ 8 มี ค่า LCC เท่ากับ 4.00 Treatment ที่ 2 และ5 มี ค่า LCC เท่ากับ 4.33 และ Treatment ที่ 6, 7, 9 และ 10 มี ค่า LCC เท่ากับ 4.66 ซึ่งในทุกๆ Treatment ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีใบข้าวที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยมากกว่าและเท่ากับ 4 แสดงว่าทุก Treatment มีปริมาณไนโตรเจนที่เพียงพอกับการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยสีของใบข้าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณเม็ดสี(คลอโรฟิลล์) ในใบข้าวค่าเฉลี่ยระดับความเข้มของสีใบข้าวที่วัดได้ ถ้ามีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 4 ให้ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) แต่หากค่าเฉลี่ยระดับความเข้มของสีใบข้าวที่วัดได้ ถ้ามีค่าเฉลี่ยมากกว่า 4 แสดงว่าระดับไนโตรเจนในข้าวมีเพียงพอ

จำนวนรวงต่อกอ

จากการวิเคราะห์ตัวเลขทางสถิติจำนวนรวงของข้าว (ตารางที่2) พบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ทุก Treatment ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control มีจำนวนรวงเท่ากับ 8.66 รวง/กอ แต่ใน Treatment ที่ 3 มีจำนวนรวงเท่ากับ 6.33 รวง/กอ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ กับ Treatment ที่ 2 4 และ 5 มีจำนวนรวงเท่ากับ 11.33 8 และ 8.33รวง/กอตามลำดับ และส่วน Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate เกือบทุก Treatment คือ Treatment ที่ 7 8 9 และ 10 มีจำนวนรวงเท่ากับ 13.66 17.66 23.66 และ 26.33 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control ยกเว้น Treatment ที่ 6 มีจำนวนรวงเท่ากับ 11 รวง/กอ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ Treatment ที่ 1 โดยสรุปได้ว่า Treatment ที่ 10 ที่ใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตรา 1,024 kg RP/ไร่ มีจำนวนรวงสูงที่สุด และเห็นได้ชัดเจนว่าใน Treatment ที่ 6 ซึ่งใส่ RP ในอัตราต่ำสุด และ มี Available P ในปริมาณที่ใกล้เคียงไม่แตกต่างกับ Treatment ที่ 2-5 แต่ข้าวใน Treatment ที่ 6 มีจำนวนรวงมากกว่า ใน Treatment ที่ 3 และ 4 แสดงว่า RP ค่อยๆปลดปล่อย ฟอสฟอรัสออกมาให้ข้าวได้ใช้ประโยชน์

จากผลการทดลองถึงผลตกค้างของปุ๋ยทั้ง2แหล่ง พบว่าแหล่งของปุ๋ยฟอสฟอรัสมีอิทธิพลต่อจำนวนรวงข้าว/กอ โดย Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate ส่วนใหญ่มีจำนวนรวงข้าวมากกว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate เกิดจากปริมาณ ฟอสฟอรัสก่อนปลูกใน Treatment ที่ไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate มีปริมาณ ปริมาณ P ต่ำกว่า Treatmentที่ใส่ Rock phosphate แสดงให้เห็นว่าปุ๋ย Rock phosphate ค่อยๆปลอดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา จึงทำให้มีฟอสฟอรัส ตกค้างให้ข้าวที่ปลูกในครั้งที่ 2 ได้ใช้ประโยชน์ ในขณะที่ ฟอสฟอรัสใน Treatment ที่ใส่ Diammonium phosphate เหลือ ฟอสฟอรัสตกค้างน้อยมากจึงทำให้ข้าวที่ปลูกใน Treatment ที่เคยใส่ Diammonium phosphate มีจำนวนรวง/กอต่ำ

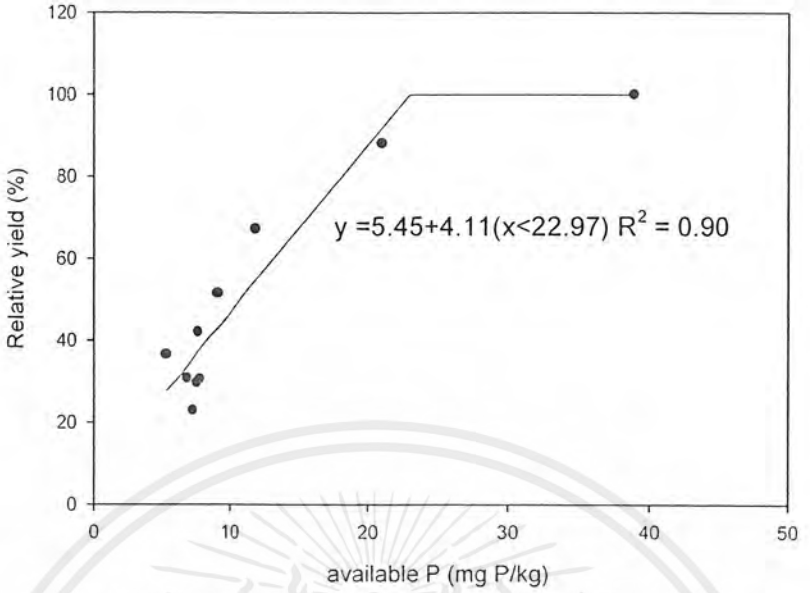
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลผลิตข้าว

จากการวิเคราะห์ตัวเลขทางสถิติของผลผลิต (ตารางที่3) พบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate และ Rock phosphate คือ Treatment ที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ให้ผลผลิตเท่ากับ 18.41, 13.71, 18.27, 17.75, 25.19 และ 30.84 กรัม/กระถาง ตามลำดับ พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control ให้ผลผลิตเท่ากับ 21.86 กรัม/กระถาง ส่วน Treatment ที่ 7 ไม่แตกต่างทางสถิติกับ Treatment ที่ 8 ให้ผลผลิตเท่ากับ 40.29 กรัม/กระถาง และ Treatment ที่ 9 และ 10 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ให้ผลผลิตเท่ากับ 52.83 และ 59.98 กรัม/กระถ่าง โดย Treatment ที่ 10 ให้ผลผลิตที่สูงสุด จะเห็นได้ว่าผลผลิตของข้าวสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสในดินก่อนปลูก

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate จะมีผลผลิตมากกว่าและแตกต่างจาก Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ยกเว้น Treatment ที่ได้ใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตราที่ต่ำสุด คือTreatment ที่ 6 เนื่องจากปุ๋ย Diammonium phosphate อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันทีและจะสามารถละลายออกมาได้เร็วและมากกว่า Rock phosphate พืชที่ปลูกในครั้งที่1 (การทดลองของพิพัฒน์) จึงดูดมาใช้ได้มากเป็นผลให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก Diammonium phosphate ตกค้างในดินปริมาณน้อยกว่า Rock phosphate ซึ่งจะค่อยๆปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์โดยสรุปแล้วผลของการตกค้างของปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 แหล่ง และอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะมีอิทธิพลต่อผลผลิตข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่1 ความสัมพันธ์ระหว่าง available P ก่อนปลูกกับผลผลิตสัมพัทธ์

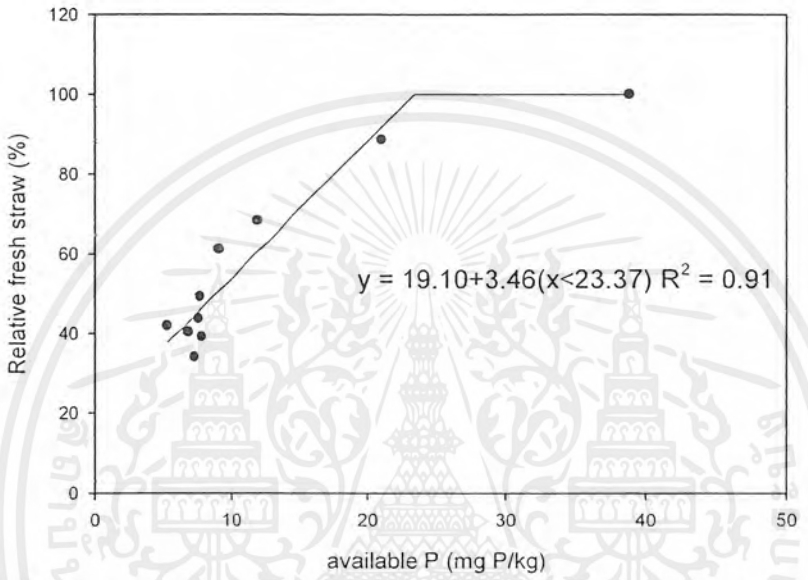
พบว่าในตำรับการทดลองที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphaste มีผลผลิตสัมพัทธ์สูงกว่าในตำรับการทดลองที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphaste ในตำรับการทดลองที่10 มีผลผลิตสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ถัดมาในตำรับการทดลองที่ 6, 7, 8 และ 9 มีผลผลิตสัมพัทธ์เท่ากับ 41.99, 51.41, 67.17 และ 88.07เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในตำรับการทดลองที่ 1, 2, 4 และ 5 มีผลผลิตสัมพัทธ์เท่ากับ 36.44, 30.69, 30.46 และ 29.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในตำรับการทดลองที่ 3 มีผลผลิตสัมพัทธ์ต่ำสุดเท่ากับ 22.85 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าผลผลิตข้าวมีการตอบสนองต่อฟอสฟอรัสเมื่ออยู่ที่ระดับ 22.97 mgP/kg

น้ำหนักสดตอซังข้าว

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักสดต่อซังข้าว (ตารางที่3) พบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate ทุกอัตรา และ Rock phosphateในอัตราที่ต่ำ คือ Treatment ที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มีน้ำหนักต่อซังข้าวเท่ากับ 66.79, 51.32, 59.07, 65.86, 74.25 และ 92.23 กรัม/กระถาง แตกต่างทางสถิติ เมื่อเทียบกับ Treatment ที่ 1 ที่เป็นกระถาง Control มีน้ำหนักต่อซังข้าวเท่ากับ 63.20 กรัม/กระถาง Treatment 6 7 และ 8 มีน้ำหนักต่อซังข้าวเท่ากับ 74.25, 92.23 และ 103.05 กรัม/กระถาง ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย Treatment ที่ 3 ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate มีน้ำหนักสดต่อซังข้าวน้อยที่สุดเท่ากับ 51.32 กรัม/กระถาง และมีน้ำหนักสดต่อซังข้าวสูงสุดใน Treatment ที่ 10 ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 151 กรัม/กระถาง จะเห็นได้ว่าTreatment ที่ได้รับผลตกค้างจาก ปุ๋ย Diammonium phosphateใน ทุกอัตราปริมาณการใส่ปุ๋ย และ Rock phosphateในปริมาณอัตราการใส่ปุ๋ยที่ต่ำ มีน้ำหนักสดตอซังข้าว น้อยกว่าและแตกต่างจากTreatment ที่เคยใส่ Rock phosphate ในปริมาณการใส่ปุ๋ยในอัตราที่สูงอย่าง ชัดเจน



ภาพที่2 ความสัมพันธ์ระหว่าง available P ก่อนปลูกกับน้ำหนักสดตอซังสัมพัทธ์

พบว่าในตำรับการทดลองที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphaste มีน้ำหนักสดตอซัง สัมพัทธ์สูงกว่าในตำหรับการทดลองที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphaste ในตำรับการทดลองที่ 10 มีน้ำหนักสดตอซังสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ถัดมาในตำรับการทดลองที่ 6 7 8 และ 9 มี น้ำหนักสดตอซังสัมพัทธ์เท่ากับ 49.17, 61.07, 68.24 และ 88.57 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในตำรับการ ทดลองที่ 1, 2, 4 และ 5 มีน้ำหนักสดตอซังสัมพัทธ์เท่ากับ 41.85, 44.23, 39.11 และ 43.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในตำรับการทดลองที่3มีน้ำหนักสดตอซังสัมพัทธ์ต่ำสุดเท่ากับ 33.98 เปอร์เซ็นต์ จาก กราฟความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักสดตอซังมีการตอบสนองต่อฟอสฟอรัสเมื่ออยู่ที่ระดับ 23.37 mgP/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 น้ำหนักผลผลิต น้ำหนักสดตอซัง น้ำหนักแห้งตอซัง น้ำหนักเมล็ดดี 1000 เมล็ด

Treatment	ผลผลิต (กรัม/กระถาง)	น้ำหนักสดตอซัง (กรัม/กระถาง)	น้ำหนักแห้ง ตอซัง (กรัม/กระถาง)	น้ำหนัก 1000 เมล็ด (กรัม)	% เมล็ดลีบ
T1	21.86cd	63.20cd	50.61de	25.16a	12.82ab
T2	18.41d	66.79cd	53.40de	23.30a	18.45a
T3	13.71d	51.32d	42.82e	28.14a	17.43a
T4	18.27d	59.07cd	47.33e	25.1a	8.87ab
T5	17.75d	65.86cd	52.75de	24.48a	10.02ab
T6	25.19dc	74.25bcd	63.25cde	25.61a	10.03ab
T7	30.84bc	92.23bc	80.27cd	25.19a	7.05ab
T8	40.29b	103.05b	90.54bc	25.18a	2.65b
T9	52.83a	133.75a	117.87ab	24.09a	11.27ab
T10	59.98a	151a	134.68a	25.83a	11.68ab
F-test					
Rep	ns	ns	ns	ns	ns
Trt	**	**	**	ns	ns
CV	20.39	20.13	22.92	15.64	57.67

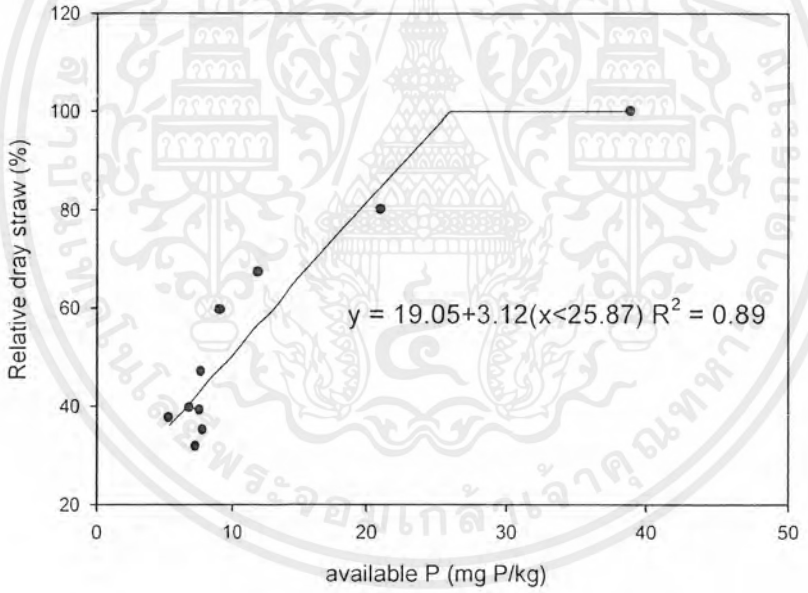
น้ำหนักแห้งตอซังข้าว

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่3) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลของน้ำหนักสดตอซังโดย Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate ทุกอัตราการใส่ปุ๋ย และ Rock phosphate อัตราการใส่ปุ๋ยที่ต่ำ คือ Treatment ที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มีน้ำหนักแห้งต่อซังข้าวเท่ากับ 53.40, 42.82, 47.33, 52.75, 63.25 และ 80.27 กรัม/กระถาง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ Treatment ที่ 1 ที่เป็นกระถาง Control มีน้ำหนักต่อซังข้าวเท่ากับ 50.61 กรัม/กระถาง พบว่าไม่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และ และ Treatment 6, 7 และ 8 มีน้ำหนักแห้งต่อซังข้าวเท่ากับ 52.75, 63.25 และ 90.54 กรัม/กระถางตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกัน โดย Treatment ที่ 3 ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate มีน้ำหนักสดต่อซังข้าวน้อยที่สุดเท่ากับ 42.82 กรัม/กระถาง และมีน้ำหนักสดต่อซังข้าวสูงสุดใน Treatment ที่ 10 ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate เท่ากับ 134.68 กรัม/กระถาง และ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ Treatment ที่ 9 ซึ่งมีน้ำหนักสดต่อซังข้าวน้อยที่สุดเท่ากับ 117.87 กรัม/กระถาง

จากผลการทดลองถึงผลตกค้างของปุ๋ยทั้ง2แหล่งพบว่าผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและอัตราปริมาณการใส่ปุ๋ยมีอิทธิพลต่อน้ำหนักสดและแห้งของตอซัง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ซึ่งตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate เพียงพอต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าว และมีผลที่ดีกว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate



ภาพที่3 ความสัมพันธ์ระหว่าง available P ก่อนปลูกกับน้ำหนักแห้งตอซังสัมพัทธ์

พบว่าในตำรับการทดลองที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphaste มีน้ำหนักแห้งตอซังสัมพัทธ์สูงกว่าในตำรับการทดลองที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphaste ในตำรับการทดลองที่10 มีน้ำหนักแห้งตอซังสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ถัดมาในตำรับการทดลองที่ 6 7 8 และ 9 มีน้ำหนักแห้งตอซังสัมพัทธ์เท่ากับ 46.96, 59.60, 67.22 และ 87.51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในตำรับการทดลองที่ 1, 2, 4 และ 5 มีน้ำหนักแห้งตอซังสัมพัทธ์เท่ากับ 37.57, 39.64, 35.14 และ 39.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในตำรับการทดลองที่3มีน้ำหนักแห้งตอซังสัมพัทธ์ต่ำสุดเท่ากับ 31.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ จากกราฟความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักแห้งตอซังมีการตอบสนองต่อฟอสฟอรัสเมื่ออยู่ที่ระดับ 25.87 mgP/kg

น้ำหนักเมล็ด 1000เมล็ด

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (ตารางที่3) พบว่าทุก Treatment ไม่แตกต่างทางสถิติ โดยค่าที่ได้มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทุก Treatment เมื่อคำนวณทางสถิติ จากผลแสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 ชนิดและอัตราปริมาณของปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อการสะสมน้ำหนักในเมล็ดข้าว

เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ

จากการวิเคราะห์ตัวเลขทางสถิติเปอร์เซ็นเมล็ดลีบของข้าว (ตารางที่3) พบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Diammonium phosphate และ Rock phosphate ทุก Treatment คือ Treatment ที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 มีจำนวนเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวเท่ากับ 18.45, 17.43, 8.87, 10.02, 10.03, 7.05, 2.65, 11.27 และ 11.68 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control ที่มีจำนวนเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวเท่ากับ 12.82 พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate คือ Treatment ที่ 2 และ 3 มีความแตกต่างทางสถิตกับ Treatment ที่ 8 และ Treatment ที่มีจำนวนเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวสูงที่สุด คือ Treatment ที่ 2

จากผลการทดลองถึงผลตกค้างของปุ๋ยทั้ง 2 แหล่ง พบ Treatment ที่ 2 และ 3 ที่มีจำนวนเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 18.45 และ 17.43 เปอร์เซ็น ซึ่งเป็นเพราะ ใน Treatment ที่ 2 และ 3 มีจำนวนเมล็ดลีบอยู่มาก เกิดจากความสมบรูณ์ของเมล็ดน้อยกว่า Treatment อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4 ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว ฟอสฟอรัสในตอซัง เมล็ดข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัส ตอซังดูดใช้ฟอสฟอรัส

Treatment	P in grain (%P)	P in straw (%P)	P uptake by grain (mg P/pot)	P uptake by straw (mg P/pot)	Total uptake P (mg P/pot)
T1	0.10d	0.03bcd	23.78d	15.74e	48.59fg
T2	0.10d	0.03cd	19.28d	23.15de	42.43fg
T3	0.11d	0.03d	16.74d	37.82a	32.48g
T4	0.13cd	0.04abcd	25.52d	24.07cde	49.59fg
T5	0.14cd	0.048ab	25.80d	32.44 cde	58.24ef
T6	0.13cd	0.049a	33.96d	40.33abc	74.29de
T7	0.14cd	0.04abcd	43.44d	40.31abc	83.75d
T8	0.18bc	0.04abc	74.80c	47.67ab	122.47c
T9	0.21ab	0.03cd	114.88b	45.37ab	160.25b
T10	0.26a	0.03abcd	158.64a	54.06a	212.70a
F-test					
Rep	ns	ns	Ns	ns	ns
Trt	**	*	**	**	**
CV	19.67	17.23	28.03	24.83	14.69

ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว

จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว (ตารางที่ 4) จะเห็นได้ Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate และ Rock phosphate ใน Treatment 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวเท่ากับ 0.1, 0.11, 0.13, 0.14, 0.13 และ 0.14 %P ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเทียบกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวเท่ากับ 0.1 %P แต่จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ Treatment ที่ 8-10 มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวเท่ากับ 0.14 0.21 และ 0.26 %P ตามลำดับ โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Treatment ที่ 9 และ 10 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม Treatment ที่ 10 มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 0.26 %P และมีน้อยที่สุดใน Treatment ที่ 1 และ 2 เท่ากับ 0.1 %P

จากการศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยทั้ง 2 แหล่งซึ่งในผลการทดลองพบว่า Treatment ที่ 10 ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate 1,024 kg RP/ไร่มาก่อน มีปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 0.26 %P ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติใน Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Diammonium phosphate ทุก อัตรา และ Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตราที่ต่ำกว่า เป็นเพราะว่าปุ๋ย Rock phosphate เป็นปุ๋ยซึ่งละลายช้าและค่อยๆปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา ทำให้ข้าวยังสามารถดูดกินฟอสฟอรัสได้สูงอยู่ และการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในสัดส่วนที่สูง ทำ ให้การเจริญเติบโตของข้าวดีกว่าตำรับที่มีการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในสัดส่วนต่ำ (ทัศนีย์,2542)

ฟอสฟอรัสในตอซัง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซัง (ตารางที่4) พบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate และ Rock phosphate ใน Treatment ที่ 4, 7, 8 และ 10 มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังเท่ากับ 0.04, 0.04, 0.04 และ 0.03 %P ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในTreatmentที่ 3 และ5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนใน Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate คือ Treatment ที่ 7, 8, 9 และ 10 ที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังเท่ากับ 0.04, 0.04, 0.03, 0.03 %P ตามลำดับ ก็พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control แต่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับ Treatment ที่ 6 ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate

จากการศึกษาผลการตกค้างของการทดลองปุ๋ย Diammonium phosphate และ Rock phosphate พบว่าปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มาจากทั้ง 2 แหล่งในแต่ละ Treatment จะมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังแตกต่างกันไม่ชัดเจน เพราะว่าฟอสฟอรัสของทุก Treatment มีการเคลื่อนย้ายไปยังเมล็ดข้าว

การดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว (ตารางที่4) จะพบว่าในที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ทุกอัตราไม่แตกต่างทางสถิติกับแปลงที่ 1 ซึ่งเป็นแปลง Control และ Treatment 6 และ 7 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวเท่ากับ 33.96 และ 43.44 mg P/pot แต่จะมีความแตกต่างกันทางสถิติในส่วนของ Treatment อื่นๆ คือ 8, 9 และ 10 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวเท่ากับ 74.80, 114.88 และ 158.64 mg P/pot ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะพบในว่า Treatment ที่ 10 มีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงที่สุด และมีน้อยที่สุดคือ Treatment ที่ 3 เท่ากับ 16.74 mg P/pot

จากการศึกษาผลการตกค้างของการทดลอง(ตารางที่1)เห็นได้ชัดเจนว่า Treatment ที่เคยใส่ Diammonium phosphate ทุกอัตรา และ การใส่ Rock phosphate ในอัตรา 64 และ 128 kg/ไร่ มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสโดยเมล็ดไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปริมาณ available P ในดินก่อนปลูกต่ำ ทำให้ข้าวดูดดึง ฟอสฟอรัสมาสะสมยังเมล็ดได้ไม่แตกต่างกัน แต่ใน Treatment ที่เคยใส่ Rock phosphate ใน Treatment ที่ 8, 9 และ10 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติเกิดจากอัตราการใส่ปุ๋ยที่มีอัตราใส่ปุ๋ยไม่เท่ากัน โดยพบในว่า Treatment ที่ 10 ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate มีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงที่สุด ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของเสกสรร(2547) เนื่องจากปุ๋ย Rock phosphate ที่ใช้ในอัตราสูงสุดมีการปลดปล่อยความเป็นประโยชน์ออกมาได้มากกว่าปุ๋ย Diammonium phosphate

การดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซัง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซัง (ตารางที่4) พบว่าใน Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Diammonium phosphate ใน Treatment ที่ 2, 4 และ 5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control แต่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับ Treatment ที่ 3 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังเท่ากับ 37.82 mg P/pot และ ส่วนใน Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Rock phosphate ใน Treatment ที่ 6, 7, 8 และ 9 ไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่จะแตกต่างกับ Treatment ที่ 10 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังเท่ากับ 54.06 mg P/pot

จากการศึกษาผลการตกค้างของการทดลองปุ๋ยทั้ง 2 แหล่ง พบว่า Treatment ที่ 10 มีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังสูงสุดเท่ากับ 54.06 mg P/pot และ ต่ำสุดใน Treatment ที่ 1 เท่ากับ 15.74 mg P/pot ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของเสกสรร(2547) ที่อธิบายว่าการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสจากตอซังไปยังเมล็ดทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังมีปริมาณน้อยลงไปด้วย

ผลรวมการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซัง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซัง(ตารางที่4)พบว่า Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Diammonium phosphate ใน Treatment ที่ 2, 3, 4 และ 5 มีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังเท่ากับ 42.43, 49.59 และ 58.24 mg P/pot ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นแปลง Control มีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังเท่ากับ 48.59 mg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P/pot แต่จะพบว่าใน Treatment ที่ 3 และ 5 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกัน แต่ใน Treatment ที่ 5 จะมีความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกันกับ Treatment ที่ 6 ซึ่งเป็น Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Rock phosphate และในตำหรับที่ 6 และ 7 ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Rock phosphate ที่เหลื่อคือ Treatment ที่ 8, 9, 10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่ง มีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังเท่ากับ 122.47, 160.25, 212.70 mgP/pot ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังสูงที่สุดใน Treatment ที่ 10 และต่ำสุดใน Treatment ที่ 3 เท่ากับ

จากการศึกษาผลการค้างของการทดลองปุ๋ย2แหล่งพบว่าTreatmentที่ใช้ปุ๋ย Rock phosphate มีค่าเฉลี่ยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังมากกว่าTreatmentที่ใช้ปุ๋ย Diammonium phosphate โดยสอดคล้องกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซัง

ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์ pH และ P ที่เป็นประโยชน์หลังการปลูก

Treatment	pH ของดินหลังปลูกข้าว	Available P ของดินหลังปลูกข้าว (mg / kg)
T1	5.38abc	3.36c
T2	5.28bcd	3.57c
T3	5.28bcd	3.95c
T4	5.33abcd	4.93c
T5	5.19d	4.32c
T6	5.23cd	3.95c
T7	5.27bcd	4.31c
T8	5.24cd	6.65bc
T9	5.5a	9.69b
T10	5.43ab	25.98a
F-test		
rep	ns	ns
trt	*	**
CV	1.743	26.207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pH ในดินหลังปลูก

จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าpHในดินหลังปลูกพบว่าเมื่อขังน้ำระดับ pH ของทุก Treatment มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับ pH ก่อนปลูกในช่วงขังน้ำอยู่ในช่วง 5.19 -5.5 เมื่อเทียบกับ pH ในดินก่อนปลูก 6.1 - 6.29 ซึ่งใน Treatment 9 มี ค่า pH ในดินหลังปลูกสูงสุด เท่ากับ 5.5 และ Treatment 5 มี ค่า pH ในดินหลังปลูกต่ำแต่สูงกว่า pH ก่อนปลูกขณะดินแห้งก่อนใส่ปูน หรือไม่ต้องเปรียบเทียบในสภาวะเดียวกัน

ฟอสฟอรัสในดินหลังปลูก

จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าฟอสฟอรัสในดินหลังปลูก พบว่า Treatment ที่ 10 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุดเท่ากับ 25.98 mgP/kg^{-1} และ น้อยที่สุด คือ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control โดยระดับฟอสฟอรัสในดินทุก Treatment มีค่าลดลงไปมากเมื่อเทียบกับระดับฟอสฟอรัสในดินก่อนปลูก เนื่องจากส่วนต่างๆของข้าวได้มีการดูดดึงความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนำไปใช้ในการเจริญเติบโตเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ระดับฟอสฟอรัสในดินลดน้อยลง ซึ่งในทุก Treatment ที่ใช้ปุ๋ย Diammonium phosphate และ Rock phosphate คือ Treatment ที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 3.57, 3.95, 4.93, 4.32, 3.93, 4.31 และ 6.65 mgP/kg^{-1} ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งเป็นกระถาง Control มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 3.36 mgP/kg^{-1} พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น Treatment ที่ 9 และ 10 ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 9.69 และ 25.98 mgP/kg^{-1} ที่มีความแตกต่างทางสถิติกับ Treatment ที่ 1 ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำสุด เนื่องจากผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate ใน Treatment ที่ 9 และ 10 มากตกค้างอยู่ในดินที่ทำการทดลอง มากว่าผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ใน Treatment ที่ 1

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในTreatmentที่10 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดเท่ากับ 25.98 mg / kg อาจเกิดจาก ผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate ใน Treatment ที่ 10 มากตกค้างอยู่ในดินที่ทำการทดลอง มากว่าผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphateใน Treatment ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่ง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด คือ Diammonium phosphate และ Rock phosphate พบว่า จากการตกค้างของปุ๋ย Diammonium phosphate มีการปลดปล่อยความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสได้เร็วกว่าและมากกว่า Rock phosphate จึงทำให้การทดลองในการปลูกข้าวครั้งที่ 2 ส่งผลให้ Treatment ที่เคยใส่ Rock phosphate ยังคงปลดปล่อยความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสอยู่และนานกว่า Treatment ที่เคยใส่ Diammonium phosphate และผลวิเคราะห์ดินก่อนการขังน้ำ pH อยู่ในช่วงระหว่าง 4.05 - 4.42 ซึ่งเป็นกรดรุนแรง มีผลต่อการเจริญและแผ่ขยายของรากข้าว ทำให้รากข้าวชะงักการเจริญเติบโต ทำให้การดูดธาตุอาหารถูกกำจัด จึงปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินโดยการขังน้ำและใส่ปูน หลังจากการขังน้ำเป็นเวลา 2 สัปดาห์ และใส่ปูน พบว่าค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 6.1 - 6.29 ซึ่งเป็นกรดเล็กน้อย เนื่องจากความเป็นกรดและถูกสะเทินด้วยปูนที่ใส่ลงไปการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีดังกล่าว สามารถลดความเป็นกรด ผลของAvailable P ในดินก่อนปลูก จะพบว่า ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกมีปริมาณ ที่แตกต่างกันในแต่ละ Treatment ซึ่งใน Treatment ที่ 10 มี Available P ในดินก่อนปลูก สูงสุด เท่ากับ 38.87 (mg/kg) และใน Treatment ที่ 1 มี Available P ในดินก่อนปลูก ต่ำสุด เท่ากับ 5.39 (mg/kg)

ความสูง จำนวนรวงต่อกอ และค่าเฉลี่ยจำนวนต้นต่อกอพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ผลตกค้างของปุ๋ยทั้ง 2 แหล่ง มีผลต่อการตอบสนองขององค์ประกอบผลผลิตของข้าว พบว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตรา 1,024 kg / ไร่ จะทำให้มีความสูง จำนวนรวง/กอ และจำนวนต้น/กอมากที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ทุกอัตรา และ Rock phosphate ในอัตรา 64, 128, 256 และ 512 kg / ไร่

ผลผลิตข้าวจะเห็นว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Rock phosphate จะมีผลผลิตมากกว่าและแตกต่างจาก Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ยกเว้น Treatment ที่ได้ใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตราที่ต่ำสุดคือ Treatment ที่ 6 เนื่องจากปุ๋ย Diammonium phosphate อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันทีและจะสามารถละลายออกมาได้เร็วและมากกว่า Rock phosphate

ผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและอัตราปริมาณการใส่ปุ๋ยมีอิทธิพลต่อน้ำหนักสด และแห้งของตอซัง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate ที่อัตรา 1,024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

kg/ไร่ เพียงพอต่อการเจริญเติบโตต่อลำต้นของข้าว และมีน้ำหนักสด และแห้งของตอซังมากกว่า Treatment ที่ได้รับผลตกค้างจากปุ๋ย Diammonium phosphate ทุกอัตรา ส่วนน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด พบว่าไม่ความแตกต่างทางสถิติซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ซึ่งตกค้างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง2แหล่งและอัตราของปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อการสะสมน้ำหนักในเมล็ดข้าว สรุปได้ว่าการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก Rock phosphate มีผลดีกว่า Diammonium phosphate และอัตราการใส่ปุ๋ย Rock phosphate คือ 1,024 kg/ไร่ มีผลดีตอการเจริญเติบโตของข้าวสูงสุด เพราะว่าปุ๋ย Rock phosphate เป็นปุ๋ยซึ่งละลายช้าและค่อยๆปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาทำให้ข้าวยังสามารถดูดกินฟอสฟอรัสได้สูง ส่วนของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวฟอสฟอรัสในตอซังและการดูดใช้ฟอสฟอรัสที่เมล็ดข้าวและตอซังอยู่ในแนวโน้มที่สูงมาก

ดังนั้นจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าควรแนะนำให้เกษตรกรใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตรา 1,024 kg/ไร่ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อผลผลิตของข้าวในระยะยาว เนื่องจากการใส่ปุ๋ย Rock phosphate ในอัตราที่สูงจะให้ปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังได้สูงที่สุดเป็นผลให้ข้าวเจริญเติบโตได้ดี โดยการใช้ต้องคำนึงถึงค่าความเป็นกรด-ด่างของดินด้วย เพราะปุ๋ย Rock phosphate จะละลายได้ดีใน pH ที่เป็นกรดอ่อนถึงกรดปานกลาง เพราะฉะนั้นก่อนการใส่ปุ๋ยจึงควรปรับค่า pH ในดินเสียก่อน จึงจะให้ผลผลิตได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ความรู้เรื่องดินสำหรับเยาวชน. 2553. ดินที่มีปัญหาในทางเกษตร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://oss101.ldd.go.th/web_soils_for_youth/chapter4.htm.

จำเป็น อ่อนทอง . 2550. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มอ. หน้า 91-128

บุญหงส์ จงคิด. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2531. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพฯ.

พิพัฒน์ ชัยพฤกษ์. 2553. หลักสูตรปฐพีวิทยา สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช;อิทธิพลของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อการปลูกข้าวในชุดดิน องครักษ์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

รสมาลิน ณ ระนอง. 2541. อิทธิพลของปุ๋ยหินฟอสเฟต และปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต ที่มีต่อระบบการปลูกข้าว-ถั่วเขียว ในชุดดินรังสิตประเภทที่เป็นกรดจัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เสกสรร เอกจิตร. 2547. การละลายและความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตต่อผลผลิตข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในดินเปรี้ยวจัด ชุดดินรังสิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 2535. คู่มือ การปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย. คณะกรรมการจัดกิจกรรม เพื่อเพิ่มกองทุน. หน้า 35-43

สัมฤทธิ์ ภู่รุ่งเรือง. 2544. ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด และดินเนื้อปูน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

สุมิตรา ภู่วโรดม. ปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง. 2551. ฟอสฟอรัส. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 114-125

Attanandana, T. 1982. Fertility problems of acid sulfate soils of Thailand. Ph.D.thesis.Kyoto University Kyoto, Japan.

Brady, N.C. 1974. The Nature and Properties of Soils (8th Edition). MacMillan Publishing CO., Inc., New York.

Havlin, J.L., J.D. Beaton S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7thed. Pearson Prentice Hall Inc., NewJersey.

Ishizuka, Y., A. Tanaka and O. Fujita. 1961. Inorganic of rice plants. b: Effect of iron, manganese and copper level in culture solution on yields and chemical compositions of the plant. Soil Sci. Plant Nutri. Abstr. 7: 41-42.

Iyamuremye, F., R. P. Dick and J. Baham. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamic: I. Phosphorus chemistry and sorption. Soil Sci. 16(7): 426-435.

Jackson, W. A. 1967. Physiological effect of soil acidity. Agron no.12. Amer. Soc. Of Agron. Inc. Publ., Madison, Wisconsin, USA. 274 p.

Kawaguchi, K. and K. Kyuma. 1969. Lowland Rice Soil in Thailand. Report on Research in Southeast Asia, National Science Series. No.4. The center for Southeast Asian studies, Kyoto University, Kyoto.

Sombutpanit, S. 1970. Thesis. Uppsala :royal agriculture college. *Cited by* Attanandana. 1990. Problems and amelioration of acid soils. *In* Soil and water analysis for characterization of acid sulfate soils. Course Manual. Dept. of Soil Faculty of Agr., Kasetsart Univ., Thailand.

Kevie, W. van der and B. Yenmanas. 1972. Detailed reconnaissance soil survey of Southern Central Plain area. *In* Soil Survey Report no. 89. Dept. of Land Development, Bangkok.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nhung, M. T. M. and F. N. Ponnamperuma. 1966. Effects of calcium carbonate, manganese dioxide, ferric hydroxide and prolonged flooding on chemical and electrochemical changes and growth of rice in a flooded acid sulphate soil. Soil Sci. 102(1): 29-41.

Park, Y. D. and A.Tanaka. 1968. Studies of the rice plant on and "Akiochi" soil in Korea. Soil Sci. and Plant Nutr. 14(1): 27-34.

Patrick, W. H., Jr. and F. T. Turner. 1968. Effect of redox potential on manganese transformation in waterlogged soils. Nature. 220: 476-478.

Ponnamperuma, F. N. 1964. Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant, pp. 259-328. *In* Proc. Symp. Mineral Nutr. Rice Plant. Maryland, USA.

Tadano, T. and S. Yoshida. 1978. Chemical changes in submerged soils and their effect on rice growth, pp 399-420. *In* Soils and Rice. Int. Rice Res Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.

Thawornwong, N. and A van Diest. 1974. Influence of high acidity and aluminum on the growth of lowland rice. Plant and Soil. 41: 141-159.

Tanaka, A. and S. A. Navasero. 1966 b. Growth of the rice plant on acid sulphate soils. Soil Sci. and Plant Nutr. 12(3): 23-33.

Tisdale, S.L., W.L. Nelson and J.D. Beaton. 1975. Soil Fertility and Fertilizers. 3rd ed., MacMillan Publ.Co., Inc., New York. 694 p.

Van Breemen, N. 1972. A detailed survey on the actual and potential soil acidity at the Bang Pakong Land Development Center, Thailand, pp. 159-168. *In* H. Dost (ed.). Acid Sulfate Soil. Proc. Int. Symp. LIRI. Pub. 18, Vol II. Wageningen, Netherlands.

Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines. 269 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้