

ศักยภาพของฟอสเฟสที่ถูกดูดทางเคมี และความสามารถในการให้ฟอสเฟสแก่พืช

สุพจน์ ไตรระกุล¹, เนาวรัตน์ เทพสุวรรณ¹ และ กนกพันธ์ พันธุ์สมบัติ¹

THE POTENTIAL OF CHEMISORBED PHOSPHATES AND THEIR CAPABILITIES FOR SUPPLYING PHOSPHATES TO PLANTS

Suphot Totrakool¹, Nawarat Thepsuwan¹ and Kanokpan Pansombat¹

ABSTRACT : About 70-90 %, 20-30 % and less than 8 % of phosphate fertilizer which was added to the soil series, were retained in the forms of ferric and aluminum phosphates, calcium phosphate, and clay phosphates respectively. Water soluble phosphate was amounted to 2-10 %. The added phosphates were mainly first adsorbed by clay, then slowly replaced and precipitated as ferric and aluminum phosphates. When applied phosphates according to the general recommendation rate (8-10 kg/P₂O₅/rai) to soybean grown in Renu soil series, there would be adequate phosphate for two cropping.

บทคัดย่อ : ในดินชุดเรณู ฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดินส่วนใหญ่ประมาณ 70-90 % จะถูกตรึงในรูปของเหล็กอลูมิเนียมฟอสเฟต ส่วนที่เหลืออีกประมาณ 20-30 % จะตกตะกอนในรูปของ Ca₃(PO₄)₂ และน้อยกว่า 8 % จะถูกตรึงโดยเคลย์ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ จะมีแค่ 2-10 % เท่านั้น การใส่ฟอสฟอรัสลงไปในดินที่มีการปลูกพืชในระยะเวลาแรก ๆ ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะถูกดูดซับอยู่ที่ผิวเคลย์ก่อน เมื่อเวลาผ่านไปก็จะมีมีการไล่ที่ฟอสฟอรัสบนผิวเคลย์ออกมาแล้วตกตะกอนในรูปของเหล็กอลูมิเนียมฟอสเฟตต่อไป การใส่ฟอสฟอรัสให้แก่ถั่วเหลืองตามอัตราที่แนะนำโดยทั่วไปคือ 8-10 กก. P₂O₅ ต่อไร่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินชุดเรณูถึง 2 ครั้ง.

คำนำ

ฟอสฟอรัสในสารละลายของดินจะอยู่ในรูปของฟอสเฟต ซึ่งมีประจุลบ แต่เนื่องจากดินก็มีประจุสุทธิเป็นลบ ทำให้คาดว่าฟอสฟอรัสในดินน่าจะถูกระงับไว้ได้ง่าย แต่ในความเป็นจริงแล้วฟอสฟอรัสจะถูกตรึงไว้ในดินด้วยกระบวนการอื่น ๆ มากมาย จนกระทั่งแทบจะไม่มีโอกาสสูญเสียไปจากดินด้วยการชะล้าง สำหรับกระบวนการตรึงฟอสฟอรัสของดินนั้น ถ้าเป็นดินกรดจะถูกตรึงในรูปของอลูมิเนียมฟอสเฟตเป็นส่วนใหญ่ แต่ถ้าเป็นดินด่างจะถูกตรึงในรูปของแคลเซียมฟอสเฟตเป็นหลัก นอกจากนั้น ไคโรสสร้าง

¹ ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ 50002.

¹ Department of Soil Science and Conservation, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50002.

ของฟอสเฟตเองก็เหมาะสมที่จะถูกตรึงโดยแร่ดินเหนียวที่อยู่ในดินด้วย (Bohn *et al.*, 1979 ; Greenland and Hayes, 1981 ; Lindsay, 1979 ; Walsh and Beaton, 1973 ; White, 1980) ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินจะขึ้นอยู่กับความมากน้อยของการละลายออกมาของฟอสเฟตที่ถูกตรึงในรูปต่าง ๆ ดังนั้นการศึกษาความเคลื่อนไหว หรือการเปลี่ยนแปลงรูปของฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินโดยปัจจัยต่างๆ กล่าวคือ ปริมาณของน้ำ ความชื้น อุณหภูมิ เวลา ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เติม และความเป็นกรด-เบสของดิน จะเป็นประโยชน์ในการจัดการหรือการประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในสภาพการณ์ต่าง ๆ ของดินได้.

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองทำในดินชุดเรณูซึ่งมีลักษณะสมบัติดังตารางที่ 1 และมีไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสฟอรัสดังรูปที่ 1 จากรูปที่ 1 จะเลือกระดับของการใส่ฟอสฟอรัสลงไปในดินออกมา 5 ระดับ โดยระดับแรกใช้ตามอัตราคำแนะนำทั่วไป ซึ่งได้แก่ 8-10 กก. P_2O_5 ต่อไร่ หรือประมาณ 14 ppm.

Table 1. Properties of Renu soil series.

Chemical Properties							
pH	CEC	Ca	Mg	OM %	K	P (Bray No 2)	Total P*
	me/100 gm					ppm	
5.4	3.5	0.5	0.4	0.6	47.0	4	8.5
Physical Properties							
Bulk density gm/ml		Moisture content (%)					
		1/3 atm.	1 atm.	3 atm.			
1.64		9.45	6.32	4.72			

* Total P in this case mean the sum of Al-Fe-P, Ca-P, Clay P and H_2O -P

การทดลองในห้องปฏิบัติการ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 5 ปัจจัยคือ :

1. การใส่ฟอสฟอรัส (P) มี 5 ระดับคือ 14, 24, 31, 42.5 และ 56 ppm
2. ความเป็นกรด-เบสของดิน (pH) มี 4 ระดับ คือ 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.5
3. ความชื้น (M) มี 3 ระดับ คือที่แรงดึงดูดน้ำของดินเท่ากับ 1/3, 1 และ 3 บรรยากาศ
4. อุณหภูมิ (T_0) 3 ระดับคือ 34, 29 และ 22°C
5. เวลาในการทำปฏิกิริยา (T) มี 3 ระดับคือ 15, 30 และ 45 วัน

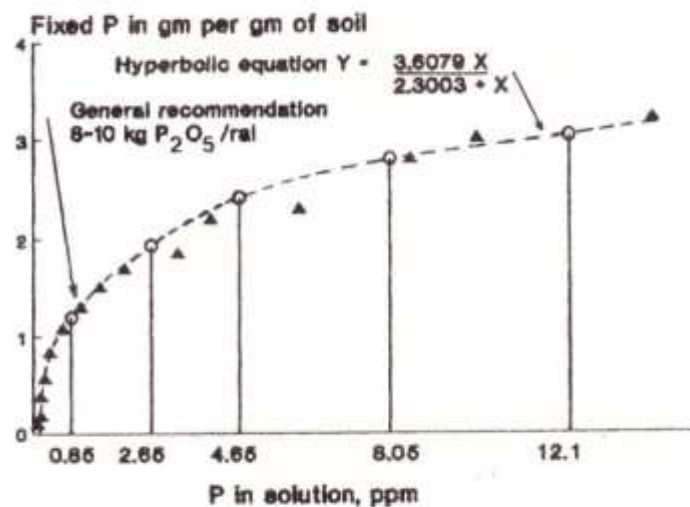


Figure 1. Phosphorus adsorption isotherm.

การทดลองมี 7 การทดลอง ทำการทดลองแบบ Factorial โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละการทดลองมีปัจจัยดังต่อไปนี้ การทดลองที่ 1 มีปัจจัย P และ pH การทดลองที่ 2 มีปัจจัย P และ M การทดลองที่ 3 มีปัจจัย P และ T_p การทดลองที่ 4 มีปัจจัย P และ T การทดลองที่ 5 มีปัจจัย pH และ M การทดลองที่ 6 มีปัจจัย pH และ T_p การทดลองที่ 7 มีปัจจัย pH และ T ส่วนปัจจัยอื่นๆ อีก 3 ปัจจัย ซึ่งไม่ได้ใช้ทดลองในแต่ละการทดลองจะให้มีค่าคงที่ดังนี้ $P=14$ ppm, $pH=6.5$, $M=1$ นวรายกาศ, $T=25^\circ C$ และ $T=15$ วัน ตัวอย่างดินของแต่ละตำรับ (Treatment) จะถูกนำมาหาปริมาณของฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ (โคตระกุล, 2536).

- เหล็ก-อลูมิเนียมฟอสเฟต (Fe-Al-P) = ฟอสเฟตที่สกัดได้โดย NaOH 0.1 M ละลายฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดย NH_4OAc 0.1 M ที่ pH 7
- แคลเซียม-ฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$, Ca-P) = ฟอสเฟตที่สกัดได้โดย H_2SO_4 0.05 M ละลายฟอสเฟตที่สกัดได้จาก EDTA 0.1 M และจาก NH_4OAc 0.1 M ที่ pH 7
- เคลย์-ฟอสเฟต (Clay-P) = ฟอสเฟตที่สกัดได้โดย NH_4OAc 0.1 M ที่ pH 7
- ฟอสเฟตที่ละลายน้ำ (H_2O -P) = ฟอสเฟตที่สกัดได้โดยน้ำ

การทดลองในสนาม

มี 3 การทดลอง :

การทดลองที่ 1 : ปลูกรั้วเหลือง วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีการใส่ฟอสฟอรัสเป็น Main plot และเวลาของการทำปฏิกิริยาเป็น Sub plot สำหรับปัจจัยอื่นๆ ปล่อยให้ยู่ในสภาพธรรมชาติ ตัวอย่างดินและพืชเมื่อครบเวลาของการทำปฏิกิริยาจะถูกเก็บมาหาปริมาณของฟอสเฟตในรูปต่างๆ และฟอสเฟตที่พืชดูดขึ้นมาใช้ นอกจากนั้นในเดือนที่ 2 และเดือนที่ 3 ก็จะเก็บตัวอย่างดินและพืชมาวิเคราะห์ด้วย.

การทดลองที่ 2 : วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อที่จะดูผลของระดับการใส่ฟอสฟอรัสที่มีต่อผลผลิตข้าวเหลือง.

การทดลองที่ 3 : ปลูกรั้วเหลืองลงในพื้นที่เดิมที่นำการทดลองที่ 2 โดยไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส เพื่อที่จะดูผลตกค้างและการปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาในปีต่อไป.

ผลการทดลอง

การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลองทั้ง 7 การทดลอง และปัจจัยจำนวน 5 ปัจจัยมีผลต่อกันดังนี้ : ปัจจัยปริมาณการใส่ฟอสฟอรัส และปัจจัยความเป็นกรด-เบส มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณของฟอสเฟตในรูปต่าง ๆ (Clay-P, Al-Fe-P, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{H}_2\text{O-P}$) ส่วนปัจจัยความชื้น อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาพบว่าไม่มีผลต่อปริมาณของฟอสเฟตในดิน นอกจากนั้นไม่พบปฏิกิริยารวม (interaction) ในระหว่างคู่ของปัจจัยต่าง ๆ เลย.

ผลของปริมาณการใส่ฟอสฟอรัสต่อ Clay-P, Al-Fe-P, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ และ $\text{H}_2\text{O-P}$

ผลของปริมาณการใส่ฟอสฟอรัสต่อรูปต่าง ๆ ของฟอสเฟตในดิน ในสภาพการณ์ที่มีปัจจัยบางอย่างแตกต่างกันแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 2.2 2.3 และ 2.4.

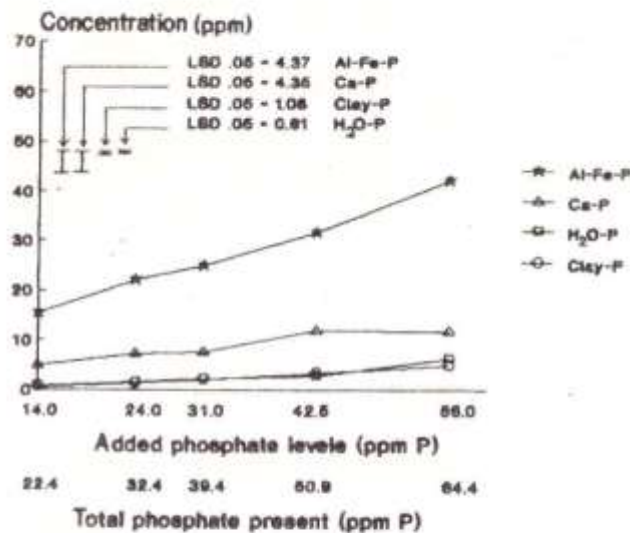


Figure 2.1. Amount of various phosphate forms when phosphate levels and pH are variable factors.

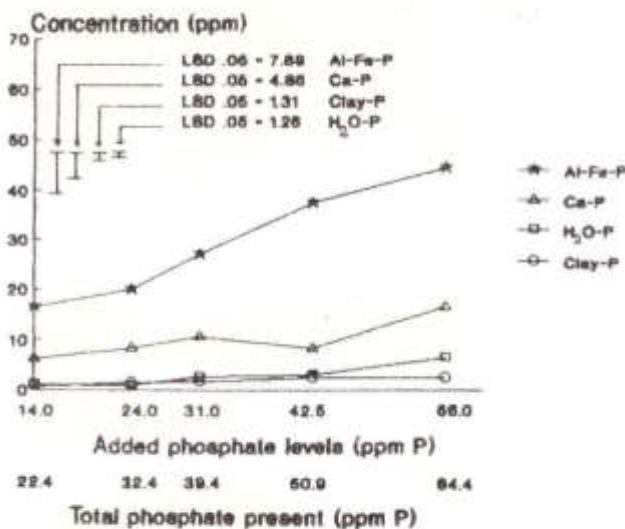


Figure 2.2. Amount of various phosphate forms when phosphate levels and soil moisture are variable factors.

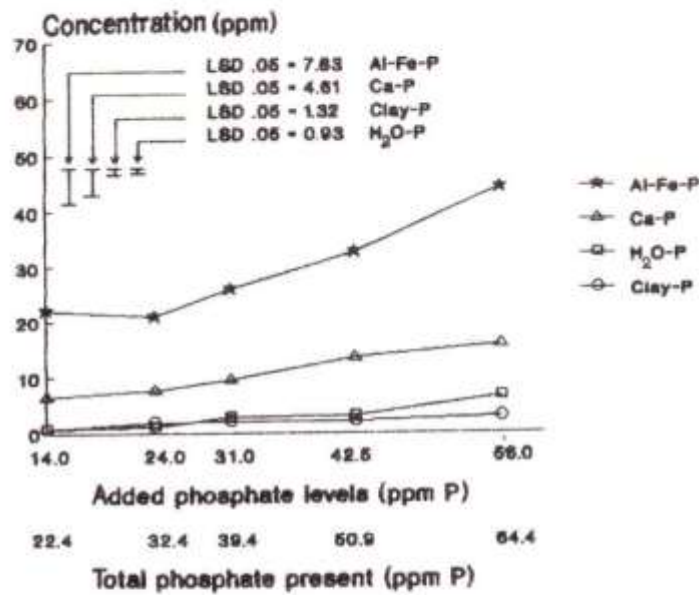


Figure 2.3. Amount of various phosphate forms when phosphate levels and soil temperature are variable factors.

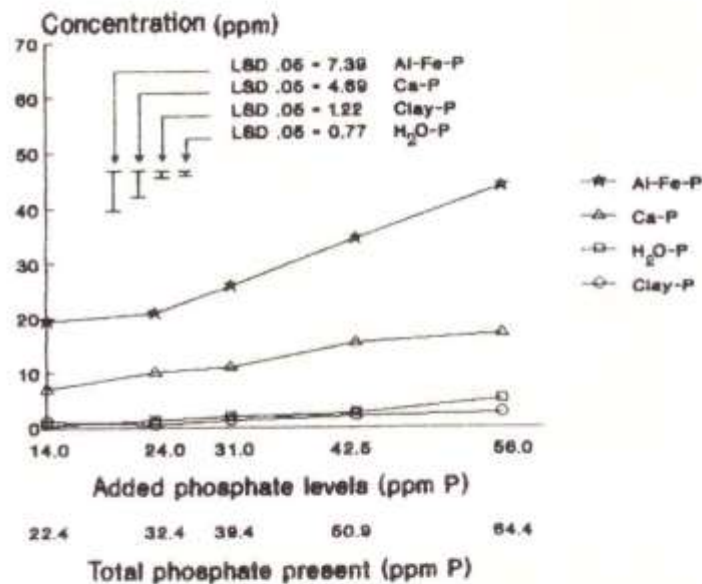


Figure 2.4. Amount of various phosphate forms when phosphate levels and time of reaction are variable factors.

จากรูปดังกล่าวทั้งหมดจะเห็นว่าแม้จะมีปัจจัยบางอย่างไม่เหมือนกัน แต่ผลการทดลองก็มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ เมื่อมีการใส่ฟอสฟอรัสมากขึ้นปริมาณที่ถูกตรึงโดยกระบวนการต่าง ๆ ในดินก็จะมากขึ้นด้วยโดยประมาณ 60-71 % ของฟอสฟอรัสที่เติมจะตกตะกอน ในรูปของ Al-Fe-P, 20-30 % จะตกตะกอนในรูปของ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ และน้อยกว่า 8 % จะถูกตรึงในรูปของ Clay-P ส่วนฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้มีประมาณ 2-10 % เท่านั้น.

ผลของความเป็นกรด-เบสต่อ Clay-P, Al-Fe-P, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ และ $\text{H}_2\text{O-P}$

รูปที่ 3.1 3.2 3.3 และ 3.4 แสดงผลของความเป็นกรด-เบสของดินต่อรูปต่าง ๆ ของฟอสเฟตในดิน ซึ่งก็มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด คือ ถ้าความเป็นกรด-เบสของดินต่ำกว่า 6.5 ประมาณ 70-79 % ของฟอสเฟตที่ถูกเติมลงไปจะถูกตรึงในรูปของ Al-Fe-P หลังจากนั้นถ้าความเป็นกรด-เบสของดินสูงกว่า 6.5 การตรึงในรูปของ Al-Fe-P ก็จะลดลงเนื่องจากอุณหภูมิและเหล็กจะตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์แทน ฟอสเฟตส่วนที่เหลือจากการถูกตรึงในรูปของ Al-Fe-P ก็จะถูกตรึงในรูปของ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ซึ่งมีประมาณ 18-30 % ส่วน Clay-P นั้นมีน้อยกว่า 11 % และเหลือฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ประมาณ 2-10 % เท่านั้น สำหรับการตรึงฟอสเฟตในรูป $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ จะเพิ่มขึ้นตามความเป็นกรด-เบสที่เพิ่มขึ้นซึ่งก็สอดคล้องกับทฤษฎี แต่ในการทดลองครั้งนี้พบความผิดปกติอย่างหนึ่งคือเมื่อความเป็นกรด-เบสของดินสูงมาก ๆ (7.5) กลับพบว่าปริมาณ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ลดลง ซึ่งไม่น่าเป็นไปได้ ดังนั้นสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพที่ลดลงของกรดที่ใช้สกัด $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ เมื่อดินมีความเป็นกรด-เบสสูง ทั้งนี้เพราะว่ากรดบางส่วนจะถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่มีอยู่มากในดิน ทำให้ไม่สามารถสกัด $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ออกมาได้หมด จากกฎทรงมวลของสารนั้น เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าประมาณ 23 ppm ณ พีเอชที่ 4.5 5.5 หรือ 6.5 แต่ปริมาณที่กลับเหลือเพียง 17 ppm ที่พีเอช 7.5 ซึ่งแสดงปริมาณฟอสฟอรัสหายไป 6 ppm ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแท้จริงแล้ว 6 ppm ของฟอสเฟตไม่น่าจะหายไปไหน ก็คงอยู่ในรูป $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ซึ่งไม่สามารถสกัดออกมาได้หมด เนื่องจากสารสกัดไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอนั่นเอง.

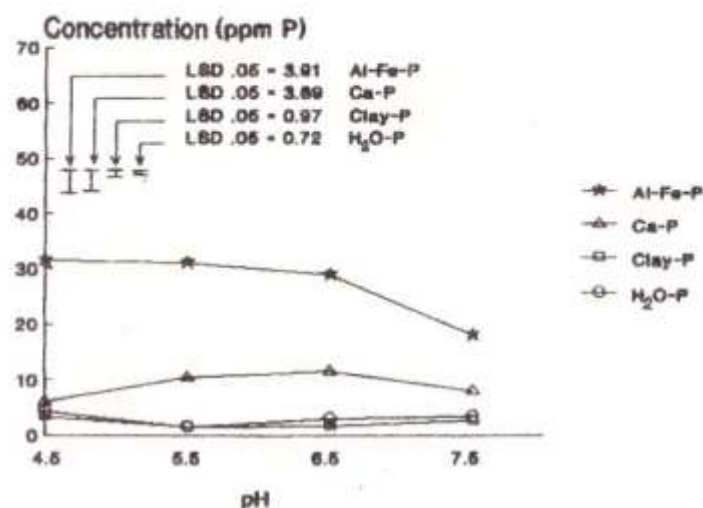


Figure 3.1. Amount of various phosphate forms when pH and phosphate levels are variable factors.

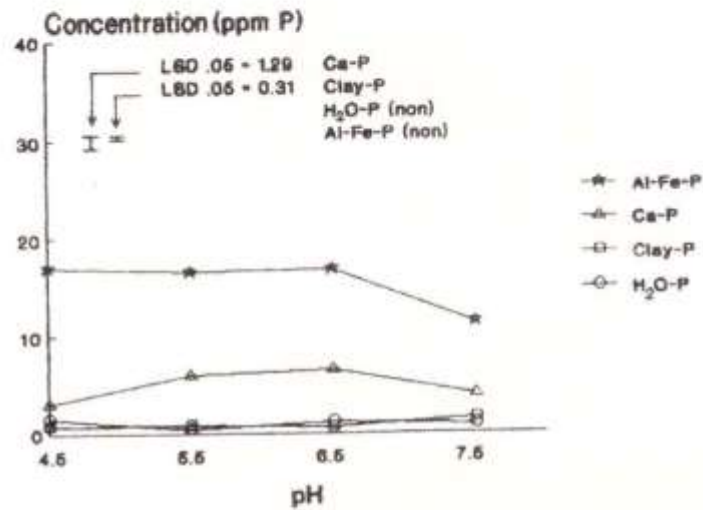


Figure 3.2. Amount of various phosphate forms when pH and soil moisture are variable factors.

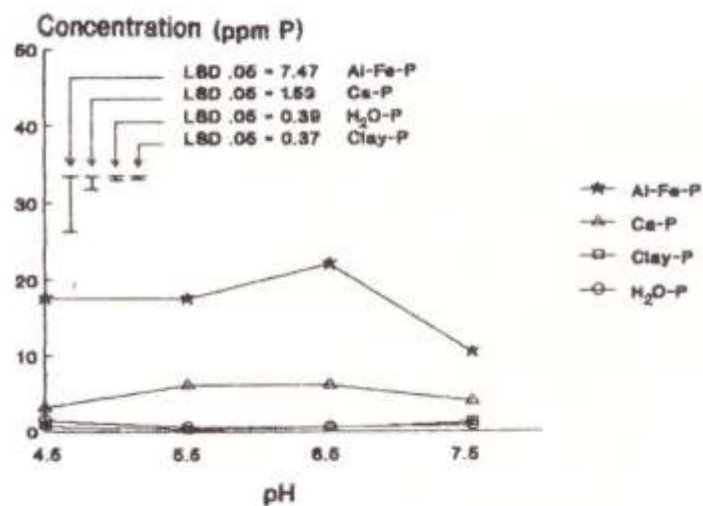


Figure 3.3. Amount of various phosphate forms when pH and soil temperature are variable factors.

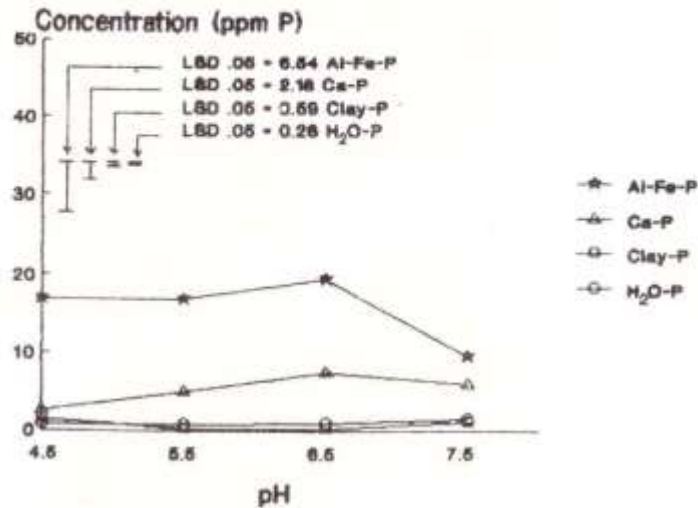


Figure 3.4. Amount of various phosphate forms when pH and time of reaction are variable factors.

ผลการทดลองในสนาม

การทดลองที่ 1 นั้น ดูผลของปริมาณการใส่ฟอสฟอรัสและเวลาที่มียุโรปต่าง ๆ ของฟอสฟอรัสในดินและต่อการดูดฟอสฟอรัสไปใช้ของพืช ปรากฏผลดังต่อไปนี้ :

ผลของปริมาณการใส่ฟอสฟอรัสต่อ Clay-P, Al-Fe-P, Ca₃(PO₄)₂, H₂O-P และ Cr-P* :

ปริมาณการใส่ฟอสฟอรัสมีผลต่อปริมาณของ Al-Fe-P และ Cr-P ในช่วงเดือนแรกเท่านั้น (รูปที่ 4) โดยจะเห็นว่าถ้าใส่ฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำ (< 31.5 ppm) ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดไปใช้จะสูงกว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในรูป Al-Fe-P แต่ถ้าใส่ฟอสฟอรัสมากการตรึงฟอสฟอรัสโดยอลูมิเนียม-เหล็ก ก็จะมากกว่าปริมาณที่พืชดูดไปใช้ นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดไปใช้จะมีความสัมพันธ์ในทางตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เติมลงไปในดินจนถึงระดับ 31 ppm เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบการตรึงฟอสฟอรัสโดยเหล็กและอลูมิเนียมที่ทำในสนามกับในห้องปฏิบัติการ พบว่าการตรึงโดยเหล็ก และอลูมิเนียมในสนามนั้นน้อยกว่าในห้องปฏิบัติการ สาเหตุเนื่องจากฟอสฟอรัสบางส่วนถูกพืชดูดแย่งไปใช้.

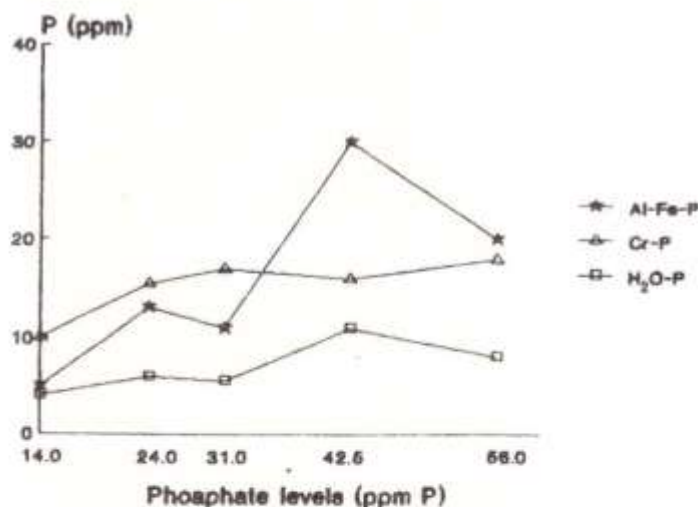


Figure 4. The effects of P levels on the amount of Al-Fe-P, Cr-P, H₂O-P in the first month.

* Cr-P คือปริมาณของฟอสฟอรัสที่พืชดูดไปใช้จากดิน

ผลของเวลาของการทำปฏิกิริยาคือ Clay-P, Al-Fe-P, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ H₂O-P และ Cr-P* :

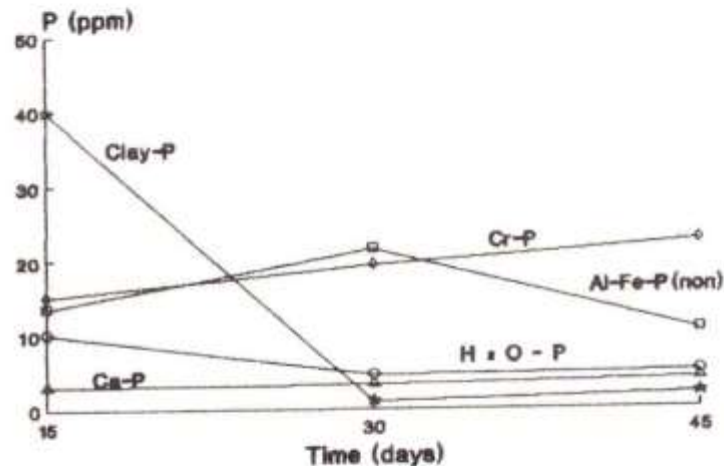


Figure 5. The effects of time on Clay-P, Cr-P and H₂O-P.

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าในระยะ 15 วันแรก ฟอสฟอรัสที่เติมลงไปส่วนใหญ่จะถูกตรึงในรูปของ Clay-P ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ที่ส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงโดยเหล็กอลูมิเนียม ปรากฏการณ์ในสนามนี้ให้ผลเหมือนการทดลองที่ทำโดย โคคระกูด และคณะ (2527) ดังนั้นปริมาณ Clay-P ในดินในระยะแรกน่าจะเป็นผลรวมของฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงโดยเคลย์จริง ๆ กับฟอสเฟตที่ถูกดูดซับอยู่ที่พื้นผิวของเคลย์ แต่เนื่องจากฟอสเฟตที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวของเคลย์สามารถที่จะหลุดออกไปได้ง่ายด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุลบ ดังนั้นเมื่อผ่าน 15 วันไปแล้วพืชเริ่มใช้ฟอสฟอรัสมากขึ้น ปริมาณ Clay-P จะลดลงอย่างรวดเร็วจากนั้นก็เริ่มคงที่ ส่วนปริมาณ Al-Fe-P ถึงแม้ว่าจะไม่แตกต่างกันเมื่อเวลาทำปฏิกิริยาต่างกันไป แต่โดยภาพรวมแล้วจะเห็นว่าฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในพื้นที่ส่วนใหญ่จะถูกตรึงในรูปของ Al-Fe-P ซึ่งจะเป็แหล่งใหญ่ที่ให้ฟอสฟอรัสแก่พืช (สุพจน์ และคณะ, 2527).

จากผลการทดลองที่ 1 จะสังเกตเห็นว่าปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชจะขึ้นอยู่กับปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเฉพาะในเดือนแรกเท่านั้น เป็นการแสดงให้เห็นว่าพืชมีความจำเป็นต้องใช้ฟอสฟอรัสมากในช่วงที่มีอายุน้อย เมื่ออายุมากขึ้นความจำเป็นในการใช้ก็จะลดลง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงควรใส่ตั้งแต่แรกปลูกพืช.

การทดลองที่ 2 นั้นเพื่อตรวจสอบของปริมาณการใส่ฟอสฟอรัสต่อผลผลิต ปรากฏว่า ไม่พบความแตกต่างระหว่างผลผลิต แสดงว่าปริมาณการใส่ฟอสฟอรัสเพียงแค่ 14 ppm (10 กก. P_2O_5 ต่อไร่) ซึ่งเป็นระดับที่ใช้แนะนำให้ใส่โดยทั่วไปนั้นเพียงพอเพียงสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ส่วนการทดลองที่ 3 นั้นเพื่อตรวจสอบค่าของปุ๋ยในปีต่อไปก็พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในผลผลิต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับฟอสฟอรัสที่ใช้แนะนำกันโดยทั่วไป เมื่อใส่ลงไปในพื้นที่ฟอสฟอรัสบางส่วนจะถูกตรึงไว้และปลดปล่อยออกมาให้แก่พืชอย่างเพียงพอในปีต่อไปด้วย.

สรุป

ในดินร่วนซุยฟอสฟอรัสที่ไถลงไปในส่วนใหญ่มักจะถูกตรึงในรูป Al-Fe-P สำหรับการตรึงฟอสฟอรัสในรูปต่าง ๆ ในพื้นที่ที่มีการปลูกพืชนั้นพบว่าในระยะแรกของการไถปุ๋ย ฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับอยู่บนผิวเคลือบเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเวลาผ่านไปพืชจะดูดฟอสฟอรัสไปใช้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลไป ฟอสฟอรัสก็จะเปลี่ยนมาตกตะกอนในรูปของ Al-Fe-P ทำให้ส่วนใหญ่ของฟอสฟอรัสที่ไถลงไปปรากฏอยู่ในรูปของ Al-Fe-P ซึ่งผลสอดคล้องกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ และเนื่องจากพืชที่เริ่มโตจะต้องการฟอสฟอรัสปริมาณสูง ดังนั้นจึงควรไถปุ๋ยฟอสฟอรัสในระยะแรกปลูก.

เอกสารอ้างอิง

- โตตระกูล, สุพจน์. (2526). หลักการของปฐพีเคมีวิเคราะห์. สำนักพิมพ์ไคเคียน. กรุงเทพฯ.
- โตตระกูล, สุพจน์, เทพสุวรรณ, เนาวรัตน์ และ พันธุ์สมบัติ, กนกพันธุ์. (2527). อิทธิพลของความชื้นและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของฟอสเฟตที่ถูกตรึงในดินร่วนซุยทราย. รายงานเสนอคณบดีวิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Bohn, H., Moneal, B. and O'Connor, G. (1979). Soil Chemistry. Wiley-Interscience.
- Greeland, D.J. and Hayes, M.H.B. (1981). The Chemistry of Soil Process John Wiley.
- Lindsay, W.L. (1979). Chemical Equilibria in Soils. A Wiley-Interscience.
- Walsh, L.M. and Beaton, J.D. (1973). Soil Testing and Plant Analysis. S.S.S.A. Inc.
- White, R.E. (1980). Retention and release of phosphate by soil and soil constituents. Soil and Agriculture, Vol. 2. Black Well Science.