

# การใช้ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อประเมินอัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้าง

## Use of phosphorus sorption characteristics for determining rate and type of phosphorus fertilizers for growing rice on ongkharak soil with residual lime

พหล รักษ์สำรวจ<sup>1</sup>, สุภิณา ธนะจิตต์<sup>1\*</sup>, สมชัย อานุสนธิ์พรเพิ่ม<sup>1</sup> และ วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล<sup>2</sup>

Phahon Ruksumruad<sup>1</sup>, Suphicha Thanachit<sup>1\*</sup>, Somchai Anusontpornperm<sup>1</sup> and Wanpen Wiriyaakitnatekul<sup>2</sup>

**บทคัดย่อ:** ทำการศึกษาการตอบสนองของข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้างต่ออัตราของฟอสฟอรัสที่ได้มาจากลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดิน ได้แก่ ที่การดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน (802 มก.ฟอสฟอรัส/กก.) ที่ครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน (401 มก.ฟอสฟอรัส/กก.) ที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน 0.2 มก./ลิตร (398 มก.ฟอสฟอรัส/กก.) และอัตราที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร (157 มก.ฟอสฟอรัส/กก.) และเปรียบเทียบชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส 2 ชนิด ได้แก่ ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและหินฟอสเฟต ทำการปักดำกล้าข้าวที่อายุ 15 วันในเรือนทดลอง ในทุกตำรับการทดลอง รองพื้นด้วยยูเรียและโพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตรา 504 และ 260 มก./กก.ตามลำดับ และแต่งหน้าด้วยยูเรียที่ระยะกำเนิดช่อดอกในอัตรา 98 มก./กก. ผลการศึกษาพบว่า การใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต เช่นเดียวกับกับการใส่ฟอสฟอรัสในอัตรา 802 มก./กก. ส่งผลให้ข้าวเจริญเติบโตและให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หินฟอสเฟต หรือการใส่ฟอสฟอรัสในอัตราอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งมีแนวโน้มลดการดูดซับฟอสฟอรัสของดิน โดยการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตอัตรา 3.96 มก./กก. จะให้น้ำหนักเมล็ดดีสูงที่สุดเท่ากับ 264.9 ก./กระถาง แต่เมื่อใส่หินฟอสเฟตในอัตราที่ให้ฟอสฟอรัสเท่ากับกลับส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดลดลงอย่างชัดเจน (20.1 ก./กระถาง) และการไม่ให้ฟอสฟอรัสจะส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวต่ำที่สุด (7.5 ก./กระถาง)

**คำสำคัญ:** ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต, หินฟอสเฟต, ดินเปรี้ยวจัด, การดูดซับฟอสฟอรัส

**ABSTRACT:** A study on the response of rice, RD. 43 variety, grown on Ongkharak soil with residual lime to rates of phosphate calculated from P adsorption characteristics such as P adsorption capacity with the value of 802 mg P kg<sup>-1</sup> (Pmax), half of Pmax (401 mg P kg<sup>-1</sup>), 0.2 mg P L<sup>-1</sup> (398 mg P kg<sup>-1</sup>) and the rate of 157 mg P kg<sup>-1</sup> recommended by DOA and to different types of phosphate fertilizer, including tripple super phosphate and rock phosphate was conducted. Fifteen days old rice seedling was transplanted in pot under greenhouse cover. Urea and KCl at the rates of 504 and 260 mg kg<sup>-1</sup> were used as top dressing for all treatments and the former at the rate of 98 mg kg<sup>-1</sup> was applied at flowering stage. Results revealed that using of TSP as well as applying P at the rate of Pmax (802 mg P kg<sup>-1</sup>) gave significantly better vegetative growth and higher seed yield than did the applications of rock phosphate and other rates of P. In addition, the TSP and Pmax rate tended to lower soil P adsorption. Application of TSP at 3.96 mg kg<sup>-1</sup> gave the highest seed yield of 264.9 g pot<sup>-1</sup> whereas addition of RP at the equivalent amount of P contrastingly gave a lower seed weight (20.1 g pot<sup>-1</sup>). No P application gave the slowest vegetative growth and the lowest seed yield (7.5 g pot<sup>-1</sup>).

**Keywords:** Tripple super phosphate, Rock phosphate, acid sulfate soil, phosphorus sorption

<sup>1</sup> ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

<sup>2</sup> สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน 10900 กรุงเทพฯ

Sciences of Land Development, Land Development Department, Bangkok 10900, Thailand

\* Corresponding author: agrspc@ku.ac.th

## คำนำ

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีปัญหาทางการเกษตรพบมากในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางซึ่งเป็นพื้นที่ผลิตข้าวแหล่งใหญ่ของประเทศ ดินเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จาโรไซด์ในชั้นดินล่าง มีความเป็นกรดรุนแรงซึ่งโดยทั่วไปมีพีเอชต่ำกว่า 4 มีปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม และซัลเฟตที่ละลายน้ำออกมามากจนอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Brady and Weil, 2008) และเป็นดินที่มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูง (Sanyal et al., 1993) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเหล็กและอะลูมิเนียม โดยเฉพาะในรูปออกไซด์ ที่มีอยู่มากในสารละลายดินจะดูดซับฟอสฟอรัสไว้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความเป็นประโยชน์ลดต่ำลง (Curtin and Syers, 2001) ฟอสฟอรัสจึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญ ทำให้ผลผลิตข้าวที่ได้ต่ำ ถึงแม้จะมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มเติมก็ตาม (Attanandana et al., 1982) จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีการแนะนำให้ใช้หินฟอสเฟตแทนปุ๋ยอินทรีย์ฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด โดยหินฟอสเฟตจะละลายอย่างช้าๆ ซึ่งในสภาพที่เป็นกรดรุนแรงนี้จะค่อยๆ ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา (เสกสรร, 2547; Brady and Weil, 2008) แต่หินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (ประพิศ และ วิศิษฐ์, 2532) ซึ่งอาจไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าวในช่วงแรกของการเจริญเติบโตจึงอาจจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมาก (Attanandana et al., 1981) อย่างไรก็ตามพีเอชของดินกรดจะสูงขึ้นเมื่อทำการขังน้ำส่งผลให้ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์มากขึ้น (ทัศนีย์, 2550) แต่ในกรณีของดินเปรี้ยวจัดซึ่งมีพีเอชที่ต่ำมากจะไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ การเพิ่มขึ้นของพีเอชดินจึงเป็นไปอย่างช้าๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ (Attanandana et al., 1981) ถึงแม้ว่าการใส่ปุ๋ยแต่ละครั้งมีผลตกค้างในดินนาน 4-5 ปี ก็ตาม (Panichapong, 1982) แต่มีรายงานว่าในกรณีของดินเปรี้ยวจัดนั้นอิทธิพลของปุ๋ยจะแสดงเฉพาะในฤดูปลูกเพาะปลูกเท่านั้น เมื่อดินแห้งก็จะเกิดความกรดขึ้น

มาอีกครั้งหนึ่ง (Van Mensvoort and Le Quang Tri, 1988; Brinkman et al., 1993) ดังนั้นเกษตรกรมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อย่างต่อเนื่องในการทำการเกษตรเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ Thanachit et al. (2007) รายงานว่าสมบัติของดินเปรี้ยวจัดบางชนิดบริเวณภาคกลางของประเทศได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่เคยมีการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ (พรทิวา, 2532) โดยเฉพาะในดินบนแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยที่ใส่ลงในนั้นยังคงตกค้างอยู่ในระดับรากพืชเท่านั้น

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินความต้องการฟอสฟอรัสของข้าวจากลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดชุดดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้าง และศึกษาการตอบสนองต่ออัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้าง เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสให้เหมาะสมกับสภาพของดินเปรี้ยวจัดที่เปลี่ยนแปลงไป

## วิธีการศึกษา

### การศึกษาลักษณะดูดซับฟอสฟอรัสของดิน

คัดเลือกพื้นที่ตัวแทนศึกษาเป็นแปลงนาข้าวของเกษตรกรในบริเวณ ต.นพรัตน์ อ.หนองเสือ จ.ปทุมธานี ซึ่งเป็นชุดดินองครักษ์ (Ongkharak soil: Ok, Sulfic Tropaquepts) (กองสำรวจดินและจำแนกดิน, 2515) โดยพีเอชสนามของดินบนเท่ากับ 5.0 แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปูนที่ตกค้างอยู่ และทำการเก็บตัวอย่างดินชั้นบนที่ความลึก 0-30 ซม. ในเดือนสิงหาคม 2553 โดยนำตัวอย่างดินที่ได้มาผึ่งให้แห้งในร่ม บดให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มม. และนำไปวิเคราะห์สมบัติดินประกอบด้วยเนื้อดิน พีเอชดินที่วัดในน้ำในสัดส่วน 1:1 สภาพการนำไฟฟ้าของดินที่อิ่มตัว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ กรดที่สกัดได้ เบสที่สกัดได้ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และร้อยละความอิ่มตัวเบสโดยวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน (National Soil Survey Center, 1996) และการดูดซับฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิคงที่ (Fox and Kamprath, 1970)

### การตอบสนองต่ออัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าว

ทำการย่อยตัวอย่างดินของครักซ์ที่มีปูนตกค้างที่แห้งแล้วให้มีขนาดเล็กลง นำเศษซากพืชทิ้ง และทำการซังดินจำนวน 8 กก./กระถาง เพื่อใช้ในการปลูกข้าวพันธุ์ กข 43 ในโรงเรือน โดยวางแผนการทดลองแบบ  $2 \times 4 + 1$  Factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยอัตราของฟอสฟอรัสที่ได้มาจากลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสของดิน ได้แก่ ที่การดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน ( $R_1$ :  $P_{max}$ ) ที่ครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน ( $R_2$ :  $1/2P_{max}$ ) ที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน 0.2 มก.ฟอสฟอรัส/ลิตร (Phosphorus buffer capacity: PBC) และที่อัตราแนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร (2551) เท่ากับ 157 มก.ฟอสฟอรัส/กก. ( $R_4$ ) และเปรียบเทียบชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส 2 ชนิด ได้แก่ ทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP: 0-46-0) และหินฟอสเฟต (RP: 0-3-0) จากสมการ Freundlich พบว่า ดินของครักซ์ที่มีปูนตกค้างมีปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 802 มก.ฟอสฟอรัส/กก. (Figure 1) ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP) และหินฟอสเฟต (RP) ในอัตรา 3.96 และ 60.76 มก./กก. ตามลำดับ ดังนั้นครึ่งหนึ่งของการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดจะเท่ากับ 401 มก.ฟอสฟอรัส/กก. ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ TSP และ RP ในอัตรา 1.98 และ 30.38 มก./กก. ตามลำดับ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินที่ 0.2 มก.ฟอสฟอรัส/ลิตร (398 มก.ฟอสฟอรัส/กก.) เทียบเท่ากับการใส่ TSP และ หินฟอสเฟต ในอัตรา 1.97 และ 30.21

มก./กก. ตามลำดับ และอัตราฟอสฟอรัสที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตรเท่ากับ 157 มก.ฟอสฟอรัส/กก. ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่ TSP และ หินฟอสเฟต ในอัตรา 0.78 และ 11.89 มก./กก. (Table 1)

นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ใส่ น้ำ ทำเทือก รองพื้นด้วยปุ๋ยยูเรียในอัตรา 504 มก./กก. ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตรา 260 มก./กก. และใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามตำรับทดลอง คลุกตัวอย่างดินและปุ๋ยให้เข้ากัน ชั่งน้ำทิ้งไว้ 1 คืน บักดำกล้าข้าวอายุ 15 วัน จำนวน 3 ต้นต่อกระถาง และเมื่อถึงระยะกำเนิดช่อดอก (ประมาณ 40 วัน) แต่งหน้าด้วยยูเรียในอัตรา 98 มก./กก. รักษาระดับน้ำในกระถางให้ได้ 5 ซม. ตลอกการทดลอง ดูแลรักษาและกำจัดวัชพืชตามคำแนะนำทั่วไป การเก็บข้อมูลประกอบด้วยการบันทึกวันที่แตกกอ กำเนิดช่อดอก และออกดอกของข้าว รวมทั้งวัดความสูงและจำนวนต้นต่อกระถางที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และเก็บเกี่ยวผลผลิตเมล็ดข้าวที่อายุ 90 วัน นำเมล็ดข้าวและตอซังไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด และวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยการย่อยสลายด้วยกรดและวัดปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Yoshida et al., 1981) และเก็บตัวอย่างดินในกระถาง หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว เพื่อวิเคราะห์การดูดซับฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิคงที่ ข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 10 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไปโดยใช้ Duncan's multiple range tests (DMRT)

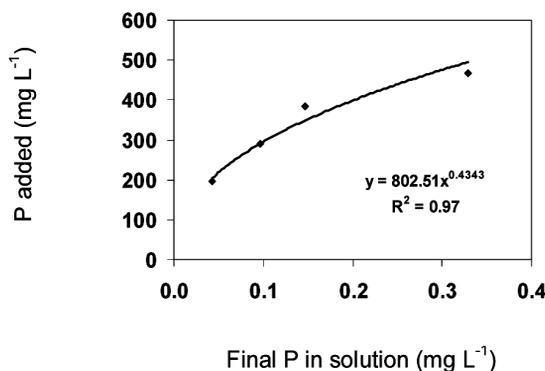


Figure 1 Phosphorus adsorption characteristics of Ongkharak soil with residual lime

## ผลการศึกษา

### สมบัติบางประการของดินก่อนทำการทดลอง

ดินเปรี้ยวจัดชุดดินของครักษ์มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว และแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปูนที่อาจตกค้างอยู่ เนื่องจากมีพีเอชสนามเท่ากับ 5.0 แต่ยังคงมีความเป็นกรดรุนแรงมากซึ่งมีพีเอชที่วัดในน้ำเท่ากับ 3.6 สอดคล้องกับกรดที่แลกเปลี่ยนได้สูง ผลการวิเคราะห์สมบัติดินก่อนทำการทดลองพบว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง โฟสเฟตเซียมที่เป็นประโยชน์และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสและฟอสฟอรัสอยู่ในระดับต่ำ (Table 2)

### การตอบสนองต่ออัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวพันธุ์ กข 43

#### การเจริญเติบโตของข้าว

ผลการศึกษาพบว่าชนิดและอัตราของของปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) การใส่ปุ๋ย TSP จะส่งผลให้ข้าวแตกกอ ก้านิดช่อดอก และออกดอกเร็วกว่าการใส่หินฟอสเฟต ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกัน ความสูงและจำนวนต้นที่ระยะแตกกอ ก้านิดช่อดอก และออกดอก และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะส่งผลให้ข้าวเจริญเติบโตช้าที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การให้ฟอสฟอรัสในอัตราเทียบเท่ากับการดูดซับสูงสุดของดิน (Pmax) ที่เท่ากับ 802 มก.ฟอสฟอรัส/กก. จะส่งผลให้ข้าวแตกกอ ก้านิดช่อดอก และออกดอกเร็วที่สุดโดยใช้เวลาเท่ากับ 35.8, 56.5 และ 74.0 วัน ตามลำดับ และส่งผลให้ผลรวมทั้งจำนวนต้นที่ทุกระยะการเจริญเติบโตสูงที่สุด (Table 3)

ฟอสฟอรัสที่อัตรา Pmax จะให้จำนวนต้นข้าวที่ระยะแตกกอและก้านิดช่อดอก และผลรวมสูงที่ระยะก้านิดช่อดอกและออกดอกไม่แตกต่างจากการให้ฟอสฟอรัสในอัตราครึ่งหนึ่งของการดูดซับสูงสุด ( $\frac{1}{2}$ Pmax เท่ากับ 401 มก.ฟอสฟอรัส/กก.) ในขณะที่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (ที่ระยะแตกกอ) ข้าวที่

ได้รับฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax จะมีความสูงสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับจำนวนการแตกกอที่ระยะออกดอก ถึงแม้ว่าการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา  $\frac{1}{2}$ Pmax จะส่งผลให้ข้าวเข้าสู่ระยะแตกกอและก้านิดช่อดอกไม่แตกต่างจากการให้ในอัตรา PBC (398 มก.ฟอสฟอรัส/กก.) แต่กลับส่งผลให้จำนวนต้นและความสูงที่ระยะต่างๆ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่อัตราแนะนำ (157 มก.ฟอสฟอรัส/กก.) จะส่งผลให้ข้าวเข้าสู่ระยะแตกกอ ก้านิดช่อดอก และออกดอก ช้ากว่าการให้ในอัตรา PBC แต่กลับให้ความสูงและจำนวนต้นไม่แตกต่างกันในทุกระยะการเจริญเติบโต (Table 3)

การให้ TSP ในอัตรา 3.96 มก./กก. ซึ่งเทียบเท่าการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax จะส่งผลให้ข้าวเจริญเติบโตเร็วที่สุด แต่การใส่หินฟอสเฟตในอัตราที่มีฟอสฟอรัสเทียบเท่ากัน (Pmax เทียบเท่ากับการใส่หินฟอสเฟตอัตรา 60.76 มก./กก.) กลับส่งผลให้ข้าวมีเจริญเติบโตช้ากว่าอย่างชัดเจน นอกจากนี้การใส่หินฟอสเฟตในอัตราต่างๆ (เทียบเท่ากับ Pmax,  $\frac{1}{2}$ Pmax, PBC, อัตราแนะนำ) ข้าวจะมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส เช่นเดียวกับจำนวนการแตกกอและความสูงซึ่งมีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3)

#### ผลผลิตข้าว

ชนิดและอัตราของของปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลต่อผลผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติแต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด (Table 4) การใช้ TSP และ RP มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดข้าว 100 เมล็ดใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 2.8 และ 2.9 ก. ตามลำดับ การให้ฟอสฟอรัสในอัตราต่างๆ มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดเฉลี่ยสูงกว่าการไม่ใส่ฟอสฟอรัสแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 4)

การใส่ปุ๋ย TSP ส่งผลให้น้ำหนักข้าวเปลือกและเมล็ดดีเท่ากับ 244.4 และ 191.6 ก./กระถาง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการใช้ RP ที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 17.0 และ 13.4 ก./กระถาง ตามลำดับ และการไม่ใส่ปุ๋ยจะให้น้ำหนักเมล็ดต่ำที่สุด การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax เท่ากับ

802 มก.ฟอสฟอรัส/กก. จะให้น้ำหนักข้าวเปลือกและเมล็ดดีสูงสุดเท่ากับ 181.7 และ 142.5 ก./กระถาง ตามลำดับ รองลงมาได้แก่การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา 401, 398, 157 และ 0 มก.ฟอสฟอรัส/กก. ตามลำดับ โดยให้น้ำหนักเมล็ดดีเท่ากับ 121.9, 84.5, 61.1 และ 7.5 ก./กระถาง ตามลำดับ

การใส่ TSP ในอัตราเทียบเท่า 802 มก.ฟอสฟอรัส/กก. จะให้น้ำหนักข้าวเปลือกและเมล็ดดีสูงสุดเท่ากับ 337.7 และ 264.9 ก./กระถาง ตามลำดับ แต่เมื่อใส่ RP ในอัตราที่เทียบเท่ากันจะส่งผลผลิตเมล็ดลดลงอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ TSP ในอัตราเดียวกัน และการใส่ RP ในอัตราเทียบเท่ากับ 401, 248 และ 157 มก.ฟอสฟอรัส/กก. จะให้น้ำหนักข้าวเปลือกและเมล็ดดีไม่แตกต่างจากค่าควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (Table 4)

#### การดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว

การใช้ TSP ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 1.43 ก./กระถาง การใช้ RP จะให้ข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ย เช่นเดียวกันกับการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา 802 มก.ฟอสฟอรัส/กก. ที่ส่งผลให้ข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุด (1.38 ก./กระถาง) รองลงมาได้แก่การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา 401, 398, 157 และ 0 มก.ฟอสฟอรัส/กก. ตามลำดับ การใช้ TSP ในอัตราเทียบเท่า Pmax ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 2.73 ก./กระถาง แต่การใส่ RP

ในทุกอัตราส่งผลให้ข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างจากค่าควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (Table 4)

#### การดูดซับฟอสฟอรัสของดิน

การใช้ TSP และ RP มีแนวโน้มให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปลี่ยนแปลงไป (Table 2) การใช้ RP มีแนวโน้มให้ดินมีการดูดซับฟอสฟอรัสสูงกว่าการใช้ TSP โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 573 และ 532 มก./กก. ตามลำดับ แต่การใส่ RP จะส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าต่ำกว่าการใช้ TSP โดยมีค่าเท่ากับ 321 และ 345 มก./กก. (Table 5) เช่นเดียวกันกับอัตราของฟอสฟอรัสที่การใส่ฟอสฟอรัสในอัตราสูงส่งผลให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินลดลง โดยการให้ฟอสฟอรัสในอัตรา Pmax จะส่งผลให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินมีปริมาณต่ำที่สุดเท่ากับ 452 มก./กก. ซึ่งมีปริมาณลดลงเกินกว่าครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้น รองลงมาได้แก่การให้ฟอสฟอรัสในอัตรา PBC,  $\frac{1}{2}$ Pmax และอัตราแนะนำ ตามลำดับ และการไม่ให้ฟอสฟอรัสส่งผลให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินไม่เปลี่ยนแปลง แต่ให้ฟอสฟอรัสในอัตรา  $\frac{1}{2}$ Pmax ส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าต่ำที่สุด และการไม่ใส่ฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ฟอสฟอรัสที่ PBC มีค่าสูงสุด (Table 6) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับกับการศึกษาของ สัมฤทธิ์ (2544) ที่รายงานว่าดินเปรี้ยวจัดเมื่อมีการให้ฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าการดูดซับฟอสฟอรัสของดินมีค่าลดลง

**Table 1** The amount of triple super phosphate (TSP) and rock phosphate (RP) as equal to P rate assessment- ing from P adsorption isotherm of Ongkharak soil with residual lime by using Freundlich equation.

P adsorption capacity	Phosphorus rate (mg P kg <sup>-1</sup> )	Phosphorus fertilizer type	
		Triple super phosphate (TSP)	Rock phosphate (RP)
		(----- mg kg <sup>-1</sup> -----)	
Pmax	802	3.96	60.76
$\frac{1}{2}$ Pmax	401	1.98	30.38
0.2 mg P L <sup>-1</sup> (PBC)	398	1.97	30.21
Recommended rate	157	0.78	11.89

**Remark :** PBC = phosphouse buffer capacity

**Table 2** Properties of topsoil (0-30 cm) of Ongkharak soil with residual lime prior the experiment

Soil property	Topsoil (0-30 cm)
Sand (g kg <sup>-1</sup> )	91
Silt (g kg <sup>-1</sup> )	289
Clay (g kg <sup>-1</sup> )	620
Soil texture	Clay
Field pH	5.0
pH 1:1 H <sub>2</sub> O	3.6
Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	21.8
Available phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )	3.6
Available potassium (mg kg <sup>-1</sup> )	177
CEC (cmol kg <sup>-1</sup> )	24.5
Exchange acidity (cmol kg <sup>-1</sup> )	33
Extractable K (cmol kg <sup>-1</sup> )	0.8
Extractable Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	5.32
Extractable Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	2.56
Extractable Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	2.2
%BS	14.27
EC (dS m <sup>-3</sup> )	2.2

: Scoring is used for the assessment of soil properties rating according to Land Classification and FAO Project (1973)  
 Soil pH (1:1 Soil: H<sub>2</sub>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 content (g kg<sup>-1</sup>) : Low = <15; Medium = 15-35; High = >35  
 Available P (mg kg<sup>-1</sup>) : Low = <10; Medium = 10-25; High = >25  
 Available K (mg kg<sup>-1</sup>) : Low = <60; Medium = 60-90; High = >90  
 Extractable K (cmol kg<sup>-1</sup>) : Low = <0.2; Medium = 0.3-0.6; High = >1.2  
 Extractable Ca (cmol kg<sup>-1</sup>) : Low = <5; Medium = 5-10; High = >10  
 Extractable Mg (cmol kg<sup>-1</sup>) : Low = <1; Medium = 1-3; High = >3  
 Extractable Na (cmol kg<sup>-1</sup>) : Low = <0.3; Medium = 0.3-0.7; High = >0.7  
 Extractable acidity (cmol kg<sup>-1</sup>) : Low = <2; Medium = 2-10; High = >10  
 CEC (cmol kg<sup>-1</sup>) : Low = <10; Medium = 10-20; High = >20  
 BS (%) : Low = <35; Medium = 35-75; High = >75

**Table 3** vegetative growth of rice grown on Ok soil as affected by different rate and type of phosphorus fertilizer.

Treatment		Day after planting			Plant per pot			Plant height		
		Tillering (-----day-----)	Panicle	Flowering	Tillering (-----No. pot <sup>-1</sup> -----)	Panicle	Flowering	Tillering (-----cm-----)	Panicle	Flowering
Fertilizer type	F0	50.3a	71.3a	87.3a	2.3c	3.8b	5.8c	47.3c	64.3c	73.3c
	F1	32.1c	57.1c	70.1c	11.4a	58.5a	61.5a	66.4a	94.8a	97.6a
	F2	46.1b	66.8b	85.4b	3.4b	4.9b	7.1b	49.7b	90.2b	86.1b
	F-Test	**	**	**	**	**	**	**	**	**
P rate	R0	50.3a	71.3a	87.4a	2.3c	3.8c	5.8d	47.3d	64.3c	73.3c
	R1	35.8d	56.5d	74.0d	8.8a	34.1a	37.3a	62.9a	94.1a	95.1a
	R2	40.1c	62.6c	78.6c	8.0a	32.9a	35.4b	58.0b	93.4a	92.8a
	R3	39.8c	64.4b	78.4c	6.5b	30.3b	32.6c	56.1bc	91.8ab	89.5b
	R4	40.9b	64.4b	80.0b	6.4b	29.6b	32.0c	55.3c	90.6b	89.9b
F-Test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	
Type× Rate	F0R0	50.3a	71.3a	87.3b	2.3c	3.8	5.8d	47.3d	64.3	73.3
	F1R1	31.0f	51.8f	67.0g	13.3a	61.0	65.3a	74.0a	95.9	102.3
	F1R2	32.8e	56.8e	69.5f	12.3a	60.5	63.5a	65.4b	95.1	98.3
	F1R3	31.5f	60.0d	72.0e	10.3b	56.8	59.0b	63.9b	95.0	95.3
	F1R4	33.3e	60.0d	72.0e	10.0b	55.8	58.3b	62.5b	93.3	94.5
	F2R1	40.5d	61.3d	81.0d	4.3c	7.3	9.3c	51.8c	92.4	88.0
	F2R2	47.5c	68.5b	87.8ab	3.8c	5.3	7.3d	50.6cd	91.8	87.3
	F2R3	48.0bc	68.8b	84.8c	3.3c	3.8	6.3d	48.3de	88.6	84.5
	F2R4	48.5b	68.8b	88.0a	3.3c	3.5	5.8d	48.1de	88.0	84.5
	F-Test	**	**	**	*	ns	**	**	ns	ns

**Remark** : \*, \*\* 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<sup>-1</sup>; R1 = at Pmax (802 mg P kg<sup>-1</sup>); R2 = at ½Pmax (401 mg P kg<sup>-1</sup>) ; R3 = at 0.2 mg P L<sup>-1</sup>(398 mg P kg<sup>-1</sup>); R4 = at recommended rate (157 mg P kg<sup>-1</sup>)

**Table 4** Seed yields and phosphorus uptake of rice grown on Ok soil as affected by different rate and type of phosphorus fertilizer.

Treatment	Yield			Phosphorus uptake (g pot <sup>-1</sup> )	
	Grain wt. (-----g pot <sup>-1</sup> -----)	Filled grain wt	100-grain wt. (g)		
Fertilizer type	F0	9.5c	7.5c	2.5	0.01b
	F1	244.4a	191.6a	2.8	1.43a
	F2	17.0b	13.4b	2.9	0.02b
	F-Test	**	**	ns	**
P rate	R0	9.5e	7.5e	2.5	0.01e
	R1	181.7a	142.5a	2.9	1.38a
	R2	155.5b	121.9b	2.9	1.05b
	R3	107.8c	84.5c	2.8	0.28c
	R4	77.9d	61.1d	2.7	0.18d
F-Test	**	**	ns	**	
Type× Rate	F0R0	9.5f	7.5f	2.5	0.01e
	F1R1	337.7a	264.9a	2.9	2.73a
	F1R2	294.0b	230.6b	2.8	2.07b
	F1R3	202.1c	158.5c	2.8	0.55c
	F1R4	143.6d	112.6d	2.7	0.35d
	F2R1	25.6e	20.1e	3	0.03e
	F2R2	16.9f	13.3f	2.9	0.02e
	F2R3	13.5f	10.6f	2.8	0.01e
	F2R4	12.2f	9.6f	2.8	0.01e
F-Test	**	**	ns	**	

**Remark** : \*, \*\* 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<sup>-1</sup>; R1 = at Pmax (802 mg P kg<sup>-1</sup>); R2 = at ½Pmax (401 mg P kg<sup>-1</sup>) ; R3 = at 0.2 mg P L<sup>-1</sup>(398 mg P kg<sup>-1</sup>); R4 = at recommended rate (157 mg P kg<sup>-1</sup>)

**Table 5** Phosphorus adsorption characteristic of Ok soil as affected by different type of phosphorus fertilizer

P-adsorption capacity	Phosphorus type			
	S	0	F1	F2
	(-----mg P kg <sup>-1</sup> -----)			
Pmax	802		532	573
½ Pmax	401		266	287
0.2 mg P L <sup>-1</sup> (PBC)	398		345	321

**Remark** : : S0 = phosphorus adsorption characteristics of Ok soil prior experiment

Fertilizer type : F1: Triple super phosphate; F2: Rock phosphate.

**Table 6** Phosphorus adsorption characteristic of Ok soil as affected by different rate of phosphorus fertilizer

P-adsorption capacity	Phosphorus rate				
	S0	R0	R1	R2	R3
	(------mg P kg <sup>-1</sup> -----)				
Pmax	797	452	518	586	655
½ Pmax	399	226	259	293	327
0.2 mg P L <sup>-1</sup> (PBC)	434	351	296	347	338

**Remark :** S0 = phosphorus adsorption characteristics of Ok soil prior experiment

Prate: R0=0 mg P kg<sup>-1</sup>; R1 = at Pmax (802 mg P kg<sup>-1</sup>); R2 = at ½ Pmax (401 mg P kg<sup>-1</sup>); R3 = at 0.2 mg P L<sup>-1</sup> (398 mg P kg<sup>-1</sup>);

R4 = at recommended rate (157 mg P kg<sup>-1</sup>)

### วิจารณ์ผลการศึกษา

#### การดูดซับฟอสฟอรัสของดินเปรี้ยวจัดที่มีปูนตกค้าง

ชุดดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้างยังคงมีปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสค่อนข้างสูงทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสภาพความเป็นกรดที่รุนแรง โดยมีรายงานว่าพีเอชดินจะมีสหสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณเหล็กและอะลูมิเนียมในรูปอิสระและอิสระฐาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการดูดซับและการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของดิน (Sanyal et al., 1993; Krairapanond et al., 1993; Quang and Dufy, 1995) สอดคล้องกับการศึกษาของ Khalid et al. (1977) ที่รายงานว่าเหล็กมีบทบาทสำคัญเป็นอันดับแรกในการดูดซับฟอสฟอรัสของดินน้ำขัง อย่างไรก็ตาม ปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสของดินที่ทำการศึกษามีค่าต่ำกว่าดินเปรี้ยวจัดที่เคยรายงานโดย Sanyal et al. (1993) ที่ได้ทำการศึกษาดินเปรี้ยวจัดในอันดับเอนทิซอลล์และอินเซปทิซอลล์ที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 3.13-4.40 ในเอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่า ดินมีการดูดซับฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัย 1797-3004 มก./กก. ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Zhang et al. (2003) ที่รายงานว่าดินนาเปรี้ยวจัดในอันดับเอนทิซอลล์มีการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเท่ากับ 3852 มก./กก. ในขณะที่โดย Krairapanond et al. (1993) ที่ได้ทำการศึกษาดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิต ชุดดินรังสิตกรดจัด และชุดดินมหาโพธิ์ พบว่ามีการดูดซับฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัย 508-

699 มก./กก. แสดงให้เห็นว่าดินองครักษ์ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ อาจมีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปูนที่ตกค้างอยู่ในดิน (Iyamuremye et al., 1996) โดยมีการทดลองในประเทศมาเลเซียของ Ogunwale and Shamsuddi (1999) ที่รายงานว่าการใส่ปูนในอัตรา 1 ตันต่อเฮกตาร์ในดินเปรี้ยวจัดที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 2.97-3.36 จะส่งผลให้อัตราการดูดซับฟอสฟอรัสของดินลดลงร้อยละ 3.1-13.1 แต่เมื่อมีการใส่ปูนมากกว่า 2 ตันต่อเฮกตาร์กลับส่งผลให้มีการดูดซับฟอสฟอรัสสูงขึ้น เนื่องจากฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับโดยแคลเซียม และเกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตแทนเหล็กและอะลูมิเนียมฟอสเฟต

#### การตอบสนองของข้าวต่อชนิดปุ๋ยและอัตราของฟอสฟอรัส

ข้าวพันธุ์ กข. 43 ที่ปลูกในดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้างจะตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างชัดเจน โดยเมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ข้าวที่ปลูกจะมีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูง จำนวนการแตกกอ และให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสเลย ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว และเมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับข้าวหรือเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินจะส่งผลให้ข้าวดูดดึงฟอสฟอรัสขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสจะสูงกว่า



- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. *The Nature and Properties of Soil*. Macmillan Publishing Co. Inc., New York.
- Brinkman, R., N.B. Ve., T. K. Tinh., D.P. Hau., and M. E. F. van Mensvoort. 1993. Sulfidic materials in the western Mekong Delta, Vietnam. *Catena* 20: 317-331.
- Curtin, D. and J.K. Syers. 2001. Lime-induced changes in indices of soil phosphate availability. *Plant and Soil* 65: 147-152.
- 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.
- 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 Soil* 157: 227-237.
- 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.
- Iyamuremye, F., R.P. Dick and J. Baham. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamic: I. Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Sci.* 161: 426-435.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. *Soil Interpretation Handbook for Thailand*. Dept. of Land Development, Ministry of Agri. and Coop., Bangkok.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, USDA.
- Ogunwale, J.A. and J. Shamshuddi. 1999. Phosphorus sorption by active acid sulfate soils of Peninsular Malaysia. *Pertanika. J. Trop. Agric. Sci* 22: 33-43.
- 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.
- Quang, V.D., and J.E. Dufey. 1995. Effect of temperature and flooding on phosphate sorption in an acid sulphate soil from Vietnam European. *Soil Science* 46: 641-647.
- 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.
- Thanachit, S., I. Kheoruenromne, A. Suddhiprakarn and S. Anusontpornperm. 2007. Management approach on soils affected by recent flooding in Central Plain, Thailand. 33rd Congress on Science and Technology of Thailand, 18-20 October 2007, Nakhon Si Thammarat, Thailand.
- Van Mensvoort, M.E.F. and L. Q., Tri. 1988. Morphology and genesis of actual acid sulphate soils without jarosite in the Ha Tien Plain, Mekong Delta, Vietnam. *International Institute for Land Reclamation and Improvement Publication No. 44: II-15*. Wageningen, the Netherlands.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. Int. Rice Res Inst., Los Banos Laguna, Phillipines.
- 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.