

## การประเมินความต้องการฟอสฟอรัสของดินกรดที่ตอนในภาคใต้ โดยใช้วิธี sorption isotherm และค่าวิเคราะห์ดิน

### Predicting Plant Phosphorus Requirements for Acid Upland Soils using a Combination of Phosphorus Sorption Isotherms and Soil Test Methods

จตุรรัตน์ เทพนวล<sup>1</sup> และวิเชียร จาภูพจน์<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

การคาดคะเนปริมาณความต้องการปุ๋ยฟอสฟอรัส (P) แบบเฉพาะเจาะจงตามศักยภาพการดูดซับ P จำเป็นอย่างยิ่งต่อการแนะนำปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพในดินกรดที่ตอนซึ่งมีการขาด P อย่างรุนแรง การศึกษานี้วัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาระดับศักยภาพการดูดซับ P ในดินกรดที่ตอน 17 ชุดสำคัญในภาคใต้ โดยวิธี P adsorption isotherm และ 2) ทดสอบความเป็นไปได้ในการคาดคะเนปริมาณความต้องการปุ๋ย P จาก P sorption isotherm ร่วมกับค่าวิเคราะห์ดิน โดยปลูกข้าวโพดในกระถางใน 3 ชุดดินตัวแทนที่มีศักยภาพการดูดซับ P สูง ปานกลาง และต่ำ ได้แก่ ชุดดินอ่าวลึก (Ak) ชุมพร (Cp) และ คอหงษ์ (Kh) ตามลำดับ แต่ละชุดดินประกอบด้วยปริมาณปุ๋ย P จำนวน 6 อัตราคือ 0, 0.25, 0.5, 1, 2 และ 4 เท่าของปริมาณ P ที่ดินดูดซับ ณ ระดับความเข้มข้นสมดุลของสารละลายดินที่  $0.2 \text{ mg P L}^{-1}$  (external P requirement) ของชุดดินนั้นๆ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ

ผลการศึกษาพบว่า การดูดซับ P ของดินทั้ง 17 ชุดดินดังกล่าว สามารถอธิบายได้ดีด้วยสมการ Langmuir และสมการ Freundlich ( $R^2$  อยู่ในช่วง 0.85-0.98 และ 0.77-0.99 ตามลำดับ) ปริมาณการดูดซับ P สูงสุด ( $x_m$ ) จากสมการ Langmuir พบว่าศักยภาพการดูดซับ P ของดินที่ระดับสูง ปานกลาง และ ต่ำ อยู่ในช่วง 250-526, 150-222 และ  $106-140 \text{ mg P kg}^{-1}$  ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่าปริมาณการดูดซับ P มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณเหล็กออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al) และปริมาณอนุภาคดินเหนียว (clay) ของดิน

จากการทดสอบความถูกต้องของวิธีการประเมินความต้องการปุ๋ยที่คำนวณจาก external P requirement โดยการปลูกพืชทดสอบในกระถาง พบว่า ในชุดดินที่มีระดับการดูดซับ P สูง และต่ำ (อ่าวลึก และ คอหงษ์ ตามลำดับ) ผลผลิตที่ระดับ 80% ของผลผลิตสูงสุดจะมีค่าความเข้มข้นสมดุลของสารละลายดินที่  $0.33$  และ  $0.21 \text{ mg PL}^{-1}$  ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับระดับความต้องการปุ๋ยที่  $0.3 \text{ mg P L}^{-1}$  ที่กำหนด ยกเว้นชุดดินชุมพรที่มีระดับการดูดซับ P ปานกลาง ที่มีค่าความเข้มข้นสมดุลของสารละลายดินสูงถึง  $4.34 \text{ mg PL}^{-1}$  อาจเนื่องจากระดับผลผลิตจากการทดลองในกระถาง ในดินชุดนี้มีความผันแปรค่อนข้างสูง นอกจากนี้ การศึกษาครั้งนี้ยังสามารถกำหนดค่า critical level ของ P โดยวิธีสกัดด้วย Bray II ให้เฉพาะเจาะจงตามระดับการดูดซับ P ของดินอีกด้วย

**คำสำคัญ :** ศักยภาพการดูดซับ P, ปริมาณความต้องการ P ของพืช, ค่าวิเคราะห์ Bray II P

#### Abstract

Estimation of specific P requirement according to P buffer capacity of soils was important for effective fertilizer recommendations for acid upland soils which severely deficient in P. The objectives of this study were 1) to describe the P adsorption of 17 major acid soil series in southern Thailand using P

<sup>1</sup>ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

adsorption isotherm method, and 2) to verify the prediction of P requirement using combined P sorption isotherm and soil test values in 3 representative soils with high, medium and low sorption capacity, i.e., Ao Luek (Ak), Chumporn (Cp) and Kho Hong (Kh) soils, respectively. The P sorption isotherm of 17 soils was determined by method of Rayment and Higginson, (1992). A pot trial was also set up by planting maize in each soil with 6 different treatments of P fertilizer rates: 0, 0.25, 0.5, 1, 2 and 4 times of maize external P requirement which defined as the amount of P sorbed at the equilibrium soil-solution concentration of 0.2 mg P L<sup>-1</sup>. Completely randomize design was used with 4 replications.

P sorption characteristics of soils were equally well described by both Langmuir and Freundlich equations (R<sup>2</sup> values range from 0.85 - 0.98 และ 0.77 and 0.99, respectively). Maximum P sorbed (x<sub>m</sub>) in soils from Langmuir equation could be grouped into 3 categories of high, medium and low P sorption capacity which ranged from 250 – 526, 150 – 222 and 106 – 140 mg P kg<sup>-1</sup>, respectively. The sorption capacity of soils was closely related to the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, exchangeable Al and Clay content of the soils. The validity of the proposed method in predicting plant P requirements was tested in pot trial. It was found that the external P requirement of the soils with high and low sorption capacity (Ak and Kh soil) was 0.33 and 0.21 mg P L<sup>-1</sup> respectively, which reasonably agree with the defined level of 0.3 mg P L<sup>-1</sup>. However, in the medium sorption capacity soil (Cp) with the external P requirement of 4.34 mg P L<sup>-1</sup> the result was contradicted. This may be due to its relatively high variation of yields in this soil pot trial. In addition, this method could also be used to define critical Bray II levels for soils with different sorption capacities.

**Keyword :** Phosphorus adsorption isotherm, External P requirement, Bray II Soil P.

## คำนำ

ดินกรดที่ดอน (acid upland soil) ของประเทศไทยมีประมาณ 96 ล้านไร่ และพบในภาคใต้ประมาณ 15 ล้านไร่ (เจิบ, 2533) ดินที่พบส่วนใหญ่อยู่ในอันดับ Ultisols มีปฏิกิริยาดิน (pH) ต่ำกว่า 5 มีปริมาณของเหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และแมงกานีส (Mn) สูงในระดับที่เป็นพิษต่อพืช มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ และขาดธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุ P ซึ่งประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปในดินเฉลี่ยเพียง 15 ถึง 20% เท่านั้น (von Uexkull, 1986)

ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของ P ในดินได้แก่ ปริมาณ หรือ quantity factor (Dalal and Hallsworth 1976) ความเข้มข้นสมดุลของ P ในสารละลาย หรือ intensity factor (Moody *et al.*, 1983) และความจุในการดูดซับ P ของดิน หรือ buffer capacity (Holford 1980) โดยพบว่าปริมาณการดูดซับ P ของพืชอายุสั้น จะสัมพันธ์กับปัจจัยด้าน intensity (Gunary and Sutton, 1967) ส่วนการดูดซับ P ของพืชอายุยาว จะสัมพันธ์กับปัจจัยด้านปริมาณ Holford and Culiis (1985) แสดงให้เห็นว่า ค่าวิกฤติของวิธีการวิเคราะห์ดินต่างๆ จะผันแปรไปตามคุณสมบัติการดูดซับ P ของดิน ในดินที่มีความจุในการดูดซับสูง จะมีค่าวิกฤติของค่าวิเคราะห์ดิน (critical level) สูงกว่าดินที่มีความจุในการดูดซับ P ต่ำ (Helyar and Spencer, 1977; Bolland *et al.*, 1994) ได้มีความพยายามนำสมบัติการดูดซับ P ของดินมาประยุกต์ใช้ในการประเมินปริมาณปุ๋ยที่พืชต้องการ ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการวิเคราะห์ดิน ที่ได้รวมเอาปัจจัยด้านปริมาณ intensity, quantity และ capacity ซึ่งล้วนมีผลต่อปริมาณของ P ในสารละลายไปยังรากพืช นอกจากนี้ ปริมาณความต้องการปุ๋ยยังสามารถประเมินจาก sorption curves ได้โดยตรง

แนวทางในการกำหนด ปริมาณปุ๋ย P ที่ต้องการในดิน อาศัยหลักการที่ว่า ปริมาณการดูดซับ P ของดิน และ ปริมาณปุ๋ย P ที่พืชต้องการจะขึ้นกับระดับความเข้มข้นของ P ในสารละลาย ปริมาณความต้องการปุ๋ย P ของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(P external requirement) กำหนดได้จากปริมาณ P ที่ต้องการในการรักษาระดับความเข้มข้นของ P ในสารละลายดิน ในสภาพสมดุลให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช หรือในระดับผลผลิตที่เหมาะสม (Fox and Kamprath, 1970; Fox, 1981) ได้มีการกำหนดค่า P external requirement สำหรับพืชต่างๆ ที่ระดับ 80 - 95% ของผลผลิตสูงสุดในสภาพดินและภูมิอากาศที่แตกต่างกัน (Vanderzaag *et al.*, 1979; Menon and Fox, 1983 Hue and Fox 2010) เช่น ค่าความต้องการ P ของข้าวโพด มีค่าตั้งแต่ 0.05 (Fox *et al.*, 1974), 0.35 (Hassan *et al.*, 1993) และ 0.03-0.05 mg P L<sup>-1</sup> (Hue *et al.*, 2000) โดยทั่วไปจะถือว่า external P requirement ของพืชจะค่อนข้างคงที่ ขึ้นกับชนิดของพืช และไม่ขึ้นกับประเภทของดินที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม Fox *et al.*, (1974) พบว่า ค่าความต้องการ P ในดินแต่ละดิน จะแตกต่างกัน และจะสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของดิน และดินเหนียว โดยดินเหนียวปานกลางมีความต้องการ P ต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด (Memon and Fox, 1983) เพิ่มพูน และ อุษา (2548) ได้ทดสอบปริมาณความต้องการ P ณ ความเข้มข้นสารละลาย 0.2 mg P L<sup>-1</sup> สำหรับถั่วเหลืองที่ปลูกในดินชุดยโสธร และภูผาม่าน พบว่า ค่าความต้องการ P ที่ให้ผลผลิตสูงสุดจะมีความเข้มข้นสมดุลของ P ในสารละลาย ที่ 0.8 และ 0.1 mg P L<sup>-1</sup> ตามลำดับ และ ทวีทรัพย์ (2548) ได้ทำการทดสอบในทำนองเดียวกันในดินชุดโชคชัย และยโสธร พบว่าระดับผลผลิตสูงสุดจะมีความเข้มข้นสมดุลของ P ในสารละลาย ที่ 0.4 mg P L<sup>-1</sup> ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณความต้องการ P ของพืชในดินต่างๆ ได้แก่ ความจุการดูดซับ P ของดิน พื้นที่หน้าตัดสำหรับการแพร่ของ P ไปสู่ราก ปัจจัยด้านดินที่มีผลต่อการเจริญของราก โดยเฉพาะกับรากฝอยและการอยู่ร่วมกับ mycorrhizal, การย่อยสลายของอินทรีย์ P ชนิดและปริมาณเกลือในดิน อุณหภูมิ และการละลายได้ของ P ส่วนที่เป็นของแข็ง เป็นต้น (Peaslee and Fox 1978) ตัวชี้วัดความเป็นประโยชน์ของ P จากระดับความเข้มข้นของ P ในสารละลายจะได้ผลเมื่อมีการจัดกลุ่มตามศักยภาพการดูดซับ P ของดิน และสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการปรับค่าปริมาณความต้องการปุ๋ยระหว่างดินต่างๆ ที่มีความจุในการดูดซับไม่เท่ากัน (Moody *et al.*, 1988)

วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อ 1) ศึกษาระดับศักยภาพการดูดซับ P ในดินกรดที่ดอน 17 ชุดสำคัญในภาคใต้ โดยวิธี P adsorption isotherm และ 2) ทดสอบความเป็นไปได้ในการคาดคะเนปริมาณความต้องการปุ๋ย P จาก P sorption isotherm ร่วมกับค่าวิเคราะห์ดินสำหรับดินกรดที่ดอนในภาคใต้

### อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาระดับศักยภาพการดูดซับ P ในดินกรดที่ดอน 17 ชุดสำคัญในภาคใต้ โดยวิธี P adsorption isotherm (Rayment and Higginson, 1992) ชั่งดิน 4 กรัม ใส่หลอดหยิ่งพลาสติกรุ่น 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.01 M CaCl<sub>2</sub> 40 mL (ดินต่อสารละลาย 1:10) และเติม P ในรูปของ KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> อัตรา 0, 2.5, 5, 10, 15, 20 และ 30 mg P L<sup>-1</sup> หลังจากนั้นเติมคลอโรฟอร์ม 0.25% (0.1 mL) เพื่อยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ นำตัวอย่างที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่อง end-over-end ที่ความเร็วประมาณ 15-30 rpm ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาถึงจุดสมดุล แล้วนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2500 rpm หลังจากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 สารละลายที่ได้นำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ P โดยวิธีทำให้เกิดสีของ Murphy and Riley (1962) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Visible spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 820 nm

การวิเคราะห์สมบัติของดินเพื่อศึกษาความสัมพันธ์กับศักยภาพการดูดซับ P ได้แก่ pH (1:5), EC, OM (Walkley - Black), Total N (Kjeldahl), Available P (mg P kg<sup>-1</sup>; Bray II), Exchangeable K, Na, Ca และ Mg (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; NH<sub>4</sub>OAc Extract), Exchangeable Al (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; KCl Ext and titration), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (g kg<sup>-1</sup>; ICP-OES, X-Ray Fluorescence spectrometry) และ Soil Texture (Hydrometer)

การทดสอบปลูกข้าวโพดในกระถาง โดยคัดเลือกชุดดินตัวแทนที่มีศักยภาพการดูดซับ P แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับสูง ปานกลาง และต่ำ (ชุดดินอ่าวลึก (Ak) ชุมพร (Cp) และ คอหงษ์ (Kh) ตามลำดับ) เพื่อศึกษาแนวทาง

ความเป็นไปได้ในการใช้ P sorption isotherm ร่วมกับค่าวิเคราะห์ดินในการปรับปรุงการแนะนำปุ๋ย P ให้เหมาะสม ในแต่ละชุดดินประกอบด้วย 6 สิ่งทดลอง ได้แก่ปริมาณปุ๋ย P (ในรูปปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 45% available  $P_2O_5$ ) ในอัตรา 0 0.25 0.5 1 2 และ 4 เท่าของ external P requirement ของข้าวโพดในชุดดินนั้นๆ [ปริมาณ P ที่ดินดูดซับ ณ ระดับความเข้มข้นสมดุลของสารละลายดินที่  $0.3 \text{ mg P L}^{-1}$  (Fox and Kamprath, 1970)] วางแผนการทดลองแบบ สุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ (Table 1) ธาตุอาหารพื้นฐานอื่นใส่ในอัตราที่พอเพียงต่อความต้องการของข้าวโพด (Nilnond *et al.*, 1986) ทำการวัดน้ำหนักแห้งพืชเมื่ออายุ 25 วัน (Moody *et al.*, 1988), วิเคราะห์ Total P ( $\text{HClO}_4$  digestion), P uptake (%) ในพืช และ available P (Bray II) ของดินก่อนและหลังการทดลอง นอกจากนี้ ยังทำการ บ่มดินในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปุ๋ยที่ใส่และระดับค่าวิเคราะห์ดินในแต่ละชุดดิน (Hue *et al.*, 2000)

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลผลิตตามวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

**Table 1** Rates of P fertilizer added ( $\text{mg P kg}^{-1}$ ) in 3 representative soil series of different P buffer capacities.

Treatments\Soil series	Ao Luek (Ak)	Chumphon (Cp)	Kho Hong (Kh)
Control	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
C + P $\frac{1}{4}$	24 (7)	13 (4)	8 (2)
C + P $\frac{1}{2}$	48 (15)	27 (8)	16 (5)
C + P1	95 (30)	53 (17)	31 (10)
C + P2	190 (59)	106 (33)	62 (19)
C + P4	380 (119)	212 (66)	124 (39)

\*number in () as P added in  $\text{kg rai}^{-1}$

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. ศักยภาพการดูดซับ P ของดิน

จากกราฟ P sorption isotherm ของชุดดินสำคัญในภาคใต้ พบว่า การดูดซับ P ของดินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตามความเข้มข้นของฟอสเฟตในสารละลายที่เพิ่มขึ้น จนถึงจุดๆ หนึ่งการดูดซับ P ค่อยข้างคงที่ โดยดินต่างชนิดกันมี ปริมาณการดูดซับ P สูงสุดแตกต่างกันขึ้นกับสมบัติของดิน เช่น ปริมาณเหล็ก อะลูมินัม และแคลเซียม เป็นต้น (Zhu *et al.*, 1997) ดินที่จัดจำแนกเป็นชุดดินเดียวกันแต่อยู่ในต่างพื้นที่ก็มีความสามารถในการดูดซับ P ได้แตกต่างกัน (เพิ่มพูน และคณะ, 2546; ทวีทรัพย์, 2548)

ลักษณะการดูดซับ P ของดินสามารถอธิบายได้ดีด้วยสมการ Langmuir และสมการ Freundlich โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสมดุลของ P ในสารละลาย (equilibrium solution concentration, C) กับปริมาณการดูดซับ P ( $C/y$ ,  $\text{mg P kg}^{-1}$ ) จากสมการ Langmuir และสมการ Freundlich อยู่ในช่วง 0.85 - 0.98 และ 0.77 - 0.99 ตามลำดับ ปริมาณการดูดซับสูงสุด ( $x_m$ ) ของดินกรดที่ตอนที่สำคัญในภาคใต้ที่ประเมิน จากสมการ Langmuir สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ (Table 2) โดยกลุ่มที่มีการดูดซับฟอสเฟตในระดับสูงได้แก่ ชุดดิน LI, Kbi, Fd, Ak, Kkt และ Tg ชุดดิน ที่มีการดูดซับฟอสเฟตในระดับปานกลางได้แก่ ชุดดิน Te, Knk, Ntm, Kit, Hy, Pk และ Cp และชุดดินที่มีการดูดซับฟอสเฟตในระดับต่ำได้แก่ ชุดดิน Ro, Km, Kh และ Ya และเมื่อจำแนกตาม ศักยภาพการดูดซับ P (PBC) ที่ระดับความเข้มข้น P สมดุลในสารละลายที่  $0.25 - 0.35 \text{ mg P L}^{-1}$  (Ozanne and

Shaw, 1967) สามารถแบ่งออกเป็นชุดดินที่มีค่า PBC ระดับสูง ได้แก่ ชุดดิน Li, Kbi, Fd และ Ak ระดับค่า PBC ปานกลาง ได้แก่ ชุดดิน Knk, Ntm, Klt, Tg, Kkt และค่า PBC ระดับต่ำ ได้แก่ ชุดดิน Pk, Cp, Kh, Hy, Km, Ya, และ Ro และ Te ตามลำดับ

**Table 2** Level of maximum P adsorption ( $x_m$ ) of Langmuir equation and phosphorus buffer capacity (PBC, mg P kg<sup>-1</sup>) in major acid upland soils, Southern Thailand.

P sorption capacity	Soil series	$x_m$ (mg P kg <sup>-1</sup> )	PBC
High	Khao Khat (Kkt), Thung Wa (Tg), Ao Luek (Ak), Fang Daeng (Fd), Krabi (Kbi) and Lamphu La (Li)	250 - 526	12 - 62
Medium	Chumphon (Cp), Phuket (Pk), Hat Yai (Hy), Khlong Nok Krathung (Knk), Na Tham (Ntm), Khlong Teng (Klt) and Tha Sae (Te)	150 - 222	8 - 11
Low	Ruso (Ro), Khlong Thom (Km), Kho Hong (Kh) and Yala (Ya)	106 - 140	6 - 7

PBC = (P sorbed at 0.25 – 0.35 mg P L<sup>-1</sup>, Ozanne and Shaw, 1967)

## 2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับและสมบัติของดิน

ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินกรดที่ดอนที่สำคัญในภาคใต้ 17 ชุดดิน พบว่า ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลมาตรฐานที่จัดทำขึ้นโดยสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2550) กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย pH (1:5) ของดินเป็นกรด OM 1.62% total N 0.90 g N kg<sup>-1</sup>, available P 6.35 mg P kg<sup>-1</sup>, available K 54.76 mg K kg<sup>-1</sup>, CEC 3.57 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, exchangeable Mg 0.62 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, exchangeable Al 1.13 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> และ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.90 g kg<sup>-1</sup> โดยทั่วไปสรุปได้ว่า ดินกรดที่ดอนดังกล่าว มีระดับความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (Nilnond *et al.*, 1986)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินกับปริมาณการดูดซับ P สูงสุด ( $x_m$ ) ที่ได้จากสมการ Langmuir โดยวิธี stepwise regression พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง กับ ปริมาณ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, exchangeable Al และ ปริมาณ clay (%) ดังสมการที่ 1-3 อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อรวมเอาสมบัติอื่นๆ เพิ่มขึ้น เช่น OM และ CEC สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณ P ที่ถูกดูดซับได้ถูกต้องเพิ่มขึ้นตามลำดับ

$$x_m = 12.26 + 53.99(\text{Fe}_2\text{O}_3) \quad R^2 = 0.81^{**} \quad (1)$$

$$x_m = 5.61 + 44.85 (\text{Fe}_2\text{O}_3) + 37.16 (\text{Exch. Al}) \quad R^2 = 0.84^{**} \quad (2)$$

$$x_m = -33.99 + 21.25 (\text{Fe}_2\text{O}_3) + 60.73 (\text{Exch. Al}) + 3.76 (\text{Clay}\%) \quad R^2 = 0.88^{**} \quad (3)$$

### 2.1 การประเมินความต้องการ P ของดิน

ปริมาณความต้องการ P สำหรับการปลูกข้าวโพดในดินกรดที่ดอนในภาคใต้ ได้ทำการประเมินจากเกณฑ์ตัวชี้วัดหลายแนวทาง ได้แก่

- ค่าวิกฤติความเข้มข้นของ P ในพืช (% critical P concentration)

ค่าวิกฤติความเข้มข้น P ในพืชเป็นการวัดปัจจัยด้านความเข้มข้น (intensity factors) ของปริมาณธาตุ P ที่พืชดูดกิน ที่สัมพันธ์กับระดับผลผลิตที่ต้องการ หรือใกล้เคียงระดับสูงสุด (critical concentration, Fox, 1981) และถือเป็น

เกณฑ์ที่วัดที่อิสระจากปัจจัยทางดิน ระดับค่าวิกฤติสามารถใช้ร่วมกันได้ทั่วไปในพืชชนิด species เดียวกัน ในทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ P และผลผลิตสัมพันธ์ของข้าวโพดพบว่า สามารถกำหนดค่าวิกฤติความเข้มข้น P ในพืชเท่ากับ 0.57, 0.50 และ 0.55% P สำหรับชุดดินอ่าวลึก ชุดดินชุมพร และชุดดินคองหงษ์ ตามลำดับ (Figure 1) ซึ่งสอดคล้องกับระดับค่าวิกฤติของข้าวโพดจากรายงานของ Hassan *et al.* (1993) และ Hue *et al.* (2000) ที่มีค่าเท่ากับ 0.29 และ 0.30 – 0.50% ตามลำดับ

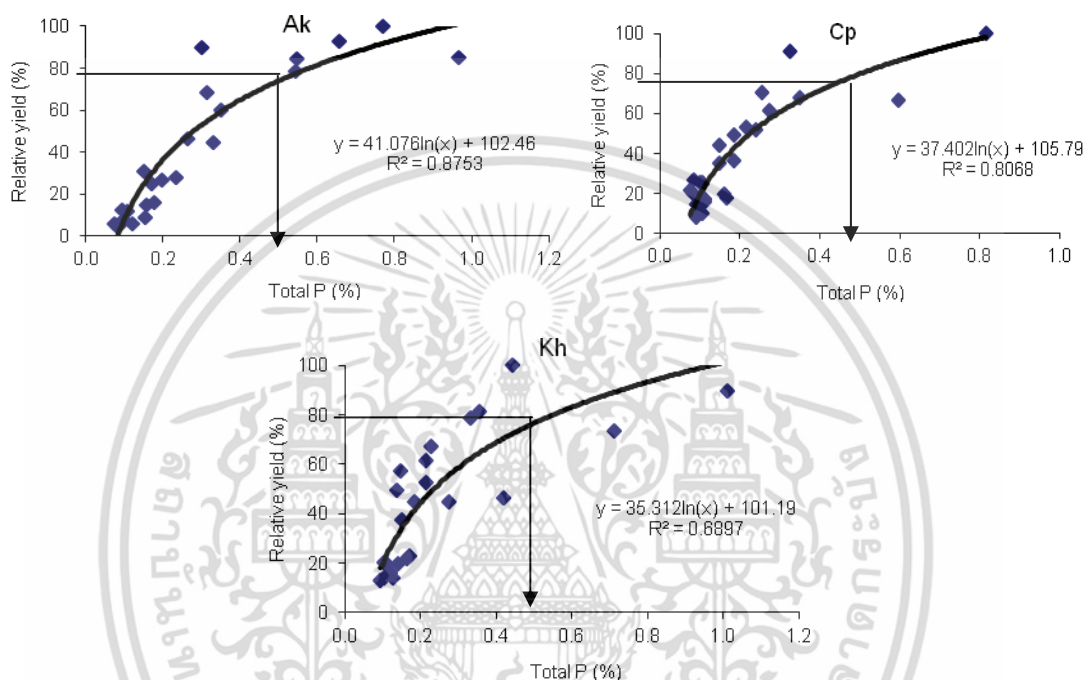


Figure 1 Relationship between total plant P (%) and % relative yield of corn in AK, Cp and Kh soil series.

- ค่าวิกฤติของค่าวิเคราะห์ดิน (soil critical levels)

ค่าวิกฤติของค่าวิเคราะห์ดิน หมายถึงปริมาณ P ที่เป็นประโยชน์ของดินในระดับที่ให้ผลผลิตพืชในระดับที่ต้องการ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์ P (Bray II) และ relative yield ของข้าวโพดของชุดดินตัวแทนที่มีระดับการดูดซับต่างๆ พบว่าค่าวิกฤติของ Bray II ของชุดดินอ่าวลึก ชุมพร และคองหงษ์ เท่ากับ 96, 91 และ 27 mg P kg<sup>-1</sup> หรือเท่ากับ 30, 28 และ 8 kg P rai<sup>-1</sup> ที่ระดับ 80% ของผลผลิตสูงสุด ในดินที่มีการดูดซับ P สูง ปานกลาง และต่ำตามลำดับ (Figure 2) จากข้อมูลจะพบว่า ในชุดดินที่มีระดับการดูดซับแตกต่างกัน จะได้ระดับวิกฤติของ Bray II แตกต่างกัน โดยดินที่มีการดูดซับ P สูง (ดินอ่าวลึกที่ระดับ 96 mg P kg<sup>-1</sup>) จะมีค่าวิกฤติของค่าวิเคราะห์ดินสูงกว่า ดินที่มีศักยภาพการดูดซับ P ต่ำ (ดินคองหงษ์ที่ระดับ 27 mg P kg<sup>-1</sup>) ในขณะที่ค่า critical level ของ Bray II ที่ใช้กันโดยทั่วไปกำหนดไว้ที่ระดับความเข้มข้น 16 – 30 mg P kg<sup>-1</sup> ซึ่งค่อนข้างกว้าง (สุมาลี, 2536)

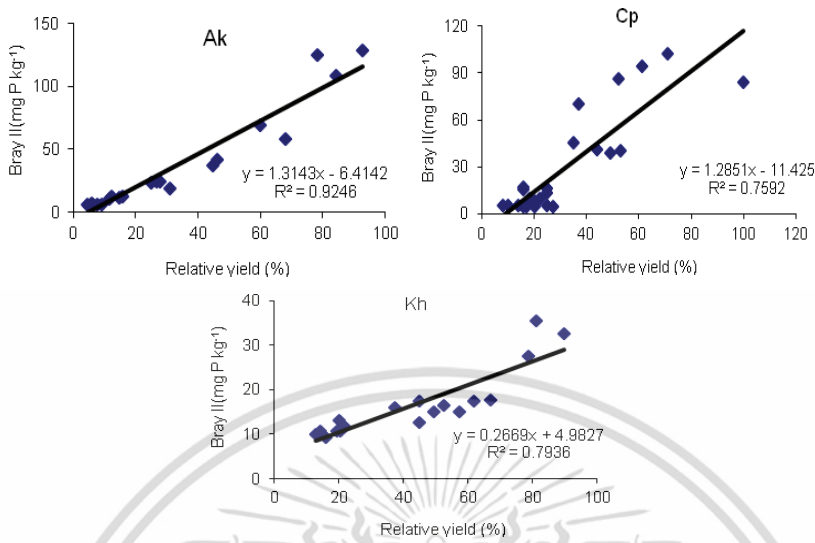


Figure 2 Relationship between %relative yield and extractable P (Bray II) in Ak, Cp and Kh soils.

3. สัมประสิทธิ์การบัฟเฟอร์ของดิน (buffer coefficient)

สัมประสิทธิ์การบัฟเฟอร์ของดิน หรือ slope ของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ P ที่ใส่ในดิน และ ปริมาณ P ที่สกัดด้วยวิธี Bray II ของชุดดินอำวลึก ชุมพร และคองหงษ์ (Figure 3) เท่ากับ 1.25, 1.15 และ 1.12 ตามลำดับ และลดลงตามระดับการดูดซับที่ลดลง แสดงว่าการยกระดับค่าวิเคราะห์ P ในดิน 1 หน่วย สำหรับดินที่มีการดูดซับสูงจะต้องใส่ P มากกว่าดินที่มีการดูดซับต่ำ โดยทั่วไป ค่าสัมประสิทธิ์การบัฟเฟอร์ของดิน จะแตกต่างกันตาม ชนิดสารสกัด เนื้อดิน ชนิดของแร่ที่เป็นองค์ประกอบ และช่วงเวลาหลังการใส่ปุ๋ย (Hue et al., 2000)

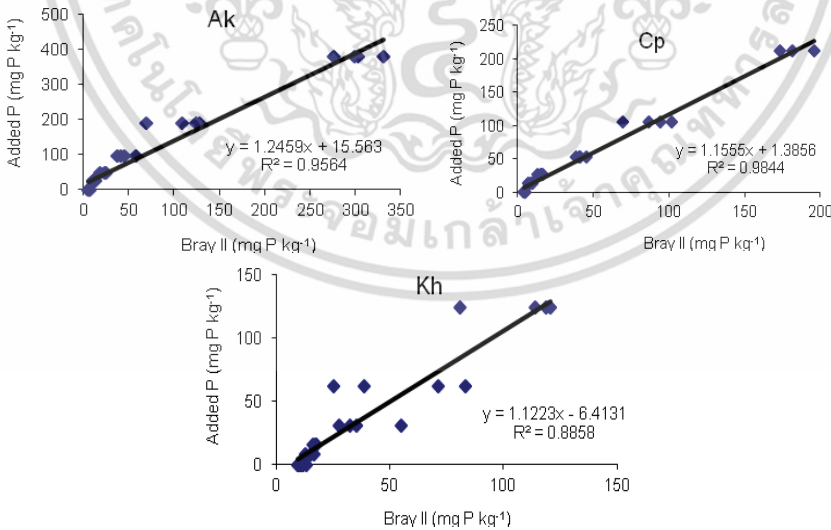


Figure 3 Relationship between fertilizer P and Bray II P of Ak, Cp and Kh soils.

#### 4. ความต้องการ P ของพืช (External P requirement)

External P requirement หมายถึงปริมาณธาตุอาหารเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของ P ในสารละลายรอบบริเวณรากพืชให้เพียงพอสำหรับความต้องการของพืช (Fox and Kamprath, 1970) ในการหาปริมาณ external P requirement ของดินสำหรับข้าวโพดตามวิธี Hue *et al.* (2000) โดยกำหนดปริมาณความต้องการที่ความเข้มข้นสมดุลของสารละลายดินเท่ากับ  $0.3 \text{ mg L}^{-1}$  จากกราฟ phosphorus sorption (Figure 4a) และมีการพิจารณา buffer coefficient หรือสัดส่วนของปริมาณปุ๋ยต่อการเพิ่มขึ้นของค่าวิเคราะห์ดิน (Figure 4b) แล้วทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ทั้งสองให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง soil-solution P และ ค่าวิเคราะห์ดิน (Figure 5)

ตัวอย่างขั้นตอนในการประเมินปริมาณปุ๋ยที่ต้องการ 1) หาค่าวิเคราะห์ของดิน (Bray II) ของตัวอย่างดินที่ต้องการ เช่น ดินอ่าวลึกที่มีค่าวิเคราะห์ดิน Bray II เท่ากับ  $3.41 \text{ mg P kg}^{-1}$  2) เทียบค่าดังกล่าวจาก Figure 5 จะได้ว่าระดับ soil-solution P เพียง  $0.05 \text{ mg P L}^{-1}$  ซึ่งต่ำกว่าระดับ  $0.3 \text{ mg P L}^{-1}$  ที่กำหนด แสดงว่า ดินดังกล่าวมี P ไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด และ 3) ถ้าต้องการ soil-solution P ที่ระดับ  $0.3 \text{ mg P L}^{-1}$  ควรมีค่า Bray II เท่ากับ  $52 \text{ mg P kg}^{-1}$  (Figure 5) และ 4) เทียบค่า Bray II ที่  $52 \text{ mg P kg}^{-1}$  จาก Figure 4b จะได้ปริมาณปุ๋ยที่ต้องใส่เท่ากับ  $95 \text{ mg P kg}^{-1}$  หรือเท่ากับ  $30 \text{ kg P rai}^{-1}$  ( $P \text{ added, } Y = 1.793 \cdot 52 + 1.660$ )

ในทำนองเดียวกัน สามารถหาปริมาณความต้องการปุ๋ยสำหรับข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินคลองเต็ง ชุมพร ภูเก็ต และคอหงษ์ เท่ากับ 63, 53, 47 และ  $31 \text{ mg P kg}^{-1}$  หรือเท่ากับ 20, 17, 15 และ  $10 \text{ kg P rai}^{-1}$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณปุ๋ย P ที่ต้องการโดยวิธี external P requirement ที่  $0.3 \text{ mg P L}^{-1}$  กับปริมาณปุ๋ย P ที่ 80% ของผลผลิตสูงสุดจากการทดสอบปลูกพืชในกระถาง พบว่า ค่อนข้างสอดคล้องกันในชุดดินที่มีศักยภาพการดูดซับสูงและต่ำ (ชุดดินอ่าวลึกและคอหงษ์ ตามลำดับ) ส่วนในชุดดินที่มีศักยภาพการดูดซับปานกลาง (ชุดดินชุมพร) มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก อาจเนื่องมาจากระดับผลผลิตสูงสุดที่ได้จากการทดลองในกระถางของดินชุดนี้มีความผันแปรค่อนข้างสูง (Table 3)

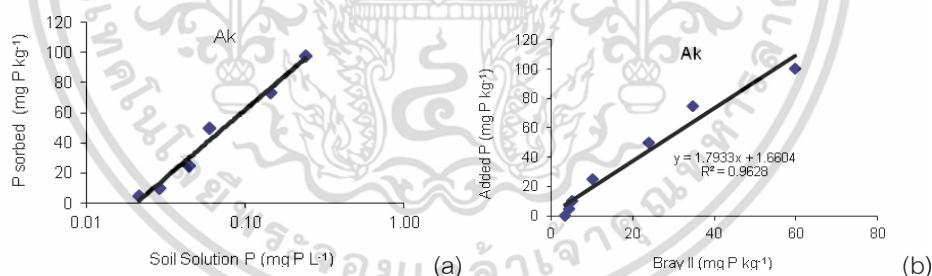


Figure 4(a) Relationship between sorbed P ( $\text{mg P kg}^{-1}$ ) and soil-solution P ( $\text{mg P L}^{-1}$ ) and (b) between Bray II P values added P ( $\text{mg P kg}^{-1}$ ) of Ak soil of the incubation study.

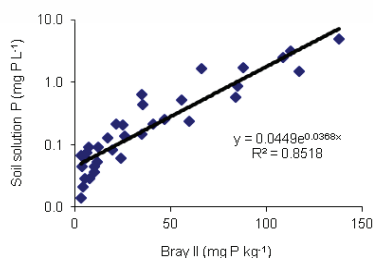


Figure 5 Relationship between soil-solution P and Bray II P of represented acid upland soils of Southern Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 3** Rates of P fertilizer level predicted from external P requirement method compared to actual fertilizer level at 80% optimum yield of corn in pot experiment ( $\text{mg P kg}^{-1}$ ).

Soil series	External P requirement	80% Optimum yield	Difference between
	(1)	(2)	(1) and (2) (+/-)
Ak (H)	95	95	0
Cp (M)	53	113	- 60
Kh (L)	31	24	+7

### สรุปผลการทดลอง

ศักยภาพการดูดซับ P ของดินกรดที่ค่อนข้างต่ำในภาคใต้มีปริมาณการดูดซับสูงสุด ( $x_m$ ) จากสมการ Langmuir ในช่วง 106 – 526  $\text{mg P kg}^{-1}$  ขึ้นกับสมบัติของดิน ซึ่งสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับ ปริมาณ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Exch. Al และปริมาณ clay (%) ของดิน ลักษณะการดูดซับ P ของดินสามารถอธิบายได้ดีทั้งสมการ Langmuir และ Freundlich และเมื่อคัดเลือกว่าดินที่มีระดับศักยภาพการดูดซับ 3 ระดับ ได้แก่ สูง ปานกลาง และ ต่ำ (250–526, 150–222 และ 106–140  $\text{mg P kg}^{-1}$  ตามลำดับ) มาทำการทดสอบปลูกข้าวโพดในกระถาง และประยุกต์แนวทาง P sorption isotherm ร่วมกับค่าวิเคราะห์ดิน (Bray II) เพื่อประเมินความต้องการปุ๋ย พบว่า สามารถคาดคะเนได้ดีในชุดดินที่มีระดับการดูดซับ P สูง และต่ำ (Ak และ Kh ตามลำดับ) ยกเว้นชุดดิน Cp ที่มีระดับการดูดซับ P ปานกลาง อาจเนื่องจากระดับผลผลิตจากการทดลองในกระถาง ในดินชุดนี้มีความผันแปรค่อนข้างสูง

เป็นเรื่องยากที่จะทำการประเมินปริมาณปุ๋ยที่พืชต้องการในภาพรวม โดยไม่มีการกำหนดระบุเงื่อนไขและสภาพระบบการปลูกพืชที่ชัดเจน เนื่องจากปริมาณปุ๋ยที่พืชต้องการมีช่วงค่อนข้างกว้าง ขึ้นกับศักยภาพการดูดซับของดินและปัจจัยด้านพืช พืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองความต้องการแตกต่างกันมาก (Fox et al., 1974; Vanderzaag et al., 1979) ดังนั้น แนวทางในการประเมินปริมาณปุ๋ย P โดยวิธีการของ Hue และคณะ (2000) โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง soil-solution P และค่าวิเคราะห์ดิน เพื่อการคาดคะเนปริมาณ P ของพืชที่กำหนดในดิน จะทำให้สามารถประหยัดเวลา และเงินทุนในการทดลองหาความสัมพันธ์ของ calibration curves สำหรับดิน-พืชที่ต้องการเพื่อใช้ในการแนะนำปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้แนวทางการคาดคะเนดังกล่าว ยังต้องมีการทดสอบในระดับกระถางและแปลงในชุดดินต่างๆ ให้กว้างขวางมากขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้อย่างมั่นใจมากขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- ทวิทรัพย์ อีสดี. 2548. การตอบสนองของถั่วเหลืองต่อฟอสฟอรัสภายใต้สภาพการใส่และไม่ใส่ปูนที่ปลูกในดินที่สามารถดูดซับฟอสฟอรัสต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- เพิ่มพูน กীরติกสิกร, สมศักดิ์ สุขจันทร์ และเกรียงศักดิ์ จันทไทย. 2546. การหาความต้องการฟอสฟอรัสของดินชุดต่างๆของภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำปุ๋ยฟอสฟอรัส. รายงานการวิจัย ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ขอนแก่น.
- เพิ่มพูน กীরติกสิกร และอุษา เกลาชาติ. 2548. การตอบสนองของถั่วเหลืองต่ออัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ประเมินได้จากค่าความต้องการฟอสฟอรัสของดิน. รายงานการวิจัย ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2550. บัญชีธาตุอาหารในดินตามชุดดินประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สุมาลี สุทธิประดิษฐ์. 2536. เอกสารคำสอนวิชาความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- เอิบ เขียววันรณณ์. 2533. ดินของประเทศไทย. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bolland, M.D.A., Wilson, I.R. and Allen, D.G. 1994. Effect of P buffer capacity and P retention index of soils on soil test P, soil test P calibration and yield response curvature. *Aust. J. Soil Res.* 32: 503-517.
- Dalal, R.C. and Hallsworth, E.G. 1976. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 541-545.
- Fox, R.L. 1981. External phosphorus requirement of crops. pp. 233-239. *In* Chemistry in the Soil Environment. American Society of Agronomy, Wisconsin.
- Fox, R.L., Nishimoto, R.K., Thompson, J.R. and Peno, R.S. de la. 1974. Comparative external phosphorus requirement of plants growing in tropical soils. *Congr. Soil Sci.* 4: 232-239.
- Gunary, D. and Sutton, C.D. 1967. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. *J. Soil Sci.* 18: 167-173.
- Hassan, M.M., Rashid, A. and Akhtar, M.S. 1993. Phosphorus requirement of corn and sunflower grown on calcareous soils of Pakistan. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 1529-1541.
- Helyar, K.R. and Spencer, K. 1977. Sodium bicarbonate soil test values and the phosphate buffering capacity of soils. *Aust. J. Soil Res.* 15: 263-273.
- Holford, I.C.R. 1980. Effects of phosphate buffer capacity on critical levels and relationships between soil tests and labile phosphate in Wheat-growing soils. *Aust. J. Soil Res.* 18: 405-414.
- Holford, I.C.R. and Cullis, B.R. 1985. Effects of phosphate buffer capacity on yield response curvature and fertilizer requirements of wheat in relation to soil phosphate tests. *Aust. J. Soil Res.* 23: 417-427.
- Hue, N. V. and Fox, R.L. 2010. Predicting plant phosphorus requirements for Hawaii soils using a combination of phosphorus sorption isotherms and chemical extraction methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41: 133-143.
- Hue, N.V., Ikawa, H. and Huang, X. 2000. Predicting soil phosphorus requirements. pp. 95-99. *In* Plant nutrient management in Hawaii's soils. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii, Honolulu.
- Memon, K.S. and Fox, R.L. 1983. Utility of phosphate sorption curves in estimating P requirements of cereal crops : Wheat (*Triticum Aestivum*). *Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Cong. On Phosphorus Compounds, Brussels, Belgium.* Oct. 4-6.
- Moody, P.W., Aitken, R.L., Compton, B.L. and Hunt, S. 1988. Soil phosphorus parameter affecting phosphorus availability to and fertilizer requirements of maize (*Zea mays*). *Aust. J. Soil Res.* 26: 611-622.
- Moody, P.W., Haydon, G.F., and Dickson, T. 1983. Mineral nutrition of soybeans grown in the South Burnett region of south-eastern Queensland. 2. Prediction of grain yield response to phosphorus with soil tests. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 23: 38-42.
- Murphy, J. and Riley, H.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chem. Acta.* 27: 31-36.
- Nilnond, C., Panapitakkul, N., Nualsri, J., Pantanahiran, W., Aitken, R.L. and Asher, C.J. 1986. Soil fertility assessment in southern Thailand. *Congress of the International Soc. Soil Sci.* 3: 887-888.
- Ozanne, P.G. and Shaw, T.C. 1967. Phosphate sorption by soils as a measure of phosphate requirement for pasture growth. *Aust. J. Agric. Res.* 18: 601-612.
- Peaslee, D.E. and Fox, R.L. 1978. Phosphorus fertilizer requirements as estimated by phosphate sorption. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9: 975-993.
- Rayment, G.E. and Higginson, F.R. 1992. *Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods.* Reed International Books Australia P/L, Trading as Inkata Press, Melbourne.
- Vanderzaag, P., Fox, R.L., Pena, R.S., Laughlin, W.M., Ryskamp, A., Villa-gracia, S. and Westermann, D.T. 1979. The utility of phosphate sorption curves for transferring soil management information. *Trop. Agri.* 56: 153-160.
- von Uexkull, H.R. 1986. Efficient fertilizer use in acid upland soils of the humid tropics. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bull.* 10.
- Zhu, T., Jenssen, P.D., Maehlum, T. and Krogasted, T. 1997. Phosphorus sorption and chemical characteristics of light aggregate: potential filter media in treatment wetland. *Wat. Sci. Tech.* 35: 103-108.