



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา

ปฐพีวิทยา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การใช้ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อประเมินอัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส
สำหรับข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้าง

Use of Phosphorus Sorption Characteristic for Determining Rate and Type of
Phosphorus Fertilizers for Growing Rice on Acid Sulfate Soils with Residual Lime

นามผู้วิจัย นายพหล รักสำราจ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ศุภกิตา ธนะจิตต์, ประ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์วันเพ็ญ วิริยะจินตกุล, ประ.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อประเมินอัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส
สำหรับข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้าง

Use of Phosphorus Sorption Characteristic for Determining Rate and Type of Phosphorus
Fertilizers for Growing Rice on Acid Sulfate Soils with Residual Lime

โดย

นายพหล รักสำราจ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พหล รักสำรวจ 2554: การใช้ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อประเมินอัตราและชนิดของปุ๋ย
ฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้าง ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์ศุภิมา ธาระจิตต์, ปร.ด. 110 หน้า

ทำการศึกษาการตอบสนองของข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างต่ออัตราของ
ฟอสฟอรัสที่ได้มาจากลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดินได้แก่ ที่การดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน (P_{max})
ที่ครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน ($1/2 P_{max}$) ที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน 0.2
มก./ล (PBC) และอัตราฟอสฟอรัสที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตรเท่ากับ 157 มก./กก. และเปรียบเทียบชนิดของ
ปุ๋ยฟอสฟอรัส 2 ชนิด ได้แก่ ทรูปเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP) และหินฟอสเฟต (RP) ดำเนินการจำนวน 4 ซ้ำ ปัก
ดำกล้าข้าวที่มีอายุ 15 วันในกระถางภายในเรือนทดลอง ทุกต้นรับการทดลองรองพื้นด้วยปุ๋ยยูเรีย และปุ๋ย
โพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตรา 0.81 และ 0.31 ก./กก. ตามลำดับ และแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรียที่ระยะก้านิดช่อดอกอีก
ในอัตรา 0.81 ก./กก.

ดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์ (Ok) และบางน้ำเปรี้ยว (Bp) มีพีเอชสนามเท่ากับ 5.0 และ 8.5
ตามลำดับ ดินองครักษ์มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงกว่าดินบางน้ำเปรี้ยวเกือบสองเท่าโดยมีค่า
เท่ากับ 802 เปรียบเทียบกับ 424 มก./กก. แต่ที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน 0.2 มก./ล กลับมี
ปริมาณใกล้เคียงกันโดยมีค่าเท่ากับ 398 และ 327 มก./กก. ตามลำดับ

ข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างจะตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างเด่นชัด เมื่อมี
การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองมีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูง การแตกกอ และให้ผลผลิตเมล็ดสูง
กว่าข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ที่ยังคงมีความเป็นกรดรุนแรงตอบสนองต่อปุ๋ยทรูปเบิล
ซูเปอร์ฟอสเฟตโดยให้น้ำหนักเมล็ดดีเท่ากับ 192 ก./กระถาง แต่ในดินบางน้ำเปรี้ยวข้าวมีการตอบสนองบ้าง
ต่อทรูปเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในชุดดินองครักษ์เข้าสู่ระยะ
ก้านิดช่อดอกและออกดอกเร็วที่สุด โดยให้ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 143 ก./กระถาง ในขณะที่ชุดดินบางน้ำเปรี้ยว
ข้าวจะตอบสนองต่อฟอสฟอรัสที่อัตรา PBC ในด้านการเจริญเติบโตเท่านั้น โดยการให้ฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำ
มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดดีสูงที่สุดเท่ากับ 109 ก./กระถาง ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับการให้ฟอสฟอรัสที่อัตรา PBC
(102 ก./กระถาง)

การใช้ทรูปเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีแนวโน้มลดการดูดซับฟอสฟอรัสของดินได้มากกว่าการใช้หิน
ฟอสเฟต เช่นเดียวกับการให้ฟอสฟอรัสในอัตราสูงจะส่งผลให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินลดลงมากกว่าใน
อัตราต่ำ แต่การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $1/2 P_{max}$ ส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าที่สุด และการไม่ให้ฟอสฟอรัส
มีแนวโน้มให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าสูงที่สุด

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Phahon Ruksumruad 2011: Use of Phosphorus Sorption Characteristic for Determining Rate and Type of Phosphorus Fertilizers for Growing Rice on Acid Sulfate Soils with Residual Lime. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Miss Suphicha Thanachit, Ph.D. 110 pages.

A study on the response of rice, RD. 43 variety, grown on acid sulfate soils with residual lime to rates of phosphate calculated from P adsorption characteristics such as P adsorption capacity (P_{max}), half of P_{max} , 0.2 mg P L^{-1} (PBC) and the rate of 157 mg kg^{-1} recommended by DOA and to different types of phosphate, including TSP and RP was conducted, employing four replications. Rice seedling at 15 days old was planted in pot under greenhouse cover. Urea and KCl at the rates of 0.81 and 0.31 g kg^{-1} were used as top dressing for all treatments and the former at the rate of 0.81 g kg^{-1} was also additionally applied at flowering stage.

The acid sulfate soils, Ongkaruk (Ok) and Bang Nam (Bp) Prieu soil series, had field pH of 5.0 and 8.5, respectively. The former soil had almost twice higher phosphate adsorption than did the latter soil with the value of 802 mg kg^{-1} compared to 424 mg kg^{-1} but the adsorption content at the concentration of 0.2 mg P L^{-1} in soil solution was rather similar (398 and 327 mg kg^{-1} , respectively).

Rice grown on acid sulfate soils with residual lime clearly responded to P fertilizer when applied P with height, number of tillering and seed yield being higher than those without P fertilization. The rice grown on Ok soil series of which the soil remained very acidic responded well to TSP, giving a 192 g of seed per pot whereas the other soil responded slightly to this P fertilizer. Phosphorus application at P_{max} induced the plant to reach flowering stage faster than did the other rates and gave the highest yield of 143 g per pot when grown on Ok soil series while rice grown on Bp soil series only responded to P at the rate of PBC in the case of vegetative growth. Phosphorus application at recommended rate gave the highest seed yield of 109 g per pot which was similar to the yield of 102 g per pot when applied at PBC rate.

The use of TSP tended to lower P adsorption in these soils than did the use of rock phosphate. Likewise, the high rate of P application can decrease more P adsorption than can the low rate. Applying P at $\frac{1}{2} P_{max}$ resulted in the lowest amount of P at PBC and no P application tended to give the highest content of P at PBC.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ศุภิมา ณะจิดต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักเป็นอย่างสูง
ที่ให้โอกาสทางการศึกษาและกรุณาให้คำแนะนำแก้ไขมาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร. สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และ ดร. วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ร่วม สำหรับกำลังใจและคำแนะนำดี ๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์
ดร. อัญชลี สุทธิประการ ประธานการสอบ และ ศาสตราจารย์ ดร. เอิบ เขียวรัตน์รมณ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ
ที่ช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบคุณ คุณอรรถชัย บรมบัญญัติ คุณเฉลิมราช จิตเจริญพร พี่จิตติรัตน์ ชูชาติ
พี่กมลวรรณ เหล่าพุดกิจ พี่ฐานนท์ เจริญชาติศรีและเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ชาวปฐพีวิทยาทุกคน ที่คอย
ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา และมีรูปภาพที่ตีเสมอ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวรักสำรวจที่คอยอบรมสั่งสอนและให้การ
สนับสนุนด้านการศึกษาตลอดมา ประโยชน์ใด ๆ อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบให้
ครอบครัวและอาจารย์ที่ปรึกษา

พหล รักสำรวจ

มิถุนายน 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	16
ผลและวิจารณ์	23
ผล	23
วิจารณ์	75
สรุปและข้อเสนอแนะ	80
สรุป	80
ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	82
ภาคผนวก	92
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 สมบัติของดินชุดดินองครักษ์ และชุดดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้างก่อนทำการทดลอง	24
2 การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร	25
3 ปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เทียบเท่ากับอัตราของฟอสฟอรัสที่ประเมินมาจากลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์ และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว โดยใช้สมการฟรอนดริน	27
4 ปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้างหลังจากเก็บเกี่ยวข้าว	74
 ตารางผนวกที่	
1 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	93
2 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนการแตกกอของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	94
3 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	95
4 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	96
5 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนรวง และน้ำหนักแห้งต่อชั่งของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	97
6 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	98
7 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารรองของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
8 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารรองของข้าวที่ปลูกในดินongครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	100
9 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารรองของข้าวที่ปลูกในดินongครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	101
10 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าพีเอชของดินongครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้างหลังจากเก็บเกี่ยวข้าว	102
11 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินongครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้างหลังจากเก็บเกี่ยวข้าว	103
12 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่ปลูกในดินongครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	104
13 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารรองของข้าวที่ปลูกในดินongครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	105
14 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารที่ปลูกในดินongครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง	106
15 เกรณท์ที่ใช้ประเมินสมบัติทางเคมีของดิน	107

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์ (ก) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (ข) โดยใช้สมการฟรูนคลิช	26
2	ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	28
3	ผลของอัตราฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	29
4	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	30
5	ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อจำนวนการแตกกอของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	32
6	ผลของอัตราฟอสฟอรัสต่อจำนวนการแตกกอของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	33
7	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสต่อจำนวนต้นต่อกระถางของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	34
8	ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	35
9	ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	36
10	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	37
11	ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	38
12	ผลของอัตราฟอสฟอรัสต่อผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	39
13	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	43
15	ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	44
16	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	45
17	ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนรวงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	46
18	ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนรวงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	47
19	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนรวงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	48
20	ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	50
21	ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	51
22	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	52
23	ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูใช้แมกนีเซียม และแคลเซียมของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	55
24	ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูใช้แมกนีเซียม และแคลเซียมของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	56
25	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูใช้แมกนีเซียม และแคลเซียมของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ผลของชนิดปุ๋ย ที่มีผลต่อการดูดใช้เหล็กและสังกะสีของข้าวที่ปลูกในดิน องครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	59
27	ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้เหล็กและสังกะสีของข้าวที่ปลูกใน ดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	60
28	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้เหล็ก และสังกะสีของ ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	61
29	ผลของชนิดปุ๋ย ที่มีผลต่อการดูดใช้แมงกานีส และทองแดงของข้าวที่ปลูก ในดิน องครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	63
30	ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้แมงกานีสและทองแดงของข้าว ที่ปลูกในดินองครักษ์ และบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	64
31	ผลของชนิดและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้แมงกานีส และ ทองแดงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	65
32	ผลของชนิดปุ๋ยที่มีผลต่อค่าพีเอชของดินที่ใช้ปลูกข้าวในดินองครักษ์ และดิน บางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	67
33	ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าพีเอชของดินที่ใช้ปลูกข้าวในดินองครักษ์ และบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	68
34	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าพีเอชของดินที่ใช้ปลูกข้าวในดิน องครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	69
35	ผลของชนิดปุ๋ยที่มีผลต่อค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ใช้ปลูกข้าว ในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	70
36	ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ใช้ ปลูกข้าวในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	71
37	ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าความเป็นประโยชน์ของ ฟอสฟอรัสที่ใช้ปลูกข้าวในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง	72
38	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้าง ชุดดินองครักษ์ (ก) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (ข) โดยใช้สมการพหุนาม	73

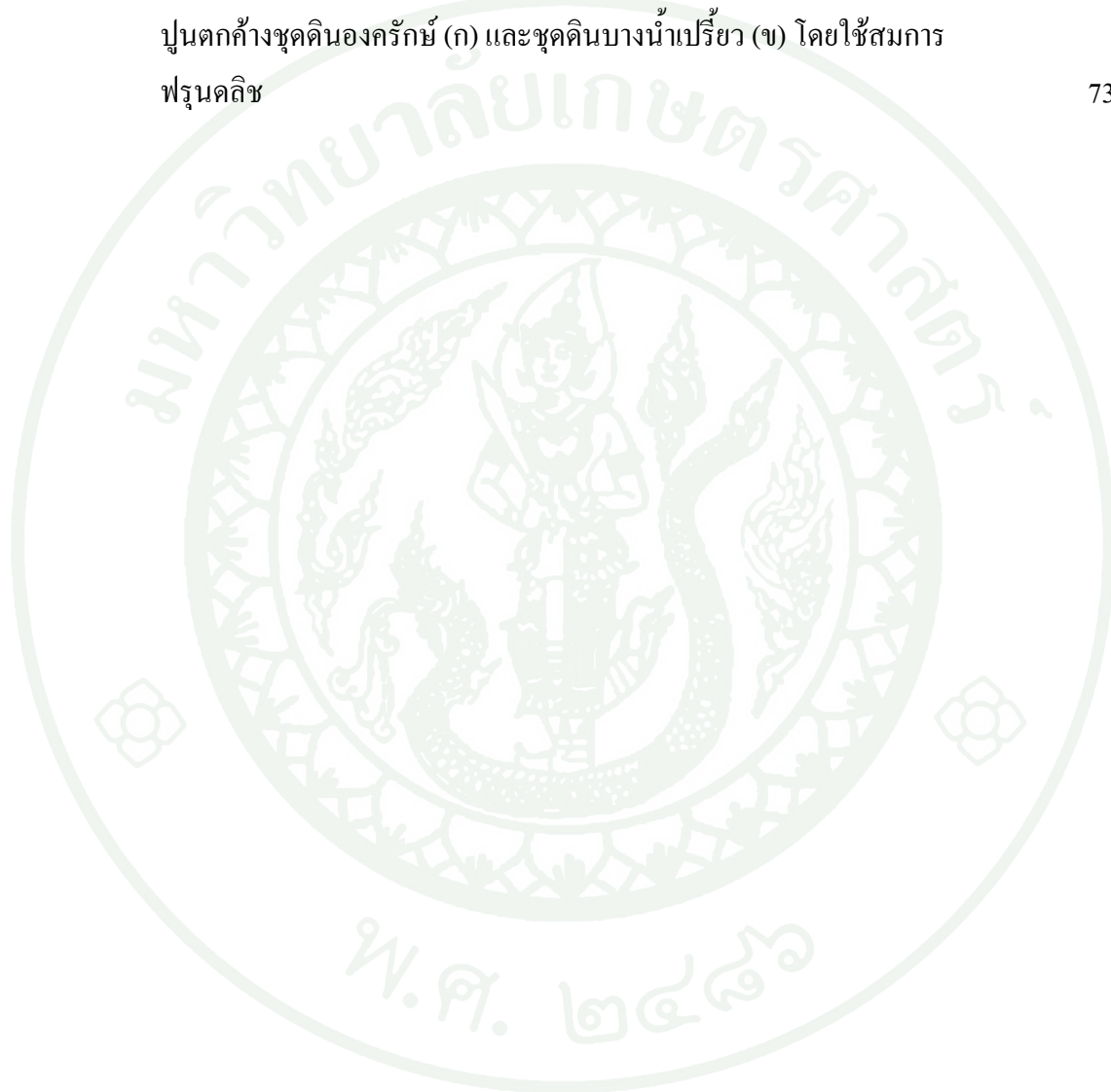
สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- 39 ผลของอัตราของฟอสฟอรัสต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มี
ปูนตกค้างชุดดินองครักษ์ (ก) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (ข) โดยใช้สมการ
ฟรูนคลิช

73



การใช้ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อประเมินอัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส สำหรับข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้าง

Use of Phosphorus Sorption Characteristic for Determining Rate and Type of Phosphorus Fertilizers for Growing Rice on Acid Sulfate Soils with Residual Lime

คำนำ

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีปัญหาทางการเกษตร พบมากในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางซึ่งเป็นพื้นที่ผลิตข้าวแหล่งใหญ่ของประเทศ ดินเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จาโรไซด์ในชั้นดินล่าง มีความเป็นกรดรุนแรง ซึ่งโดยทั่วไปมีพีเอชต่ำกว่า 4 มีปริมาณเหล็ก อะลูมินัม และซัลเฟตที่ละลายน้ำออกมามากจนอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Brady and Weil, 2008) และเป็นดินที่มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูง (สัมฤทธิ์, 2544; Jugsujinda *et al.*, 1978; Sanyal *et al.*, 1993) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเหล็กและอะลูมินัม โดยเฉพาะในรูปออกไซด์ (Sanchez, 1976) ที่มีอยู่มากในสารละลายดินจะดูดซับฟอสฟอรัสไว้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความเป็นประโยชน์ลดลง (Curtin and Syers, 2001; Brady and Weil, 2008) ฟอสฟอรัสจึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญ ทำให้ผลผลิตข้าวที่ได้ต่ำ ถึงแม้จะมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มเติมก็ตาม (Attananadana, 1982; กรมพัฒนาที่ดิน, 2532)

จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีการแนะนำให้ใช้หินฟอสเฟตแทนปุ๋ยอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด โดยหินฟอสเฟตจะละลายอย่างช้า ๆ ซึ่งในสภาพที่เป็นกรดรุนแรงนี้จะค่อยๆ ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา (เสกสรร, 2547; Brady and Weil, 2008) แต่หินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (ประพิศ และ วิศิษฐ์, 2532) ซึ่งอาจไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าวในช่วงแรกของการเจริญเติบโตจึงอาจจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมาก (Attananadana *et al.*, 1981) อย่างไรก็ตามพีเอชของดินกรดจะสูงขึ้นเมื่อทำการขังน้ำ ส่งผลให้ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์มากขึ้น (ทัศนีย์, 2550) แต่ในกรณีของดินเปรี้ยวจัดซึ่งมีพีเอชที่ต่ำมากจะไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ การเพิ่มขึ้นของพีเอชดินจึงเป็นไปได้ช้า ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใส่ปูนเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ (Attananadana *et al.*, 1981; Suswanto, 2007) Thanachit *et al.* (2007) รายงานว่าสมบัติของดินเปรี้ยวจัดบางชนิดบริเวณภาคกลางของประเทศได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่เคยมีการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ (พรทิวา, 2532) โดยเฉพาะในดินบนแสดงให้เห็นว่าปูนที่ใส่

ลงใต้นั้นยังคงตกค้างอยู่ในระดับรากพืชเท่านั้น และอาจจะมีผลต่อปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสของดินด้วย การศึกษาครั้งนี้จึงน่าจะทำได้ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้เป็นแนวทางในการจัดการดินทางการเกษตรให้เหมาะสมกับสภาพของดินที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะการจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสให้เหมาะสมกับสมบัติของดินเปรี้ยวจัดที่ยังคงมีอิทธิพลของปูนตกค้างอยู่



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและประเมินความต้องการฟอสฟอรัสของข้าวจากลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้าง
2. เพื่อศึกษาการตอบสนองต่ออัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้าง



การตรวจเอกสาร

1. ดินเปรี้ยวจัด (Acid sulfate soils)

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่เป็นกรดจัดเนื่องจากกรดกำมะถัน ซึ่งเกิดจากการออกซิไดซ์ของแร่ไพไรต์ (FeS_2) ที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนทะเลและตะกอนน้ำกร่อยและมีปริมาณเกลือซัลเฟตที่ละลายน้ำได้มากกว่าร้อยละ 0.05 นอกจากนี้ จะพบลักษณะจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จาโรไซต์ภายในหน้าตัดดิน อาจจะมีหรือได้มี กรดกำมะถันเกิดขึ้นในหน้าตัดดิน ซึ่งความเป็นกรดนี้มากพอที่จะมีผลเสียต่อสมบัติของดิน หรือดินที่มีชั้นดินล่างวินิจัยซัลฟิวริก (sulfuric horizon) หรือ สารประกอบซัลไฟด์ (sulfidic material) หรือทั้งสองอย่างอยู่ภายในความลึก 125 เซนติเมตร (Hanhart and Ni, 1993; Dent and Pons, 1995; Husson *et al.*, 2000; Soil Survey Staff, 2006)

2. ลักษณะของดินเปรี้ยวจัด

ดินเปรี้ยวจัดส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อละเอียด พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จาโรไซต์ (jarosite) ในชั้นดินล่าง มีความเป็นกรดรุนแรง โดยพีเอชต่ำกว่า 4 ส่งผลให้เหล็กและอะลูมิเนียมเกิดการละลายออกมาจากจนอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษ รวมทั้งสารประกอบต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชต่ำโดยเฉพาะฟอสฟอรัสและสภาพที่เป็นกรดรุนแรงนี้ไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Pone and Breemen, 1981; Dent and Pons, 1995)

3. กระบวนการเกิดดินเปรี้ยวจัด

การกำเนิดของดินเปรี้ยวจัดประกอบด้วยกระบวนการทางธรณีวิทยา และกระบวนการทางดิน โดยเกี่ยวข้องกับการสะสมสารประกอบซัลไฟด์ในวัตถุต้นกำเนิดดิน และการออกซิเดชันของแร่ไพไรต์เกิดเป็นกรดกำมะถัน ทำให้เกิดเป็นชั้นดินเปรี้ยวจัด (Dent and Pons, 1995; Husson *et al.*, 2000)

3.1 กระบวนการทางธรณีวิทยา (Geological process)

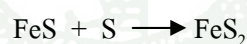
เป็นกระบวนการการสะสมตะกอนของน้ำทะเล และน้ำกร่อยเป็นส่วนใหญ่ เมื่อมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายง่าย มีปริมาณซัลเฟตและเหล็กอยู่ในตะกอนในสภาพที่มีออกซิเจนจำกัด สารประกอบซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์โดยจุลินทรีย์พวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน เช่น *Desulfovibrio* และ *Desulfotomaculum spp.* โดยเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบซัลไฟด์ โดยเฉพาะในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังสมการ



ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ที่มีอยู่ในสารละลายดินเกิดเป็นตะกอนของสารประกอบเฟอร์รัสซัลเฟต (FeS) ดังสมการ



สารประกอบเฟอร์รัสซัลเฟตจะมีการจัดเรียงตัวกันแน่นเข้าและแปรสภาพต่อไปเป็นแร่ไพไรต์ (FeS_2) ดังสมการ



การเกิดและการสะสมตะกอนของไพไรต์จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ ในสภาวะเหมาะสม ดังกล่าว ต่อมาเมื่อพื้นที่เกิดการขุดระดับ ดินมีการระบายน้ำและมีการถ่ายเทอากาศดีขึ้น กระบวนการนี้จะสิ้นสุดลง

3.2 กระบวนการทางดิน (Pedologenic process)

เมื่อดินมีการระบายน้ำออกไป และมีการถ่ายเทอากาศดีขึ้น ไพไรต์ในดินจะถูกออกซิไดซ์จากทั้งกระบวนการเคมีและชีววิทยา (Pons and Breeman, 1978) กล่าวคือ ไพไรต์ในดินจะเริ่มถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนที่แทรกซึมลงมาจากอากาศ กระบวนการทางเคมีอาจแสดงด้วยปฏิกิริยาดังสมการ



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาแรกที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะเมื่อดินยังมีสภาพเป็นกลาง หรือ เป็นกรดอย่างอ่อน

ต่อมาเมื่อพีเอชดินต่ำลง เนื่องจากในแต่ละครั้งที่ไพไรต์ถูกออกซิไดซ์จะมีการปลดปล่อยกรดออกมา ทำให้ค่าพีเอชดินลดต่ำลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเมื่อพีเอชลดต่ำกว่า 3 แร่ไพไรต์จะถูกออกซิไดซ์ในสภาพที่มีออกซิเจน เกิดเป็นเฟอร์รัสไอออน และกำมะถัน ดังสมการ



ขณะที่พีเอชของดินลดลง สภาพต่างๆ ไปจะเหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์พวก *Thiobacillus thiooxidans* และพวก *Thiobacillus ferrooxidans* ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในดิน จะทำออกซิไดซ์กำมะถันให้กลายเป็นกรดซัลฟิวริกดังสมการ



เมื่อดินมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น ไพไรต์จะถูกออกซิไดซ์โดยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ดังสมการ



กำมะถันที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นกรดซัลฟิวริกไอออนในสภาพดินเป็นกรดจัดเช่นนี้เฟอร์รัสไอออนจะถูกออกซิไดซ์โดย *Thiobacillus ferrooxidans* ให้กลายเป็นเฟอร์ริกไอออน ดังสมการ



ซึ่งเฟอร์ริกไอออนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากแร่ไพไรต์ อาจกล่าวได้ว่า เฟอร์ริกไอออนสามารถทำการออกซิไดซ์ไพไรต์ได้เรื่อยๆ ตราบเท่าที่ยังมีไอออนนี้อยู่ในดิน

ไอออนต่าง ๆ เหล่านี้จะทำปฏิกิริยาต่อไปเกิดการตกตะกอนเป็นสารประกอบจาโรไซต์ $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ และแร่เกอไทต์ (goethite, FeOOH) ออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ของเฟอร์ริก อุดมฐานด้วย (van Breemen, 1976)

ดังนั้นความเป็นกรดที่รุนแรงของดินเปรี้ยวนี้เกิดจากไฮโดรเจนไอออนที่เกิดขึ้นใน สมการดังกล่าว และเกิดจากการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) ของแร่จาโรไซต์ ดังนั้นความรุนแรง ของกรดขึ้นอยู่กับระดับความลึกของดินที่พบแร่จาโรไซต์

4. ประเภทของดินเปรี้ยวจัด

ดินเปรี้ยวจัด สามารถจำแนกได้ 3 ประเภทดังนี้

4.1 ดินเปรี้ยวจัดแท้จริง (Actual acid sulfate soil)

เป็นดินที่พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซต์อยู่ในดินล่างชั้นใด ชั้นหนึ่งของหน้าตัดดิน ดินมีสภาพความเป็นกรดจัดจนเป็นอุปสรรคต่อการเพาะปลูกพืช และมี ปริมาณอะลูมิเนียมและเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ค่อนข้างสูง (Brinkman and Pons, 1972)

4.2 ดินเปรี้ยวจัดศักย์ (Potential acid sulfate soil)

เป็นดินที่มีปริมาณอนุโมลซัลไฟด์ โดยเฉพาะไพไรต์สูงประมาณร้อยละ 1-2.5 แต่มี ปริมาณเบสชนิดต่างๆ ต่ำ ดินชั้นบนมีสภาพเป็นกลาง หรือ เป็นด่างอ่อน (pH 7.0-8.0) โดยส่วน ใหญ่อยู่ในสภาพน้ำท่วมขัง อย่างไรก็ตาม หากแร่ไพไรต์ถูกการออกซิไดซ์ จะเกิดการปลดปล่อย กรดกำมะถันจึงทำให้กลายเป็นดินเปรี้ยวจัดได้

4.3 ดินเปรี้ยวจัดเทียม (Pseudo or para acid sulfate soil)

เป็นดินซึ่งเคยมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นในหน้าตัดดิน แต่ในระหว่างการเกิดดินนั้นกรด กำมะถันถูกชะล้าง หรือถูกทำให้เป็นกลาง จนมีปริมาณเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยไม่ถึงกับเป็นอันตราย หรือ เป็นอุปสรรคต่อการเพาะปลูกพืช แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงพบจาโรไซด์ในชั้นดินล่าง และยังคง

มีปริมาณเกลือซัลเฟตที่ละลายน้ำได้ และร้อยละของการอิ่มตัวของออสโมมิ้นท์ค่อนข้างสูง ส่วนปริมาณอะลูมิเนียมในสารละลายดินจะมีอยู่น้อย และไม่ถึงขั้นที่จะเป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูกได้

5. การแจกกระจายดินเปรี้ยวจัด

ดินเปรี้ยวจัดเกิดได้ทุกสภาพอากาศ แต่ส่วนใหญ่พบอยู่ในเขตร้อนชื้น และพบส่วนใหญ่ในทวีปแอฟริกาตะวันตก เอเชียใต้ และ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมเป็นพื้นที่ประมาณ 107 ล้านไร่ (Andriessse and Mensvoort, 2002)

Kevie and Yenmanas (1972) รายงานไว้ว่าดินเปรี้ยวจัดในประเทศไทยมีทั้งหมดประมาณ 1.5 ล้านเฮกตาร์ หรือ 9.425 ล้านไร่ ส่วนใหญ่แจกกระจายอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณที่เป็นดินตะกอนน้ำกร่อย และตะกอนชายฝั่งทะเลตะวันออกของอ่าวไทย ครอบคลุมพื้นที่หลายจังหวัด ได้แก่ จังหวัดปทุมธานี นครนายก ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี สระบุรี พระนครศรีอยุธยา นครปฐม กรุงเทพมหานคร และสุพรรณบุรี

โดยทั่วไปดินเปรี้ยวจัดส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่ม ประกอบด้วยเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง จึงมีศักยภาพต่อการทำการนาข้าว แต่มีข้อจำกัดที่สำคัญได้แก่ ความเป็นกรดของดิน Kevie and Yenmanas (1972); Changprai *et al.* (1982) จึงได้กำหนดชั้นความเหมาะสมของดินเหล่านี้ต่อการปลูกข้าว โดยใช้ความลึกการพบจาโรไฮต์ในหน้าดินเป็นเกณฑ์ออกเป็น 3 ชั้นความเหมาะสม ดังนี้

1. ชั้น P-IIa เป็นดินที่มีกรดเป็นอุปสรรคต่อการปลูกพืชไร่ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 3,004,440 ไร่ โดยดินเหล่านี้พบจาโรไฮต์ที่ระดับความลึกมากกว่า 100 เซนติเมตร ดินบนมีพีเอชต่ำกว่า 5 เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีการระบายน้ำเลว และมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ได้แก่ ชุดดินอยุธยา มหาโพธิ์ เสนา และท่าขวาง

2. ชั้น P-IIIa เป็นดินที่เหมาะสมต่อการทำนาปานกลางโดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรคในการปลูกข้าว ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1,334,000 ไร่ ต้องมีการจัดการดินเป็นพิเศษเพื่อปลูกข้าวเป็นดินลึก มีการระบายน้ำเลว มีความเป็นกรดสูง พีเอชดินต่ำกว่า 4.5 พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไฮต์ ภายในความลึก 40-100 เซนติเมตร ได้แก่ ชุดดินรังสิต และธัญญบุรี

3. ชั้น P-IVa ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 525,060 ไร่ เป็นดินที่ไม่เหมาะสมสำหรับทำนาเพราะดินมีความเป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งยากต่อการปรับปรุงแก้ไขจะต้องมีการจัดการดินอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษสำหรับทำนา โดยดินเหล่านี้พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซต์ภายในความลึก 40 เซนติเมตร และมีพีเอชต่ำกว่า 4.0 ได้แก่ ชุดดินชะอำ รังสิตกรวดจัด และองครักษ์

6. ฟอสฟอรัสในดินเปรี้ยวจัด

ดินเปรี้ยวจัดมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำมาก เนื่องจากเกิดการจับตัวกับเหล็กและอลูมิเนียมที่มีอยู่ในสารละลายดินมากเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน พืชจึงไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (Violante *et al.*, 1991; Curtin and Syers, 2001) ทั้งนี้กระบวนการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน ได้แก่ การดูดซับฟอสฟอรัส (phosphorus sorption)

หลังจากการขังน้ำ 1 วัน ฟอสฟอรัสปุ๋ยที่ใส่ลงไปดินร้อยละ 90 จะถูกตรึงโดยเหล็กและอลูมิเนียมในรูปที่ละลายน้ำหรือแลกเปลี่ยนได้ รวมทั้งไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม (Sample *et al.*, 1980) ประพิศ และคณะ (2528) ได้รายงานว่าการตรึงฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัด 5 ชนิด ได้แก่ดิน brackish water alluvial soils (ASS), fresh water alluvial soils (FWA), reddish brown lateritic soils (RBL), grumusols และ noncalcic brown soils (NCB) และจะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อพีเอชดินเท่ากับ 5 และเมื่อทำการขังน้ำนานขึ้น พีเอชดินจะค่อยๆ ปรับตัวสูงขึ้น การตรึงฟอสฟอรัสของดินก็จะลดลง

7. การดูดซับฟอสฟอรัสในดินเปรี้ยวจัด

การดูดซับฟอสฟอรัสเป็นกระบวนการที่ฟอสฟอรัสถูกดูดซับอยู่ที่ผิวหน้าของของแข็งในสารละลายดิน (Inner-sphere ligand exchange) เกิดการสร้างพันธะที่แข็งแรงกว่าพันธะอิเล็กตรอนธรรมดา เมื่อมีการใส่ฟอสฟอรัสลงไปในดิน อัตราการดูดซับฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก หลังจากนั้น อัตราการดูดซับจะเริ่มลดลงจนกระทั่งคงที่ และเข้าสู่สภาวะสมดุล (equilibrium) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับสารประกอบอนินทรีย์ และสารประกอบอินทรีย์ในดิน ซึ่งสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับฟอสฟอรัสฟอสฟอรัสในดินได้

การประเมินการดูดซับฟอสฟอรัส เรียกว่า Phosphorus sorption isotherm ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการศึกษาการดูดซับฟอสฟอรัสของดิน เพื่อประเมินความต้องการฟอสฟอรัสของพืช

โดยนำสารละลายดินที่มีฟอสฟอรัสในความเข้มข้นต่างๆ ไปเขย่า จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ปริมาณฟอสฟอรัสที่หายไปหลังเข้าสู่สมดุลจะถือว่าถูกดูดซับโดยดิน แสดงให้เห็นถึงปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับ เป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุล ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซับหรือปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในสารละลายดิน จึงมีความสำคัญทั้งด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อม (Frossard *et al.*, 1995)

ดินเปรี้ยวจัดมีอัตราการดูดซับฟอสฟอรัสสูงมากกว่าดินนาทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเหล็กและอะลูมิเนียมที่มีในปริมาณที่มีอยู่มากจึงดูดซับฟอสฟอรัสทำให้ความเป็นประโยชน์ลดต่ำลง (Khare *et al.*, 2004) การศึกษาของ Sanyal *et al.* (1993) รายงานว่าดินเปรี้ยวจัดที่มีค่าพีเอชอยู่ในพิสัย 3.13-4.40 จำนวน 6 บริเวณในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัย 1,797-3,004 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพีเอชที่ต่ำกว่ามีแนวโน้มให้ดินดูดซับฟอสฟอรัสไว้สูงกว่า

สัมฤทธิ์ (2544) รายงานว่า ดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิตกรดจัดมีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงกว่าชุดดินรังสิตและชุดดินมโนรมย์ และเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูงขึ้นจะส่งผลให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินทั้งสามเพิ่มขึ้น โดยการใส่ปุ๋ยอัตรา 50 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับโดยดินทั้งสาม มีค่าเท่ากับ 49.7, 49.3 และ 49.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่การใส่ปุ๋ยอัตรา 300 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 289.0, 231.3 และ 217.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่เมื่อคิดเป็นร้อยละการดูดซับฟอสฟอรัสของแต่ละอัตรากลับมีค่าลดลงจาก 99.3, 98.7 และ 98.0 เป็น 96.3, 77.1 และ 72.6 ตามลำดับ

Quang and Dufey (1995) รายงานว่า การขังน้ำจะส่งผลให้ดิน Sulfic Tropaeque ในบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของสามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขง มีการดูดซับฟอสฟอรัสสูงกว่าการไม่ขังน้ำ โดยดินจะมีการดูดซับฟอสฟอรัสสูงที่สุดเมื่อทำขังน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามในระยะ 16 วัน ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของดินไม่มีความแตกต่างกันเมื่อมีการขังน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง และเมื่อระยะเวลาการขังน้ำนานขึ้น มีแนวโน้มให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินเพิ่มขึ้น โดยหลังจากการขังน้ำไปแล้ว 56 วัน ส่งผลให้มีดินมีดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด ทั้งที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Zhang and Lin (2002) โดยหลังจากการขังน้ำไปแล้ว 7 วัน การดูดซับฟอสฟอรัสของดินทั้งสองค่อนข้างคงที่ แต่อย่างไรก็ตาม ดินนาในอันดับเอ็นทิกซอลส์จะมีการดูดซับฟอสฟอรัสสูงกว่าดินนาในอันดับอัลทิกซอลส์

8. การประเมินความต้องการฟอสฟอรัสของพืชจากลักษณะของการดูดซับฟอสฟอรัสของดิน

Phosphorus sorption isotherm เป็นเทคนิคที่นิยมนำไปใช้ในการคาดคะเนความต้องการฟอสฟอรัสของพืช เนื่องจากให้รายละเอียดเกี่ยวกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน (intensity) และปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับโดยดิน (quantity) ที่สมดุล (Kamprath and Watson, 1980) โดย Ozanne and Shaw (1967) ได้กำหนดว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สมดุล จะเป็นค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ทำให้พืชเจริญเติบโตสูงสุดเรียกว่า Phosphorus buffer capacity ซึ่งเป็นปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ในการให้คำแนะนำปุ๋ยฟอสฟอรัส

Fox *et al.* (1970) ทำการทดลองการปลูกข้าวฟ่างในประเทศอเมริกาจำนวน 3 ดิน พบว่าในดิน Georgeville ที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว และดิน Norfolk ที่มีเนื้อดินเป็นทราย ผลผลิตข้าวฟ่างจะสูงที่สุดเมื่อมีฟอสฟอรัสในสารละลายดินเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายดินเท่ากับ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร จะให้ผลผลิตข้าวฟ่างที่ปลูกบนดิน Portsmouth ที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วนมีผลผลิตสูงที่สุด ซึ่งให้ผลแตกต่างจากการทดลองของ Samadi (2003) ที่พบว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินที่ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ผลผลิตข้าวสาลีสูงที่สุด

9. การแก้ไขปัญหาดินเปรี้ยวจัดทางการเกษตร

การแก้ไขในดินเปรี้ยวจัดทำได้ยากเนื่องจากค่าความเป็นกรดที่ส่งผลต่อปริมาณเหล็ก อะลูมินัม และซัลเฟตที่ละลายน้ำออกมามากจนอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชต่ำโดยเฉพาะฟอสฟอรัส (Brady and Weil, 2008) เป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตข้าวต่ำ ถึงแม้จะมีการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมก็ตาม (Attananadana, 1982; กรมพัฒนาที่ดิน, 2532) ซึ่งแนวทางที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวประกอบด้วย

9.1 การชะล้าง

การใช้น้ำชะล้างดินเพื่อชะละลายกรดออกไปเพื่อเพิ่มค่าพีเอช สามารถดำเนินการโดยการปล่อยน้ำให้ท่วมขังแปลงสักระยะหนึ่งแล้วจึงระบายน้ำออก โดยในช่วงการระบายน้ำประมาณ 1-2 สัปดาห์ต่อครั้ง การชะล้างควรเริ่มในฤดูฝนเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำในชลประทาน การใช้น้ำชะล้างความเป็นกรดต้องกระทำอย่างต่อเนื่องจึงจะได้ผล วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด แต่

จำเป็นต้องใช้น้ำมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2532) การศึกษาของ Attanandana (1982) ได้ดำเนินการชะล้างกรดในชุดดินธัญบุรีที่ปลูกข้าวในสภาพดินนาติดต่อกันเป็นเวลา 3 ปี พบว่า การชะล้างไม่มีผลต่อผลผลิตข้าว

9.2 การขังน้ำ

ดินนาทั่วไป เมื่อทำการขังน้ำพีเอชของดินจะค่อยๆ ปรับให้เข้ากลาง (ทัศนีย์, 2550; Brady and Weil, 2008) โดยดินที่เป็นกรดพีเอชจะเพิ่มสูงขึ้น จะลดการละลายของเหล็กและอะลูมิเนียมลง จึงลดการตรึงฟอสฟอรัส แต่ในกรณีของดินเปรี้ยวจัดซึ่งมีพีเอชที่ต่ำมากซึ่งไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ จึงทำให้การเพิ่มขึ้นของพีเอชดินเป็นไปอย่างช้า ๆ โดยดินเปรี้ยวจัดที่มีพีเอชอยู่ในพิสัย 3.4-4.9 เมื่อทำการขังน้ำไปแล้ว 1 เดือน ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอยู่ในพิสัย 6.5-7.0 (ทัศนีย์, 2550) นอกจากนี้ Attanandana (1982) รายงานว่า เมื่อทำการขังน้ำก่อนปลูกข้าว 5-6 สัปดาห์ ในชุดดินธัญบุรี จะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 7.7

9.3 การใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส

เนื่องจากสภาพที่เป็นกรดรุนแรงของดินเปรี้ยวจัดส่งผลให้เหล็กและอะลูมิเนียมละลายออกมามากในสารละลายดิน ปฏิกิริยาฟอสฟอรัสที่ละลายไปในดินจะเกิดการละลายอย่างรวดเร็ว จึงเกิดการดูดซับกับเหล็กและอะลูมิเนียมที่พบอยู่มากเกิดการตกตะกอนเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ส่งผลให้พืชไม่สามารถใช้ได้ จึงได้มีการแนะนำให้ใช้หินฟอสเฟตแทนสำหรับข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด โดยที่ความเป็นกรดที่รุนแรงนั้นจะค่อย ๆ ละลายฟอสฟอรัสออกมาจากหินฟอสเฟต แต่อาจจะไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต (กรมพัฒนาที่ดิน, 2532; Brady and Weil, 2008) แต่อย่างไรก็ตามหินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (ประพิศ และ วิศิษฐ์, 2532) ประกอบกับหินฟอสเฟตที่ใช้ต้องมีคุณภาพดี และใช้ในปริมาณที่มากกว่าการใช้ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตถึง 5 เท่าจึงจะเพียงพอ (Attanandana and Vaccharotayan, 1981)

เสกสรร (2547) ทำการทดลองในกระถางเพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส (ทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต) และหินฟอสเฟต 4 ชนิด (Jordan rock phosphate, Gafsa rock phosphate, Taiba rock phosphate และ Kanchanaburi rock phosphate) ที่มีต่อผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินรังสิตกรดจัด พบว่า ข้าวจะตอบสนองต่อทั้งปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสและหินฟอสเฟต โดยการใส่ปุ๋ยทั้งสองชนิดจะให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสามฤดูการปลูก

นอกจากนี้ข้าวจะตอบสนองต่อปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตเฉพาะในฤดูกาลนั้นๆ ในขณะที่หินฟอสเฟตจะมีผลตกค้างไปถึงข้าวในฤดูกาลถัดไป ซึ่งทำให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าผลตกค้างที่มาจากปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Sawudyothin (1987) ที่พบว่า การใช้หินฟอสเฟตส่งผลให้ผลผลิตข้าวที่ปลูกบนดินอครักษ์สูงกว่าการใช้ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต นอกจากนี้พบว่าการใช้หินฟอสเฟตส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าการใช้ ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตในทุกระยะการเจริญเติบโตข้าว

9.4 การใส่ปุ๋ย

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีพีเอชที่ต่ำมากซึ่งไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ เมื่อทำการขังน้ำ การเพิ่มขึ้นของพีเอชดินจึงเป็นไปได้อย่างช้า ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ โดยการใส่ปุ๋ยจะช่วยยกระดับค่าพีเอชดินให้สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการละลายของเหล็กและอะลูมิเนียมลงช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสอยู่ในสารละลายดิน (Iyamuremye *et al.*, 1996) นอกจากนี้ช่วยเพิ่มธาตุแคลเซียมแก่พืชด้วย และส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน

Suswanto *et al.* (2007) รายงานว่าการใช้หินปูนแมกนีเซียมบดอัตรา 4 ตันต่อเฮกตาร์ และร่วมกับการใช้ปุ๋ย 120-16-120 กิโลกรัม ในโตรเจน-ฟอสฟอรัส-โพแทสเซียม ต่อเฮกตาร์ จะทำให้ข้าวที่ปลูกในดิน Typic Sulfosaprist ในประเทศมาเลเซีย ให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 14.17 ตันต่อเฮกตาร์

ถึงแม้ว่าการใส่ปุ๋ยแต่ละครั้งมีผลตกค้างในดินนาน 4-5 ปี ก็ตาม (Panichpong, 1982) แต่การศึกษาของ Brinkman *et al.* (1993) รายงานว่าการแก้ปัญหาความเป็นกรดของดินเปรี้ยวจัดในประเทศเวียดนาม จะต้องใส่ปุ๋ยในอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ หากไม่มีการชะล้างดินก่อน แต่หากทำการชะล้างด้วยน้ำดินก่อน ปุ๋ยที่ใส่จะใช้ในอัตราต่ำลงครึ่งหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามอิทธิพลของปุ๋ยจะแสดงเฉพาะในฤดูกาลเพาะปลูกเท่านั้น เมื่อดินแห้งก็จะเกิดความกรดขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นเกษตรกรมีความจำเป็นที่จะต้องใส่ปุ๋ยอย่างต่อเนื่องในการทำการเกษตรเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ โดยเฉพาะช่วง 20 ปีที่ผ่านมาจึงน่าที่จะส่งผลต่อสมบัติดินโดยเฉพาะดินบน เนื่องจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปในนั้นจะไปทำปฏิกิริยาลดความเป็นกรดของดินที่ความลึกระดับรากพืชเท่านั้น (เสรี, 2528; Prabuddham, 1982)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. พืชที่ใช้ในการศึกษา: ข้าวพันธุ์ กข 43

ข้าวเป็นธัญพืชประเภทหญ้า จัดอยู่วงศ์ Gramineae มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Oryza sativa* L. ระบบรากเป็นแบบรากฝอย ลำต้นเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งออกเป็นปล้องๆ โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว ปกติมีประมาณ 20-25 ปล้อง ใบประกอบด้วย กาบใบและแผ่นใบ

ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ กข 43 ได้แก่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ประมาณ 95 วัน เป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคไหม้และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลปานกลาง คุณภาพของเมล็ดดีทางการหุงต้มรับประทานดี ข้าวสุกนุ่ม มีกลิ่นหอม (กรมวิชาการเกษตร, 2541)

2. ดินตัวแทนที่ใช้ในการศึกษา

2.1 ดินชุดดินองครักษ์ (Ongkharak series: Ok)

ชุดดินองครักษ์จัดจำแนกในกลุ่มดินย่อย Sulfic Tropaquepts (กองตำรวจดิน, 2526) พบเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 0.53 ของพื้นที่ทั้งประเทศ โดยพบมากในจังหวัดปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพมหานคร และสมุทรปราการ และมักใช้ในการปลูกข้าว เป็นดินที่เกิดมาจากตะกอนน้ำทะเลผสมน้ำกร่อย (brackish deposit) ดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน ดินบนหนาประมาณ 30 เซนติเมตร มีสีดำหรือสีเทาเข้ม พบจุดประสีแดงปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่ ดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก (pH 4.0-4.5) ดินล่างความลึกตั้งแต่ 30 เซนติเมตรลงไป ดินมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทาและเป็นดินเลนสีเทาเข้ม มีจุดประสีแดง สีน้ำตาลแก่ ดินเป็นกรดรุนแรงมากโดยมีพีเอชต่ำกว่า 4 ดินล่างตอนล่างความลึกประมาณ 120 เซนติเมตร เป็นดินเลนเหนียวทะเลสีเทาถึงสีเทาเข้ม พีเอชดินเป็นกรดรุนแรงมาก (pH 4.5) และพบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซด์ภายในความลึก 40 เซนติเมตรซึ่งโดยทั่วไปเป็นดินที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว (P-IVa) เนื่องจากความเป็นกรดที่รุนแรงมาก (Kevie and Yenmanas, 1972; Changprai *et al.* 1982)

2.2 ดินชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (Bang Nam Priao Series: Bp)

ชุดดินบางน้ำเปรี้ยวจัดจำแนกในกลุ่มดินย่อย Typic Tropaquepts. (กองสำรวจดิน, 2526) ซึ่งจัดเป็นดินเปรี้ยวจัดศักย์มักพบจุดประสีเหลืองฟางข้าวในระดับความลึกมากกว่า 100 เซนติเมตร พบเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 0.11 ของพื้นที่ทั้งประเทศ โดยพบมากในจังหวัด ฉะเชิงเทรา จังหวัดปทุมธานีและมักใช้ในการปลูกข้าว เป็นดินที่เกิดมาจากตะกอนน้ำทะเลผสมน้ำ กร่อย (brackish water alluvial soil) ดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน ดินบนหนาประมาณ 35 เซนติเมตร มีสีเทาเข้มถึงสีเทาเข้มมาก ดินเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH 4.0-6.0) ดินล่างมีความ ลึกตั้งแต่ 35 เซนติเมตรไปลง ดินมีสีน้ำตาลปนเทาและมีจุดประสีเหลืองปนน้ำตาล สีน้ำตาลปนแดง สีแดงปนเหลือง พืชดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 4.0-6.5) พบชั้นดินเลนที่สีเทาปนเขียว ที่ความลึกประมาณ 150 เซนติเมตรลงไป

3. แผนที่ดินมาตราส่วน 1:100,000 ของจังหวัดปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพมหานคร สมุทรสาคร สมุทรปราการและฉะเชิงเทรา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2515; 2524)

4. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ urea (46-0-0), triple super PHOSPHATE (0-46-0), potassium chloride (0-0-60) และ rock phosphate (0-3-0)

5. อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน

6. เครื่องมือการสำรวจดินภาคสนาม

7. อุปกรณ์สำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน

8. สารเคมีในการกำจัดแมลงศัตรูพืช ได้แก่ benfuracarb triazophos

9. อุปกรณ์ เครื่องมือ และเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดิน และพืชในห้องปฏิบัติการ

วิธีการ

การศึกษาประกอบด้วย 2 การทดลอง ดังนี้

1. การศึกษาลักษณะดูดซับฟอสฟอรัส (Phosphorus sorption characteristic) และสมบัติดินบางประการ

1.1 การเก็บตัวอย่างดิน

1.1 ศึกษาชนิด ปริมาณ และการแจกกระจายของดินเปรี้ยวจัดในบริเวณที่ราบภาคกลางตอนใต้ โดยใช้ข้อมูลจากแผนที่ดินมาตราส่วน 1:100000 ของกองสำรวจดิน ออกสำรวจภาคสนามเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกพื้นที่ที่เป็นตัวแทนศึกษา ได้แก่ ชุดดินองครักษ์และชุดดินบางน้ำเปรี้ยวซึ่งใช้ในการปลูกข้าว

1.2 ทำการเก็บตัวอย่างดินที่แปลงเกษตรกรที่ใช้ปลูกข้าวที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นชุดดินองครักษ์อยู่ในบริเวณ ต.นพรัตน์ อ.หนองเสือ จ.ปทุมธานี (47P 0694972E, 156 8258N) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยวอยู่ในบริเวณ ต.บึงบอนใหญ่ อ.หนองเสือ จ.ปทุมธานี (47P 0701853E, 153 7032N) โดยดินทั้งสองมีพีเอชสนามของดินบนเท่ากับ 5.0 และ 8.5 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดินเหล่านี้จะมีอิทธิพลของปูนตกค้างอยู่

1.2 วิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ

นำตัวอย่างดินที่ได้มาผึ่งให้แห้งในร่ม บดให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย

1.2.1 การกระจายขนาดของอนุภาคดิน (soil particle size distribution) โดยวิธีแยกด้วยตะแกรง (sieving method) ในขนาดอนุภาคทรายและโดยวิธีไปเปต (pipette method) (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) ในขนาดอนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียว ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993)

1.2.2 พีเอชดิน (soil pH, pH) วัดโดยใช้เครื่องมือวัดค่าพีเอชดิน (pH meter) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (Thomas, 1996; National Soil Survey Center, 1996)

1.2.3 ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965)

1.2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) โดยการย่อยสลายด้วย Tri acid mixture ($\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ mixture) (Yoshida *et al.*, 1971) และวิเคราะห์ฟอสฟอรัสโดยวิธี vanado-molybdate yellow color และวัดปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

1.2.5 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) โดยการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) จากนั้นวิเคราะห์ฟอสฟอรัสโดยใช้วิธี Molybdate blue method และวัดปริมาณด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร (Murphy and Riley, 1962)

1.2.6 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available potassium) โดยใช้สารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Pratt, 1965) แล้ววัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAs)

1.2.7 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934; Walkley, 1935; Nelson and Sommers, 1996) และคำนวณหาปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{Organic matter} = \text{Organic carbon} \times 1.724$$

1.2.8 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity: CEC) โดยการชะละลายแคตไอออนด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7) และแทนที่แอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10% ในสภาพที่เป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณหาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Chapman, 1965)

1.2.9 ปริมาณเบสที่สกัดได้ (Extractable bases) โดยการสกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตที่เป็นกลาง (Peech, 1945) แล้ววัดปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAs)

1.2.10 ปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้ (Extractable acidity) โดยวิธี barium chloride triethanolamine pH 8.2 (Peech, 1965)

1.2.11 วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก แมงกานีส และอะลูมิเนียมในรูปอิสระ โดยวิธี Dithionite-citratebicarbonate (Mehra and Jacson, 1960) และวัดปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS)

1.2.12 วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก แมงกานีส และอะลูมิเนียมในรูปออกไซด์ โดยวิธี Ammonium oxalate (McKeague and Day, 1966) แล้ววัดปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS)

1.2.13 การดูดซับฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิคงที่ (Phosphorus sorption isotherm) โดยดัดแปลงมาจาก Fox and Kamprath (1970)

ทำการชั่งตัวอย่างดิน 3 กรัม ใส่หลอดเหวี่ยงขนาด 40 มิลลิลิตร จำนวน 5 หลอด เติมสารละลาย 0.01M CaCl_2 ที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสจาก KH_2PO_4 เท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 30 มิลลิลิตร เติมโหล่อื่นลงไปหลอดละ 2 หยด ปิดหลอด ทำการเขย่าสารละลายดินทุกวัน วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที เป็นเวลา 12 วัน จากนั้นนำไป centrifuge ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที นำสารละลายใสที่ได้ไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัส โดยใช้วิธี Molybdate blue method และวัดปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร (Murphy and Riley, 1962) และคำนวณหาปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสโดยใช้สมการ Freundlich ดังนี้

$$x = kc^B$$

โดยที่ x เป็นค่าการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน (P_{max}) ที่ประเมินได้จากสมการ
 ฟรอนดลิช มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม ($mg\ P\ kg^{-1}$)
 c เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายที่จุดสมดุลมีหน่วยเป็นมิลลิกรัม
 ฟอสฟอรัสต่อลิตร ($mg\ P\ L^{-1}$)
 k เป็นค่าสัมประสิทธิ์ฟรอนดลิช
 B เป็นค่า bonding energy ของสมการฟรอนดลิช

2. การศึกษาการตอบสนองต่ออัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวพันธุ์ กข. 43

2.1 การวางแผนการทดลอง

การศึกษาการตอบสนองต่ออัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าว โดยใช้ข้าว
 พันธุ์ กข. 43 เป็นพืชทดสอบ วางแผนการทดลองแบบ $2 \times 4 + 1$ Factorial in Completely Randomised
 จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย

ปัจจัยที่ 1 เป็นชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส ได้แก่

T0 = ไม่มีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส

T1 = การใช้ทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (triple super phosphate: TSP)

T2 = การใช้หินฟอสเฟต (rock phosphate: RP)

ปัจจัยที่ 2 เป็นอัตราของฟอสฟอรัส ได้แก่

R0 = ไม่ใส่ฟอสฟอรัส ($0\ mg\ P\ kg^{-1}$)

R1 = ฟอสฟอรัสที่ระดับการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน (P_{max})

R2 = ฟอสฟอรัสที่ระดับครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน
 ($\frac{1}{2} P_{max}$)

R3 = ฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้น เท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร
 (Phosphorus buffer capacity: PBC)

R4 = ฟอสฟอรัสในอัตราที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร (2532) เท่ากับ
 157 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม

2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินองครักษ์และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร มาผึ่งลมให้แห้ง แล้วย่อยให้มีขนาดเล็กลง นำเศษซากพืชทิ้ง นำใส่กระถางเพื่อใช้ในการปลูกข้าว ชุคดินละ 36 กระถาง โดยใช้ดินจำนวน 8 กิโลกรัมต่อกระถาง

2.3 การเตรียมกล้าข้าว

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ กข. 43 แช่น้ำ 1 คืน แล้วหุ้มด้วยผ้าขาวบางไว้ 2 วัน เมื่อเมล็ดงอกนำไปหว่านในกระบะเพาะกล้า เมื่อกกล้าอายุได้ 15 วัน เคลื่อนย้ายไปปักดำในกระถาง

2.4 การปลูกข้าว

นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ใส่ น้ำ ทำเทือก ทำการขังน้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นทำการใส่ปุ๋ยในโตรเจน 504 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อกิโลกรัมในรูปของยูเรีย และปุ๋ยโพแทสเซียม 260 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกิโลกรัมในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์ และใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราตามตำรับทดลอง ทำการคลุกตัวอย่างดินและปุ๋ยให้เข้ากัน จากนั้นปักดำกล้าข้าวพันธุ์ กข. 43 จำนวน 3 ต้นต่อกระถาง และเมื่อถึงระยะกำเนิดช่อดอก (ประมาณ 40 วัน) ทำการใส่ในโตรเจนแต่งหน้าในอัตรา 504 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อกิโลกรัม

ทำการรักษาระดับน้ำในกระถางให้ได้ 5 เซนติเมตรอยู่เสมอตลอดการทดลอง สำหรับการดูแลรักษาและการกำจัดวัชพืชได้ดำเนินการตามคำแนะนำทั่วไป

2.5 การเก็บข้อมูล

2.5.1 ความสูงของต้นข้าว ทำการวัดความสูงของต้นข้าวที่ระยะแตกกอ ระยะกำเนิดช่อดอก และระยะออกดอก

2.5.2 จำนวนต้นต่อกระถาง ทำการนับจำนวนที่ระยะแตกกอ ระยะกำเนิดช่อดอก และระยะออกดอก

2.5.3 จำนวนวันที่แตกกอ กำเนิดช่อดอก และออกดอก ทำการบันทึกวันที่แตกกอ กำเนิดช่อดอก และออกดอก ของต้นข้าว

2.5.4 ผลผลิตเมล็ดข้าวและตอซัง ทำการชั่งน้ำหนักเมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว ประมาณ 90 วัน หลังจากปักดำ

2.5.5 ทำการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละกระถาง หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว เรียบร้อยแล้ว เพื่อวิเคราะห์พีเอช ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และการดูดซับฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิ คงที่

2.6 การวิเคราะห์พืช

นำเมล็ดข้าว และตอซังไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบด ให้ละเอียด และวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหาร

2.6.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยการย่อยสลายด้วย digestion mixture ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-Se}$ mixture) และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธีการกลั่นโดยวิธีวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965)

2.6.2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการย่อยสลายด้วย Tri acid mixture ($\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ mixture) (Yoshida *et al.*, 1981) และวิเคราะห์ฟอสฟอรัสโดยวิธี vanado-molybdate yellow color และวัดปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

2.6.3 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และ ทองแดงทั้งหมด โดยการย่อยสลายด้วย Tri acid mixture ($\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ mixture) (Mill and Jones, 1996) จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAs)

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสถิติ SPSS (version 13.0) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ขึ้นไป

สถานที่ทำการวิจัย

1. เรือนทดลองภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาการวิจัย

ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2553 ถึง เมษายน 2554

ผลและวิจารณ์

ผล

ผลการศึกษาการใช้ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อประเมินอัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินองครักษ์ (Ok) และดินชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (Bp) ที่มีปูนตกค้างในเรือนทดลอง ประกอบด้วย

1. การศึกษาสมบัติบางประการของดิน

ดินเปรี้ยวจัดชุดดินองครักษ์ และดินชุดดินบางน้ำเปรี้ยวที่ใช้ทำการศึกษา พบว่าเป็นดินเปรี้ยวจัดที่อาจได้รับอิทธิพลมาจากปูนเนื่องจากมีพีเอชสนามเท่ากับ 5.0 และ 8.5 ตามลำดับ ซึ่งดินองครักษ์จะมีความเป็นกรดรุนแรงกว่าดินบางเปรี้ยว โดยมีพีเอชดินที่วัดในน้ำมีค่าเท่ากับ 3.6 และ 5.1 สำหรับดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวตามลำดับ สอดคล้องกับกรดที่แลกเปลี่ยนได้สูงมีค่าอยู่ในพิสัย 33-39 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และร้อยละความอิ่มตัวเบสที่อยู่ในระดับปานกลางมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 14.27-21.43 โดยในดินองครักษ์ แคลเซียมเป็นเบสที่มีมากที่สุด ขณะที่ในดินบางน้ำเปรี้ยวแมกนีเซียมจะเป็นเบสที่มีมากที่สุด ดินที่ใช้ในการศึกษาทั้งสองมีสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในพิสัย 1.2-2.2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งแสดงว่าความเค็มไม่มีปัญหาต่อการปลูกข้าว เนื้อดินเป็นดินเหนียว สอดคล้องกับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่อยู่ในระดับสูงมีค่าอยู่ในพิสัย 43.99-60.27 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1)

ดินเปรี้ยวจัดชุดดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้างมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 21.8 กรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 177 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 3.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินบางน้ำเปรี้ยวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 47.6 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าเท่ากับ 332 และ 10.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 1)

เมื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินดังแสดงในตารางที่ 2 ตามหลักเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินที่ได้มาจากการประเมินสมบัติทางเคมีของดินบางประการ ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และอัตราร้อยละความ

อิมัตวเบส (กองสำรวจดิน, 2523; Land Classification Division, 1973; FAO Project Staff, 1973) พบว่า ดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างทั้งสองมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง โดยดินองครักษ์มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง อัตราร้อยละความอิมัตวเบส และฟอสฟอรัสอยู่ในระดับต่ำ ส่วนดินบางน้ำเปรี้ยวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง อัตราร้อยละความอิมัตวเบสอยู่ในระดับต่ำ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง

ตารางที่ 1 สมบัติของดินชุดดินองครักษ์ และชุดดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้างก่อนทำการทดลอง

Soil properties	Ok soil	Bp soil
Sand (g kg ⁻¹)	91	49
Silt (g kg ⁻¹)	289	331
Clay (g kg ⁻¹)	620	620
Soil texture	Clay	Clay
Field pH	5.0	8.5
pH 1:1 H ₂ O	3.6	5.1
Organic matter (g kg ⁻¹)	21.8	47.6
Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	3.6	10.2
Available potassium (mg kg ⁻¹)	177	332
CEC (cmol kg ⁻¹)	24.5	23.0
Exchange acidity (cmol kg ⁻¹)	33	39
Extractable Ca (cmol kg ⁻¹)	5.32	7.64
Extractable Mg (cmol kg ⁻¹)	2.56	9.65
Extractable Na (cmol kg ⁻¹)	2.2	2.28
%BS	14.27	21.43
EC (dS m ⁻³)	2.2	1.2
Total P (g kg ⁻¹)	0.2	2.7
Fed (g kg ⁻¹)	12.3	17.3
Feo (g kg ⁻¹)	2.3	7.2
Ald (g kg ⁻¹)	0.9	1.5
Alo (g kg ⁻¹)	24.5	41.2

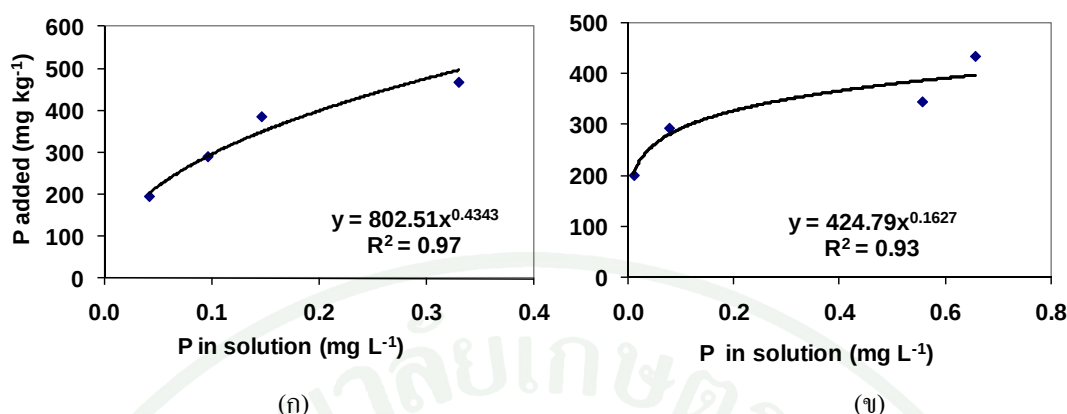
ตารางที่ 2 การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร

Soil	OM (g kg ⁻¹)	Available P K (-----mg kg ⁻¹ -----)		CEC (cmol kg ⁻¹)	BS (%)	Total score	Fertility level
Ok	21.8 (2)	3.6 (1)	177 (3)	24.5 (3)	14.27 (1)	10	Medium
Bp	47.6 (3)	10.2 (2)	332 (3)	23.5 (3)	21.43 (1)	12	Medium

หมายเหตุ : Scoring is used for the assessment of fertility level (the score is presented in blanket within the table)
 OM = 15 or less, level's low (1); between 15-35, level's medium (2); 35 or more, level's high (3)
 Avail. P = 10 or less, level's low (1); between 10-20, level's medium (2); 20 or more, level's high (3)
 Avail. K = 60 or less, level's low (1); between 60-90, level's medium (2); 90 or more, level's high (3)
 CEC = 10 or less, level's low (1); between 10-20, level's medium (2); 20 or more, level's high (3)
 BS = 35 or less, level's low (1); between 35-75, level's medium (2); 75 or more, level's high (3)
 If total score = 7 or less, fertility level's low; is between 8-12, fertility level's moderate; 13 or more, fertility level's high.

2. การดูดซับฟอสฟอรัสของดิน

สมการฟรุนดลิช (Freundlich equation) ที่ใช้ในประเมินลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างมีความแม่นยำร้อยละ 97 และ 92 สำหรับดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวตามลำดับ (ภาพที่ 1) โดยดินองครักษ์มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงกว่าดินบางน้ำเปรี้ยวเกือบสองเท่า ซึ่งมีปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด (Phosphorus adsorption capacity: Pmax) เท่ากับ 802 และ 424 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 1) แต่ที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (Phosphorus buffer capacity: PBC) กลับมีปริมาณใกล้เคียงกันโดยมีค่าเท่ากับ 398 และ 327 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม สำหรับดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวตามลำดับ และที่ครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน ($\frac{1}{2}$ Pmax) ดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวมีการดูดซับฟอสฟอรัสไว้เท่ากับ 401 และ 212 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์ (ก) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (ข) โดยใช้สมการฟรอนด์ลิช

3. การตอบสนองของข้าวต่อชนิดและอัตราของฟอสฟอรัส

การตอบสนองของข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างต่ออัตราของฟอสฟอรัสที่ได้มาจากลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดิน ได้แก่ ที่การดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน (P_{max}) ที่ครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน ($\frac{1}{2} P_{max}$) ที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (PBC) และอัตราฟอสฟอรัสที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร (2532) เท่ากับ 157 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเปรียบเทียบชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส 2 ชนิด ได้แก่ ทรูปเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP) และหินฟอสเฟต (RP)

ดินองครักษ์มีปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 802 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ย TSP และปุ๋ย RP ในอัตรา 3.96 และ 60.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังนั้นครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดจะเท่ากับ 401 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ย TSP และปุ๋ย RP ในอัตรา 1.98 และ 30.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับ 398 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ย TSP และ ปุ๋ย RP ในอัตรา 1.97 และ 30.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เทียบเท่ากับอัตราของฟอสฟอรัสที่ประเมินมาจาก
ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์ และชุดดิน
บางน้ำเปรี้ยว โดยใช้สมการฟรอนดริน

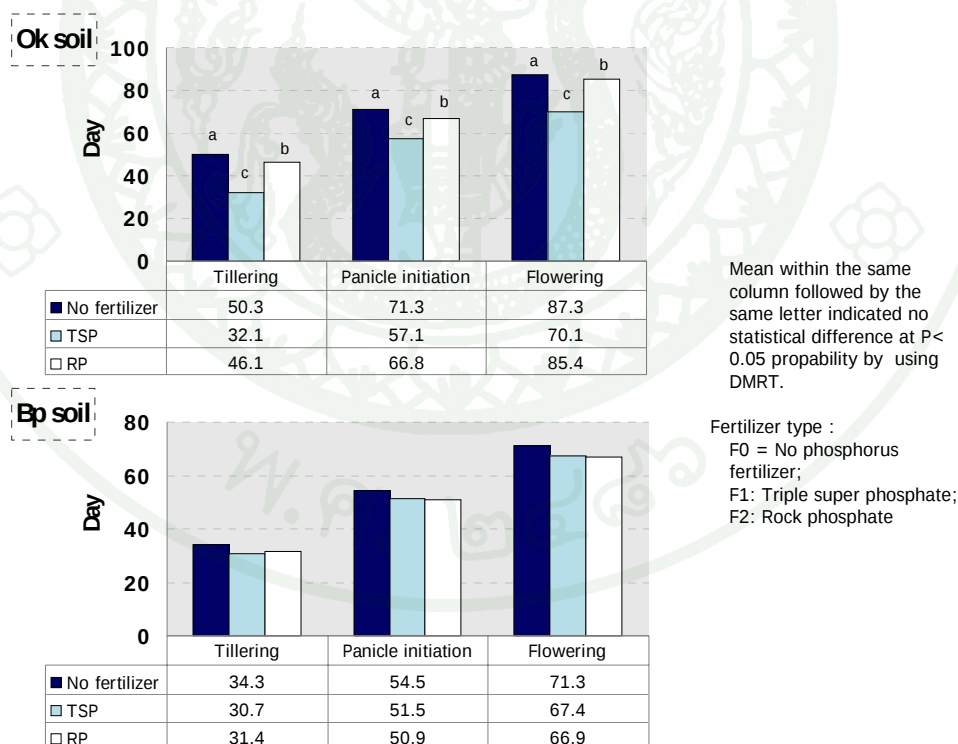
Acid sulfate soils with residual lime	Phosphorus rate mg P kg ⁻¹	Phosphorus fertilizer type	
		Triple super phosphate (TSP)	Rock phosphate (RP)
		(----- mg kg ⁻¹ -----)	
Ongkharak soil : Ok			
Pmax	802	3.96	60.76
½ Pmax	401	1.98	30.38
0.2 mg P L ⁻¹ (PBC)	398	1.97	30.21
Recommended rate	157	0.78	11.89
Bang Nam Priao Series : Bp			
Pmax	424	2.09	32.12
½ Pmax	212	1.05	16.06
0.2 mg P L ⁻¹ (PBC)	327	1.62	24.79
Recommended rate	157	0.78	11.89

ดินบางน้ำเปรี้ยวมีปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 424 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อ
กิโลกรัม ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ย TSP และปุ๋ย RP ในอัตรา 2.09 และ 32.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตามลำดับ ดังนั้นครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดจะเท่ากับ 212 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อ
กิโลกรัม ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ TSP และ RP ในอัตรา 1.05 และ 16.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับ 327
มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ย TSP และหินฟอสเฟตในอัตรา 1.62 และ
24.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 3) และอัตราฟอสฟอรัสที่แนะนำโดยกรมวิชาการ
เกษตร (2532) เท่ากับ 157 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ย TSP และ หิน
ฟอสเฟต ในอัตรา 0.78 และ 11.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

3.1 ผลของชนิดและอัตราของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าว

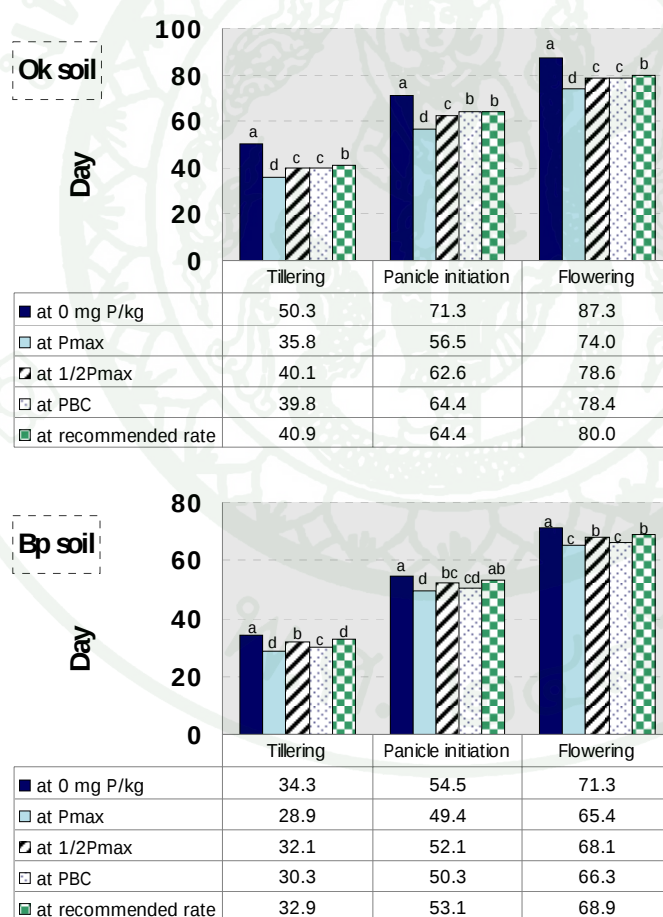
3.1.1 ระยะการเจริญเติบโตของข้าว

ชนิดปุ๋ยและอัตราของปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวอย่างชัดเจนสำหรับข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้าง โดยการใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวแตกกอ ก้านเด็ช่ดอก และออกดอกเร็วกว่าการใช้ปุ๋ย RP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง (ภาพที่ 2) และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะส่งผลให้ข้าวเจริญเติบโตช้าที่สุด ในขณะที่ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสกลับไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง โดยการใช้ปุ๋ย RP มีแนวโน้มให้ข้าวเข้าสู่ระยะก้านเด็ช่ดอกและออกดอกเร็วกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ย TSP และข้าวมีแนวโน้มเจริญเติบโตช้าที่สุดเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยเช่นเดียวกันกับในกรณีของดินองครักษ์ (ภาพที่ 2) อย่างไรก็ตาม ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์จะเจริญเติบโตช้ากว่าข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากการที่ดินองครักษ์มีความเป็นกรดรุนแรงกว่าดินบางน้ำเปรี้ยว



ภาพที่ 2 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

อัตราของฟอสฟอรัสส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองดิน โดยการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} ส่งผลให้ข้าวแตกกอ กำเนิดช่อดอก และออกดอกเร็วที่สุด โดยใช้เวลาเท่ากับ 35.8, 56.5 และ 74.0 วันตามลำดับ สำหรับข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ (ภาพที่ 3) และในกรณีที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยวจะใช้เวลาเท่ากับ 28.9, 49.4 และ 65.4 วันตามลำดับ (ภาพที่ 3) การให้ฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในทั้งสองดินนั้นเข้าสู่ระยะแตกกอ กำเนิดช่อดอก และออกดอก ช้ากว่าการให้ในอัตรา $\frac{1}{2} P_{max}$ และ PBC แต่การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2} P_{max}$ และ PBC จะส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์เข้าสู่ระยะแตกกอและออกดอกไม่แตกต่างกัน ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยว การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC จะส่งผลให้ข้าวแตกกอและออกดอกเร็วกว่าการให้ในอัตรา $\frac{1}{2} P_{max}$ และการไม่ให้ฟอสฟอรัสทำให้ข้าวแตกกอ กำเนิดช่อดอก และออกดอกช้าที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองกรณี (ภาพที่ 3)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

P rate : $R_0 = 0 \text{ mg P kg}^{-1}$; $R_1 = \text{at } P_{max}$; $R_2 = \text{at } \frac{1}{2}P_{max}$; $R_3 = \text{at } 0.2 \text{ mg P L}^{-1}$; $R_4 = \text{at recommended rate (157 mg P kg}^{-1})$

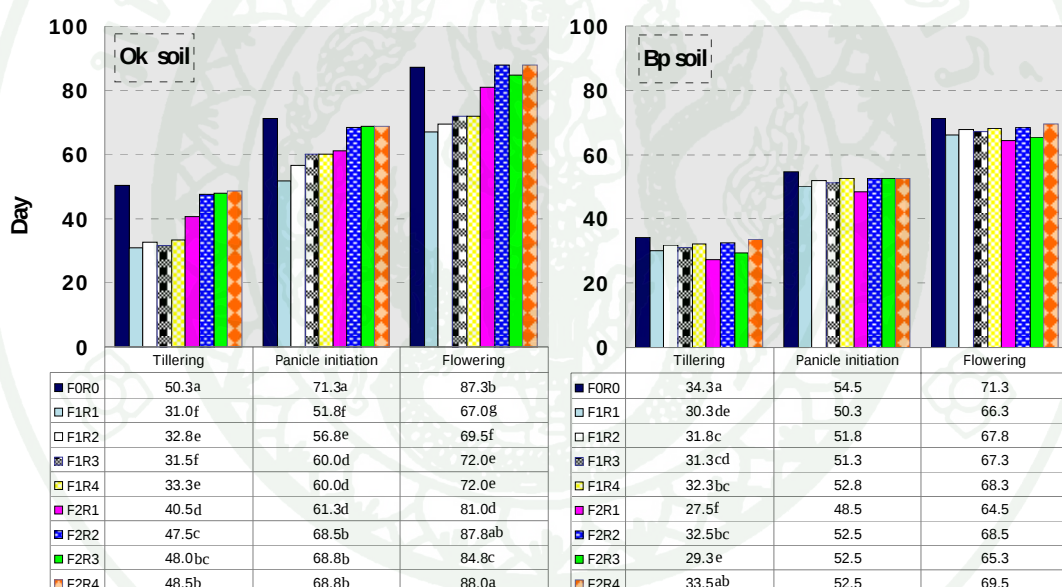
(Ok soil : $R_1 = 802 \text{ mg P kg}^{-1}$, $R_2 = 402 \text{ mg P kg}^{-1}$, $R_3 = 398 \text{ mg P kg}^{-1}$)

(Bp soil : $R_1 = 424 \text{ mg P kg}^{-1}$, $R_2 = 212 \text{ mg P kg}^{-1}$, $R_3 = 327 \text{ mg P kg}^{-1}$)

ภาพที่ 3 ผลของอัตราฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

ผลร่วมระหว่างชนิดและอัตราของปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ โดยการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ Pmax จะส่งผลให้ข้าวแตกกอ ก้านิดช่อดอกและออกดอกเร็วที่สุด แต่การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเดียวกันส่งผลให้ข้าวเจริญเติบโตช้ากว่า

นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ย TSP ที่เทียบเท่ากับ PBC และอัตราแนะนำส่งผลให้ข้าวเข้าสู่ระยะก้านิดช่อดอกไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเท่ากันเท่ากับ 60 วัน เช่นเดียวกันกับการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ $\frac{1}{2}$ Pmax, PBC และอัตราแนะนำ ส่งผลข้าวใช้เวลาประมาณ 68.5-68.8 วัน จึงเข้าสู่ระยะก้านิดช่อดอก และค่ารับควบคุมจะทำให้ข้าวเข้าสู่ระยะแตกกอ และก้านิดช่อดอกช้าที่สุด (ภาพที่ 4)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at $\frac{1}{2}$ Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

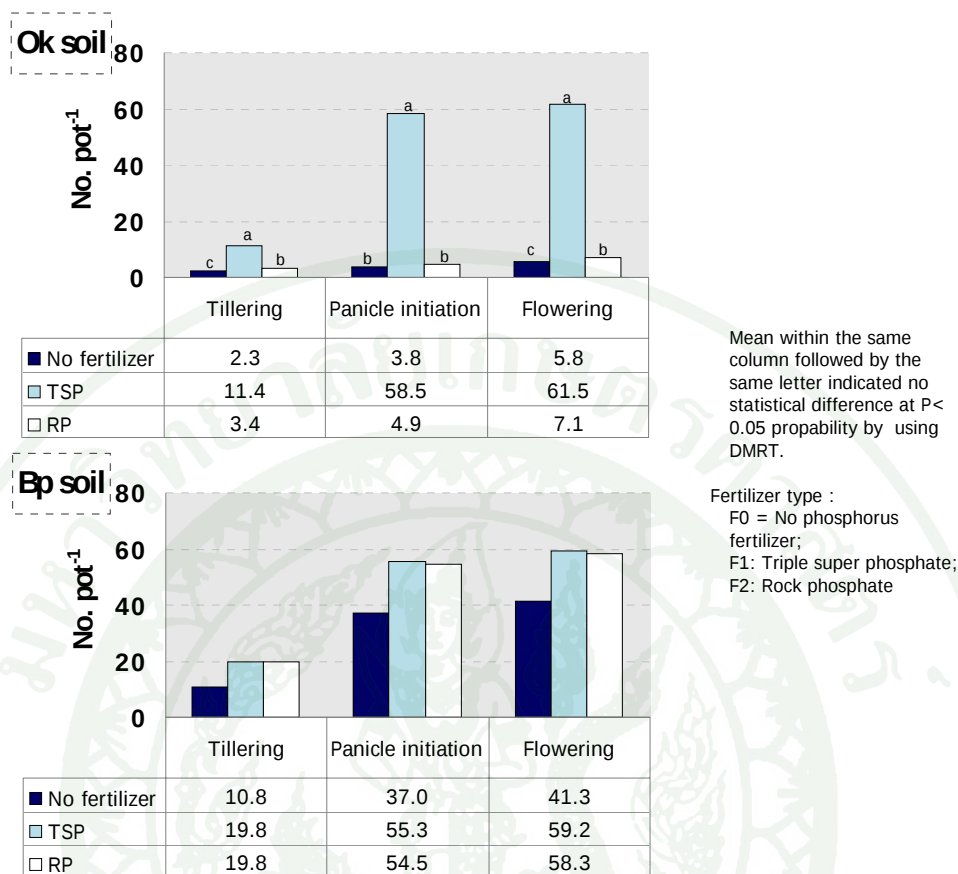
ภาพที่ 4 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ P_{max} ส่งผลให้ข้าวแตกกอเร็วที่สุดเท่ากับ 27.5 วัน และมีแนวโน้มเข้าสู่ระยะก้านิคมช่อดอก และออกดอกเร็วที่สุด และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวเข้าสู่ระยะแตกกอช้าที่สุดเท่ากับ 34 วัน ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่ากับอัตราแนะนำซึ่งใช้เวลาเท่ากับ 33.5 วัน (ภาพที่ 4)

3.1.2 การแตกกอ

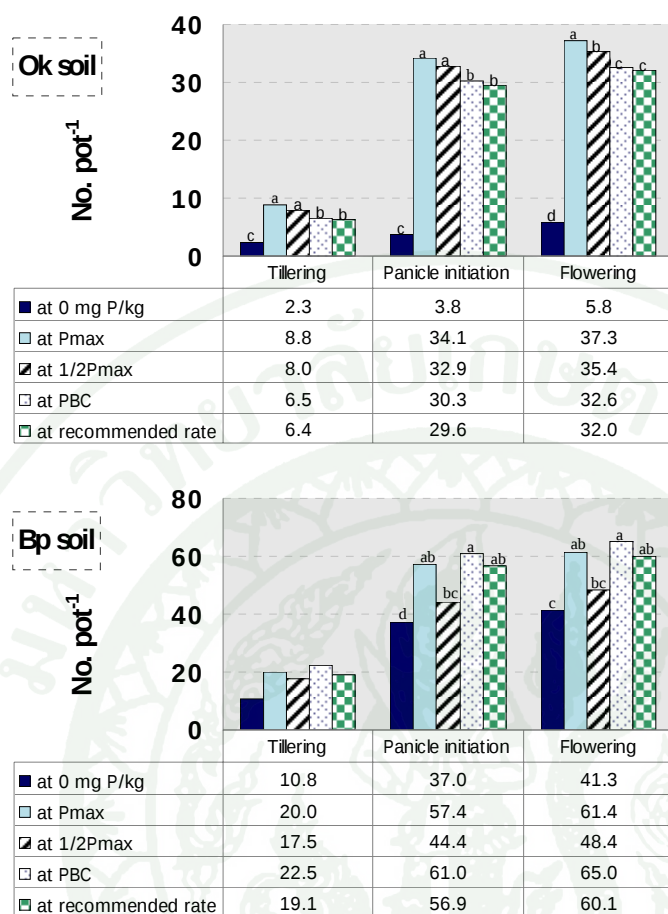
การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์มีจำนวนต้นที่ระยะแตกกอ ก้านิคมช่อดอก และออกดอก เท่ากับ 11.4, 58.5 และ 61.5 ต้นต่อกระถางตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการใช้ปุ๋ย RP และไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อจำนวนการแตกกอของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ย TSP มีแนวโน้มให้ข้าวมีการแตกกอดีกว่าการใช้ปุ๋ย RP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ข้าวมีจำนวนการแตกกอดำที่สูงสุดในทุกระยะการเจริญเติบโตทั้งสองชุดดิน (ภาพที่ 5)

อัตราของฟอสฟอรัสมีผลต่อจำนวนการแตกกอของข้าว ยกเว้นที่ระยะแตกกอของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว โดยการไม่ใส่ฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวมีจำนวนการแตกกอดำที่สูงสุดในทุกระยะการเจริญเติบโต ในกรณีของดินอครักษ์ พบว่า การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} และ $\frac{1}{2}P_{max}$ ส่งผลให้จำนวนต้นข้าวที่ระยะแตกกอและก้านิคมช่อดอกสูงที่สุดและไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระยะออกดอก การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} กลับส่งผลให้มีจำนวนต้นข้าวมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC จะส่งผลให้ข้าวในทุกระยะการเจริญเติบโตมีจำนวนการแตกกอไม่แตกต่างจากการให้ในอัตราแนะนำ (ภาพที่ 6) ในขณะที่ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยว การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC จะส่งผลให้ข้าวมีจำนวนการแตกกอมากที่สุดเท่ากับ 61.0 และ 65.0 ต้นต่อกระถาง ที่ระยะก้านิคมช่อดอกและออกดอก ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} และอัตราแนะนำ และพบว่า การไม่ใส่ฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวมีจำนวนการแตกกอดำที่ต่ำสุดเท่ากับ 37.0 และ 41.3 ต้นต่อกระถาง ที่ระยะก้านิคมช่อดอกและออกดอกตามลำดับ และไม่แตกต่างจากการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2} P_{max}$ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 5 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อจำนวนการแตกกอของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ P_{max} และ $\frac{1}{2}P_{max}$ จะส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีจำนวนการแตกกอที่ระยะแตกกอ และออกดอกสูงที่สุด และไม่แตกต่างกันโดยมีค่าอยู่ในพิสัยเท่ากับ 12.3-13.3 และ 63.5-65.3 ต้นต่อกระถางตามลำดับ รองลงมาได้แก่การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ PBC ซึ่งไม่แตกต่างจากการให้เทียบเท่ากับอัตราแนะนำ และการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ข้าวมีจำนวนการแตกกอดำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม (ภาพที่ 7)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

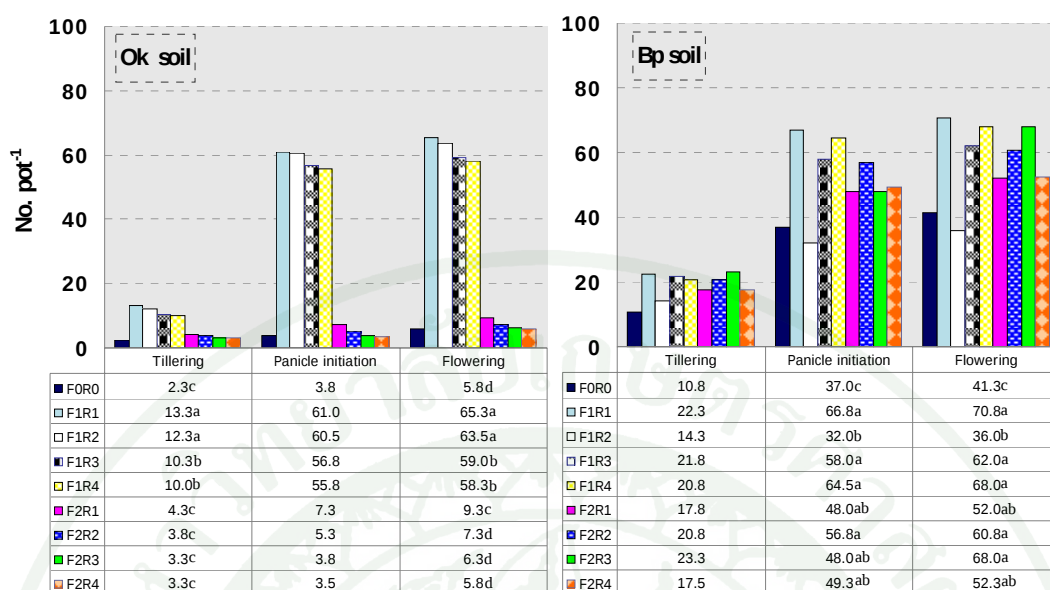
P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 6 ผลของอัตราฟอสฟอรัสต่อจำนวนการแตกกอของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การไม่ใส่ฟอสฟอรัสส่งผลข้าวมีจำนวนการแตกกอต่ำที่สุดเท่ากับ 37.0 และ 41.3 ต้นต่อกระถาง ที่ระยะกำเนิดช่อดอกและออกดอกตามลำดับ แต่การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่ากับ Pmax ส่งผลให้ข้าวมีจำนวนแตกกอสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ PBC และอัตราแนะนำ (ภาพที่ 7)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

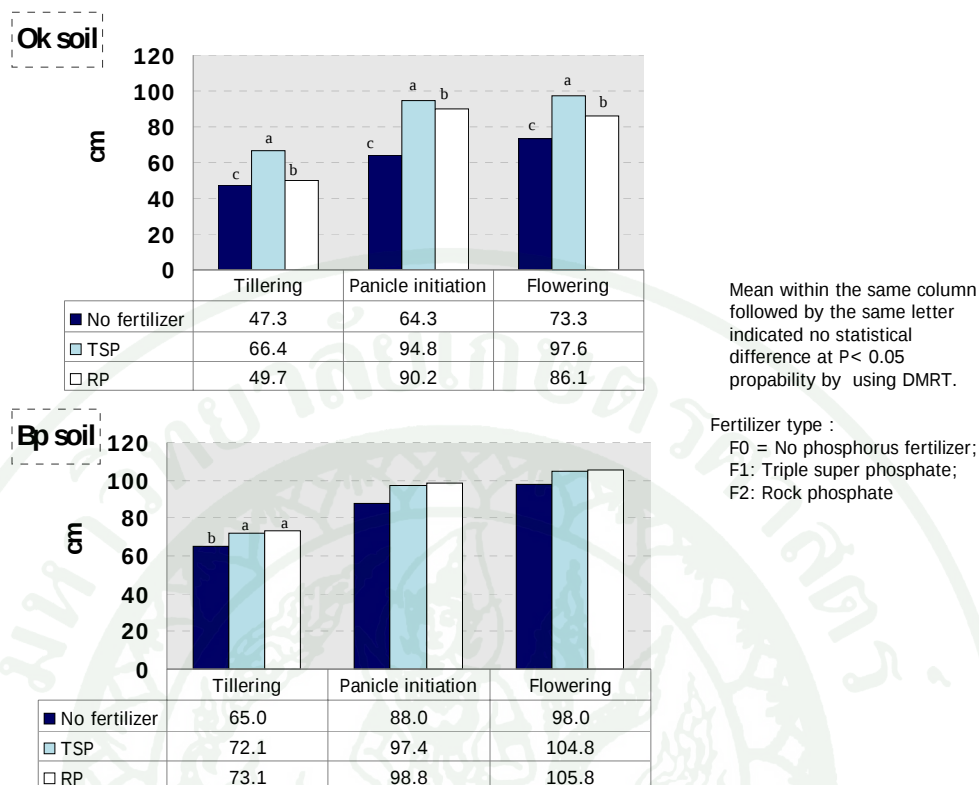
(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 7 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสต่อจำนวนต้นต่อกระถางของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

3.1.3 ความสูง

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีความสูงที่ระยะแตกกอ กำเนิดช่อดอก และออกดอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวมีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 66.4 เซนติเมตรที่ระยะแตกกอ 94.8 เซนติเมตรที่ระยะกำเนิดช่อดอก และ 97.6 เซนติเมตรที่ระยะออกดอก รองลงมาได้แก่การใช้ปุ๋ย RP และการไม่ใส่ปุ๋ยตามลำดับ ซึ่งความสูงของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตทั้งสามช่วงมีค่าเท่ากับ 49.6, 90.2 และ 86.1 เซนติเมตร สำหรับการใช้ปุ๋ย RP และ 47.3, 64.3 และ 73.3 เซนติเมตรเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยตามลำดับ (ภาพที่ 8)



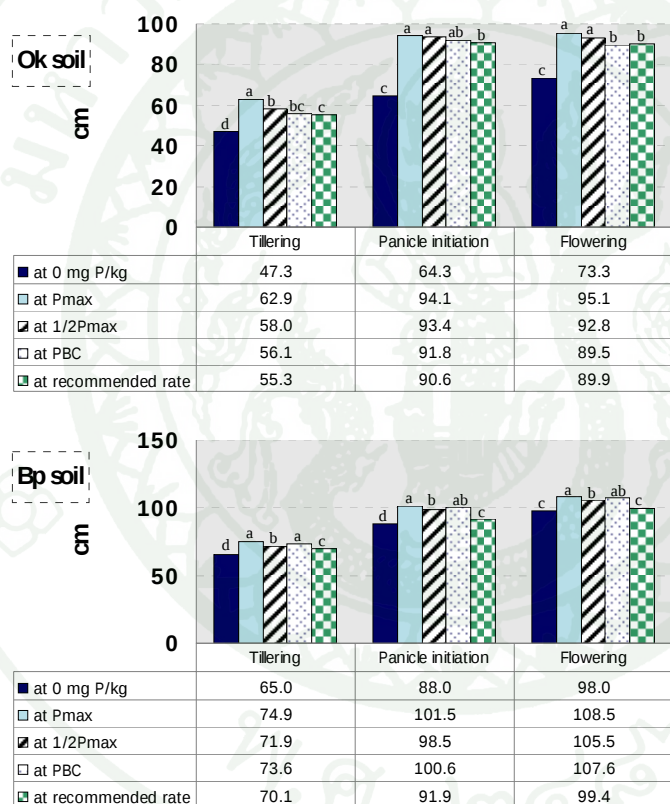
ภาพที่ 8 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยว ที่มีปูนตกค้าง

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว เฉพาะที่ระยะแตกกอเท่านั้น โดยการใช้ TSP และ RP ไม่ทำให้ข้าวมีความสูงแตกต่างกันโดยมีค่าเท่ากับ 72.1 และ 73.1 เซนติเมตรตามลำดับ แต่สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (65.0 เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยทั้งสองชนิดมีแนวโน้มให้ข้าวมีความสูงสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ระยะก้านิคมช่อดอกและออกดอก (ภาพที่ 8)

ในขณะที่อัตราฟอสฟอรัสมีผลต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ภาพที่ 9) โดยการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} ส่งผลให้ข้าวมีความสูงสูงที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโตเมื่อเปรียบเทียบกับ การให้ฟอสฟอรัสในอัตราที่เหลืออีก 3 อัตราซึ่งข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ที่ระยะแตกกอข้าวจะมีความสูงเท่ากับ 62.9 เซนติเมตร และเพิ่มเป็น 94.1 และ 95.1 เซนติเมตร ที่ระยะก้านิคมช่อดอกและออกดอก ตามลำดับ ข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว จะมีความสูงเท่ากับ 74.9, 101.5 และ 108.5 เซนติเมตรที่ระยะแตกกอ ก้านิคมช่อดอก และออกดอก

ตามลำดับ (ภาพที่ 9) สำหรับการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำส่งผลให้ข้าวมีความสูงต่ำกว่าการให้ในอัตรา P_{max} และ $\frac{1}{2}P_{max}$ ในทั้งสองดิน และการไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้ต้นข้าวในทุกๆ ระยะการเจริญเติบโตที่ปลูกในดินทั้งสองมีความสูงต่ำที่สุด

อย่างไรก็ตามการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} และ $\frac{1}{2}P_{max}$ จะส่งผลให้ต้นข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์มีความสูงไม่แตกต่างกัน ทั้งในระยะกำเนิดช่อดอกและออกดอก เช่นเดียวกันกับในกรณีของดินบางเปรี้ยวที่การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา PBC จะส่งผลให้ข้าวมีความสูงไม่แตกต่างจากการให้ในอัตรา P_{max} (ภาพที่ 9)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

P rate : R0 = 0 mg P kg^{-1} ; R1 = P_{max} ; R2 = at $\frac{1}{2}P_{max}$; R3 = mg P L^{-1} ; R4 = at recommended rate (157 mg P kg^{-1})

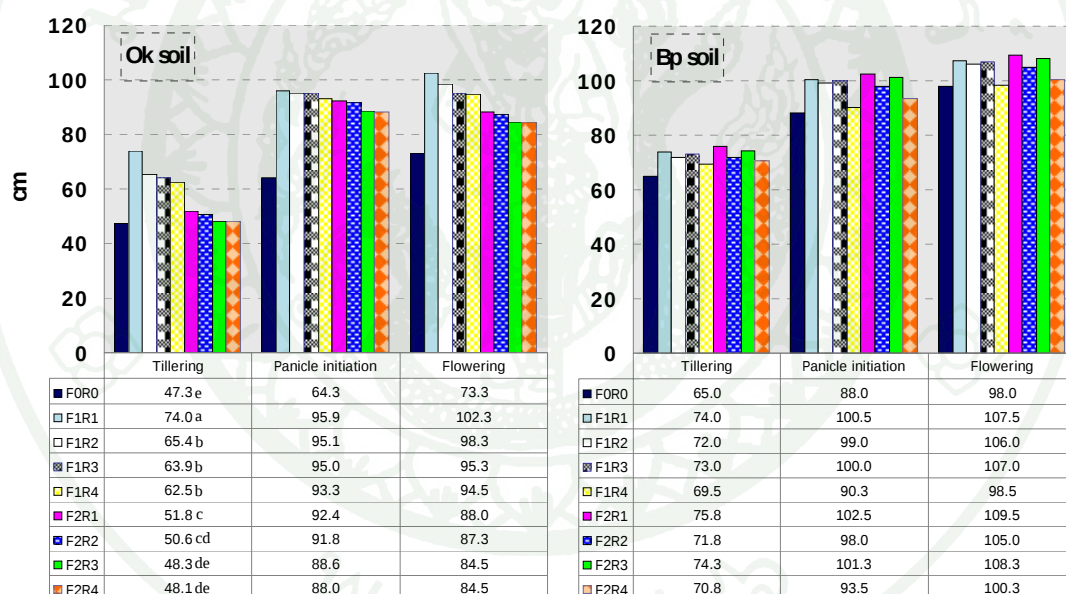
(Ok soil : R1= 802 mg P kg^{-1} , R2 = 402 mg P kg^{-1} , R3 = 398 mg P kg^{-1})

(Bp soil : R1= 424 mg P kg^{-1} , R2 = 212 mg P kg^{-1} , R3 = 327 mg P kg^{-1})

ภาพที่ 9 ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดปุ๋ย และอัตราฟอสฟอรัสส่งผลต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์ที่ระยะแตกกอ โดยการใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่ากับ P_{max} ส่งผลให้ข้าวมีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 74 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่ากับ $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะทำให้ข้าวมีความสูงต่ำที่สุดเท่ากับ 47.3 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ (ภาพที่ 10)

ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่า P_{max} มีแนวโน้มให้ต้นข้าวมีความสูงที่สุดเท่ากับ 75.8, 102.5 และ 109.5 เซนติเมตร ที่ระยะแตกกอ ก้านิด ช่อดอก และออกดอก ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ การใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า PBC และการใส่ปุ๋ย TSP หรือปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่ากับอัตราแนะนำกลับมีแนวโน้มให้ต้นข้าวมีความสูงต่ำที่สุด (ภาพที่ 10)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at P_{max} ; R2 = at $\frac{1}{2}P_{max}$; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

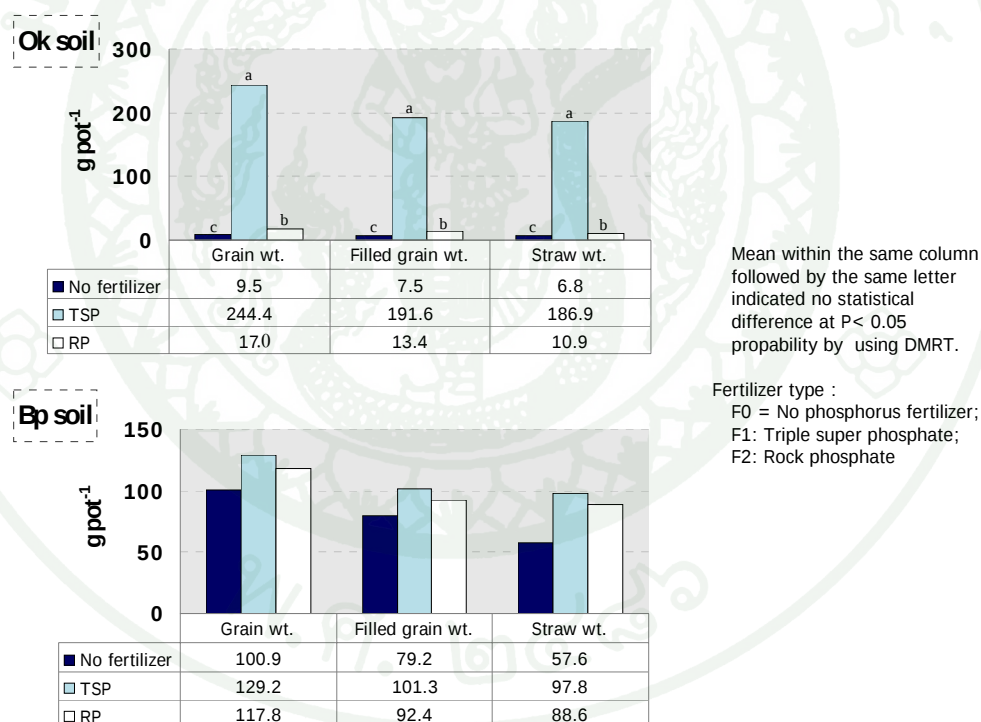
(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 10 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

3.2 ผลของชนิดและอัตราของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตของข้าว

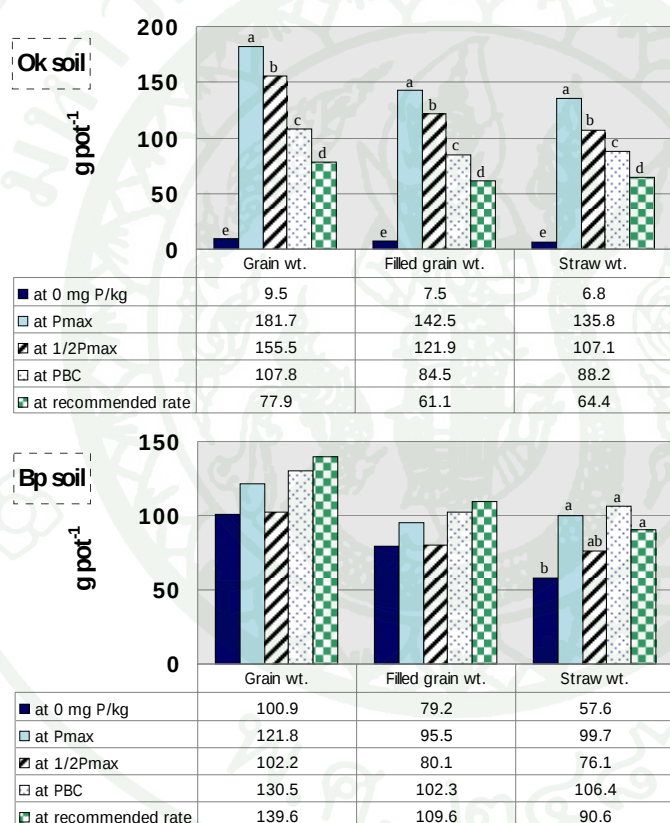
3.2.1 น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลต่อผลผลิตข้าวเปลือกของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้ปุ๋ย TSP จะส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตสูงสุด โดยมีน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดเท่ากับ 244.4 กรัมต่อกระถาง ซึ่งสูงกว่าการใช้ปุ๋ย RP ที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 17.0 กรัมต่อกระถาง และการไม่ใส่ปุ๋ยจะให้น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่ำที่สุดเท่ากับ 9.5 กรัมต่อกระถาง ในขณะที่ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว แต่การใช้ปุ๋ย TSP มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดสูงกว่าการใช้ปุ๋ย RP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยมีค่าเท่ากับ 129.2, 117.8 และ 100.9 กรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยว ที่มีปูนตกค้าง

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์มีน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 181.7 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ ข้าวที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา ½ Pmax, PBC, อัตราแนะนำ และการไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยมีน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดเท่ากับ 155.5, 107.8, 77.9 และ 9.5 กรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 12) ในขณะที่ชุดดินบางน้ำเปรี้ยว การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำแก่ข้าวมีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา PBC, Pmax, ½ Pmax และการไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยมีค่าเท่ากับ 139.6, 130.5, 122.0, 102.2 และ 100.9 กรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 12)



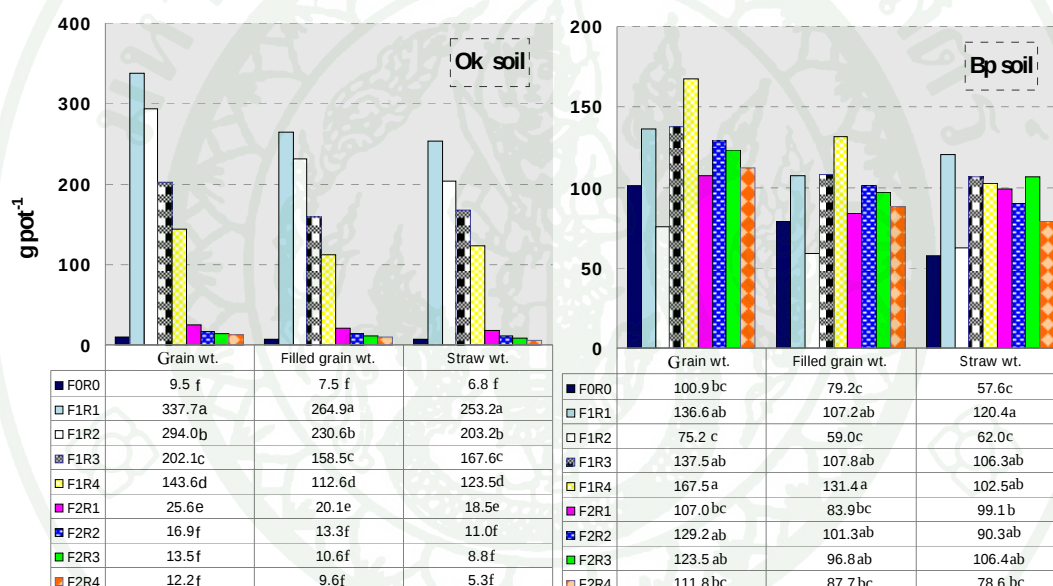
Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹, R4 = 157 mg P kg⁻¹)
(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 12 ผลของอัตราฟอสฟอรัสต่อผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

สหสัมพันธ์ระหว่างชนิดปุ๋ย และอัตราของฟอสฟอรัสส่งผลต่อน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดของข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 13) ในชุดดินองครักษ์ พบว่า การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} ทำให้ได้น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 337.8 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือการใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ โดยมีค่าเท่ากับ 294.0, 202.1 และ 143.6 กรัมต่อกระถาง แต่เมื่อใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากัน จะส่งให้น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเดียวกัน และการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำจะให้น้ำหนักเมล็ดไม่แตกต่างจากค่าควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 13)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at P_{max} ; R2 = at $\frac{1}{2}P_{max}$; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 13 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่าอัตราแนะนำ ส่งผลให้น้ำหนักข้าวเปลือกสูงที่สุดเท่ากับ 167.5 กรัมต่อกระถาง ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ในอัตราเทียบเท่า P_{max} และ PBC รวมทั้งการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$ และ PBC แต่การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$ จะให้น้ำหนักเมล็ดต่ำที่สุดเท่ากับ 75.2 กรัมต่อกระถาง ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่า P_{max} อัตราแนะนำ และ ดำรับควบคุม (ภาพที่ 13)

3.2.2 น้ำหนักเมล็ดดี

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลให้ข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์มีน้ำหนักเมล็ดดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้ปุ๋ย TSP จะส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตสูงที่สุด โดยมีน้ำหนักเมล็ดดีเท่ากับ 191.6 กรัมต่อกระถาง ซึ่งสูงกว่าการใช้ปุ๋ย RP ที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 13.4 กรัมต่อกระถาง และการไม่ใส่ปุ๋ยจะให้น้ำหนักเมล็ดดีทั้งหมดต่ำที่สุดเท่ากับ 7.6 กรัมต่อกระถาง ในขณะที่ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว แต่การใช้ปุ๋ย TSP มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดดีทั้งหมดสูงกว่าการใช้ปุ๋ย RP และ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยมีค่าเท่ากับ 101.3, 92.4 และ 79.2 กรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 11)

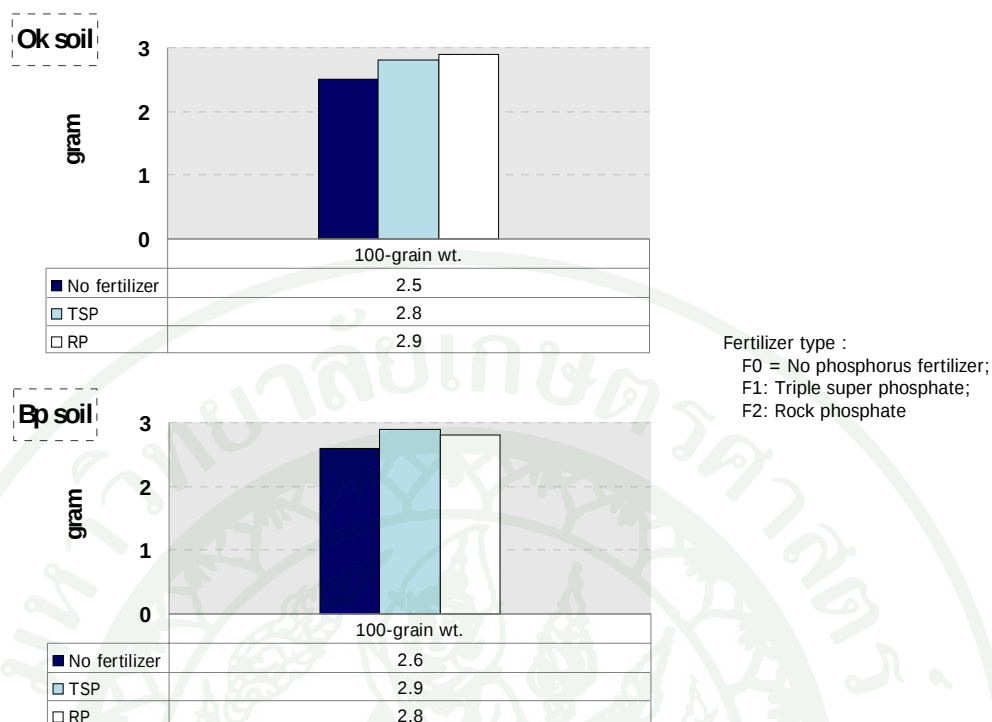
เช่นเดียวกันกับอัตราฟอสฟอรัสที่ส่งผลต่อน้ำหนักเมล็ดดีของข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์ ให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12) โดยการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดดีสูงที่สุด เท่ากับ 142.5 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC, อัตราแนะนำ และการไม่ให้ฟอสฟอรัส โดยมีน้ำหนักเมล็ดดีเท่ากับ 121.9, 84.5, 61.1 และ 7.5 กรัมต่อกระถางตามลำดับ สำหรับข้าวที่ปลูกในชุดดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่าการให้ฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำมีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดดีสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC, P_{max} , $\frac{1}{2} P_{max}$ และการไม่ให้ฟอสฟอรัส โดยมีค่าเท่ากับ 109.6, 102.3, 95.5, 80.1 และ 79.5 กรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 12)

ในชุดดินองครักษ์ พบว่า การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดที่สูงที่สุดเท่ากับ 264.9 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือ ใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ โดยมีปริมาณเท่ากับ 230.6, 158.5 และ 112.6 กรัมต่อกระถาง แต่เมื่อใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากัน กลับส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากัน และการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ จะให้น้ำหนักเมล็ดที่ไม่แตกต่างจากค่าควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 13)

ข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่าอัตราแนะนำ ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดที่สูงที่สุดเท่ากับ 131.4 กรัมต่อกระถาง ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ในอัตราเทียบเท่า P_{max} และ PBC รวมทั้งการปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$ และ PBC และการใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ P_{max} แต่การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$ จะให้น้ำหนักเมล็ดต่ำที่สุดเท่ากับ 59.0 กรัมต่อกระถาง ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ P_{max} และอัตราแนะนำ รวมทั้งค่าควบคุม (ภาพที่ 13)

3.2.3 น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด

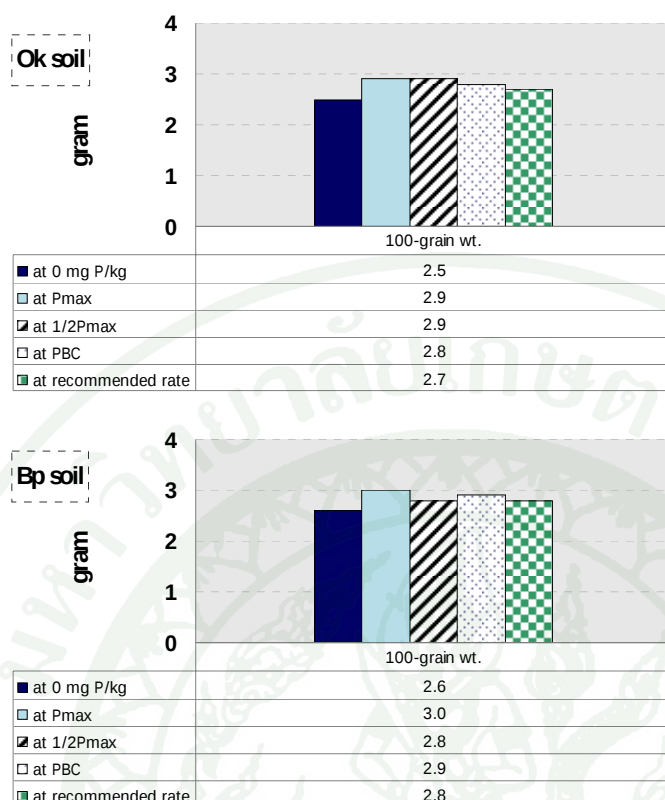
ชนิดปุ๋ย อัตราฟอสฟอรัส และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างชนิดและอัตราปุ๋ย ฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างทั้ง 2 ดิน (ภาพที่ 14-16) โดยการใช้ปุ๋ย TSP และปุ๋ย RP มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 2.8 และ 2.9 กรัม และ 2.9 และ 2.8 กรัม สำหรับข้าวที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว ตามลำดับ การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด และการไม่ใส่ฟอสฟอรัสจะแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดเฉลี่ยต่ำที่สุดในทั้งสองกรณี



ภาพที่ 14 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดของข้าวที่ปลูกในดิน
 องค์กรักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

3.2.4 จำนวนรวง

การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองค์กรักษ์มีจำนวนรวงมากที่สุดเท่ากับ 55.9 รวงต่อกระถาง (ภาพที่ 17) รองลงมาคือการใช้ปุ๋ย RP (6.3 รวงต่อกระถาง) และการไม่ใส่ปุ๋ย ฟอสฟอรัสข้าวจะมีจำนวนรวงต่ำที่สุดเท่ากับ 5.5 รวงต่อกระถาง ในขณะที่ดินบางน้ำเปรี้ยว การ ไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ข้าวมีจำนวนรวงต่ำที่สุดเท่ากับ 40.8 รวงต่อกระถาง และการใช้ ปุ๋ย TSP และปุ๋ย RP มีแนวโน้มให้ข้าวมีจำนวนรวงใกล้เคียงกันเท่ากับ 55.7 และ 56.1 รวงต่อ กระถางตามลำดับ (ภาพที่ 17)

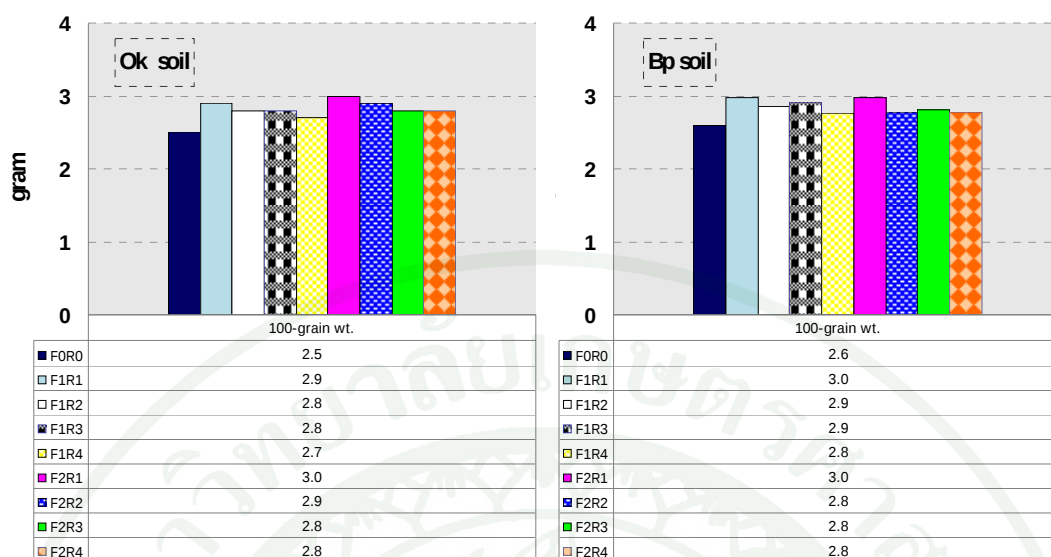


P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹, R4 = 157 mg P kg⁻¹)
(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 15 ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีจำนวนรวงมากที่สุดเท่ากับ 34.8 รวงต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา ½ Pmax, PBC, อัตราแนะนำ และการไม่ให้ฟอสฟอรัส โดยมีจำนวนรวงเท่ากับ 32.9, 29.8 และ 27.0 และ 5.5 รวงต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 18) เช่นเดียวกับในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวที่การไม่ให้ฟอสฟอรัสจะมีแนวโน้มให้ข้าวมีจำนวนรวงต่ำที่สุด (40.8 รวงต่อกระถาง) แต่การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC มีแนวโน้มให้ข้าวมีจำนวนรวงสูงที่สุด (63.9 รวงต่อกระถาง) รองลงมาคือการให้ฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำ, Pmax และ ½ Pmax ตามลำดับ (ภาพที่ 18)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

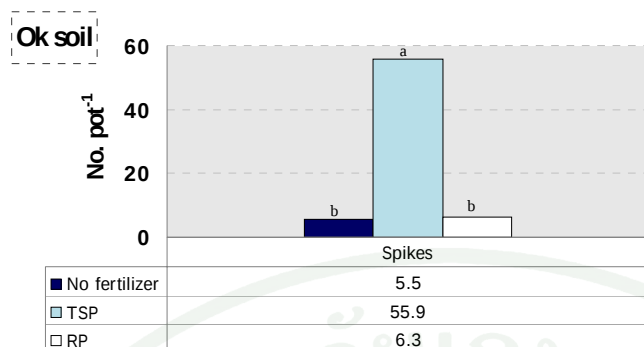
(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

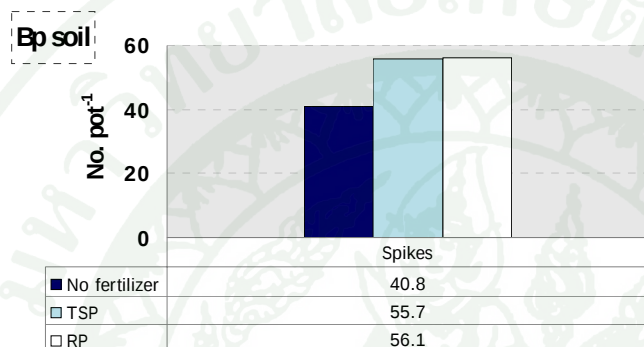
ภาพที่ 16 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดของข้าวที่ปลูกในดิน
องค์กรักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

ในชุดดินองค์กรักษ์การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า Pmax ส่งผลให้ข้าวมีจำนวนรวงมากที่สุดเท่ากับ 61.8 รวงต่อกระถาง รองลงมาคือ ใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า ½ Pmax, PBC และอัตราแนะนำ แต่เมื่อใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากันจะส่งผลให้จำนวนรวงลดลงอย่างชัดเจน และการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า ½ Pmax, PBC และอัตราแนะนำจะให้จำนวนรวงไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 19)

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่าอัตราแนะนำ หรือการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า PBC จะให้จำนวนรวงสูงที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า ½ Pmax จะให้จำนวนรวงต่ำที่สุด (34.5 รวงต่อกระถาง) ซึ่งมีแนวโน้มไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุม (40.8 รวงต่อกระถาง) (ภาพที่ 19)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

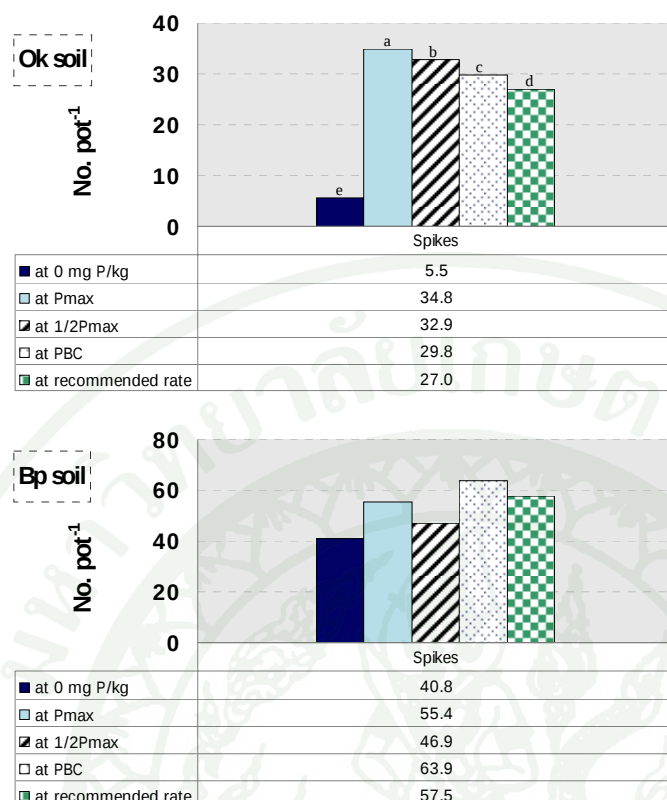


Fertilizer type :
 F0 = No phosphorus fertilizer;
 F1: Triple super phosphate;
 F2: Rock phosphate

ภาพที่ 17 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนรวงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

3.2.5 น้ำหนักแห้งต่อชั่ง

การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีน้ำหนักแห้งต่อชั่งสูงที่สุดเท่ากับ 186.86 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือการใช้ปุ๋ย RP (10.9 กรัมต่อกระถาง) และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสข้าวจะมีน้ำหนักแห้งต่อชั่งต่ำที่สุด (6.8 กรัมต่อกระถาง) ในขณะที่ดินบางน้ำเปรี้ยวพบว่า การใช้ปุ๋ย TSP มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้งต่อชั่งสูงที่สุด (97.8 กรัมต่อกระถาง) รองลงมาคือการใช้ปุ๋ย RP (88.6 กรัมต่อกระถาง) และการไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (57.6 กรัมต่อกระถาง) ตามลำดับ (ภาพที่ 11)



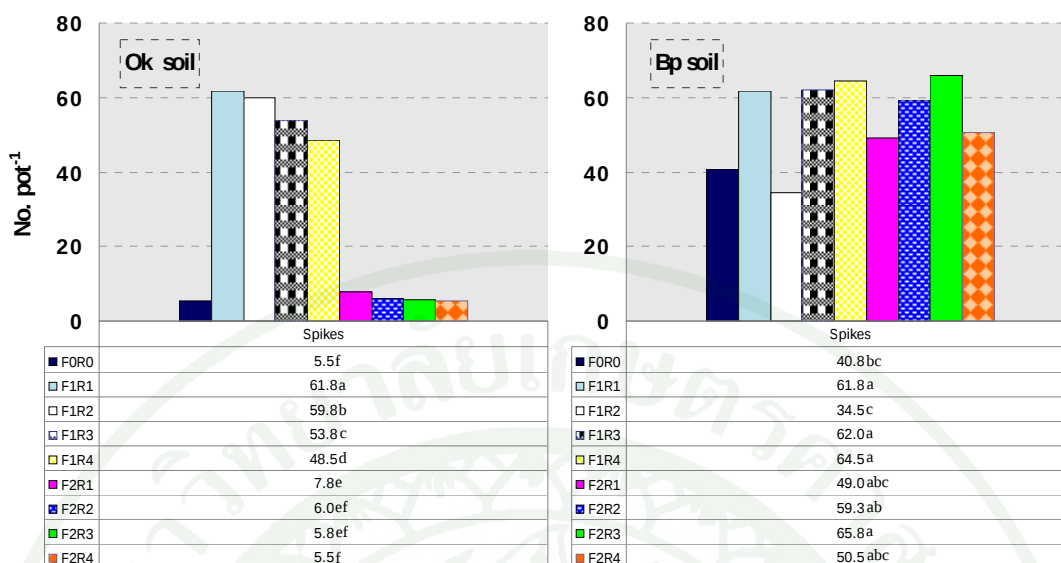
Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ propability by using DMRT.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹, R4 = 157 mg P kg⁻¹)
(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 18 ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนรวงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีน้ำหนักแห้งต่อชั่งมากที่สุดเท่ากับ 135.8 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา 1/2 Pmax, PBC, อัตราแนะนำ และการไม่ให้ฟอสฟอรัส โดยมีน้ำหนักแห้งต่อชั่งเท่ากับ 107.1, 88.2 และ 64.4 และ 6.8 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ เช่นเดียวกับในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวที่การไม่ให้ฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งต่อชั่งต่ำที่สุด (57.6 กรัมต่อกระถาง) ซึ่งไม่แตกต่างจากการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา 1/2 Pmax และการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC, Pmax และ อัตราแนะนำทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งต่อชั่งไม่แตกต่างกัน และมีค่าสูงที่สุด (ภาพที่ 12)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 19 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนรวงของข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

ในดินอครักษ์การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า Pmax ส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักร้างต่อชั่งมากที่สุดเท่ากับ 253.2 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า ½Pmax, PBC และอัตราแนะนำ แต่เมื่อใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากันจะส่งผลให้น้ำหนักแห้งต่อชั่งลดลงอย่างชัดเจน และการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า ½Pmax, PBC และอัตราแนะนำจะให้น้ำหนักแห้งต่อชั่งไม่แตกต่างจากค่าควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 13)

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า Pmax ส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักร้างต่อชั่งมากที่สุดเท่ากับ 120.4 กรัมต่อกระถาง ซึ่งไม่แตกต่างกันจากการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า PBC และอัตราแนะนำ การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า ½ Pmax, PBC และอัตราแนะนำ แต่การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า ½ Pmax ส่งผลให้น้ำหนักแห้งต่อชั่งต่ำที่สุดซึ่งไม่แตกต่างจากค่าควบคุม (ภาพที่ 13)

4. ผลของชนิดปุ๋ยและอัตราของฟอสฟอรัสต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าว

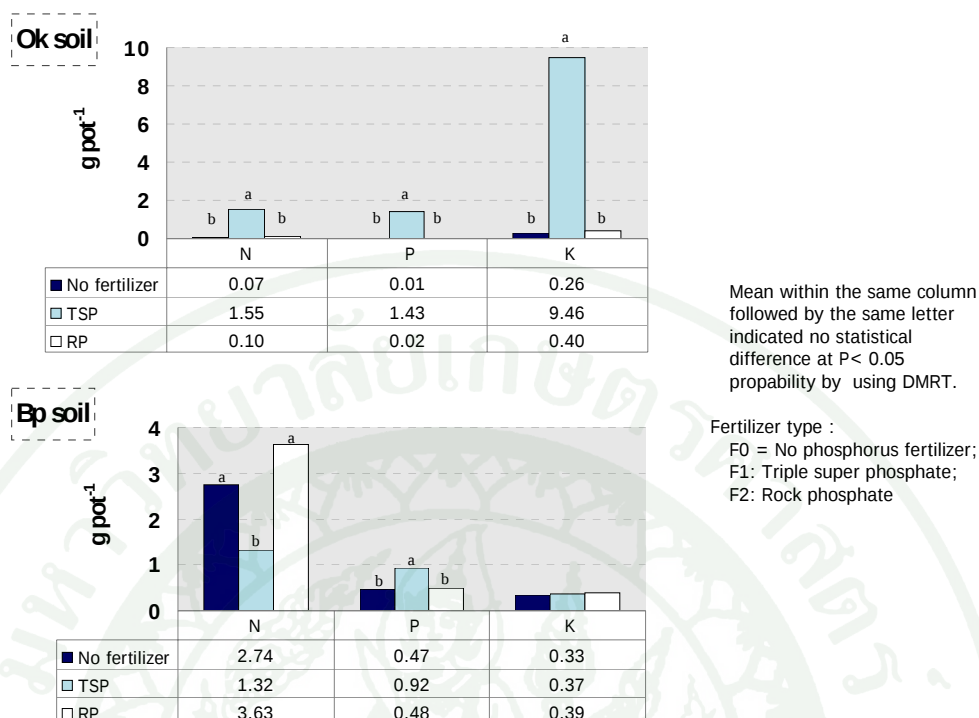
ความเข้มข้นธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารของข้าวแสดงในตารางผนวกที่ 12-14

4.1 ธาตุอาหารหลัก

4.1.1 ไนโตรเจน

การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินออร์กนิคมีการดูดใช้ในโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 1.55 กรัมต่อกระถาง ขณะที่การใช้ปุ๋ย RP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ในโตรเจนไม่แตกต่างกันเท่ากับ 0.10 และ 0.07 กรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 20) แต่ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวกลับพบว่าการใช้ปุ๋ย RP ส่งผลให้ข้าวดูดใช้ในโตรเจนสูงที่สุด (3.63 กรัมต่อกระถาง) ซึ่งไม่แตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (2.74 กรัมต่อกระถาง) และการใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวดูดใช้ในโตรเจนต่ำที่สุดเท่ากับ 1.32 กรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 20)

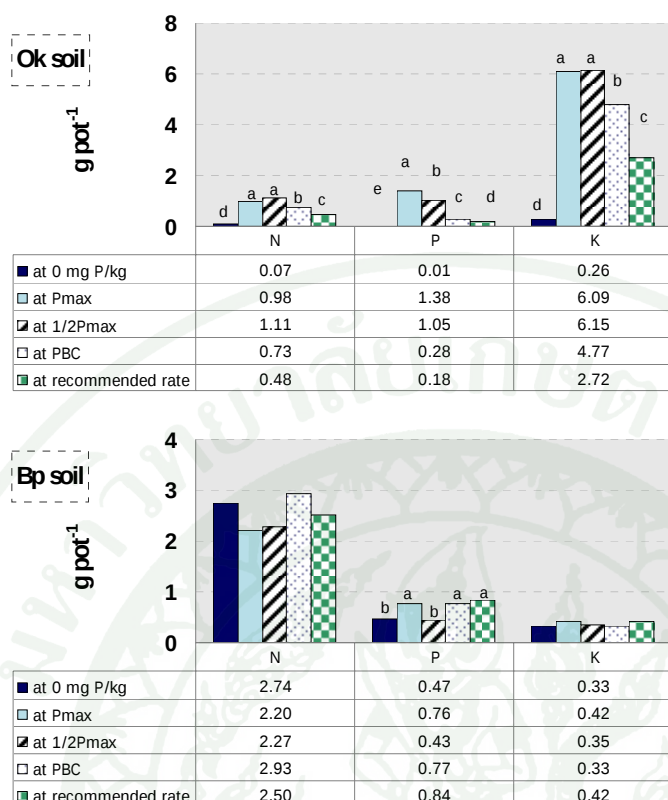
การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2}$ Pmax และ Pmax ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินออร์กนิคมีการดูดใช้ในโตรเจนมากที่สุดและไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเท่ากับ 1.11 และ 0.98 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา PBC, อัตราแนะนำ และการไม่ใส่ฟอสฟอรัส โดยมีการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 0.73, 0.48 และ 0.07 กรัมต่อกระถางตามลำดับ แต่ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวการให้ฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ ไม่มีผลต่อปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนของข้าว โดยการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้ในโตรเจนมากที่สุด (2.93 กรัมต่อกระถาง) รองลงมาคือการไม่ใส่ฟอสฟอรัส (2.74 กรัมต่อกระถาง) และการใส่ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้ในโตรเจนต่ำที่สุด (2.20 กรัมต่อกระถาง) (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 20 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

ในดินองครักษ์การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2}$ Pmax ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ในโตรเจนมากที่สุดเท่ากับ 2.09 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า Pmax, PBC และอัตราแนะนำ แต่เมื่อใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากันจะส่งผลให้การดูดใช้ในโตรเจนของข้าวลดลงอย่างชัดเจน และการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า Pmax, $\frac{1}{2}$ Pmax, PBC และอัตราแนะนำ จะให้การดูดใช้ในโตรเจนไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 22)

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า PBC มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้ในโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 4.24 กรัมต่อกระถาง และการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2}$ Pmax มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้ในโตรเจนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.81 กรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 22) อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราต่างๆ ทั้ง 4 อัตรา มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้ในโตรเจนสูงกว่าการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากัน และค่ารับควบคุม



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

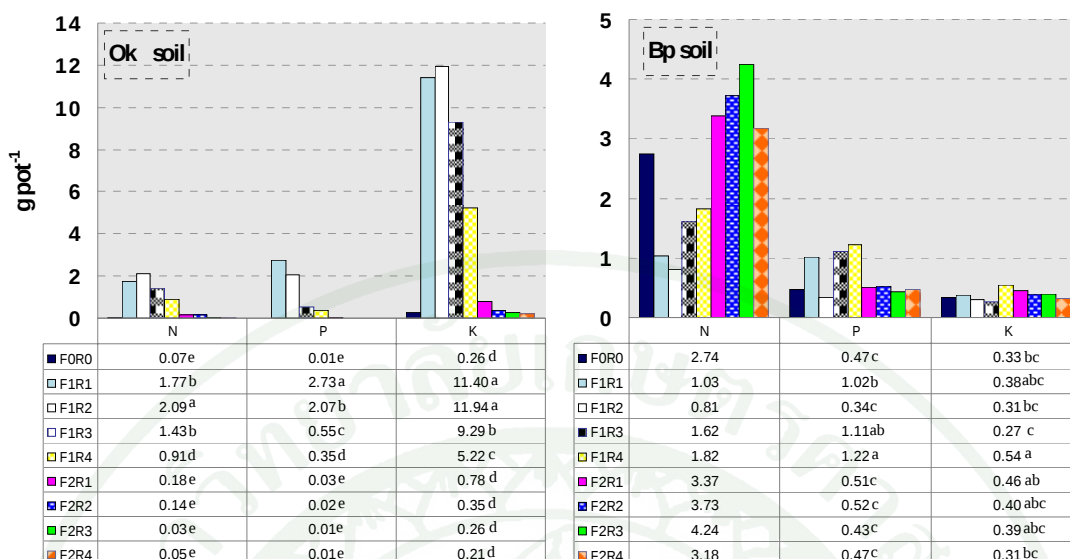
P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1 = 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹, R4 = 199 mg P kg⁻¹)
(Bp soil : R1 = 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 21 ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

4.1.2 ฟอสฟอรัส

การใส่ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินอครักษ์มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุดเท่ากับ 1.43 กรัมต่อกระถาง การใส่ปุ๋ย RP จะให้ข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยโดยมีค่าเท่ากับ 0.02 และ 0.01 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 20) ในขณะที่ดินบางน้ำเปรี้ยว การใส่ปุ๋ย TSP มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุดเท่ากับ (0.92 กรัมต่อกระถาง) การใส่ปุ๋ย RP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส จะให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำที่สุดโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.47-0.48 กรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 20)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 22 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าวที่ปลูกในดินอกรักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax ทำให้ข้าวที่ปลูกในชุดดินอกรักษ์มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสมากที่สุดเท่ากับ 1.38 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา ½ Pmax, PBC, อัตราแนะนำ และการไม่ให้ฟอสฟอรัส โดยมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.05, 0.28, 0.18 และ 0.01 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 21) ในกรณีของชุดดินบางน้ำเปรี้ยวพบว่า การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา ½ Pmax ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำที่สุดเท่ากับ 0.43 กรัมต่อกระถาง ซึ่งไม่แตกต่างจากการไม่ใส่ฟอสฟอรัส (0.47 กรัมต่อกระถาง) และพบว่า การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax, PBC และ อัตราแนะนำ จะให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน และมีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.76-0.84 กรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 21)

ในดินองครักษ์การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสมากที่สุดเท่ากับ 2.73 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ ตามลำดับ แต่เมื่อใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากันจะส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสลดลงอย่างชัดเจน และการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} , $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ จะให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 22)

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราที่แนะนำ ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุดเท่ากับ 1.22 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.02 กรัมต่อกระถางซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า PBC แต่การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$ ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำที่สุดเท่ากับ 0.34 กรัมต่อกระถางซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} , $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC, อัตราแนะนำ และค่ารับควบคุม (ภาพที่ 22)

4.1.3 โปแทสเซียม

การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีการดูดใช้โปแทสเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 9.46 กรัมต่อกระถาง การใช้ปุ๋ย RP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลข้าวมีการดูดใช้โปแทสเซียมไม่แตกต่างกันและมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.40 และ 0.26 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 20) ในขณะที่ดินบางน้ำเปรี้ยว นั้น การใช้ปุ๋ย TSP และปุ๋ย RP มีแนวโน้มข้าวมีการดูดใช้โปแทสเซียมมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (ภาพที่ 20)

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} และ $\frac{1}{2} P_{max}$ ทำให้ข้าวที่ปลูกในชุดดินองครักษ์มีการดูดใช้โปแทสเซียมมากที่สุดและมีปริมาณอยู่ในพิสัย 6.09-6.15 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา PBC, อัตราแนะนำ และการไม่ให้ฟอสฟอรัส โดยมีปริมาณการดูดใช้โปแทสเซียมเท่ากับ 4.77, 2.72 และ 0.26 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 21)

ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การไม่ให้ฟอสฟอรัสและการให้ในอัตรา PBC มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้โพแทสเซียมต่ำที่สุดซึ่งมีปริมาณเท่ากันโดยมีค่าเท่ากับ 0.33 กรัมต่อกระถาง และการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} และอัตราแนะนำมีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้โพแทสเซียมสูงกว่าการฟอสฟอรัสในอัตราที่เหลือทั้งสอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.42 กรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 21)

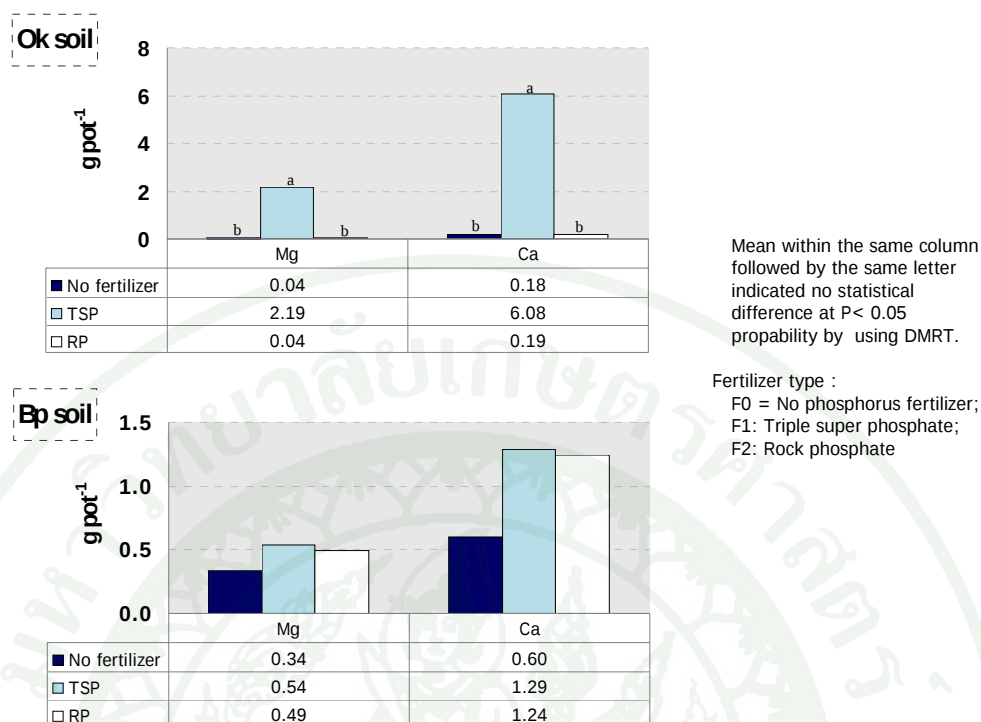
ในดินองค์กรกษการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$ และ P_{max} ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้โพแทสเซียมไม่แตกต่างกันและมีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 11.94 และ 11.40 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ รองลงมาคือการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า PBC และอัตราแนะนำโดยมีค่าเท่ากับ 9.29 และ 5.22 กรัมต่อกระถางตามลำดับ แต่การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} , $\frac{1}{2}P_{max}$, PBC และ อัตราแนะนำ จะให้ข้าวมีการดูดใช้โพแทสเซียมไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 22)

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่าอัตราแนะนำส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้โพแทสเซียมมากที่สุดเท่ากับ 0.54 กรัมต่อกระถางซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} และพบว่าการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่ากับ PBC จะให้ข้าวมีการดูดใช้โพแทสเซียมต่ำที่สุดเท่ากับ 0.27 กรัมต่อกระถาง ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} และ $\frac{1}{2} P_{max}$ การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่ากับ $\frac{1}{2}P_{max}$, PBC, อัตราแนะนำ และค่ารับควบคุม (ภาพที่ 22)

4.2 ธาตุอาหารรอง

4.2.1 แมกนีเซียม

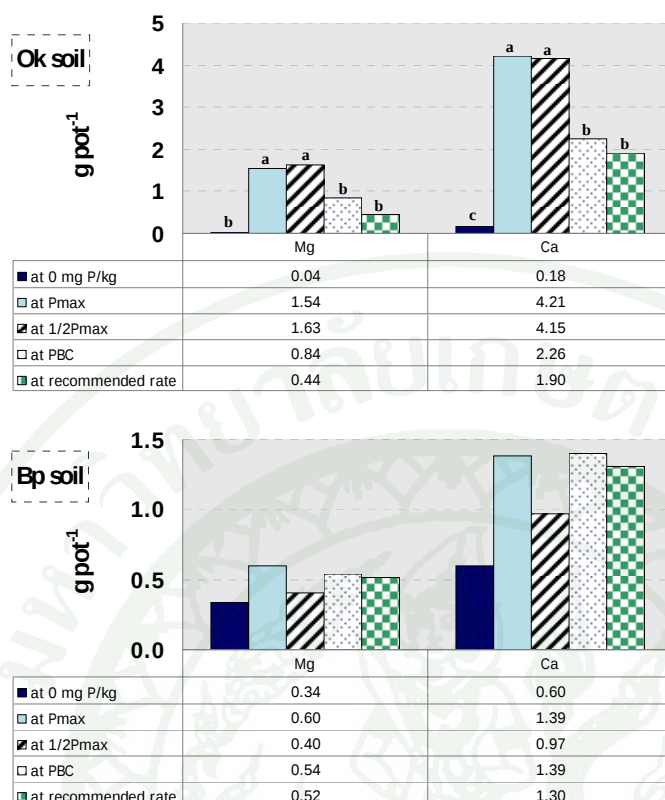
การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองค์กรกษมีการดูดใช้แมกนีเซียมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 2.19 กรัมต่อกระถาง การใช้ปุ๋ย RP การไม่ใส่ปุ๋ย ส่งผลให้ข้าวดูดใช้แมกนีเซียมไม่แตกต่างกันโดยมีปริมาณเท่ากันเท่ากับ 0.04 กรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 23) ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวพบว่าการใช้ปุ๋ย TSP และปุ๋ย RP มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้แมกนีเซียมมากกว่าการไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 23 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้แมกนีเซียม และแคลเซียมของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2}$ Pmax และ Pmax ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีการดูดใช้แมกนีเซียมไม่แตกต่างกันและมีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 1.63 และ 1.54 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา PBC และฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำ และการไม่ให้ฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้แมกนีเซียมต่ำที่สุด (ภาพที่ 24) เช่นเดียวกับในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวที่การให้ในอัตรา Pmax มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้แมกนีเซียมมากที่สุด (0.60 กรัมต่อกระถาง) การไม่ให้ฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้แมกนีเซียมต่ำที่สุดเท่ากับ 0.34 กรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 24)

ในดินองครักษ์การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2}$ Pmax และ Pmax ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้แมกนีเซียมไม่แตกต่างกันและมีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 3.24 และ 3.00 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า PBC (1.64 กรัมต่อกระถาง) และอัตราแนะนำ (0.86 กรัมต่อกระถาง) ตามลำดับ การใส่ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า Pmax, $\frac{1}{2}$ Pmax, PBC และอัตราแนะนำ จะให้ข้าวมีการดูดใช้แมกนีเซียมไม่แตกต่างจากค่าควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 25)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹, R4 = 157 mg P kg⁻¹)
(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 24 ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้แมกนีเซียม และแคลเซียมของข้าวที่ปลูกในดินองค์กรักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

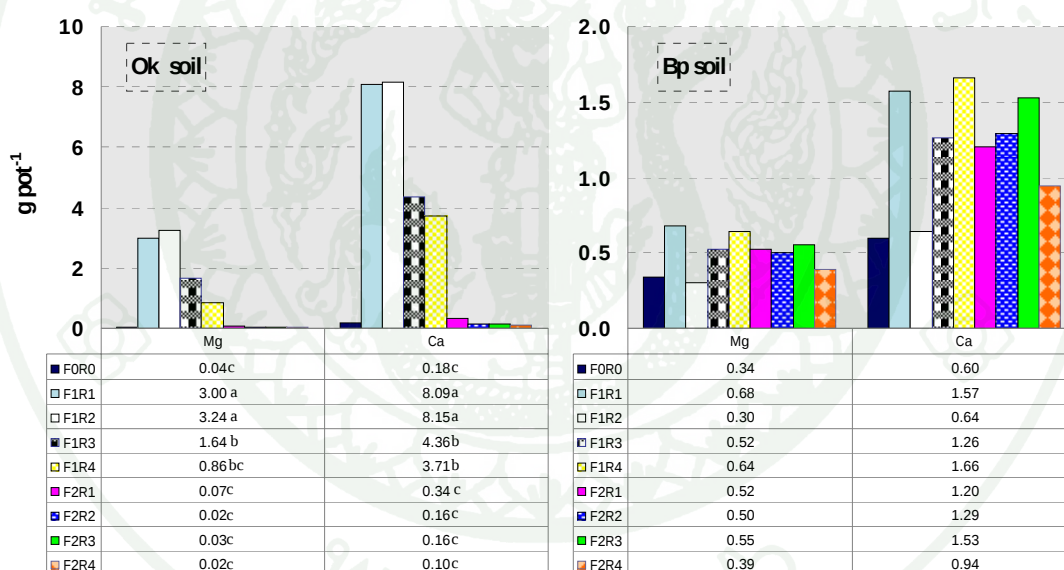
ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตรา Pmax มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้แมกนีเซียมมากที่สุดเท่ากับ 0.68 กรัมต่อกระถาง แต่เมื่อใช้ ในอัตรา เทียบเท่า 1/2 Pmax กลับมีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้แมกนีเซียมใกล้เคียงกับค่ารับควบคุม ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด โดยมีปริมาณอยู่ในพิสัย(0.30-0.34 กรัมต่อกระถาง) (ภาพที่ 25)

4.2.2 แคลเซียม

การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองค์กรักษ์มีการดูดใช้แคลเซียมสูงที่สุด เท่ากับ 6.08 กรัมต่อกระถาง การใช้ปุ๋ย RP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวจะมีการดูดใช้ แคลเซียมต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกันเท่ากับ 0.19 และ 0.18 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 23) เช่นเดียวกันกับการใช้ปุ๋ย TSP ในดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีแนวโน้มให้การดูดใช้แคลเซียมของข้าวสูงที่สุด

(1.29 กรัมต่อกระถาง) ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ย RP (1.24 กรัมต่อกระถาง) และการไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะให้ข้าวดูดใช้แคลเซียมต่ำที่สุดเท่ากับ 0.60 กรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 23)

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} และ $\frac{1}{2} P_{max}$ ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินongครักษ์ มีการดูดใช้แคลเซียมไม่แตกต่างกัน และมีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 4.21 และ 4.15 กรัมต่อกระถางตามลำดับ รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา PBC, อัตราแนะนำ และการไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้แคลเซียมเท่ากับ 2.26, 1.90 และ 0.18 กรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 24) เช่นเดียวกันกับในกรณีดินบางน้ำเปรี้ยวที่การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} และ PBC มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้แคลเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 1.39 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำ, $\frac{1}{2} P_{max}$ และการไม่ให้ฟอสฟอรัสโดยปริมาณการดูดใช้แคลเซียมของข้าวมีค่าเท่ากับ 1.30, 0.97 และ 0.60 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 24)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at P_{max} ; R2 = at $\frac{1}{2}P_{max}$; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 25 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้แมกนีเซียม และแคลเซียมของข้าวที่ปลูกในดินongครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

ในดินองครักษ์ การใช้ TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2}$ Pmax และ Pmax ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้แคลเซียมไม่แตกต่างกันและมีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 8.15 และ 8.09 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ รองลงมาคือ การใช้ TSP ในอัตราเทียบเท่า PBC โดยข้าวจะมีการดูดใช้แคลเซียมเท่ากับ 4.36 กรัมต่อกระถาง ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ TSP ในอัตราเทียบเท่าอัตราแนะนำ (3.71 กรัมต่อกระถาง) แต่การใช้ RP ในอัตราเทียบเท่า Pmax, $\frac{1}{2}$ Pmax, PBC, อัตราแนะนำ และดำรับควบคุม จะให้การดูดใช้แคลเซียมของข้าวไม่แตกต่างกัน และมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 25)

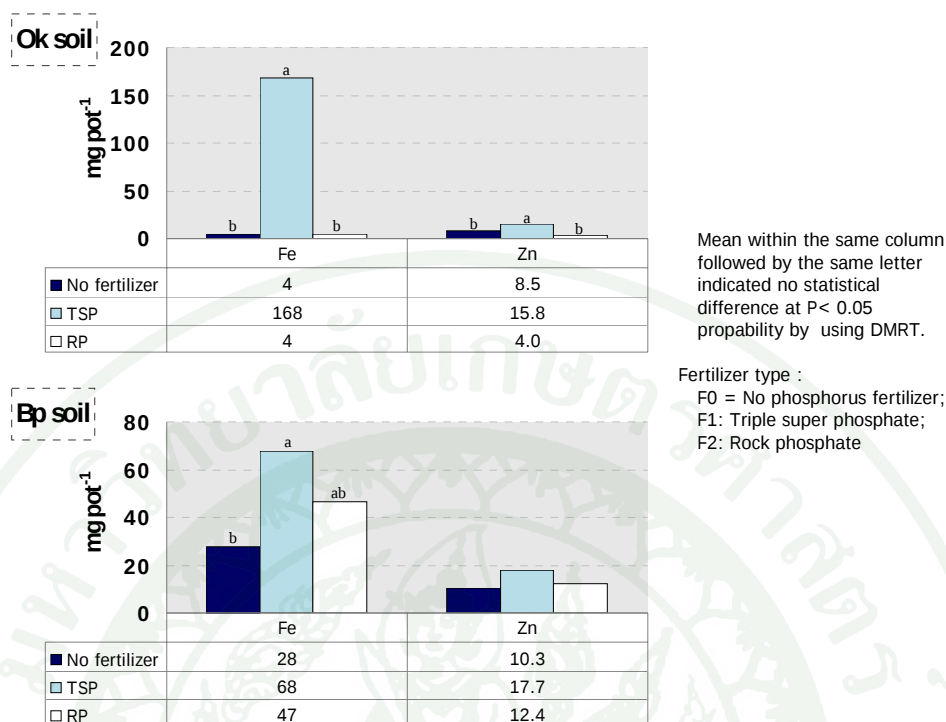
การใช้ปุ๋ย TSP สำหรับที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยวในอัตราเทียบเท่าอัตราแนะนำ มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้แคลเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 1.66 กรัมต่อกระถาง แต่การใช้ในอัตราที่เทียบเท่ากับ $\frac{1}{2}$ Pmax กลับส่งผลให้ข้าวมีแนวโน้มดูดใช้แคลเซียมใกล้เคียงกับดำรับควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุดโดยมรค่าอยู่ในพิสัย 0.60-0.64 กรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 25)

4.3 จุลธาตุอาหาร

4.3.1 เหล็ก

การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีการดูดใช้เหล็กสูงที่สุดเท่ากับ 168 มิลลิกรัมต่อกระถาง การใช้ปุ๋ย RP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวจะมีการดูดใช้เหล็กไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 26) เช่นเดียวกันกับชุดดินบางน้ำเปรี้ยวที่การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวดูดใช้เหล็กสูงที่สุด (68 มิลลิกรัมต่อกระถาง) ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ย RP (47 มิลลิกรัมต่อกระถาง) และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะส่งผลให้ข้าวดูดใช้เหล็กต่ำสุดเท่ากับ 28 มิลลิกรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 26)

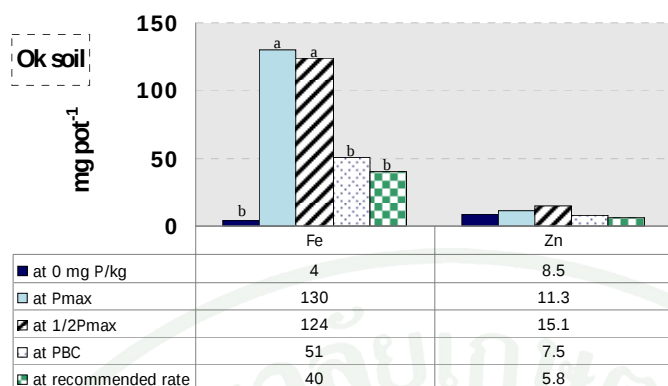
การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax และ $\frac{1}{2}$ Pmax ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีการดูดใช้เหล็กไม่แตกต่างกันและมีปริมาณสูงที่สุดโดยมีค่าเทียบเท่ากับ 130 และ 124 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา PBC, อัตราแนะนำ และการไม่ให้ฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้เหล็กไม่แตกต่างกันและมีปริมาณเท่ากับ 51, 40 และ 4 มิลลิกรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 27) ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้เหล็กสูงที่สุด (78 มิลลิกรัมต่อกระถาง) ซึ่งไม่แตกต่างจากที่อัตรา Pmax และอัตราแนะนำโดยมีค่าเท่ากับ 57 และ 52 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 27) และการไม่ให้ฟอสฟอรัสจะทำให้ข้าวดูดใช้เหล็กต่ำที่สุดซึ่งไม่แตกต่างจากการให้ในอัตรา $\frac{1}{2}$ Pmax



ภาพที่ 26 ผลของชนิดปุ๋ย ที่มีผลต่อการดูดใช้เหล็กและสังกะสีของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

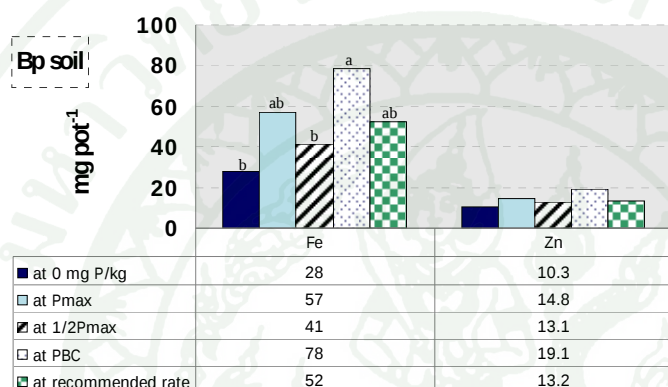
ในดินองครักษ์การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า P_{max} และ $\frac{1}{2} P_{max}$ ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้เหล็กมากที่สุดและไม่แตกต่างกันเท่ากับ 253 และ 244 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า PBC (98 มิลลิกรัมต่อกระถาง) ซึ่งไม่แตกต่างจากการให้ในอัตราเทียบเท่าอัตราแนะนำ แต่การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่าอัตรา P_{max} , $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ และดำรับควบคุมส่งผลให้การดูดใช้เหล็กของข้าวต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 28)

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในชุดดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่าอัตรา PBC ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้เหล็กมากที่สุดเท่ากับ 108 มิลลิกรัมต่อกระถาง ในขณะที่การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเดียวกันหรือการใช้ปุ๋ย TSP หรือการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ รวมทั้งดำรับควบคุม ส่งผลให้ข้าวดูดใช้เหล็กต่ำสุด และไม่มีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 28)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

P rate : R0 = 0 mg P kg^{-1} ; R1 = ; Pmax; R2 = at $\frac{1}{2}$ Pmax; R3 = mg P L^{-1} ; R4 = at recommended rate (157 mg P kg^{-1})

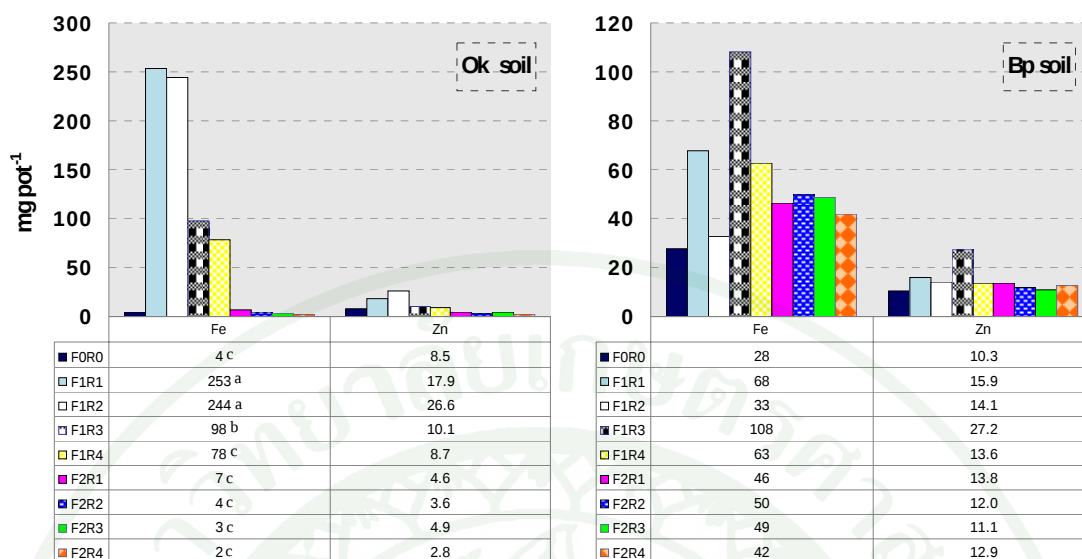


(Ok soil : R1= 802 mg P kg^{-1} , R2 = 402 mg P kg^{-1} , R3 = 398 mg P kg^{-1})
(Bp soil : R1= 424 mg P kg^{-1} , R2 = 212 mg P kg^{-1} , R3 = 327 mg P kg^{-1})

ภาพที่ 27 ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้เหล็กและสังกะสีของข้าวที่ปลูกในดิน
องครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

4.3.2 สังกะสี

การให้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองมีการดูดใช้สังกะสีสูงที่สุดเท่ากับ 15.8 และ 17.7 มิลลิกรัมต่อกระถางตามลำดับ การให้ปุ๋ย RP และการไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส ส่งผลให้การดูดใช้สังกะสีของข้าวไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณอยู่ในพิสัย 4.0-8.5 และ 10.3-12.4 มิลลิกรัมต่อกระถาง สำหรับข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวตามลำดับ (ภาพที่ 26)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 28 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้เหล็ก และสังกะสีของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา ½ Pmax ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีแนวโน้มดูดใช้สังกะสีสูงที่สุดเท่ากับ 15.1 มิลลิกรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax การไม่ให้ฟอสฟอรัส อัตราเทียบเท่า PBC และ อัตราแนะนำ โดยมีการดูดใช้สังกะสีเท่ากับ 11.3, 8.5, 7.5 และ 5.8 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 27) ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวที่พบว่าการให้ฟอสฟอรัสในอัตราเทียบเท่า PBC มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้สังกะสีสูงที่สุด (19.1 มิลลิกรัมต่อกระถาง) รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตราเทียบเท่าอัตรา Pmax อัตราแนะนำ ½ Pmax และการไม่ให้ฟอสฟอรัสโดยมีค่าเท่ากับ 14.8, 13.2, 13.1 และ 10.3 มิลลิกรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 27)

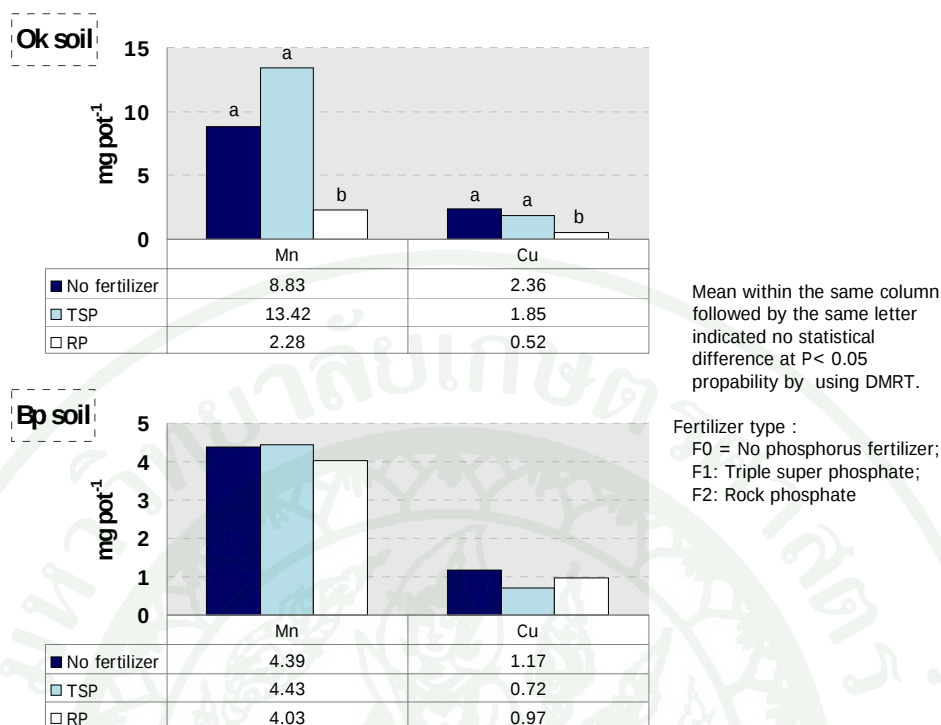
การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2}$ Pmax มีแนวโน้มให้ข้าวที่ปลูกในดิน
องค์กรกษมีการดูดใช้สังกะสีมากที่สุดเท่ากับ 26.6 มิลลิกรัมต่อกระถาง แต่การใช้ปุ๋ย RP ในอัตรา
ต่าง ๆ มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้สังกะสีต่ำกว่าการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเดียวกันซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่า
ในค่ารับควบคุม (ภาพที่ 28)

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตรา
เทียบเท่า PBC มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้สังกะสีมากที่สุดเท่ากับ 27.2 มิลลิกรัมต่อกระถาง แต่
การใช้ปุ๋ย TSP หรือปุ๋ย RP ในอัตราต่างๆ มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้สังกะสีอยู่ในปริมาณใกล้เคียงกัน
โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 11.1-15.9 มิลลิกรัมต่อกระถาง และค่ารับควบคุมมีแนวโน้มที่ข้าวดูดใช้สังกะสี
ต่ำที่สุดเท่ากับ 10.3 มิลลิกรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 28)

4.3.3 แมงกานีส

การใช้ปุ๋ย TSP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองค์กรกษมี
การดูดใช้แมงกานีสไม่แตกต่างกันและสูงที่สุดเท่ากับ 13.42 และ 8.83 มิลลิกรัมต่อกระถาง
ตามลำดับ และการใช้ปุ๋ย RP ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้แมงกานีสต่ำที่สุด (2.28 มิลลิกรัมต่อกระถาง)
(ภาพที่ 29) เช่นเดียวกันในดินบางน้ำเปรี้ยวที่พบว่า การใช้ปุ๋ย TSP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส มี
แนวโน้มให้ข้าวดูดใช้แมงกานีสสูงที่สุดและมีปริมาณใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 4.39-4.43
มิลลิกรัมต่อกระถาง และพบว่าการใช้ปุ๋ย RP ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้แมงกานีสต่ำที่สุด (4.03
มิลลิกรัมต่อกระถาง) (ภาพที่ 29)

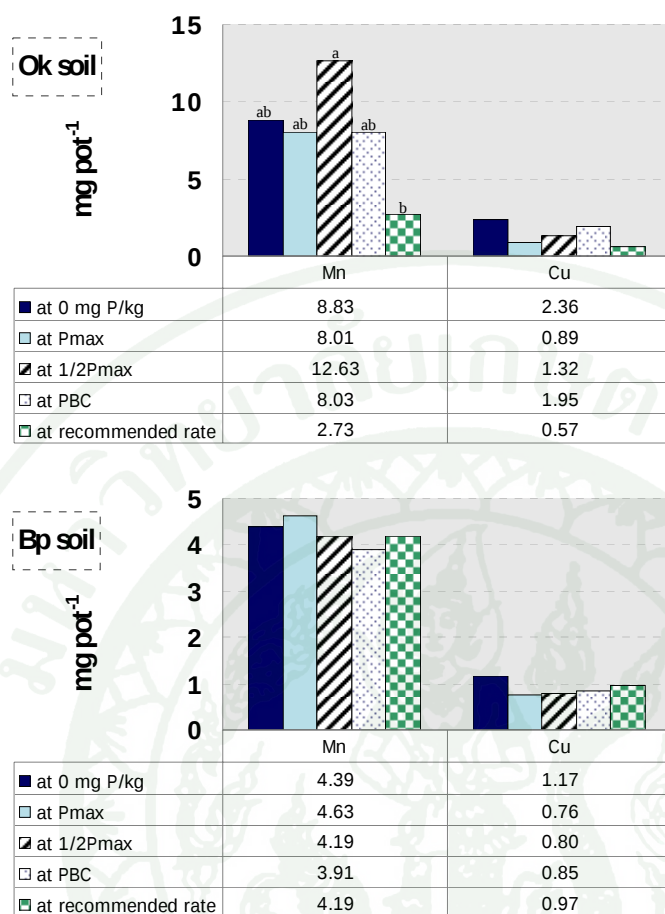
การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2}$ Pmax ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินองค์กรกษมีการดูดใช้
แมงกานีสมากที่สุด (12.63 มิลลิกรัมต่อกระถาง) ขณะที่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำส่งผล
ให้ข้าวดูดใช้แมงกานีสต่ำที่สุดเท่ากับ 2.73 มิลลิกรัมต่อกระถาง และการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2}$
Pmax, และไม่ให้ฟอสฟอรัสส่งผลให้ข้าวดูดใช้แมงกานีสไม่แตกต่างกันโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 8.01-
8.83 มิลลิกรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 30) ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax
มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้แมงกานีสสูงที่สุด (4.63 มิลลิกรัมต่อกระถาง) รองลงมาได้แก่ การ
ไม่ให้ฟอสฟอรัส, $\frac{1}{2}$ Pmax, อัตราแนะนำ และ PBC โดยมีปริมาณการดูดใช้แมงกานีสเท่ากับ 4.39,
4.19, 4.19 และ 3.91 มิลลิกรัมต่อกระถางตามลำดับ (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 29 ผลของชนิดปุ๋ย ที่มีผลต่อการดูดใช้แมงกานีส และทองแดงของข้าวที่ปลูกในดิน
 องค์กรักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

ในชุดดินองค์กรักษ์การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า $\frac{1}{2}$ Pmax ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้แมงกานีสมากที่สุดเท่ากับ 23.46 มิลลิกรัมต่อกระถาง รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า Pmax (13.82 มิลลิกรัมต่อกระถาง) แต่การใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่ากับ Pmax, $\frac{1}{2}$ Pmax, PBC และอัตราแนะนำ ส่งผลให้ข้าวดูดใช้แมงกานีสไม่แตกต่างกันและมีค่าต่ำที่สุดซึ่งไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม (ภาพที่ 31)

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว การใช้ปุ๋ย TSP หรือ ปุ๋ย RP ในอัตราต่างๆ มีแนวโน้มให้ปริมาณการดูดใช้แมงกานีสของข้าวมีปริมาณใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 3.75-4.75 มิลลิกรัมต่อกระถาง โดยการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า Pmax และการใช้ปุ๋ย RP อัตราเทียบเท่า PBC มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้แมงกานีสสูงที่สุดและต่ำที่สุดตามลำดับ (ภาพที่ 31)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ propability by using DMRT.

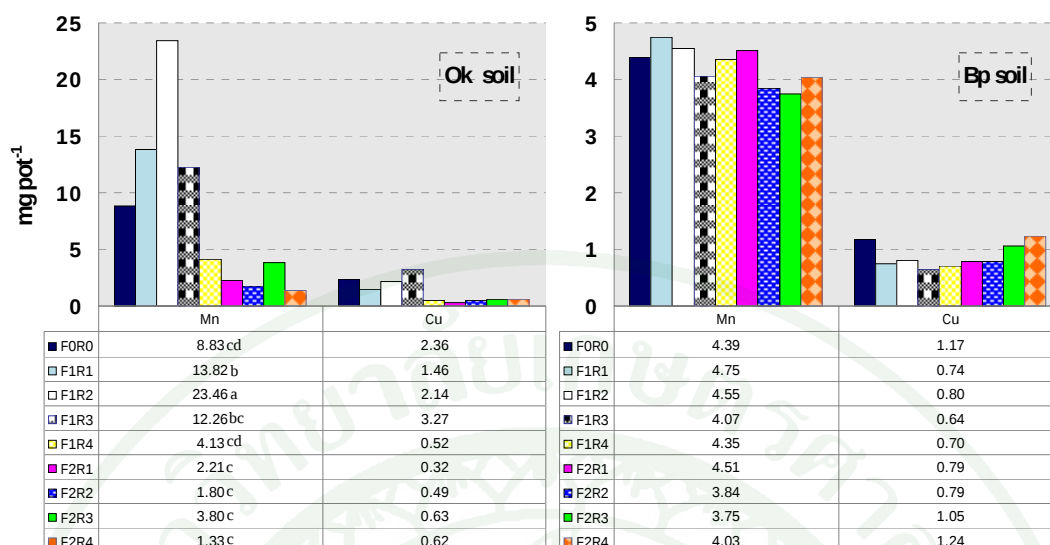
P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹, R4 = 212 mg P kg⁻¹, R5 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 30 ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้แมงกานีส และทองแดงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

4.3.4 ทองแดง

การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและการใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีการดูดใช้ทองแดงไม่แตกต่างกัน และมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.36 และ 1.85 มิลลิกรัมต่อกระถาง ส่วนการใช้ปุ๋ย RP ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ทองแดงต่ำที่สุด (0.52 มิลลิกรัมต่อกระถาง) (ภาพที่ 29) ในขณะที่ชุดดินบางน้ำเปรี้ยวการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้ทองแดงสูงที่สุด (1.17 มิลลิกรัมต่อกระถาง) รองลงมาได้แก่การใช้ RP (0.97 มิลลิกรัมต่อกระถาง) และการใช้ปุ๋ย TSP (0.72 มิลลิกรัมต่อกระถาง) ตามลำดับ (ภาพที่ 29)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 31 ผลของชนิดและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้แมงกานีส และทองแดงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

การไม่ให้ฟอสฟอรัสทำให้ข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์มีแนวโน้มดูดใช้ทองแดงมากที่สุดเท่ากับ 2.36 มิลลิกรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา PBC, ½ Pmax, Pmax และ อัตราแนะนำ โดยมีปริมาณการดูดใช้ทองแดงเท่ากับ 1.95, 1.32, 0.89 และ 0.57 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 30) เช่นเดียวกันกับในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยวที่การไม่ให้ฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้ทองแดงสูงที่สุด (1.17 มิลลิกรัมต่อกระถาง) รองลงมาได้แก่ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำ, PBC, ½ Pmax และ Pmax จะให้ข้าวดูดใช้ทองแดงเท่ากับ 0.97, 0.85, 0.80 และ 0.76 มิลลิกรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 30)

ในชุดดินองค์กรักการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่า PBC มีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้ทองแดงมากที่สุด (3.27 มิลลิกรัมต่อกระถาง) และรองลงมาได้แก่ดำรับควบคุม อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราต่างๆ มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้ทองแดงต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากัน (ภาพที่ 31)

แต่ในกรณีของข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่าการใช้ปุ๋ย TSP หรือปุ๋ย RP ในอัตราต่างๆ มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้ทองแดงในปริมาณใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.70-1.24 มิลลิกรัมต่อกระถาง โดยการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราเทียบเท่าอัตราแนะนำและดำรับควบคุมมีแนวโน้มให้ข้าวมีการดูดใช้ทองแดงมากที่สุด และการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราเทียบเท่ากับ PBC มีแนวโน้มให้ข้าวดูดใช้ทองแดงต่ำที่สุดเท่ากับ 0.64 มิลลิกรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 31)

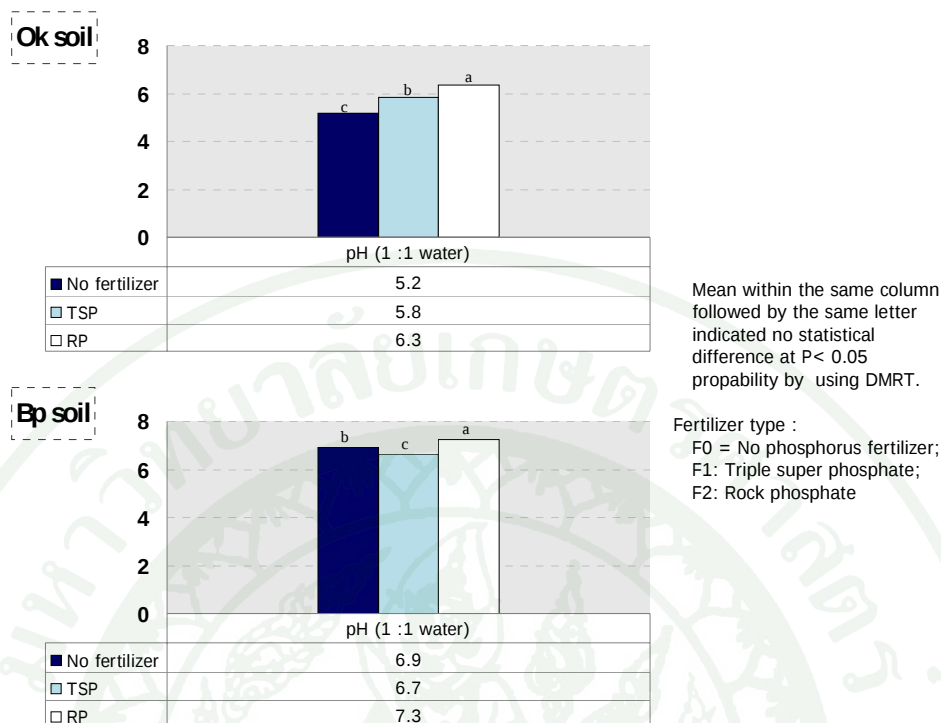
5. สมบัติดินหลังจากทดลอง

5.1 พีเอชดิน

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้พีเอชดินเปลี่ยนแปลงไป โดยหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว พบว่า การใช้ปุ๋ย RP ส่งผลให้พีเอชของดินองค์กรักสูงกว่าการใช้ปุ๋ย TSP และการไม่ใส่ปุ๋ย โดยมีพีเอชเท่ากับ 6.3, 5.8 และ 5.2 ตามลำดับ ในขณะที่ดินบางน้ำเปรี้ยวการใช้ปุ๋ย TSP จะส่งผลให้พีเอชดินต่ำที่สุดเท่ากับ 6.7 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ย RP ส่งผลให้พีเอชของดินสูงที่สุดเท่ากับ 7.3 (ภาพที่ 32)

การให้ฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำจะส่งผลให้ค่าพีเอชของดินองค์กรักสูงที่สุด (pH 6.3) ซึ่งไม่แตกต่างจากการให้ฟอสฟอรัสอัตรา P_{max} และ PBC รองลงมาได้แก่ การให้ฟอสฟอรัสอัตรา $\frac{1}{2} P_{max}$ (pH 5.9) และการไม่ใส่ฟอสฟอรัสส่งผลให้พีเอชดินต่ำที่สุด (ภาพที่ 33) ในขณะที่การให้ฟอสฟอรัสอัตรา PBC ส่งผลให้พีเอชดินบางน้ำเปรี้ยวมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 7.15 ซึ่งไม่แตกต่างจากการให้ฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำ และ $\frac{1}{2} P_{max}$ (ภาพที่ 33)

ผลรวมระหว่างชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสส่งผลให้พีเอชดินเปลี่ยนแปลงไปโดยการใช้ปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ P_{max} , $\frac{1}{2} P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ จะส่งผลให้พีเอชดินองค์กรักสูงกว่าการใช้ปุ๋ย TSP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากันอย่างชัดเจน (ภาพที่ 34)

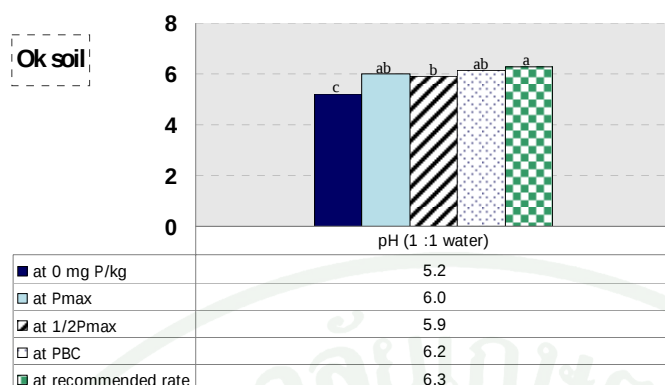


ภาพที่ 32 ผลของชนิดปุ๋ยที่มีผลต่อค่าพีเอชของดินที่ใช้ปลูกข้าวในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

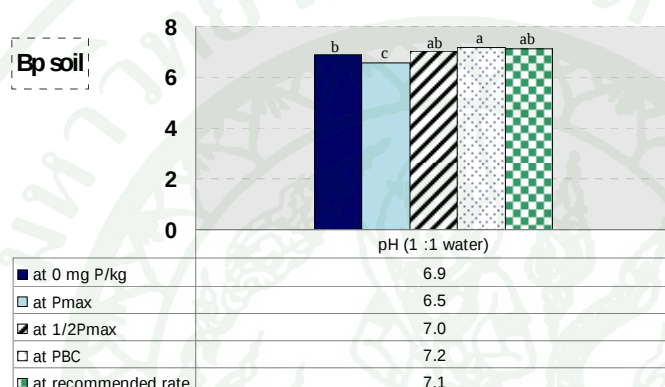
ในขณะที่ชุดดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใช้ TSP ในอัตราสูง (เทียบเท่ากับ P_{max} และ $\frac{1}{2} P_{max}$) ส่งผลให้พีเอชดินลดลงซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ารับควบคุม แต่ถ้าใช้ในอัตราต่ำ (เทียบเท่ากับ PBC และอัตราแนะนำ) ส่งผลให้พีเอชดินไม่แตกต่างจากการใช้ RP ทั้งในอัตราสูงและต่ำ โดยการ ใช้ RP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ $\frac{1}{2} P_{max}$ ส่งผลให้พีเอชดินสูงที่สุดซึ่งไม่แตกต่างจากการให้ RP ในอัตราเทียบเท่ากับ PBC และอัตราแนะนำ (ภาพที่ 34)

5.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตราฟอสฟอรัส และผลร่วมระหว่างชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัส ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 35 - 37)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

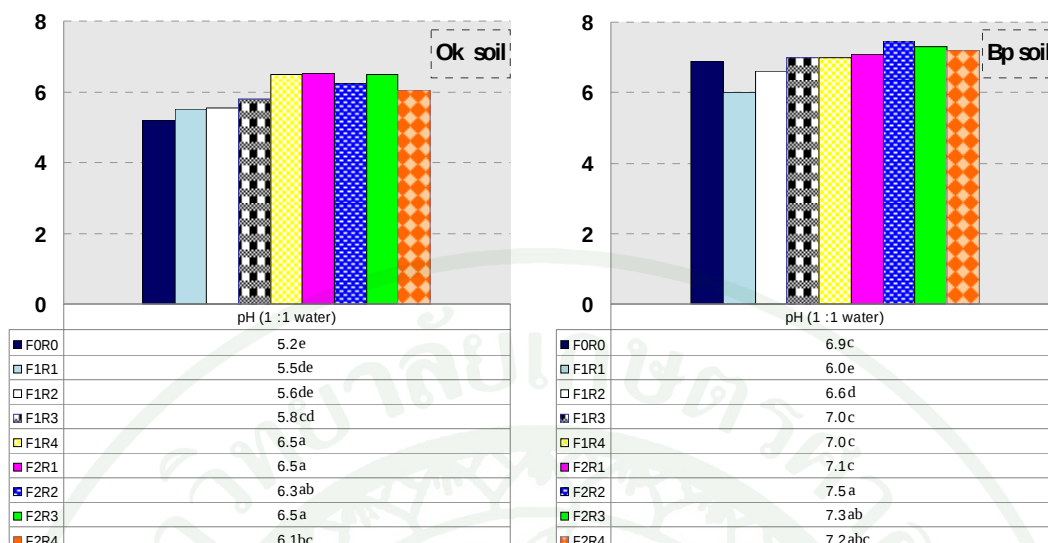


P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P (Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 33 ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าพีเอชของดินที่ใช้ปลูกข้าวในดินองครักษ์ และ บางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินทั้งสองต่ำที่สุด เท่ากับ 3.84 และ 1.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินองครักษ์และดินบางน้ำเปรี้ยว ตามลำดับ การใช้ปุ๋ย TSP ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุดเท่ากับ 22.28 และ 13.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินองครักษ์ และ บางน้ำเปรี้ยว ตามลำดับ และการใช้ปุ๋ย RP ส่งผลให้ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวมีค่าเท่ากับ 8.14 และ 2.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 35)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

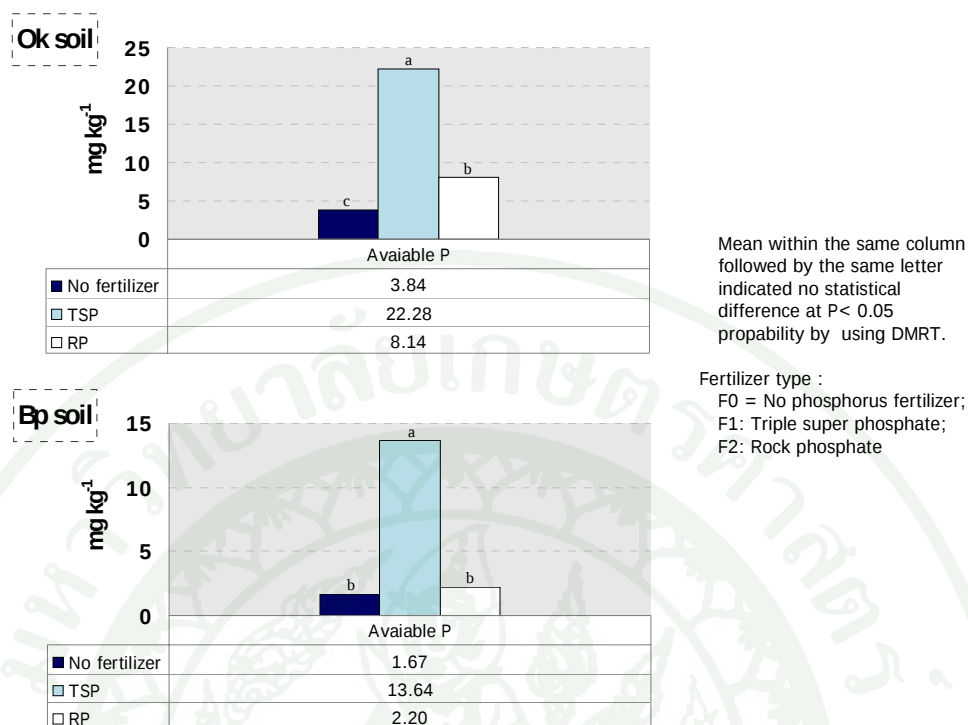
R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 34 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าพีเอชของดินที่ใช้ปลูกข้าวในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

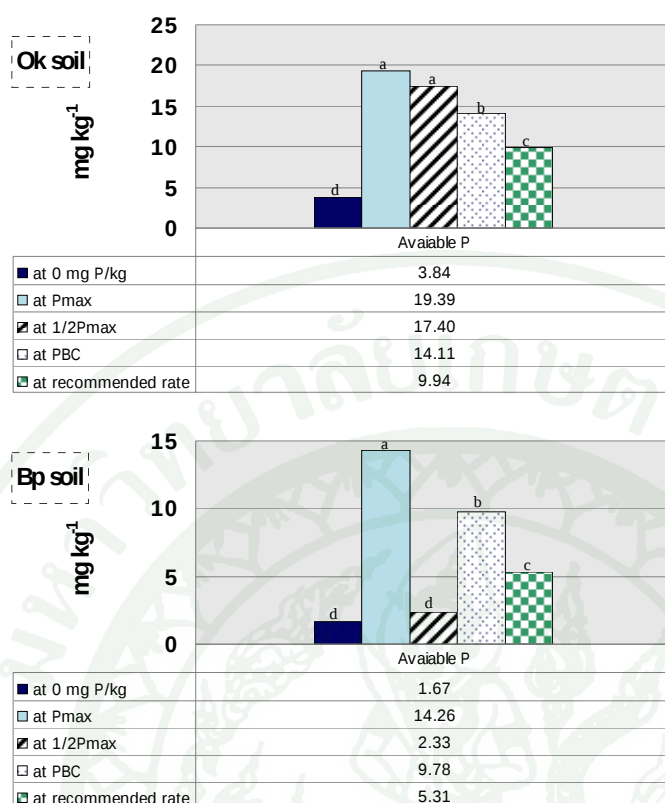
การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax และ ½Pmax ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินองครักษ์ไม่แตกต่างกัน และมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 19.39 และ 17.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ ให้ฟอสฟอรัสอัตรา PBC และอัตราแนะนำ (เท่ากับ 14.11 และ 9.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ) ในขณะที่ดินบางน้ำเปรี้ยว การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุดเท่ากับ 14.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่การให้ฟอสฟอรัสอัตรา PBC และ อัตราแนะนำจะให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเท่ากับ 9.78 และ 5.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และพบว่าการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา ½ Pmax และการไม่ให้ฟอสฟอรัสจะให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุด (ภาพที่ 36)



ภาพที่ 35 ผลของชนิดปุ๋ยที่มีผลต่อค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ใช้ปลูกข้าวในดิน
 องค์กรักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ P_{max} , $\frac{1}{2}P_{max}$, PBC และอัตราแนะนำ จะส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินองค์กรักษ์สูงกว่าการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากับ PBC อย่างชัดเจน และการใส่ปุ๋ย RP ในอัตราที่เทียบเท่ากับอัตราแนะนำส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุด และไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุม (ภาพที่ 37)

ในกรณีของดินบางน้ำเปรี้ยว พบว่า การใส่ปุ๋ย TSP ในอัตราที่เทียบเท่า P_{max} , ส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด (27.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) การให้ RP หรือ TSP ในอัตราที่เทียบเท่ากับ $\frac{1}{2} P_{max}$ จะให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่แตกต่างกัน (2.26 และ 2.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) แต่การใส่ RP ในอัตราที่เทียบเท่า P_{max} และอัตราที่เทียบเท่า PBC จะให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดซึ่งมีปริมาณไม่แตกต่างกันจากค่ารับควบคุม (ภาพที่ 37)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at $P < 0.05$ probability by using DMRT.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1 = 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)
(Bp soil : R1 = 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

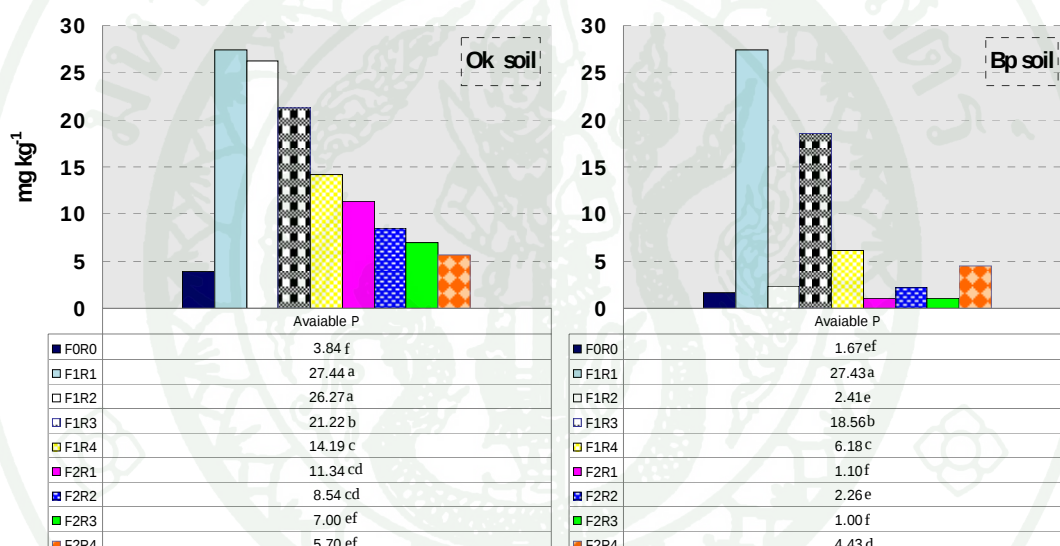
ภาพที่ 36 ผลของอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ใช้ปลูกข้าวในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง

5.3 การดูดซับฟอสฟอรัสของดิน

การใช้ปุ๋ย TSP และปุ๋ย RP มีแนวโน้มให้การดูดซับฟอสฟอรัสในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์ และชุดดินบางน้ำเปรี้ยวเปลี่ยนแปลงไป (ภาพที่ 38 และตารางที่ 4) โดยการใส่ปุ๋ย TSP หรือปุ๋ย RP ส่งผลให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินลดลงอย่างชัดเจน การใช้ RP มีแนวโน้มให้ดินมีการดูดซับฟอสฟอรัสมากกว่าการใช้ปุ๋ย TSP โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 573 และ 532 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินองครักษ์ และ 351 และ 304 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินบางน้ำเปรี้ยวตามลำดับ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสยังส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (PBC) มีค่าลดลงเช่นกัน โดยการใส่ปุ๋ย RP จะส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีปริมาณต่ำกว่าการใช้ TSP โดยมีค่าเท่ากับ 321 และ 345 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินองครักษ์ และ 100 และ 288 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินบางน้ำเปรี้ยวเช่นเดียวกันกับอัตราของฟอสฟอรัส โดยการใส่ฟอสฟอรัสในอัตราสูงส่งผลให้การดูดซับ

ฟอสฟอรัสของดินลดลง (ภาพที่ 39 และ ตารางที่ 4) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ สัมฤทธิ์ (2544) ที่รายงานว่าดินเปรี้ยวจัดเมื่อมีการให้ฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าการ ดูดซับฟอสฟอรัสของดินมีค่าลดลง

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} จะส่งผลให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินทั้งสองมี ปริมาณต่ำที่สุดเท่ากับ 452 และ 208 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยว ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงเกินกว่าครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้น รองลงมาได้แก่การให้ฟอสฟอรัสใน อัตรา PBC, $\frac{1}{2} P_{max}$ และอัตราแนะนำตามลำดับ และการไม่ให้ฟอสฟอรัสส่งผลให้การดูดซับ ฟอสฟอรัสของดินไม่เปลี่ยนแปลง (ภาพที่ 39 และ ตารางที่ 4)



Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference at least at $P < 0.05$ probability using Duncan's multiple range tests.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

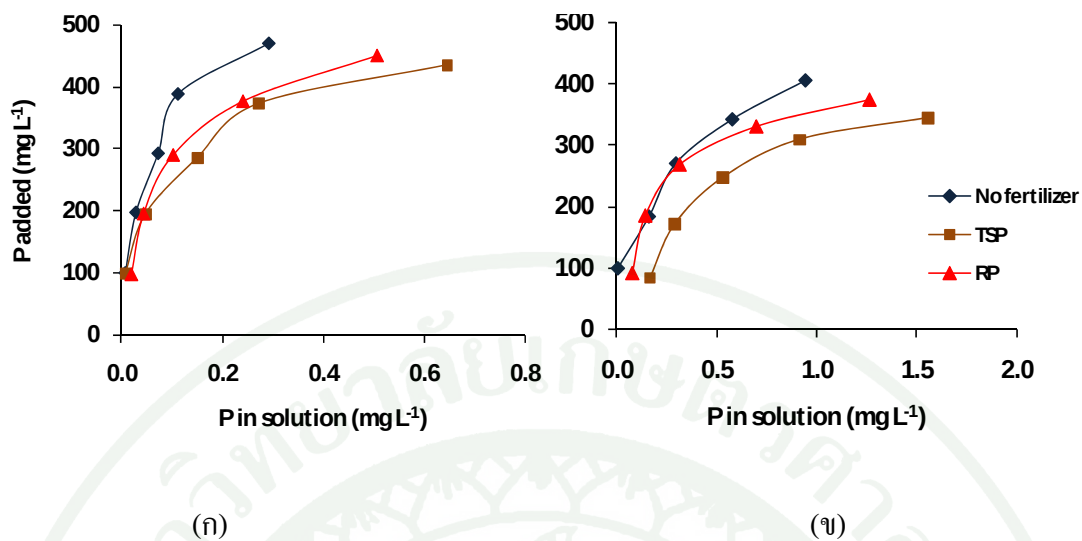
P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at P_{max} ; R2 = at $\frac{1}{2}P_{max}$; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

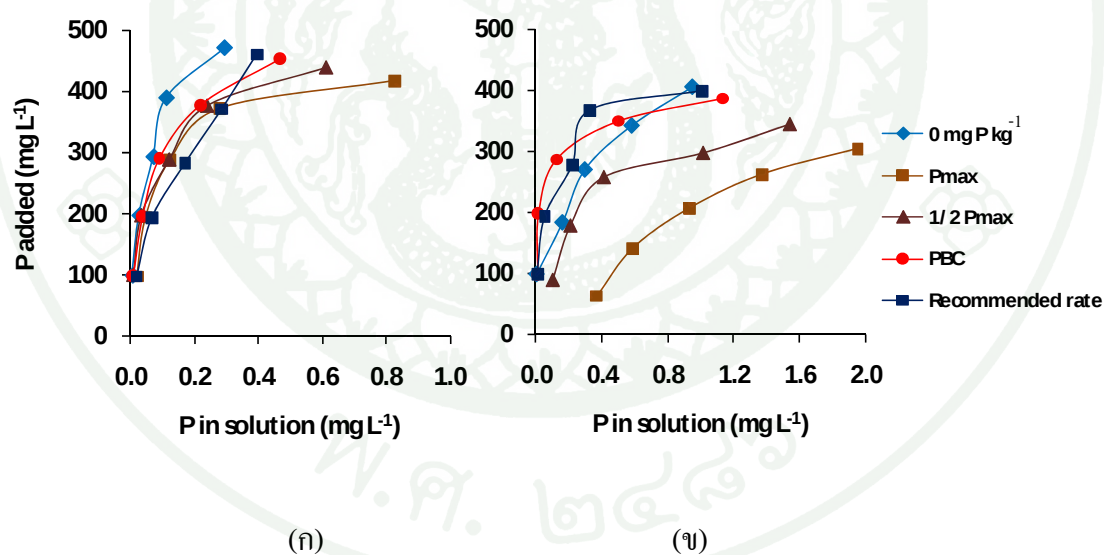
(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ภาพที่ 37 ผลของชนิดและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ใช้ปลูกข้าวในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้าง



ภาพที่ 38 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดิน
องครักษ์ (ก) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (ข) โดยใช้สมการฟรอนดลิช



ภาพที่ 39 ผลของอัตราของฟอสฟอรัสต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุด
ดินองครักษ์ (ก) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (ข) โดยใช้สมการฟรอนดลิช

เมื่อพิจารณาตามความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (PBC) พบว่า การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2}$ Pmax ส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 296 และ 192 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินองครักษ์และดินบางน้ำเปรี้ยว ตามลำดับ ขณะที่การไม่ใส่ฟอสฟอรัสกับดินมีแนวโน้มให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่าดินก่อนการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 434 และ 327 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสในดินองครักษ์ และดินบางน้ำเปรี้ยวที่ปนตกค้างหลังจากเก็บเกี่ยวข้าว

P-adsorption capacity	S0	Phosphorus rate					Phosphorus type	
		R0	R1	R2	R3	R4	F1	F2
		(-----mg kg ⁻¹ -----)						
Ok soil								
Pmax	802	797	452	518	586	655	532	573
½ Pmax	401	399	226	259	293	327	266	287
Phosphorus buffer capacity	398	434	351	296	347	338	345	321
Bp soil								
Pmax	424	429	208	305	382	416	304	351
½ Pmax	212	215	104	152	191	208	152	176
Phosphorus buffer capacity	327	236	218	192	216	230	288	140

หมายเหตุ Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at $\frac{1}{2}$ Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

S0 : Phosphorus adsorption of acid sulfate with residual lime prior the experiment.

วิจารณ์

1. สมบัติดินและการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้าง

ดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์มีปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสเท่ากับ 802 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม ซึ่งสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้มากกว่าดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินบางน้ำเปรี้ยวเกือบสองเท่า (424 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม) ทั้งนี้เนื่องจากพีเอชของดินองครักษ์ที่เป็นกรดรุนแรงมากกว่าโดยมีพีเอชที่วัดในน้ำเท่ากับ 3.1 ซึ่งในสภาพที่เป็นกรดรุนแรงนี้จะส่งผลให้เหล็กและอะลูมิเนียมละลายออกมามากกว่า โดยทั่วไปเหล็กและอะลูมิเนียมโดยเฉพาะในรูปออสันฐาน (Sanchez, 1976) ที่มีอยู่มากในสารละลายดินจะดูดซับฟอสฟอรัสไว้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความเป็นประโยชน์ลดลง พืชจึงไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (Violante *et al.*, 1991; Curtin and Syers, 2001; Khare *et al.*, 2004; Brady and Weil, 2008) ซึ่งการศึกษาของ Sample *et al.* (1980) ได้รายงานว่าหลังจากการขังน้ำ 1 วัน ฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปดินร้อยละ 90 จะถูกตรึงโดยเหล็กและอะลูมิเนียมในรูปที่ละลายน้ำหรือแลกเปลี่ยนได้ รวมทั้งไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Khalid *et al.* (1977) ที่รายงานว่าเหล็กมีบทบาทสำคัญเป็นอันดับแรกในการดูดซับฟอสฟอรัสของดินน้ำขัง

อย่างไรก็ตามการดูดซับของดินในสภาพน้ำขังจะขึ้นกับอยู่สมบัติดินอื่นๆ เหนือจากค่าพีเอชดิน ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ (Reddy *et al.*, 1980; Iyamuremye *et al.*, 1996) รูปของเหล็ก (Krairapanond *et al.*, 1993; Khare *et al.*, 2004) ค่ารีดอกซ์ (ทัศนีย์, 2543; Holford and Patrick, 1979) ชนิดของแร่ดินเหนียว (Karim and Adams, 1984; Havlin *et al.*, 2005) อุณหภูมิ (Tisdale and Nelson, 1975; Sah and Mikkelsen, 1989; Attanandana, 1982) และระยะเวลาในการขังน้ำ (Sample *et al.*, 1980; Quang and Dufey, 1995)

อย่างไรก็ตาม ปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสของดินที่ทำการศึกษานี้ทั้งสองมีค่าต่ำกว่าดินเปรี้ยวจัดที่เคยรายงานโดย Sanyal *et al.* (1993) ซึ่งได้ทำการศึกษาดินเปรี้ยวจัดในอันดับเอนทิซอลล์ และอินเซปทิซอลล์ที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 3.13-4.40 ในเอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่า ดินมีการดูดซับฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัย 1,797-3,004 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Zhang *et al.* (2003) ที่รายงานว่า ดินนาเปรี้ยวจัดในอันดับเอนทิซอลล์มีการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเท่ากับ 3,852 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ Krairapanond *et al.* (1993) ซึ่งได้ทำการศึกษาดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิต ชุดดินรังสิตกรจัด และชุดดินมหาโพธิ์ พบว่า ดินเหล่านี้

มีการดูดซับฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัย 508-699 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่า ดินเปรี้ยวจัดที่ทำการศึกษานี้ครั้งนี้อาจมีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปูนที่ตกค้างอยู่ในดินจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของดินลดลง (Iyamuremye *et al.*, 1996; Suswanto *et al.*, 2007) จึงทำให้ดินที่ทำการศึกษานี้มีการดูดซับฟอสฟอรัสต่ำกว่าดินเปรี้ยวจัดที่เคยมีรายงานมาก่อนหน้านี้ โดยมีการทดลองในประเทศมาเลเซีย ของ Ogunwale and Shamshuddi (1999) ที่รายงานว่าการใส่ปูนในอัตรา 1 ตันต่อเฮกตาร์ในดินเปรี้ยวจัดที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 2.97-3.36 จะส่งผลให้อัตราการดูดซับฟอสฟอรัสของดินลดลงร้อยละ 3.1-13.1 แต่เมื่อมีการใส่ปูนมากกว่า 2 ตันต่อเฮกตาร์กลับส่งผลให้มีการดูดซับฟอสฟอรัสสูงขึ้น เนื่องจากฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับโดยแคลเซียม และเกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตแทนเหล็ก และอะลูมิเนียมฟอสเฟต

นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตมีแนวโน้มให้ค่าพีเอชของดินลดต่ำลงเนื่องจากปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้แคลเซียมฟอสเฟตและกรดฟอสฟอริก จึงอาจส่งผลให้พีเอชของดินรอบเม็ดปุ๋ยมีค่าลดต่ำลง ดินจึงอาจเป็นกรดเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ และคณะ, 2551) และพบว่า การใช้ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตมีแนวโน้มลดการดูดซับฟอสฟอรัสของดินได้มากกว่าการใช้หินฟอสเฟต เช่นเดียวกับการให้ฟอสฟอรัสในอัตราสูงจะส่งผลให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินลดลงมากกว่าในอัตราต่ำ เนื่องจากอัตราการดูดซับฟอสฟอรัสในดินขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็ก และอะลูมิเนียม และในการให้ฟอสฟอรัสในอัตราสูงฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยาคูชันกับออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม (Brady and Weil, 2008) ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสเพียงพอแก่การดูดซับ จึงทำให้ค่าการดูดซับฟอสฟอรัสลดลง แต่การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2}P_{max}$ กลับมีแนวโน้มให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าต่ำที่สุด และการไม่ใส่ฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าสูงที่สุด

2. การตอบสนองของข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างต่อชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัส

ข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์ และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว จะตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างชัดเจน เมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ข้าวที่ปลูกในทั้งสองชุดดินจะมีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูง จำนวนต้นต่อกระถาง และให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสเลย ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ดินทั้งสองอาจมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ดิน พบว่า ดินทั้งสองมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ต่ำ และปานกลางตามลำดับ

(ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อพืช พืชมีความต้องการฟอสฟอรัสเพื่อให้มีการเจริญเติบโตเป็นไปตามปกติ ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีระบบรากที่ไม่สมบูรณ์ ออกดอกช้าและจำนวนดอกน้อยกว่าปกติ (ยงยุทธ, 2546) และเมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับข้าว หรือเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินจะส่งผลให้ข้าวดูดดึงฟอสฟอรัสขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสจะสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสเลย การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวจึงเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะในกรณีของดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้าง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สัมฤทธิ์ (2544) ที่พบว่า ข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิตกรดจัด ชุดดินรังสิตและชุดดินเสนาจะตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสดีกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยในด้านการเจริญเติบโต และผลผลิต

แต่เมื่อพิจารณาถึงชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสกลับพบว่า ข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์ที่ยังคงมีความเป็นกรดรุนแรงจะตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตมากกว่าหินฟอสเฟต ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีปูนตกค้างมีแนวโน้มตอบสนองต่อปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ เสกสรร (2547) ที่รายงานว่า ข้าวที่ปลูกในดินรังสิตกรดจัดจะตอบสนองต่อทั้งทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต และหินฟอสเฟต โดยการใส่ปุ๋ยทั้งสองชนิดจะให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสามฤดูกาลปลูก แต่ข้าวจะตอบสนองต่อปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตเฉพาะในฤดูกาลนั้น ๆ ในขณะที่หินฟอสเฟตจะมีผลตกค้างไปถึงข้าวในฤดูกาลถัดไป ซึ่งทำให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าผลตกค้างที่มาจากปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต แต่การศึกษาของ Sawudyothin (1987) กลับพบว่า การใส่หินฟอสเฟตส่งผลให้ผลผลิตข้าวที่ปลูกบนดินองครักษ์สูงกว่าการใส่ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต ทั้งนี้เนื่องจากสภาพที่เป็นกรดรุนแรงของดินเปรี้ยวจัดส่งผลให้มีเหล็กและอะลูมิเนียมมากในสารละลายดิน ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปจะเกิดการละลายอย่างรวดเร็ว จึงเกิดการดูดซับกับเหล็ก และอะลูมิเนียมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้พืชไม่สามารถใช้ได้ แต่ในกรณีของหินฟอสเฟต (Attanandana *et al.*, 1981; Curtin and Syers, 2001; Brady and Weil, 2008) โดยในสภาพความเป็นกรดที่รุนแรงนั้นจะค่อยๆ ละลายฟอสฟอรัสออกมาจากหินฟอสเฟต (ประพิศ และ วิศิษฐ์, 2532; เสกสรร, 2547; Brady and Weil, 2008) แต่อย่างไรก็ตามได้มีรายงานว่าหินฟอสเฟตจะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าวในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต จึงมักจะส่งผลตกค้างในฤดูกาลถัดมา (Syer *et al.*, 1986)

การให้ฟอสฟอรัสที่การดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน (P_{max}) ที่ครั้งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน ($\frac{1}{2} P_{max}$) ที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (PBC) และอัตราฟอสฟอรัสที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร (2532) เท่ากับ 157 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองชุดดินจะมีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูง จำนวนต้นต่อกระถาง และให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับฟอสฟอรัส (0 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม) โดยเมื่อไม่มีการใส่ให้ฟอสฟอรัสเลย พบว่า การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์จะต่ำกว่าดินบางน้ำเปรี้ยวอย่างชัดเจน และพบว่าในดินองครักษ์นั้นข้าวจะตอบสนองต่อฟอสฟอรัสที่อัตรา P_{max} ในทุกการเจริญเติบโตรวมทั้งผลผลิต ในขณะที่ดินบางน้ำเปรี้ยวข้าวจะตอบสนองต่อฟอสฟอรัสที่อัตรา P_{max} และ PBC ในด้านความสูง และในเรื่องจำนวนการแตกกอ แต่ในกรณีของผลผลิต ข้าวกลับตอบสนองฟอสฟอรัสที่อัตราแนะนำที่สุด ซึ่งให้ผลผลิตข้าวเปลือกใกล้เคียงกับการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC การศึกษาที่ได้สอดคล้องกับปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสของดิน โดยชุดดินองครักษ์มีการดูดซับหรือการตรึงฟอสฟอรัสสูงกว่าชุดดินบางน้ำเปรี้ยวอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าข้อจำกัดของฟอสฟอรัสในดินองครักษ์จะมีความรุนแรงมากกว่า ดังนั้นข้าวจึงตอบสนองต่อฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงกว่า ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการทดลองของ สัมฤทธิ์ (2544) ที่ได้ทำการทดลองปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัด พบว่าข้าวที่ปลูกในดินรังสิตกรดจัดที่มีการดูดซับฟอสฟอรัสสูงจึงทำให้ฟอสฟอรัสในดินต่ำ ข้าวจึงตอบสนองต่อการใส่ฟอสฟอรัสในอัตราที่สูง

นอกจากนี้การที่ข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยวตอบสนองต่ออัตราฟอสฟอรัสแตกต่างจากในกรณีของดินองครักษ์ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากเหล็กที่สกัดได้ในดินบางน้ำเปรี้ยวมีปริมาณต่ำกว่าชุดดินองครักษ์ (ตารางที่ 1) โดยเฉพาะในรูปออสสนาน ซึ่งเหล็กเหล่านี้มักดูดตรึงอยู่กับฟอสฟอรัส (Krairapanond *et al.*, 1993; Khare *et al.*, 2004) จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ได้มากกว่าในกรณีของดินองครักษ์ ข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยวจึงตอบสนองกับฟอสฟอรัสในอัตราที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของดินองครักษ์

อย่างไรก็ตามในกรณีของดินบางเปรี้ยวนั้นให้ผลการศึกษาสอดคล้องกับรายงานของ Ozanne and Shaw (1967) ที่ได้กำหนดว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ PBC จะเป็นค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ทำให้พืชเจริญเติบโตสูงสุด เช่นเดียวกับ Fox *et al.* (1970) ที่พบว่า ผลผลิตข้าวฟ่างที่ปลูกในดินที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว จะสูงที่สุดเมื่อมีฟอสฟอรัสในสารละลายดินเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่การศึกษาของ Ogunwale and Shamsuddi (1999) พบว่า ในสารละลายดินที่ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตรจะทำให้ผลผลิตข้าวสูงสุด เช่นเดียวกับกับการทดลองของ

Samadi (2003) ที่ทดสอบในข้าวสาลี และนอกจากนี้การศึกษาโดย นัจจักษ์ (2550) พบว่า ข้าวที่ปลูกในดินบางน้ำเปรี้ยว และดินรังสิตจะมีผลผลิตสูงที่สุดเมื่อมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินเท่ากับ 0.34 และ 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

ดังนั้นเมื่อเกษตรกรจะทำการใส่ปุ๋ยในชุดดินองครักษ์ควรใส่ปุ๋ย TSP ในปริมาณ 3.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ในปริมาณ 1.35 กิโลกรัมต่อไร่ จะส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโต และผลผลิตสูงที่สุด และพบว่า ดินบางน้ำเปรี้ยวควรใส่ปุ๋ย TSP ในปริมาณ 0.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ในปริมาณ 0.26 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยในอัตราที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำสามารถนำไปใช้ได้ดินบางน้ำเปรี้ยวที่มีการปรับปรุงดินโดยการใส่ปูน แต่ในดินองครักษ์ที่มีการปรับปรุงดินโดยการใส่ปูน อาจมีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาถึงการเพิ่มอัตราของฟอสฟอรัสที่ใช้ รวมทั้งชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ควรแนะนำต่อเกษตรกรต่อไป

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์และดินบางน้ำเปรี้ยวมีพีเอชสนามเท่ากับ 5.0 และ 8.5 ตามลำดับ ดินองครักษ์มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงกว่าดินบางน้ำเปรี้ยว เกือบสองเท่าโดยมีค่าเท่ากับ 802 เปรียบเทียบกับ 424 มิลลิกรัมกรัมต่อกิโลกรัม แต่ที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน 0.2 มิลลิกรัมกรัมต่อลิตร กลับมีปริมาณใกล้เคียงกันโดยมีค่าเท่ากับ 398 และ 327 มิลลิกรัมกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ภายใต้สภาพการปลูกในกระถาง ข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างจะตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างเด่นชัด เมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองชุดดิน จะมีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูง จำนวนการแตกกอ และให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส

ข้าวที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ที่ยังคงมีความเป็นกรดรุนแรงตอบสนองต่อปุ๋ยทริปเปิ้ล-ซูเปอร์ฟอสเฟตมากกว่าหินฟอสเฟต โดยส่งผลต่อการเจริญเติบโตให้ข้าวเข้าสู่ระยะแตกกอ ก้านิดช่อดอก และออกดอก เร็วกว่าการใส่หินฟอสเฟต รวมทั้งมีความสูง จำนวนการแตกกอ จำนวนรวง และน้ำหนักเมล็ดสูงที่สุด แต่ในกรณีของชุดดินบางน้ำเปรี้ยวข้าวกลับไม่ตอบสนองต่อชนิดของปุ๋ย แต่มีแนวโน้มตอบสนองต่อทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตเช่นกัน

การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา P_{max} ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในชุดดินองครักษ์เข้าสู่ระยะก้านิดช่อดอกและออกดอกเร็วที่สุดและให้ผลผลิตสูงที่สุด ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการดูแลใช้ธาตุอาหารหลักในข้าวด้วย รองลงมาได้แก่ ครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงที่สุด ที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในสารละลายดินที่ 0.2 มิลลิกรัมกรัมต่อลิตร และอัตราแนะนำ ตามลำดับ

ในขณะที่ดินชุดบางน้ำเปรี้ยวข้าวจะตอบสนองต่อฟอสฟอรัสที่อัตรา PBC และ P_{max} ในด้านการเจริญเติบโตเท่ากันซึ่งสอดคล้องการดูแลใช้ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน แต่การให้ฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำมีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดดีสูงที่สุด ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับการให้ฟอสฟอรัสที่อัตรา PBC

การใส่ปุ๋ยทริปเปอร์ซูเปอร์ฟอสเฟตในอัตรา 1.35 และ 0.26 กิโลกรัมต่อไร่จะส่งผลให้ข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้างชุดดินองครักษ์และชุดดินบางน้ำเปรี้ยวมีผลผลิตเมล็ดสูงที่สุดตามลำดับ แต่อัตราที่แนะนำนี้อาจยังไม่สามารถที่นำไปใช้ในการปลูกข้าวในแปลงเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากในแปลงเกษตรกรอาจมีปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตของข้าวมากกว่าการปลูกในเรือนทดลอง

การให้ฟอสฟอรัสในอัตราสูง เช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยทริปเปอร์ซูเปอร์ฟอสเฟต จะส่งผลให้ดินเป็นกรดและมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น แต่การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา $\frac{1}{2}P_{max}$ ส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าต่ำที่สุด และการไม่ให้ฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าดินเปรี้ยวจัดซึ่งส่วนใหญ่ได้รับการปรับปรุง การแนะนำปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวควรมีการเปลี่ยนแปลง ควรมีการปรับปรุงในเรื่องอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แนะนำให้เกษตรกรใช้ใหม่เนื่องจากผลผลิตที่ได้จากการทดลองที่ใช้ฟอสฟอรัสในอัตราที่แนะนำให้เกษตรกรใช้ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ได้ต่ำกว่าการให้ในอัตราเทียบเท่าการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน

ดินเปรี้ยวจัดชุดดินองครักษ์ยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการด้านธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะฟอสฟอรัสซึ่งมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากการที่ดินเป็นกรดรุนแรง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จึงต่ำ แสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใส่ปูนยังคงส่งผลไม่เพียงพอที่จะลดค่าความเป็นกรดที่รุนแรงนั้นได้ ดังนั้นการใช้ปูนเพื่อลดความเป็นกรดของดิน เช่นเดียวกับการช่วยลดการละลายออกของเหล็ก และอะลูมิเนียมในสารละลายดิน ยังคงมีความจำเป็นในกรณีที่ใช้พื้นที่เหล่านี้เพื่อทำการเกษตร แต่ในดินบางน้ำเปรี้ยวการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราแนะนำนั้นเพียงพอต่อการให้ผลผลิตของข้าวที่ปลูก ดังเช่นผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองสำรวจดิน 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสาร
วิชาการเล่มที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2551. อาการขาดธาตุอาหารในข้าว. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดินและจำแนกดิน. 2526. รายงานการสำรวจดินจังหวัดฉะเชิงเทรา. กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2532. ดินเปรี้ยวในภาคกลาง. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2515. แผนที่ดิน จังปทุมธานี นนทบุรี นครหลวงกรุงเทพ ธนบุรี สมุทรสาคร และ
สมุทรปราการ มาตราส่วน 1:100,000. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร และสหกรณ์,
กรุงเทพฯ.

_____. 2524. แผนที่ดินจังหวัดฉะเชิงเทรา มาตราส่วน 1:100,000. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวง
เกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 9.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2550. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิตยา สุ่มกะโยธิน. 2532. การเปลี่ยนแปลงรูปของอินทรีย์ฟอสฟอรัสและความเป็นประโยชน์
ต่อข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประพิศ แสงทอง และ วิศิษฐ์ โชติสกุล. 2532. การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีของหินฟอสเฟต
เมื่อใส่ลงในดิน. การประชุมสัมมนาทางวิชาการ ส่งเสริมการใช้และพัฒนาหินฟอสเฟไทย.
กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ประพิศ แสงทอง, นิลประไพ จันทนภาพ และ วิศิษฐ์ โชติสกุล. 2528. “การดูดซับฟอสเฟต
สูงสุดของดินชนิดต่างๆ.” วารสารวิชาการเกษตร 3: 157 – 164.

พรทิศา กัญยวงศ์หา. 2532 การกำเนิดและสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินกรดจัดในบริเวณที่
ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ขงยุทธ โอสดสภาม, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต สงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตร
ยั่งยืน. ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิศิษฐ์ โชติสกุล, มะลิวัลย์ เทพพูลผล และ นิลประไพ จันทนภาพ. 2518. การศึกษาการดูดซับ
ฟอสฟอรัสในดินนาชนิดต่างๆ. รายงานผลการทดลองและวิจัยประจำปี 2518.
กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เสกสรร เอกจิตร. 2547 การละลายและความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตต่อผลผลิตข้าวพันธุ์
สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัมฤทธิ์ ภู่งรุ่งเรือง. 2544 ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีที่ปลูก
ในดินเปรี้ยวจัดและดินเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2547. คู่มือปฏิบัติการการสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Andriesse, W. and M.E.F. van Mensvoort. 2006. Acid sulfate soils: distribution and extent, pp.
14–19. In R. Lal., ed. **Encyclopedia of Soil Science**. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Anjos, J.T. and D.L. Rowell. 1987. “The effect of lime on phosphorus adsorption and barley
growth in three acid soils.” **Plant and Soil** 103: 75-82.

Attanandana, T., S. Vacharotayan and K. Kyuma. 1981. Chemical characteristics and fertility status of acid sulfate soils of Thailand. **Proc. Int. Symp. On Acid Sulfate Soils.** Jan. 18-30, 1981. Bangkok.

Attanandana, T. 1982. **Fertility Problems of Acid Sulfate Soils of Thailand.** Ph.D. Thesis, Kyoto University.

Bohn, H.L., B.L. McNeal and G.A. O'Conner. 2001. **Soil Chemistry.** 3rd ed. John Wiley and Sons. Inc., New York.

Brady, N. C. and R. R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soil.** Macmillan Publishing Co. Inc., New York.

Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. "Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil." **Soil Sci.** 59: 39-45.

Brinkman, R. and L.J. Pons. 1972. Recognition and predication of acid sulfate soil conditions. pp. 169-203. *In* H. Dost, ed., **Acid Sulfate Soils.** Proc. Int. Symp. ILRI. 18, Vol. 1. Wageningen, The Neterlands.

Brinkman R., Ve N. Bao, T. T. Kim, H. Do Phuoc and M.E.F. Van Mensvoort. 1993. "Sulphidic materials in the western Mekong Delta, Vietnam." **Catena** 2: 317-331.

Buchholz, C.H. and C.D. Foy. 1981. "Effect of aluminium toxicity on root morphology of barley." **Plant and Soil** 63: 93-95.

Chang, S.C. and M.L. Jackson. 1957. "Fractionation of soil phosphorus." **Soil Sci.** 84: 133-144.

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

Changprai, C., T. Chitchumnong, C. Navanugraha and S. Sridhavat Na Ayudhya. 1982.

Classification and Characterization of Soils in the Central Plain of Thailand.

Dept. of Land Development, Bangkok.

Curtin, D. and J.K. Syers. 2001. "Lime-induced changes in indices of soil phosphate availability." **Plant and Soil** 65: 147-152.

Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis, pp. 545-567. In C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Properties**. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

Dent, D.L. and L.J. Pons. 1995. "A world perspective on acid sulphate soils." **Geoderma** 67: 263-276.

Fox, R.L. and E.J. Kamprath. 1970. "Phosphate sorption isotherm for evaluating the phosphate requirement of soils." **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 34: 902-907.

Frossard, F.M., M. Brossard and A. Metherell. 1995. Reactions controlling the cycling of P in soils., pp. 107-137. In H. Tiessen, ed. **Phosphorus in the Global Environment : Transfers, Cycles and Management**. John Wiley & Sons. Inc., New York.

Hanhart, K. and D. van Ni. 1993. Water management on rice fields at Hoa An in the Mekong Delta, pp. 161-175. In D.L. Dent and M.E.F. Van mensvoort, eds. **Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils**. ILRI Publication No. 53 Wageningen, The Netherlands.

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.M. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management**. 7th ed. Pearson Prentice Hall Inc., New Jersey.

- Holford, I.C.R. 1980. "Effect of phosphate buffer capacity on critical levels and relationships between soil tests and labile phosphate in wheat-growing soils." **Aust. J. Soil Res.** 18: 405-424.
- Holford, I.C.R. and W.H. Patrick. 1979. "Effect of reduction and pH changes on phosphate sorption and mobility in an acid soil." **Soil Sci. Soc. Am. J.** 48: 292-297.
- Husson, O., P. H. Verburg, Mai Thanh Phung and M. E. F. Van Mensvoort. 2000. "Spatial variability of acid sulphate soils in the Plain of Reeds, Mekongdelta, Vietnam." **Geoderma** 97: 1-19.
- Iyamuremye, F., R. P. Dick and J. Baham. 1996. "Organic amendments and phosphorus dynamic: I. Phosphorus chemistry and sorption." **Soil Sci.** 16: 426-435.
- Islam, A.K.M.S., D.G. Edwards and C.J. Asher. 1980. "pH optimum for crop growth results of a flowing solution culture experiment with six species." **Plant and Soil** 54: 339-357.
- Jackson, M.L. 1965. **Soil Chemical Analysis-Advanced Course**. Department of Soils, University of Wisconsin, USA.
- Kamprath, E.U. and M.E. Watson. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils., pp. 433-469. *In* F.E. Khasawneh, E.C. Sample, E.U. Kamprath, eds., **The Role of Phosphorus in Agriculture**. Tennessee Valley Authority, Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. and Soil Sci. Soc. Am., Wisconsin.
- Karim, M.I. and W.A. Adams. 1984. "Relationships between sesquioxides, kaolinite, and phosphate sorption in catena of Oxisols in Malawi." **Soil Sci. Soc. Am. J.** 48: 406-409.
- Kevie, W. van der and B. Yenmanas. 1972. **Detailed Reconnaissance Soil Survey of Southern Central Plain area**. Soil Survey Report No. 89. Department of Land Development, Bangkok., Thailand.

- Khalid, R.A., W.H. Patrick and R.D. Delaune. 1977. "Phosphorus sorption characteristics of flooded soils." **Soil Sci. Soc. Am. J.** 41: 305-310.
- Khare, N., D. Hesterberg and S.L. Wang. 2004. "XANES Determination of Adsorbed Phosphate Distribution between Ferrihydrite and Boehmite in Mixtures." **Soil Sci. Soc. Am. J.** 68: 460-469.
- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. "Method of making mechanical analysis of soils." **Soil Sci.** 68: 15-24.
- Krairapanond, A. and W.H. Jr. Patrick. 1993. "Phosphorus sorption characteristics in acid sulfate soils of Thailand: effect of uncontrolled and controlled soil redox potential (Eh) and pH." **Plant and Soil** 157: 227-237.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand.** Department of Land Development, Ministry of Agri. and Coop., Bangkok.
- McKeague, J.A. and J.H. Day. 1966. "Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil." **Can. J. Soil Sci.** 46: 13-22.
- Mehra, O. P. and M.L., Jackson. 1960. "Iron oxide removal from soils and clays in a dithionite-citratebicarborate system buffered with sodium." **Clays Clay Miner** 7: 317-321.
- Mill, H.A. and J.B. Jones. 1996. **Plant Analysis Handbook II: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide.** Micro Macro Publing Inc., USA.
- Murphy, J. and J.P. Riley, J.P. 1962. "A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters." **Anal. Chim. Acta.** 27: 31-36.
- Ogunwale, J.A. and J. Shamshuddi. 1999. "Phosphorus sorption by acid sulfate soils of Peninsular Malaysia." **J. Trop. Agric. Sci.** 22: 33-43.

- Osborne, J.F. 1985. **End of Assignment Report on Technical Assistance to the Acid Sulphate Soils Improvement Project, (ASSIP). Vol. 1.** Department Land Development, Ministry of Agriculture. and Cooperatives, Bangkok.
- Ottow, J.C.G., G. Benckiser and I. Watanabe. 1981. Iron toxicity of rice as a multiple nutritional soil stress, pp. 167-179. **Proc. Int. Symp. On Distribution Characterization and Utilization of Problem Soils.** Trop. Agric. Res. Center, Japan.
- Panichapong, S. 1982. Distribution, characteristics and utilization of problem soils in Thailand. **The Proceedings of the Symposium on Distribution, Characteristics and Utilization of Problem Soils.** Tsukuba, Japan.
- Peech, M. 1965. Exchange acidity, pp. 905-913. In C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis Part II. Chemical and Microbiological Properties.** 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc. Madison, Wisconsin. Piper, C.S. 1966. Soil and Plant Analysis. Hans Publishers Pvt. Ltd., Bombay.
- Phongpan, S. 1987. **Studies on Some Chemical Aspects of Nitrogen and Phosphorus in Relation to the Fertility of Lowland Paddy Soils in the Central Plain of Thailand.** Ph.D. Thesis, The University of Tokyo, Tokyo.
- Ponnamperuma, F.N. and J.L. Solivas. 1981. Varietal reactions of rice to iron toxicity on an acid sulfate soil. **Int. Symp. On Acid Sulfate Soils,** Bangkok, Thailand
- Quang, Vo Dinh and J.E. Dufey. 1995. "Effect of temperature and flooding on phosphate sorption in an acid sulphate soil from Vietnam European." **Soil Sci.** 46: 641-647.
- Reddy, K.R., M.R. Overcash and P.W. Westerman. 1980. "Phosphorus adsorption-desorption characteristics of two soils utilized for disposal of animal wastes." **J. Environ. Qual.** 9: 86-92.

- Samadi,A 2003. Predicting phosphate fertilizer requirement using sorption isotherms in selected calcareous soils of western azarbaijan province, Iran. **Soil Sci. and Plant Analysis** 34: 2885-2899.
- Sample, E.C., R.J. Soper and C.J. Racz. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in Soil. In F. E. Khasawneh, E. C. Sample, E. J. Kamprath., eds. **The Roles of Phosphorus in Agriculture**. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- Sah, R.N. and D.S. Mikkelsen. 1989. "Phosphorus behavior in flooded-drained soils. I. Effect on phosphate sorption." **Soil Sci. Soc. Am. J.** 53: 1718-1722.
- Sah, R.N., D.S. Mikkelsen and A.A. Hafez. 1989. "Phosphorus behavior in flooded-drained soils. II. Iron transformation and phosphorus sorption." **Soil Sci. Soc. Am. J.** 53: 1723-1729.
- Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. A wiley-Interscience publication John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Sanchez, P.A. and G. Uehara. 1980. **Management Considerations for Acid Soils with High Phosphorus Fixation Capacity**. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- Sawadyotin, S. 1987. **Effect of pH on the Chemical Kinetics of Iron, Manganese,Aluminum, Sulfur, Nitrogen, Phosphorus and Grain Yield of Rice Grown on Ongkharak Soil**. M.S. thesis, Kasetsart University.
- Sanyal, S.K., S.K. De Datta and P.Y. Chan. 1993 "Phosphate sorption-desorption behavior of some acidic soils of South and southeast Asia." **Soil Sci. Soc. Am. J.** 57: 937-945.
- Singh, R., K. Helagaken and S. T. Holden. 1987. Improve fallow systems. **AFRICALAND Land Development and Management of Soils in Africa II**. IBSRAM Proc. No. 7 Bangkok.

Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. US. Dep. of Agr. Handbook No. 18, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Soil Survey Staff. 2006. **Keys to Soil Taxonomy**. 10th ed. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C.

SPSS Inc., 2005. **SPSS 13.0 Statistical Procedures Companion**. Chicago, USA,

Sree Ramulu, U.S., P.F. Pratt and A.L. Page. 1967. "Phosphorus fixation by soils in relation to extractable iron oxides and mineralogical composition." **Soil Sci. Soc. Am. J.** 31: 193-196.

Stoop, W.A. 1983. "Phosphate adsorption mechanisms in oxidic soils: Implications for P-availability to plants." **Geoderma** 31: 57-69.

Suswanto, T., J. Shamshuddin, S.R. SyedOmar and C.B.S. Teh. PeliMat. 2007 Effects of Lime and Fertiliser Application in Combination with Water Management on Rice (*Oryza sativa*) Cultivated on an Acid Sulfate Soil. Malaysian **J. Soil Sci.** 11 :1-16.

Syers, J.K., A.D. Mackay, M.W. Brown and L.D. Currie. 1986. "Chemical and physical of phosphate rock materials of varying reactivity." **J. Sci. Food Agric.** 37: 1057-1064.

Thanachit, S., I. Kheoruenromne , A. Suddhiprakarn and S. Anusontpornperm. 2007. Management Approach on soils affected by recent flooding in Central Plain Thailand. **Proceedings of 33th Science and Technology of Thailand**, 18-20 October 2007, Nakhon Si Thammarat, Thailand.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity, pp. 475-490. In J.M. Bigham, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Properties**. Soil Science Society of America Book Series No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.

- Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975. **Soil Fertility and Fertilizers**. 3rd ed. Macmillan Publ. Co. Inc., New York.
- Violante, A., C. Colombo and A. Buondonna. 1991. "Competitive adsorption of phosphate and oxalate by aluminum oxide." **Soil Sci. Soc. Am. J.** 55: 65-70.
- Van Breemen, N. 1976. **Genesis and Solution Chemistry of Acid Sulfate Soils in Thailand. Agricultural Research Reports**. Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- _____. 1980. Acid sulphate soils, pp. 53-57. *In: Land Reclamation and Water Management*. ILRI Publ. 27, Wageningen
- _____ and L. J. Pons. 1978. **Acid sulfate Soils and Rice. In Soils and Rice**. Int.Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna.
- Vo Dinh, Quang and J.E. Dufey. 1995. "Effect of temperature and flooding on phosphate sorption in an acid sulphate soil from Vietnam European." **Soil Sci.** 46 641-647.
- Witt, C., A. Doberman, S. Abdulrachman, H.C. Gines, G. Wang, R. Nagarajan, S. Satawathananont, TT. Son, P.S. Tan, L.V. Tiem, G.C. Simbahan and D.C. Olk. 1999. "Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in Tropical Asia." **Field Crops. Res.** 63: 113 – 138.
- Zhang, Y., X. Lin and W. Werner. 2003. "The effect of soil flooding on the transformation of Fe oxides and the adsorption/desorption behavior of phosphate." **J. Plant Nutr. Soil Sci.** 166: 68-75.



ตารางผนวกที่ 1 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดิน
องค์กรักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปลูกค้าง

Treatment		Ok soil			Bp soil		
		Day after planting			Day after planting		
		Tillering	Panicle initiation	Flowering	Tillering	Panicle initiation	Flowering
		(----- Day -----)					
Fertilizer type	F0	50.3a	71.3a	87.3a	34.3	54.5	71.3
	F1	32.1c	57.1c	70.1c	30.7	51.5	67.4
	F2	46.1b	66.8b	85.4b	31.4	50.9	66.9
	F-Test	**	**	**	ns	ns	ns
P rate	R0	50.3a	71.3a	87.3a	34.3a	54.5a	71.3a
	R1	35.8d	56.5d	74.0d	28.9d	49.4d	65.4c
	R2	40.1c	62.6c	78.6c	32.1b	52.1bc	68.1b
	R3	39.8c	64.4b	78.4c	30.3c	50.3cd	66.3c
	R4	40.9b	64.4b	80.0b	32.9b	53.1ab	68.9b
	F-Test	**	**	**	**	**	**
Type× Rate	F0R0	50.3a	71.3a	87.3b	34.3a	54.5	71.3
	F1R1	31.0f	51.8f	67.0g	30.3de	50.3	66.3
	F1R2	32.8e	56.8e	69.5f	31.8c	51.8	67.3
	F1R3	31.5f	60.0d	72.0e	31.3cd	51.3	67.3
	F1R4	33.3e	60.0d	72.0e	32.3bc	52.8	68.3
	F2R1	40.5d	61.3d	81.0d	27.5f	48.5	64.5
	F2R2	47.5c	68.5b	87.8ab	32.5bc	52.5	68.5
	F2R3	48.0bc	68.8b	84.8c	29.3e	52.5	65.3
	F2R4	48.5b	68.8b	88.0a	33.5ab	52.5	69.5
	F-Test	**	**	**	**	ns	ns

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 2 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนการแตกกอของข้าวที่ปลูกในดิน
องค์กรักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปลูกค้าง

Treatment		Ok soil			Bp soil		
		Plant per pot			Plant per pot		
		Tillering	Panicle initiation	Flowering	Tillering	Panicle initiation	Flowering
		(----- No. pot ⁻¹ -----)					
Fertilizer type	F0	2.3c	3.8b	5.8c	10.8	37.0	41.3
	F1	11.4a	58.5a	61.5a	19.8	55.3	59.2
	F2	3.4b	4.9b	7.1b	19.8	54.5	58.3
	F-Test	**	**	**	ns	ns	ns
P rate	R0	2.3c	3.8c	5.8d	10.8	37.0d	41.3c
	R1	8.8a	34.1a	37.3a	20.0	57.4ab	61.4ab
	R2	8.0a	32.9a	35.4b	17.5	44.4bc	48.4bc
	R3	6.5b	30.3b	32.6c	22.5	61.0a	65.0a
	R4	6.4b	29.6b	32.0c	19.1	56.9ab	60.1ab
	F-Test	**	**	**	ns	*	*
Type× Rate	F0R0	2.3c	3.8	5.8d	10.8	37.0c	41.3c
	F1R1	13.3a	61.0	65.3a	22.3	66.8a	70.8a
	F1R2	12.3a	60.5	63.5a	14.3	32.0b	36.0b
	F1R3	10.3b	56.8	59.0b	21.8	58.0a	62.0a
	F1R4	10.0b	55.8	58.3b	20.8	64.5a	68.0a
	F2R1	4.3c	7.3	9.3c	17.8	48.0ab	52.0ab
	F2R2	3.8c	5.3	7.3d	20.8	56.8a	60.8a
	F2R3	3.3c	3.8	6.3d	23.3	48.0ab	68.0a
	F2R4	3.3c	3.5	5.8d	17.5	49.3ab	52.3ab
	F-Test	*	ns	**	ns	*	*

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 3 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความสูงของข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และ
บางน้ำเปรี้ยวที่ปลูกค้าง

Treatment		Ok soil			Bp soil		
		Plant height			Plant height		
		Tillering	Panicle initiation	Flowering	Tillering	Panicle initiation	Flowering
		(----- cm -----)					
Fertilizer type	F0	47.3c	64.3c	73.3c	65.0b	88.0	98.0
	F1	66.4a	94.8a	97.6a	72.1a	97.4	104.8
	F2	49.7b	90.2b	86.1b	73.1a	98.8	105.8
	F-Test	**	**	**	*	ns	ns
P rate	R0	47.3d	64.3c	73.3c	65.0d	88.0d	98.0c
	R1	62.9a	94.1a	95.1a	74.9a	101.5a	108.5a
	R2	58.0b	93.4a	92.8a	71.9b	98.5b	105.5b
	R3	56.1bc	91.8ab	89.5b	73.6a	100.6ab	107.6ab
	R4	55.3c	90.6b	89.9b	70.1c	91.9c	99.4c
	F-Test	**	**	**	**	**	**
Type× Rate	F0R0	47.3e	64.3	73.3	65.0	88.0	98.0
	F1R1	74.0a	95.9	102.3	74.0	100.5	107.5
	F1R2	65.4b	95.1	98.3	72.0	99.0	106.0
	F1R3	63.9b	95.0	95.3	73.0	100.0	107.0
	F1R4	62.5b	93.3	94.5	69.5	90.3	98.5
	F2R1	51.8c	92.4	88.0	75.8	102.5	109.5
	F2R2	50.6cd	91.8	87.3	71.8	98.0	105.0
	F2R3	48.3de	88.6	84.5	74.3	101.3	108.3
	F2R4	48.1de	88.0	84.5	70.8	93.5	100.3
	F-Test	**	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 4 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์และ
บางน้ำเปรี้ยวที่ปลูกค้าง

Treatment		Ok soil			Bp soil		
		Grain wt.	Filled grain wt.	Straw wt.	Grain wt.	Filled grain wt.	Straw wt.
		(----- g pot ⁻¹ -----)					
Fertilizer type	F0	9.5c	7.5c	6.8c	100.9	79.2	57.6
	F1	244.4a	191.6a	186.9a	129.2	101.3	97.8
	F2	17.0b	13.4b	10.9b	117.8	92.4	88.6
	F-Test	**	**	**	ns	ns	ns
P rate	R0	9.5e	7.5e	6.8e	100.9	79.2	57.6b
	R1	181.7a	142.5a	135.8a	121.8	95.5	99.7a
	R2	155.5b	121.9b	107.1b	102.2	80.1	76.1ab
	R3	107.8c	84.5c	88.2c	130.5	102.3	106.4a
	R4	77.9d	61.1d	64.4d	139.6	109.6	90.6a
	F-Test	**	**	**	ns	ns	*
Type× Rate	F0R0	9.5f	7.5f	6.8f	100.9bc	79.2c	57.6c
	F1R1	337.7a	264.9a	253.2a	136.6ab	107.2ab	120.4a
	F1R2	294.0b	230.6b	203.2b	75.2c	59.0c	62.0c
	F1R3	202.1c	158.5c	167.6c	137.5ab	107.8ab	106.3ab
	F1R4	143.6d	112.6d	123.5d	167.5a	131.4a	102.5ab
	F2R1	25.6e	20.1e	18.5e	107.0bc	83.9bc	99.1b
	F2R2	16.9f	13.3f	11.0f	129.2ab	101.3ab	90.3ab
	F2R3	13.5f	10.6f	8.8f	123.5ab	96.8ab	106.4ab
	F2R4	12.2f	9.6f	5.3f	111.8bc	87.7bc	78.6bc
	F-Test	**	**	**	*	*	*

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 5 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อจำนวนรวง และน้ำหนักแห้งต่อชั่งของข้าว
ที่ปลูกในดินนครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนดกต่าง

Treatment		Ok soil		Bp soil	
		Spikes	100-grain wt.	Spikes	100-grain wt.
		(---No. pot ⁻¹ --)	(----g----)	(---No. pot ⁻¹ --)	(---g---)
Fertilizer type	F0	5.5b	2.5	40.8	2.6
	F1	55.9a	2.8	55.7	2.9
	F2	6.3b	2.9	56.1	2.8
	F-Test	**	ns	ns	ns
P rate	R0	5.5e	2.5	40.8	2.6
	R1	34.8a	2.9	55.4	3.0
	R2	32.9b	2.9	46.9c	2.8
	R3	29.8c	2.8	63.9	2.9
	R4	27.0d	2.7	57.5	2.8
	F-Test	**	ns	ns	ns
Type× Rate	F0R0	5.5f	2.5	40.8bc	2.6
	F1R1	61.8a	2.9	61.8a	2.98
	F1R2	59.8b	2.8	34.5c	2.86
	F1R3	53.8c	2.8	62.0a	2.91
	F1R4	48.5d	2.7	64.5a	2.77
	F2R1	7.8e	3.0	49.0abc	2.98
	F2R2	6.0ef	2.9	59.3ab	2.78
	F2R3	5.8ef	2.8	65.8a	2.81
	F2R4	5.5f	2.8	50.5abc	2.78
	F-Test	**	ns	*	ns

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 6 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวที่ปลูก
ในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปนดกค้ำ

Treatment		Ok soil			Bp soil		
		Plant nutrient uptake			Plant nutrient uptake		
		N	P	K	N	P	K
		(----- g pot ⁻¹ -----)					
Fertilizer type	F0	0.07b	0.01b	0.26b	2.68a	0.47b	0.33
	F1	1.55a	1.43a	9.46a	1.31b	0.92a	0.44
	F2	0.10b	0.02b	0.40b	3.64a	0.48b	0.39
	F-Test	**	**	**	**	**	ns
P rate	R0	0.07d	0.01e	0.31d	2.68	0.47b	0.33
	R1	0.98a	1.38a	6.14a	2.19	0.78a	0.40
	R2	1.11a	1.05b	6.10a	2.33	0.43b	0.36
	R3	0.73b	0.28c	4.82b	2.87	0.82a	0.33
	R4	0.48c	0.18d	2.71c	2.50	0.78a	0.41
	F-Test	**	**	**	ns	**	ns
Type× Rate	F0R0	0.07e	0.01e	0.31d	2.68	0.47c	0.33bc
	F1R1	1.77b	2.73a	11.43a	1.21	1.02b	0.41abc
	F1R2	2.09a	2.07b	11.92a	0.81	0.34c	0.34bc
	F1R3	1.43c	0.55c	9.34b	1.64	1.09ab	0.28c
	F1R4	0.91d	0.35d	5.21c	1.80	1.22a	0.52a
	F2R1	0.18e	0.03e	0.84d	3.42	0.54c	0.49ab
	F2R2	0.14e	0.02e	0.42d	3.67	0.52c	0.43abc
	F2R3	0.03e	0.01e	0.34d	4.19	0.49c	0.43abc
	F2R4	0.05e	0.01e	0.23d	3.24	0.51c	0.31bc
	F-Test	**	**	**	ns	**	*

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 7 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารรองของข้าวที่ปลูก
ในดินนครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปนตกค้าง

Treatment		Ok soil		Bp soil	
		Plant nutrient uptake		Plant nutrient uptake	
		Mg	Ca	Mg	Ca
		(----- g pot ⁻¹ -----)			
Fertilizer type	F0	0.04b	0.18b	0.31	0.60
	F1	2.19a	6.08a	0.54	1.28
	F2	0.04b	0.19b	0.49	1.19
	F-Test	**	**	ns	ns
P rate	R0	0.04b	0.21c	0.31	0.60
	R1	1.54a	4.24a	0.61	1.44
	R2	1.63a	4.19a	0.44	1.04
	R3	0.84ab	2.28b	0.53	1.42
	R4	0.44b	1.87b	0.50	1.34
	F-Test	*	**	ns	ns
Type× Rate	F0R0	0.04c	0.21c	0.31	0.60
	F1R1	3.0a	8.14a	0.72	1.57
	F1R2	3.24a	8.10a	0.31	0.64
	F1R3	1.64b	4.43b	0.50	1.32
	F1R4	0.86bc	3.72b	0.62	1.66
	F2R1	0.07c	0.34c	0.49	1.15
	F2R2	0.02c	0.23c	0.52	1.32
	F2R3	0.03c	0.21c	0.62	1.49
	F2R4	0.02c	0.10c	0.39	0.87
	F-Test	*	*	ns	ns

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 8 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารรองของข้าวที่ปลูก
ในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปนตกค้าง

Treatment		Ok soil		Bp soil	
		Plant nutrient uptake		Plant nutrient uptake	
		Fe	Zn	Fe	Zn
(------ mg pot ⁻¹ -----)					
Fertilizer type	F0	4b	8.5b	28b	10.3
	F1	168a	15.8a	68a	17.7
	F2	4b	4.0b	47ab	12.4
	F-Test	**	**	*	ns
P rate	R0	5b	8.5	28b	10.3
	R1	130a	11.3	57ab	14.8
	R2	124a	15.1	41b	13.1
	R3	51b	7.5	78a	19.1
	R4	40b	5.8	52ab	13.2
	F-Test	*	ns	*	ns
Type× Rate	F0R0	5c	8.5	28b	10.3
	F1R1	253a	17.9	68b	15.9
	F1R2	244a	26.6	33b	14.1
	F1R3	98b	10.1	108a	27.2
	F1R4	78bc	8.7	63b	13.6
	F2R1	7c	4.6	46b	13.8
	F2R2	4c	3.6	50b	12.0
	F2R3	4c	4.9	49b	11.1
	F2R4	2c	2.8	42b	12.9
	F-Test	*	ns	*	ns

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 9 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารรองของข้าวที่ปลูก
ในดินongครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปนตกค้าง

Treatment		Ok soil		Bp soil	
		Plant nutrient uptake		Plant nutrient uptake	
		Mn	Cu	Mn	Cu
		(----- mg pot ⁻¹ -----)			
Fertilizer type	F0	8.83a	2.36a	4.39	1.17
	F1	13.42a	1.85a	4.43	0.72
	F2	2.28b	0.52b	4.03	0.97
	F-Test	**	**	ns	ns
P rate	R0	8.83ab	2.36	4.39	1.17
	R1	8.01ab	0.89	4.63	0.76
	R2	12.63a	1.32	4.19	0.80
	R3	8.03ab	1.95	3.91	0.85
	R4	2.73b	0.57	4.19	0.97
	F-Test	*	ns	ns	ns
Type× Rate	F0R0	8.83bcd	2.36	4.39	1.17
	F1R1	13.82b	1.46	4.75	0.74
	F1R2	23.46a	2.14	4.55	0.80
	F1R3	12.26bc	3.27	4.07	0.64
	F1R4	4.13bcd	0.52	4.35	0.70
	F2R1	2.21c	0.32	4.51	0.79
	F2R2	1.80c	0.49	3.84	0.79
	F2R3	3.80c	0.63	3.75	1.05
	F2R4	1.33c	0.62	4.03	1.24
	F-Test	*	ns	ns	ns

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 10 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อค่าพีเอชของดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยว
ที่ปลูกตักหลังจากเก็บเกี่ยวข้าว

Treatment		Soil pH (1:1 water)	
		Ok soil	Bp soil
Fertilizer type	F0	5.2c	6.9b
	F1	5.8b	6.7c
	F2	6.3a	7.3a
	F-Test	**	**
P rate	R0	5.2c	6.9b
	R1	6.0ab	6.5c
	R2	5.9b	7.0ab
	R3	6.2ab	7.2a
	R4	6.3a	7.1ab
	F-Test	*	**
Type× Rate	F0R0	5.2e	6.9c
	F1R1	5.5de	6e
	F1R2	5.6de	6.6d
	F1R3	5.8cd	7.0c
	F1R4	6.5a	7.0c
	F2R1	6.5a	7.1c
	F2R2	6.3ab	7.5a
	F2R3	6.5a	7.3ab
	F2R4	6.1bc	7.2abc
	F-Test	**	**

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 11 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดิน
องครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปลูกค้างหลังจากเก็บเกี่ยวข้าว

Treatment		Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	
		Ok soil	Bp soil
Fertilizer type	F0	3.84c	1.67c
	F1	22.28a	13.64a
	F2	8.14b	2.20b
	F-Test	**	**
P rate	R0	3.84d	1.67d
	R1	19.39a	14.26a
	R2	17.4a	2.33d
	R3	14.11b	9.78b
	R4	9.94c	5.31c
	F-Test	**	**
Type× Rate	F0R0	3.84f	1.67ef
	F1R1	27.44a	27.43a
	F1R2	26.27a	2.41e
	F1R3	21.22b	18.56b
	F1R4	14.19c	6.18c
	F2R1	11.34cd	1.10f
	F2R2	8.54de	2.26e
	F2R3	7.00ef	1.00f
	F2R4	5.70ef	4.43d
	F-Test	*	**

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate;
F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at ½Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 12 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่ปลูก
ในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง

Treatment		Ok soil			Bp soil		
		Concentration			Concentration		
		N	P	K	N	P	K
		(----- % -----)					
Fertilizer type	F0	0.45	0.07b	1.63b	1.73a	0.30b	0.22
	F1	0.36	0.29a	2.2a	0.58b	0.39a	0.18
	F2	0.34	0.07b	1.34b	1.71a	0.24b	0.19
	F-Test	ns	**	**	**	**	ns
P rate	R0	0.45a	0.07d	1.63	1.73a	0.30	0.22
	R1	0.36ab	0.27a	1.85	1.01c	0.32	0.19
	R2	0.46a	0.24b	1.83	1.13bc	0.26	0.22
	R3	0.27b	0.11c	1.84	1.24b	0.32	0.14
	R4	0.32b	0.11c	1.57	1.19b	0.36	0.18
	F-Test	*	**	ns	*	ns	ns
Type× Rate	F0R0	0.45ab	0.07d	1.63bc	1.73	0.3bc	0.22
	F1R1	0.3bc	0.46a	1.93b	0.4	0.4ab	0.15
	F1R2	0.42ab	0.42b	2.4a	0.58	0.26cd	0.26
	F1R3	0.39ab	0.15c	2.51a	0.66	0.46a	0.11
	F1R4	0.34ab	0.13c	1.96b	0.67	0.46a	0.2
	F2R1	0.42ab	0.07d	1.77b	1.62	0.25cd	0.22
	F2R2	0.49a	0.07d	1.26c	1.68	0.25cd	0.19
	F2R3	0.15c	0.06d	1.16c	1.82	0.19d	0.16
	F2R4	0.3bc	0.08d	1.18c	1.71	0.26cd	0.17
	F-Test	*	**	*	ns	*	ns

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 13 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารรองของข้าว
ที่ปลูกในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง

Treatment		Ok soil		Bp soil	
		Concentration		Concentration	
		Mg	Ca	Mg	Ca
(----- % -----)					
Fertilizer type	F0	0.22b	1.09a	0.23	0.42
	F1	0.48a	1.39a	0.24	0.56
	F2	0.13b	0.65b	0.23	0.57
	F-Test	**	**	ns	ns
P rate	R0	0.22	1.09	0.23	0.42
	R1	0.33	1.07	0.26	0.61
	R2	0.37	1.11	0.23	0.53
	R3	0.3	0.94	0.22	0.57
	R4	0.22	0.97	0.22	0.54
	F-Test	ns	ns	ns	ns
Type× Rate	F0R0	0.22	1.09	0.23	0.42
	F1R1	0.51	1.36	0.27	0.62
	F1R2	0.65	1.64	0.24	0.51
	F1R3	0.44	1.18	0.22	0.52
	F1R4	0.32	1.39	0.23	0.58
	F2R1	0.16	0.77	0.26	0.6
	F2R2	0.08	0.58	0.23	0.55
	F2R3	0.15	0.71	0.23	0.62
	F2R4	0.13	0.55	0.2	0.49
	F-Test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹; R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 14 ชนิดปุ๋ยและอัตราฟอสฟอรัสที่มีผลต่อความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารที่ปลูก
ในดินองครักษ์และบางน้ำเปรี้ยวที่ปูนตกค้าง

Treatment		Ok soil				Bp soil			
		Concentration				Concentration			
		Fe	Zn	Mn	Cu	Fe	Zn	Mn	Cu
		(----- mg kg ⁻¹ -----)							
Fertilizer type	F0	277a	31ab	289a	8.0	185b	50	72	15.1
	F1	369b	40b	294b	5.8	297a	55	75	9.9
	F2	150a	25a	78a	6.6	220ab	52	71	13.8
	F-Test	**	*	*	ns	*	ns	ns	ns
P rate	R0	277	31	289	8.0a	185	50	72	15.1
	R1	292	33	186	3.7c	250	56	79	9.9
	R2	321	39	250	5.9b	242	51	78	10.3
	R3	211	33	216	8.1a	323	57	67	12.8
	R4	214	25	90	7.2ab	220	51	68	14.4
	F-Test	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Type× Rate	F0R0	277	31	289	8.0ab	185	50	72	15.1
	F1R1	427	38	302	3.6d	268	56	82	9.4
	F1R2	492	54	434	5.1cd	254	52	83	9.9
	F1R3	265	38	329	9.4a	443	61	66	9.7
	F1R4	293	30	110	5.2cd	224	52	70	10.4
	F2R1	158	28	71	3.9d	232	55	76	10.3
	F2R2	150	24	66	6.8bc	229	49	72	10.8
	F2R3	157	27	103	6.7bc	203	52	69	15.8
	F2R4	136	20	71	9.0ab	216	50	66	18.4
	F-Test	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ *, ** Significantly level at $P < 0.05$ and < 0.01 respectively; ns: no statistically different.

Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

Fertilizer type : F0 = No phosphorus fertilizer; F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

P rate : R0 = 0 mg P kg⁻¹; R1 = at Pmax; R2 = at 1/2Pmax; R3 = at 0.2 mg P L⁻¹;

R4 = at recommended rate (157 mg P kg⁻¹)

(Ok soil : R1= 802 mg P kg⁻¹, R2 = 402 mg P kg⁻¹, R3 = 398 mg P kg⁻¹)

(Bp soil : R1= 424 mg P kg⁻¹, R2 = 212 mg P kg⁻¹, R3 = 327 mg P kg⁻¹)

ตารางผนวกที่ 15 เกณฑ์ที่ใช้ประเมินสมบัติทางเคมีของดิน

Soil properties	Range	Rating
Soil pH (1:1 Soil: H ₂ O)	< 3.5	Ultra acid
	3.5-4.4	Extremely acid
	4.5-5.0	Very strongly acid
	5.1-5.5	Strongly acid
	5.6-6.0	Moderately acid
	6.1-6.5	Slightly acid
	6.6-7.3	Neutral
	7.4-7.8	Slightly alkaline
	7.9-8.4	Moderately alkaline
	8.5-9.0	Strongly alkaline
	> 9.0	Very strongly alkaline
Organic matter (g kg ⁻¹)	< 5	Very low
	5-10	Low
	10-15	Moderately low
	15-25	Moderate
	25-35	Moderate high
	35-45	High
	> 45	Very high
Total nitrogen (g kg ⁻¹)	< 1.0	Very low
	1.0-2.0	Low
	2.0-5.0	Moderately
	5.0-7.5	High
	> 7.5	Very high
Available P by Bray II (mg kg ⁻¹)	< 3	Very low
	3-6	Low
	6-10	Moderately low
	10-15	Moderately
	15-25	Moderate high
	25-45	High
	> 45	Very high

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ)

Soil properties	Range	Rating
Available K by NH_4OAc (mg kg^{-1})	< 30	Very low
	30-60	Low
	60-90	Moderately
	90-120	High
	> 120	Very high
Extractable bases ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) Ca	< 2.0	Very low
	2-5	Low
	5-10	Moderately
	10-20	High
	> 20	Very high
Mg	< 0.3	Very low
	0.3-1.0	Low
	1.0-3.0	Moderately
	3.0-8.0	High
	> 8.0	Very high
K	< 0.2	Very low
	0.2-0.3	Low
	0.3-0.6	Moderately
	0.6-1.2	High
	> 1.2	Very high
Na	< 0.1	Very low
	0.1-0.3	Low
	0.3-0.7	Moderately
Sum bases	0.7-2.0	High
	> 2.0	Very high
	< 2.6	Very low
	2.6-6.6	Low
	6.6-14.3	Moderately
	14.3-31.2	High
	> 31.2	Very high

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ)

Soil properties	Range	Rating
CEC by NH_4OAC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	<3	Very low
	3-5	Low
	5-10	Moderately low
	10-15	Moderately
	15-20	Moderately high
	20-30	High
	>30	Very high
%Base saturation	<35	Low
	35-75	Moderately
	>75	High
Extractable acidity ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	<1	Very low
	1-2	Low
	2-5	Moderate
	5-10	Moderately high
	10-20	High
	>20-30	Very high

ที่มา: เอ็ม (2547); Land Classification Division and FAO Project Staff (1973); Soil Survey Division Staff (1993)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นายพหล รักสำราจ
 เกิดวันที่ 31 กรกฎาคม 2529
 สถานที่เกิด จังหวัดกรุงเทพมหานคร
 ประวัติการศึกษา วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ตำแหน่งปัจจุบัน —
 สถานที่ทำงานปัจจุบัน —
 ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ —
 ทักษะการศึกษาที่ได้รับ —