อิทธิพลของฟอสฟอรัส ไนโตรเจนและปุ๋ยอินทรีย์ต่อผลผลิตข้าวและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

Influence of Phosphorus, Nitrogen and Organic Fertilizers on Rice Yield and Available Soil Phosphorus

อนนท์ สุขสวัสดิ์ [1] พนัส สุวรรณธาดา [1] ดิเรก อินตาพรม [1]

Anon Sooksavat [1] Panat Suwanathada [1] Direk Intaprom [1]

ABSTRACT

Several experiments were carried out to clarify the effects of fertilizer management on response of rice yield and phosphorus accumulation in rice soils during 1990-1996. The first experiment was conducted on the farmer fields in the lower north region in 1990-1991. The treatments were comparison between fertilizer rates of 12-0-0 and 12-7.5-0 kg N-P_2O_5-K_2O/rai for clayey soils and 12-0-4 and 12-7.5-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai for loamy soils. The second experiment was comparison of fertilzer rates: 0-0-4, 4-0-4, 8-0-4, 12-0-4, 16-0-4 and 12-7.5-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai responsed to RD23 and KDML 105 yield and accumulated available soil P. The experiment was conducted at the Phitsanulok Rice Research Center (PSLRRC) in 1990-1996. The third experiment was analysis of rice soils obtained from long term application of organic fertilizers with and without chemical fertilzer which was conducted in 1974/1976 at PSLRRC. The last experiment was analysis of P sorption coefficient of major rice soil series in the lower north region.

The results showed that application of phosphate 7.5 kg N-P_2O_5-K_2O/rai increased 10-26% rice yield in a loamy soil with P content below 7 ppm. While the rice yield response was less or none in a clayey soil with P content higher than 7 ppm. Phosphate application 7.5 kg-P_2O_5/rai/year (1990-1996) gave approximately 50% of accumulated available soil phosphorus higher than the control at PSLRRC. Long term rice straw compost application (1976-1992) gave 55-240% of accumulated available soil P higher than the control treatment and more P accumulated when combined application with chemical fertilizer. Rice hull and rice hull ash gave less or none accumulated available soil P.

Phosphorus coefficient of major rice soil series in the lower north region was 145-689 P_2O_5/100 g soil; phosphorus coefficient of clayey soils were higher than that of loamy soils.

Key words : rice, available soil phosphorus, rice phosphorus assimilation.

---

[1] ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก โทร. (055) 311184-5

[1] Phitsanulok Rice Research Center, Amphoe Wang Thong, Phitsanulok 65130 Tel. (055) 311184-5

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการจัดการปุ๋ยต่างๆ ต่อการให้ผลผลิตของข้าวและการสะสมปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนา ดำเนินการทดลองแรกเพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อปุ๋ยอัตรา 12-0-0 กับ 12-7.5-0 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ในดินเหนียว และอัตรา 12-0-4 กับ 12-7.5-4 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ในดินร่วน ในนาเกษตรกรจังหวัดต่างๆ ของภาคเหนือตอนล่างปี 2533/34 งานทดลองลำดับที่สองได้แก่การเปรียบเทียบผลของปุ๋ยตำรับ 0-0-4, 4-0-4, 8-0-4, 12-0-4, 16-0-4 และ 12-7.5-4 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ต่อการให้ผลผลิตของข้าว กข 23 และขาวดอกมะลิ 105 และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกระหว่างปี 2533-2539 งานทดลองลำดับที่สามคือ การวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาจากผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในระยะยาว ในแปลงเดิมที่เริ่มมาตั้งแต่ปี 2517/2519 ในศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก และการศึกษาลำดับสุดท้ายโดยการวิเคราะห์หาอัตราการดูดซับฟอสเฟตของดินนาชุดต่างๆ ในเขตภาคเหนือตอนล่าง

ผลการทดลองพบว่าข้าวให้ผลผลิตตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอย่างเห็นได้ชัดในนาดินร่วนซึ่งมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 7 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งปุ๋ยฟอสเฟต 7.5 กก. P_2O_5 /ไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 10-26% ในขณะที่ข้าวให้ผลผลิตตอบสนองน้อยมากหรือไม่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในนาดินเหนียวทั้งพื้นที่นาเกษตรกร และพื้นที่นาศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ซึ่งล้วนแต่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่า 7 ส่วนในล้านส่วน

การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตมีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนา ในศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกซึ่งใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 7.5 กก.P_2O_5/ไร่/ปี ต่อเนื่องกันมาเป็นเวลานาน (2533-2539) ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ประมาณ 50% การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวระยะยาว (2519-2535) เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน 55-240% เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 2 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะสะสมในดินมากยิ่งขึ้นเมื่อใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีการใช้วัสดุอินทรีย์ เช่น แกลบ และขี้เถ้าแกลบ เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยมาก

ผลการวิเคราะห์หาอัตราการดูดซับฟอสเฟตในดินนาชุดต่างๆ ของภาคเหนือ พบว่ามีอัตราการดูดซับในช่วง 145-689 mg P_2O_5/ดิน 100 กรัม ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าอัตราการดูดซับฟอสเฟตในดินเหนียวมีค่าสูงกว่าในดินร่วนและดินทราย

คำหลัก : ข้าว ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน อัตราการดูดซับฟอสเฟต ข้าว กข 23 และขาวดอกมะลิ 105

คำนำ

ในปัจจุบันปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตข้าว เกษตรกรที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่ของพื้นที่ที่อาศัยน้ำฝนแต่เพียงอย่างเดียวและปลูกข้าวเพียงฤดูเดียว มักจะใช้ปุ๋ยไม่ถูกต้อง จากการสำรวจข้อมูลการทำนาในเขตพื้นที่บางจังหวัดของภาคเหนือตอนล่าง พบว่าเกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีไม่ถูกต้องตามคำแนะนำ โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแต่เพียงอย่างเดียวตลอดฤดูปลูก ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุที่สำคัญหลายประการ เช่น ราคาปุ๋ย ราคาปุ๋ยยูเรียในขณะนั้นว่าจะถูกกว่าปุ๋ย สูตร 16-20-0 มาก (เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน) และเมื่อใส่ปุ๋ยยูเรียแล้วเกษตรกรเชื่อว่าต้นข้าวตอบสนองได้ดีกว่า โดยต้นข้าวจะตอบสนองได้รวดเร็วและชัดเจน ซึ่งต่างจากปุ๋ยสูตร 16-20-0 นอกจากนั้นก็ยังมีสาเหตุอื่นๆ อีก ดังนั้น ถ้าหากเกษตรกรปฏิบัติเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จะมีผลทำให้สถานะของฟอสฟอรัสในดินจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ปริมาณฟอสฟอรัสในดินจะเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าวในระยะยาวได้หรือไม่ ถ้าหากขบวนการทางธรรมชาติ ภายในดินไม่สามารถจะสร้างฟอสฟอรัสเพิ่มเติมลงมาในดินได้เมื่อพืชดูดไปใช้แล้ว จะเคลื่อนย้ายไปจากดินจึงจำเป็นจะต้องใส่เพิ่มเติมในดินในรูปของปุ๋ยอาจจะเป็นปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อปุ๋ยฟอสเฟตในแปลงนาเกษตรกรที่มีประวัติการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแต่เพียงอย่างเดียวอย่างต่อเนื่อง การตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแต่เพียงอย่างเดียว อัตราต่างๆ และการสูญเสียฟอสฟอรัสไปกับการเก็บเกี่ยวผลผลิต การสะสมของฟอสฟอรัสในดินจากการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์รวมทั้งสมบัติในการดูดซับฟอสฟอรัสของดินนาชุดต่างๆ ในภาคเหนือตอนล่าง

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทั้งในแปลงนาเกษตรกรที่ในอดีตไม่เคยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต(เฉพาะพื้นที่ทำนาปีได้เพียงครั้งเดียว) และในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก และวิเคราะห์ดินในแปลงทดลองระยะยาวที่อยู่ข้างเคียง รวมทั้งเก็บตัวอย่างดินนาชุดที่สำคัญ ในนาเกษตรกรของจังหวัดต่างๆ ในเขตภาคเหนือตอนล่างมาวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วย 3 การทดลองมีรายละเอียดดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นการตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อปุ๋ยฟอสเฟตในแปลงนาเกษตรกร

เกษตรกรจะเป็นผู้ดำเนินการปลูกข้าวและเลือกพันธุ์ข้าว โดยใส่ปุ๋ยอัตรา 12-0-(4) กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ เปรียบเทียบกับอัตรา 12-7.5-(4) กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ซึ่งถ้าแปลงที่มีเนื้อดินไม่ได้เป็นดินเหนียว จะใส่ปุ๋ยโพแทชอัตรา 4 กก. K_2O/ไร่ ทำแหล่งละ 4 ซ้ำ ในปีงบประมาณ 2533 ดำเนินการทดลองในฤดูนาปีที่ อ.เมือง จ.สุโขทัย จำนวน 1 แปลง และ อ.บ้านตาก จ.ตาก จำนวน 2 แปลง ปีงบประมาณ 2534 ดำเนินการทดลองในฤดูแล้ง (นาปรัง) ที่ อ.บ้านตาก จ.ตาก จำนวน 1 แปลง และที่ อ.เมือง จ.พิษณุโลก จำนวน 1 แปลง (แต่ใช้ข้าว 3 พันธุ์) และในปีงบประมาณ 2534 ฤดูฝน ดำเนินการทดลองที่ อ.วังทอง จ.พิษณุโลก จำนวน 1 แปลง และ อ.เมือง จ.พิจิตร 1 แปลง ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน และตัวอย่างต้นข้าว (ระยะ PI) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส และเก็บผลผลิตและข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวทุกแปลง การสุ่มเก็บเกี่ยวจะเก็บเกี่ยวจุดละ 3x4 เมตร พื้นที่ขนาด 1 ไร่จะเก็บ 16 จุด

การทดลองที่ 2 ศึกษาการตอบสนองของผลผลิตข้าวและการเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสโดยพืชจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแต่เพียงอย่างเดียวอัตราต่างๆ ในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก

เริ่มดำเนินการในปี 2533 วางแผนการทดลองแบบ Split Plot มีข้าว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ กข 23 และขาวดอกมะลิ 105 เป็น main plots และอัตราปุ๋ย 6 อัตรา คือ 0-0-4, 4-0-4, 8-0-4, 12-0-4, 16-0-4 และ 12-7.5-4 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ เป็น sub plots มี 4 ซ้ำ แปลงย่อยมีขนาด 4x5 เมตร ในปีแรก (2533) ปลูกแบบหว่านน้ำตม อัตราเมล็ดพันธุ์ 15 กก./ไร่ ในปีต่อๆ มาสภาพแปลงทดลองลุ่มกว่าเดิมมากไม่สามารถปลูกแบบหว่านน้ำตมได้ จึงทำการปักดำตลอดมาตั้งแต่ปี 2534 ปักดำระยะ 25x25 ซม. เก็บเกี่ยวในพื้นที่ 3x4 เมตร เก็บตัวอย่างดินและตัวอย่างพืช เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ บันทึกน้ำหนักแห้งของฟางและเมล็ดในแต่ละแปลงย่อย เพื่อคำนวณหาสัดส่วน ของเมล็ด : ฟาง (Grain : Straw ratio) และ การเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัส โดยพืช สำหรับคุณสมบัติของดินในแปลงทดลองแสดงไว้ใน Table 1

Table 1 Soil characters of experimental field at Phitsanulok Rice Research Center

pH	5.0
Organic matter (%)	1.48
Total N(%)	0.07
P (ppm)	23
K (ppm)	95
CEC (meq/100 g soil)	13.6
Soil texture	Clay

การทดลองที่ 3 เก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองและแปลงทดลองระยะยาวเพื่อศึกษาการสะสมของฟอสฟอรัสในดินและเก็บตัวอย่างดินนาชุดสำคัญๆ มาวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติการดูดตรึงฟอสฟอรัส เก็บตัวอย่างดินจากกรรมวิธีต่างๆ ในแปลงทดลองที่ศูนย์ฯ หลังสิ้นสุดการทดลอง (2533-2539) โดยเก็บทุกๆ กรรมวิธีรวมเป็น 1 ซ้ำ แบ่งเป็น 2 main plot นำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Bray No.2

การรวบรวมข้อมูลในแปลงทดลองระยะยาว (Longterm experiments) ในปี 2535 ทำการเก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตราต่างๆ ทั้งที่ใส่เดี่ยวๆ และใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีชื่อเรื่อง "การศึกษาการใช้ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวระยะยาวต่อสรีรนิเวศน์ของข้าวและคุณสมบัติของดินที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก" (19 09 003 001) ซึ่งเริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี 2519 โดยปลูกข้าวพันธุ์ กข 7 และแปลงข้างเคียงที่มีการใส่แกลบ และขี้เถ้าแกลบร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีฟอสเฟต และไม่มีฟอสเฟต ชื่อเรื่อง

"การศึกษาการใช้แกลบและขี้เถ้าแกลบระยะยาวต่อสรีรนิเวศน์ของข้าว และคุณสมบัติของดินที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก" (18 09 003 001) ซึ่งเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2517 ซึ่งใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

การเก็บตัวอย่างดินนาชุดสำคัญๆ ในจังหวัดต่างๆ ของภาคเหนือตอนล่าง ตามแผนที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ในจังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย พิจิตร เพชรบูรณ์ และนครสวรรค์ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า Phosphorus Sorption Coefficient (PSC) ชื่อชุดดินที่เก็บ จำนวนตัวอย่างที่เก็บได้แสดงไว้ใน Table 9

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดินและพืช

วิเคราะห์หาค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน โดยการสกัดตัวอย่างดินด้วยสารละลาย 0.1 N HC1 + 0.03 N NH_4 F ตามกรรมวิธีของ Bray No.2 (Bray and Kurtz, 1954) แล้วปรับเปลี่ยนสีของสารละลายที่สกัดได้ด้วยสารละลาย molybdate-ascorbic acid จึงนำไปวัดสีด้วยเครื่อง spectrophotometer

วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในพืช โดยการเผาตัวอย่างพืชที่ชั่งน้ำหนักแล้วที่อุณหภูมิ 490 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นแล้วเติม 0.4 N HC1 10 ml อุ่นให้ร้อนบน hot plate แล้วจึงเทใส่ 100 ml Vol. Flask ปรับให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายนี้มา 4 ml เพื่อปรับเปลี่ยนสีด้วย 8 ml molybdate-ascorbic acid solution ทิ้งไว้ 1 คืน จึงนำไปวัดสีด้วย spectrophotometer

วิเคราะห์ Phosphorus Sorption Coefficient (PSC) โดยวิธีของ Tropical Agriculture Research Center-TARC โดยการชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม ลงใน 200 ml Er.Flask แล้วเติมสารละลาย 100 ml $(NH_4)_2HPO_4$ ที่มีความเข้มข้น 2687 mg P_2O_5/200 ml ที่ pH 7.00 ทำการเขย่าเป็นระยะๆ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จึงนำไปกรอง นำสารละลายที่กรองได้ 5 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นใน 250 ml Vol.Flask นำสารละลายที่เจือจางแล้วนี้ 2 ml ไปปรับเปลี่ยนสีด้วยสารละลาย 5 ml 5 N HNO_3 +5 ml 0.25% NH_4VO_3 +5ml 5% $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ ซึ่งจะได้เป็นสีเหลือง แล้วจึงนำไปวัดสีด้วย spectrophotometer

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อปุ๋ยฟอสเฟต ในนาเกษตรกร

ผลการทดสอบการตอบสนองของผลผลิตข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อปุ๋ยเคมีที่มีฟอสเฟตและไม่มีฟอสเฟตในแปลงนาเกษตรกร แสดงไว้ใน Table 2 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปุ๋ยเคมีอัตรา 12-0-(4) (ปุ๋ยยูเรีย) กับ 12-7.5-(4) (ปุ๋ย 16-20-0) กก.N-P_2O_5-K_2O/ ไร่

จากอดีตที่ผ่านมาการทำนาฤดูฝน 2533 แปลงคัดเลือกที่ อ.เมือง จ.สุโขทัย จำนวน 1 แปลง และอ.บ้านตาก จ.ตาก จำนวน 2 แปลง ไม่มีการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต ทั้ง 3 แปลงปลูกข้าวพันธุ์ กข 23 แปลงที่เป็นดินเหนียวผลผลิตข้าวจากที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต และไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตแตกต่างกันน้อยมาก แปลงที่ จ.สุโขทัย กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 4.7% ขณะที่ อ.บ้านตาก จ.ตาก ผลผลิตลดลง 0.16% สำหรับในดินที่เป็นดินเนื้อหยาบกว่าดินเหนียว (Sandy clay loam) กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 10%

ฤดูแล้งปี 2534 การทำนาของเกษตรกรในอดีตมีการใช้ปุ๋ย 16-20-0 มาบ้างที่ อ.เมือง จ.พิษณุโลก จำนวน 3 แปลง และที่ อ.บ้านตาก จ.ตาก จำนวน 1 แปลง ทุกแปลงมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ใช้ข้าวพันธุ์ กข 23 สุพรรณบุรี 60 และสุพรรณบุรี 90 เปรียบเทียบการตอบสนองของผลผลิตข้าวระหว่างกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและใส่ปุ๋ยฟอสเฟต พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่าง -4.4 ถึง +3.0% ซึ่งน้อยมาก

ฤดูฝนปี 2534 แปลงที่ อ.วังทอง จ.พิษณุโลก จำนวน 1 แปลง และแปลงที่ อ.เมือง จ.พิจิตร จำนวน 1 แปลง จากที่สำรวจมาในอดีตไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตมาก่อน แปลงที่ อ.วังทอง จ.พิษณุโลก เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam) ปลูกข้าวพันธุ์เหลืองอ่อน กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 26.2% ขณะที่แปลง อ.เมือง จ.พิจิตร เนื้อดินเป็นดินเหนียว (Clay) ปลูกข้าวพันธุ์ กข 23 กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเพียง 3.9%

ในแปลงที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวในนาเกษตรกร ฟอสฟอรัสอาจไม่ได้เป็นปัจจัยที่จำกัดในการเพิ่มผลผลิตข้าว แต่ในแปลงนาที่มีเนื้อดินหยาบกว่าดินเหนียว ฟอสฟอรัสน่าจะมีบทบาทในการเพิ่มผลผลิตมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่าฟอสฟอรัสอาจจะสูญเสียไปโดยขบวนการพัดพา

โดยน้ำ (leaching) ในดินเนื้อหยาบมากกว่าดินเหนียว เนื่องจากในดินเนื้อหยาบมีความจุในการดูดยึดฟอสฟอรัสต่ำมาก (Low Capacity of Sorb Phosphorus) (Khalid, *et al.*, 1977) จะเห็นว่าค่าวิเคราะห์ Bray No.2-P ในแปลง อ.วังทอง จ.พิษณุโลก ต่ำมาก (2.6 ppm P) และความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ในพืชระยะออกดอกในแปลงที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตต่ำกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต คือ 0.12% และ 0.25% ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 การตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแต่เพียงอย่างเดียวอัตราต่างๆ และการสูญเสียฟอสฟอรัสจากดินไปกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

การตอบสนองของผลผลิตข้าวในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก

ผลการทดลองตั้งแต่ปี 2533-2539 (ยกเว้นปี 2534 ซึ่งเสียหายจากถูกน้ำท่วม) แสดงไว้ใน Table 3 ผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข 23 และขาวดอกมะลิ 105 จะตอบสนองเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้น ถึงแม้ว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนจะสูงถึง 12-16 กก.N/ไร่ โดยไม่ได้ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเลย ก็ไม่ทำให้ผลผลิตข้าวของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ลดลงทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าดินในแปลงทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสเพียงพอ คือ ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ 23 ppm P (Table 1) ประกอบกับเมื่อดินถูกน้ำขังฟอสฟอรัสจะละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น (Mahapatra and Patrick, 1971) Lain (1989) ได้รวบรวมผลการทดลองปุ๋ยฟอสเฟตในนาข้าวของเกษตรกรในประเทศได้หวัน ซึ่งดำเนินการหลายพื้นที่ตั้งแต่ปี 1975-1982 พบว่ามีเพียง 0.6-0.8% ของการทดลองเท่านั้นที่ผลผลิตข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟต De Datta (1981) สรุปไว้เช่นเดียวกันว่าผลผลิตข้าวจะตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปในดินน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าในดินมีฟอสฟอรัสต่ำ ผลผลิตข้าวก็จะต่ำด้วย ประเสริฐและคณะ (2527) ได้ทดสอบการตอบสนองของปุ๋ย NPK ต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถานีทดลองข้าวพาน ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี และศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง ตั้งแต่ปี 2513-2527 (14 ปี) ในปีที่ 14 พบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 6 และ 12 กก.N/ไร่ โดยไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต แล้วจะทำให้ผลผลิตข้าวลดลงอย่างชัดเจน ยกเว้นที่สถานี ทดลองข้าวพาน ผลผลิตข้าวจะตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟต เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 12 กก.N/ไร่ เท่านั้น สำหรับผลผลิตเฉลี่ยของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ จะแตกต่างกันทางสถิติในปี 2535,2536 และ 2538

ประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวจากปุ๋ยฟอสเฟต

ประเมินภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวของปุ๋ยฟอสเฟต โดยหาอัตราการเพิ่มผลผลิตข้าว (grain) ต่อน้ำหนักฟาง (vegetative part) 1 หน่วย ในแต่ละกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย ซึ่งคำนวณโดยสัดส่วน เมล็ด : ฟาง (Grain : Straw ratio) ผลการเก็บข้อมูล ในปี 2535 และ 2537 (Table 4) แสดงให้เห็นว่าในปี พ.ศ.2535 สัดส่วนเมล็ด : ฟางของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ จะตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยต่างกัน กข 23 จะไม่ตอบสนองและ KDML 105 มีการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ย สำหรับปี 2537 มีการตอบสนองในทิศทางเดียวกัน ข้าวพันธุ์ กข 23 ซึ่งเป็นข้าวต้นเตี้ยมีประสิทธิภาพในการสร้างสัดส่วนเมล็ด : ฟาง ได้สูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวต้นสูง และพบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่าสัดส่วนเมล็ด : ฟาง ลดลงนั้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมากขึ้น จะเพิ่มส่วนของฟางมากกว่าเมล็ด สำหรับปุ๋ยฟอสเฟต (กรรมวิธีที่ 6) นั้นไม่มีผลต่อสัดส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 4 ที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต Yoshida (1981) ได้สรุปว่าบทบาทของปุ๋ยฟอสเฟตในการเพิ่มผลผลิตข้าวนั้นมีบทบาทในช่วงข้าวแตกกอมากกว่าช่วงหลังข้าวออกดอกแล้ว ขณะที่ Ishizuka (1965) พบว่า Metabolism ของการสร้างแป้งในเมล็ดมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสค่าเฉลี่ยของสัดส่วนเมล็ด : ฟางของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในปี 2537

ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสในฟางและเมล็ด

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในฟางและเมล็ดเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียวอัตราต่างๆ เปรียบเทียบกับที่มีปุ๋ยฟอสเฟต แสดงไว้ใน Table 5 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในฟางข้าวของข้าวทั้ง 2 พันธุ์จะแตกต่างกันเมื่อใส่ปุ๋ยอัตราต่างๆ กัน (มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อการสะสมฟอสฟอรัสในฟางข้าว) ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในฟางข้าว กข 23 ในกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยต่างๆ ไม่แตกต่างกัน สำหรับในฟางข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจะมีความเข้มข้นของ

ฟอสฟอรัสมากขึ้น และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตจะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสมากกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต (ที่มีปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากัน) อย่างชัดเจน ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในฟางข้าวพันธุ์ กข 23 น้อยกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 คือค่าเฉลี่ย 0.090% P และ 0.142% P ตามลำดับ ส่วนในเมล็ดข้าวนั้น ข้าวพันธุ์ กข 23 มีแนวโน้มจะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสมากขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 นั้น ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดทุกๆ กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดของข้าวพันธุ์ กข 23 จะสูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเฉลี่ย 0.260 %P และ 0.242%P ตามลำดับ De Datta (1981) ได้อธิบายว่าเปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสในข้าวจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากปักดำแล้วจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนสูงสุดเมื่อระยะออกดอก และจะลดลงอีกครั้งเมื่อข้าวเริ่มสุก Yoshida (1981) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่าฟอสฟอรัสจะเคลื่อนย้ายจากส่วนของฟางไปสู่เมล็ด

Table 2 Rice grain yields, available soil P and tissue P at flowering stage as affected by single urea and 16-20-0 application on farmer fields in wet and dry seasons 1990-1991.

Location	Season	Soil Texture	Available Soil.P (ppm)	Vareity	Yield (kg./rai)		Yield increase (%)	Tissue P (%)	
					Urea 12-0-(4)	(16-20-0) 12-7.5-(4)		12-0-(4)	12-7.5-(4)
Sukhothai	W/1990	Clay	28.87	RD 23	640	670	+4.7	0.31	0.36
Tak 1	W/1990	Clay	17.67	RD23	621	620	-0.16	0.25	0.27
Tak 2	W/1990	Sandy clay loam	6.33	RD 23	560	618	+10.0	0.23	0.25
Phitsanulok 1	W/1991	Sandy loam	2.60	Laung Awn	465	587	+26.2	0.12	0.25
Pichit	W/1991	Clay	6.60	RD 23	401	479	+3.9	0.29	0.26
Tak 3	D/1991	Clay	9.90	RD 23	807	831	+3.0	0.27	0.27
Phitsanulok 2	D/1991	Clay	7.64	RD 23	924	921	-0.32	0.23	0.27
Phitsanulok 3	D/1991	Clay	7.95	SPR 90	869	901	+3.7	0.27	0.27
Phitsanulok 4	D/1991	Clay	7.90	SPR 60	977	934	-4.4	0.25	0.26

W = wet season

D = dry season

Table 3 Yield of RD 23 and KDML 105 rice varieties responded to N fertilizer rates with and without Phosphate in 1990-1996 at Phitsanulok Rice Research Center

Treatments ($kg\ N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O/rai$)	Yield (kg./rai)																	
	1990			1992			1993			1994			1995			1996		
	RD 23	KDML 105	AVE.	RD23	KDML 105	AVE.	RD23	KDML 105	AVE.	RD23	KDML 105	AVE.	RD23	KDML 105	AVE.	RD23	KDML 105	AVE.
1. 0-0-4	383 d	264 bc	324	408	284	346 d	410	498	454 c	363	374	368 b	392	508	450 c	549	418	483
2. 4-0-4	512 c	325 a	419	562	392	477 c	467	568	517 b	435	448	442 a	449	562	505 b	548	516	532
3. 8-0-4	576 b	306 ab	441	624	503	564 b	487	647	567 a	387	432	409 ab	477	543	510 b	477	539	508
4. 12-0-4	583 ab	263 bc	423	763	585	674 a	526	678	602 a	434	462	448 a	530	584	557 a	486	504	495
5. 16-0-4	636 a	220 c	428	762	605	683 a	541	658	599 a	400	495	448 a	532	580	556 a	457	548	502
6. 12-7.5-4	599 ab	261 bc	430	764	605	685 a	561	636	598 a	439	476	457 a	511	582	546 a	462	601	531
AVE.	548	273	411	647 x	496 y	571	499 y	614 x	556	410	448	429	482 y	560 x	521	496	521	509
CV (a)		12.6%			8.5%			12.2%			12.8%			3.9%			17.3%	
CV (b)		8.8%			7.5%			7.9%			12.9%			5.3%			12.5%	

- Means followed by a common letter (a-d) in a cloumn and (x-y) in a row are not significantly different at 5% level by DMRT

Table 4 Grain : Straw ratio of RD23 and KDML 105 rice varieties as affected by fertilization with and without phophate in 1992 and 1994

Treatments ($kgN-P_2O_5-k_2O/rai$)	2535			2537		
	RD23	KDML 105	AVE.	RD23	KDML 105	AVE.
1. 0-0-4	1.010 a	0.820 a	0.915	1.165	0.587	0.876 ab
2. 4-0-4	1.005 a	0.795 ab	0.990	1.178	0.620	0.899 a
3. 8-0-4	1.045 a	0.788 ab	0.916	1.168	0.583	0.875 ab
4. 12-0-4	1.045 a	0.747 b	0.896	1.100	0.560	0.830 bc
5. 16-0-4	1.018 a	0.650 c	0.834	1.038	0.570	0.804 c
6. 12-7.5-4	1.003 a	0.750 b	0.876	1.050	0.858	0.818 bc
AVE.	1.021	0.758	0.890	1.116	0.584	0.850
CV (a)	4.9%			9.8%		
CV (b)	4.8%			6.9%		

- In a column, means followed by a common letter are not significantly different at 5% level by DMRT

Table 5 Phosphorus accumulation (%P) in straw and seed of RD23 and KDML 105 rice varieties as affected by fertilization with and without phosphate in 1994

Treatments ($kgN-P_2O_5-k_2O/rai$)	Accumulated P (%)					
	Straw			Seed		
	RD23	KDML 105	AVE.	RD23	KDML 105	AVE.
1. 0-0-4	0.087 a	0.123 cd	0.105	0.208	0.215	0.211 b
2. 4-0-4	0.085 a	0.120 d	0.103	0.253	0.233	0.243 ab
3. 8-0-4	0.103 a	0.130 cd	0.116	0.268	0.240	0.254 a
4. 12-0-4	0.093 a	0.145 bc	0.119	0.278	0.255	0.266 a
5. 16-0-4	0.083 a	0.163 ab	0.123	0.285	0.268	0.276a
6. 12-7.5-4	0.093 a	0.170 a	0.131	0.268	0.243	0.255a
AVE.	0.090	0.142	0.116	0.260 X	0.242 Y	0.251
CV (a)	16.7%			5.8%		
CV (b)	12.8%			12.9%		

- Mean followed by a common letter (a-d) in a cloumn and (x-y) in a row are not significantly different at 5% level by DMRT

การเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสออกไปจากดิน

การเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสออกไปจากดินโดยสะสมไว้ในส่วนของฟางของข้าวพันธุ์ กข 23 และขาวดอกมะลิ 105 เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (ที่ไม่มีปุ๋ยฟอสเฟต) และที่มีปุ๋ยฟอสเฟตร่วมด้วยแสดงไว้ใน Table 6 ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกเคลื่อนย้ายโดยพืชนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักแห้งของฟาง เมื่อใส่ปุ๋ยเดี่ยวไนโตรเจนอัตราต่างๆ และปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับฟอสเฟต การเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสไปไว้ในฟางข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 1.202 กก. P_2O_5/ไร่ ในข้าว กข 23 สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตั้งแต่ 12 กก.N/ไร่ ขึ้นไป ฟอสฟอรัสจะถูกเคลื่อนย้ายไปสะสมในฟางข้าวได้มากกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยต่ำกว่า 12 กก.N/ไร่ อย่างชัดเจน และจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น สำหรับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ฟอสฟอรัสจะสะสมไว้ในฟางข้าวมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต (ในกรณีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 12 กก./ไร่ เท่ากัน) อย่างชัดเจนทางสถิติ ซึ่งค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เคลื่อนย้ายจากดินไปสะสมไว้ที่ฟางข้าวของข้าวพันธุ์ขาว ดอกมะลิ 105 นั้น คือ 4.072 กก.P_2O_5/ไร่ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ กข 23 (1.202 กก.P_2O_5/ไร่) มาก

การเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสออกไปจากดินโดยสะสมไว้ในส่วนของเมล็ดของข้าวทั้ง 2 พันธุ์จะเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันนั่นคือ เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน อัตรา 4-16 กก.N/ไร่ จะมีการสะสมของฟอสฟอรัสในเมล็ดเพิ่มขึ้นจากไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในระหว่างอัตราต่างๆ ของปุ๋ยไนโตรเจนและที่มีปุ๋ยฟอสเฟตร่วมด้วยจะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การสะสมของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวพันธุ์ กข 23 และขาวดอกมะลิ 105 เฉลี่ยทุกกรรมวิธีคือ 3.918 และ 4.028 กก.P_2O_5/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ผลรวมการเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสเข้าไปอยู่ในฟางและเมล็ดของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ (Table 6) จะมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยของผลรวมของการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสไปอยู่ในฟางและเมล็ดทุกกรรมวิธีของข้าวพันธุ์ กข 23 และขาวดอกมะลิ 105 คือ 5.122 และ 8.108 กก.P_2O_5/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนทางสถิติ คำนวณการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสต่อผลผลิต 1 ตันของข้าวพันธุ์ กข 23 จะสะสมในส่วนของฟางข้าว 1.929 กก.P_2O_5 และในส่วนของเมล็ด 5.954 กก.P_2O_5 รวมเป็น 7.883 กก. P_2O_5 สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สะสมในส่วนของฟางข้าว คือ 4.846 กก. P_2O_5 และในเมล็ด 5.542 กก. P_2O_5 รวมเป็น 10.388 กก. P_2O_5 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบทั้ง 2 พันธุ์ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสจากดินไปไว้ในส่วนของฟางมากกว่าพันธุ์ กข 23 และมีการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสไปสะสมไว้ในเมล็ดของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ใกล้เคียงกันดังนั้นจะเห็นได้ว่าข้าวพันธุ์ต้นสูงมีแนวโน้มที่จะมีการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสมากกว่าพันธุ์ต้นเตี้ยถ้าหากข้าวพันธุ์ต้นสูงให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวพันธุ์ต้นเตี้ย De Datta (1981) ได้แสดงการเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ IR8 ไปสะสมในฟาง 2.052 กก.P_2O_5/ไร่ ในเมล็ด 5.789 กก.P_2O_5/ไร่ เมื่อคิดต่อผลผลิต 1 ตันข้าวเปลือกในส่วนของฟาง 1.832 กก.P_2O_5 และในส่วนของเมล็ด 4.580 กก.P_2O_5

การทดลองที่ 3 การสะสมของฟอสฟอรัสในดินจากการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์รวมทั้งคุณสมบัติการดูดตรึงฟอสฟอรัสของดินชุดสำคัญ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ในดินของแปลงทดลองและแปลงทดลองข้างเคียงที่ดำเนินการทดลองระยะยาว (Longterm Experiments)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในดินหลังจากการใส่ปุ๋ยเคมีที่มี P และไม่มี P (1990-1996) แสดงไว้ใน Table 7ค่าวิเคราะห์ Bray II-P แสดงไว้ให้เห็นว่าเมื่อใส่ปุ๋ย N แต่เพียงอย่างเดียวเพิ่มขึ้น ปริมาณ P ที่วิเคราะห์ได้ในดินมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อใส่ปุ๋ย P ร่วมด้วย พบว่าแนวโน้มที่จะมีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมอยู่ในดินมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟต แต่ทุกกรรมวิธีจะไม่มีผลต่อการสะสมของฟอสฟอรัสในดินแต่อย่างใด (จากข้อมูลใน Table 1 และ Table 7)

แปลงทดลองระยะยาวมี 2 การทดลองคือ การทดลองที่เกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอย่างเดียว (SC) อัตราต่างๆ และปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตราต่างๆ นี้ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF) ซึ่งปลูกข้าวพันธุ์ กข 7 ตั้งแต่ปี 2519 และแปลงที่ใส่แกลบ (Rice Hull- RH) และขี้เถ้าแกลบ (Rice Hull Ash -RHA) ร่วมกับปุ๋ยเคมีทั้งที่มีไนโตรเจน (N) และไนโตรเจนกับฟอสเฟต (N+P) ด้วย ค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสของดินโดยวิธี Bray No.2 ของกรรมวิธีต่างๆ แสดงไว้ใน Table 8

Table 6 Phosphorus removal by RD23 and KDML 105 rice vareities as affected by fertilization with and without phosphate in 1994

Treatments ($kgN-P_2O_5-K_2O/rai$)	P removal ($kg.P_2O_5/rai$)								
	Straw			Seed			Straw + Seed		
	RD 23	KDML 105	AVE.	RD23	KDML 105	AVE.	RD23	KDML 105	AVE.
1. 0-0-4	0.985	2.863 c	1.924	2.749	2.958	2.854 b	3.735	5.873	4.804 c
2. 4-0-4	1.153	3.159 c	2.155	4.004	3.817	3.910 a	5.156	6.976	6.066 b
3. 8-0-4	1.235	3.524 c	2.380	3.816	3.779	3.798 a	5.051	7.303	6.177 b
4. 12-0-4	1.326	4.377 b	2.852	4.415	4.254	4.334 a	5.741	8.631	7.186 ab
5. 16-0-4	1.161	5.167 a	2.164	4.226	4.907	4.557 a	5.387	10.074	7.731 a
6. 12-7.5-4	1.358	5.341 a	3.349	4.301	4.451	4.376 a	5.660	9.792	7.726 a
AVE.	1.202	4.072	2.637	3.918	4.028	3.973	5.122 y	8.108x	6.615
CV (a)	15.0 %			10.9%			6.2%		
CV (b)	20.4%			18.8%			16.0%		

- Means followed by a common letter (a-d) in a column and (x-y) in a row are not signifcantly different at 5% level by DMRT

Table 7 Residual soil phosphorus as affected by fertilization with and without phosphate after 7 years

Treatments ($kgN-P_2O_5-K_2O/rai$)	**Residual soil P** (Bray II-P (ppm P)		AVERAGE **ppm P**
	RD 23	KDML 105	
1.0-0-4	13.0	13.4	13.2
2.4-0-4	13.8	12.6	13.2
3.8-0-4	13.4	11.5	12.5
4.12-0-4	12.7	12.5	12.6
5.16-0-4	13.5	9.6	11.6
6.12-7.5-4	20.1	17.9	19.0
AVE.	14.4	12.9	

Table 8 Residual soil phosphorus as affected by long tern rice straw compost (16 years) and rice hull and rice hull ash (19 years) application.

Rice Straw Compost (1976-1992)	Available P (ppm)	Rice Hull and Rice Hull Ash (1974-1992)	Available P (ppm)
Treatments		Treatments	
1. Control	2.00	1. Control	2.75
2. SC 500 kg./rai	3.10	2. 4.8-6-0	5.70
3. SC 1000 kg./rai	3.25	3. 4.8-6-0+RH 500	6.50
4. SC 1500 kg./rai	5.25	4. 4.8-6-0+RH 1000	6.75
5. SC 2000 kg./rai	6.80	5. 4.8-6-0+RHA 500	4.65
6. CF	3.95	6. 4.8-6-0+RHA 1000	7.20
7. SC 500 kg./rai+CF	5.15	7. 4.8-0-0+RH 500	2.35
8. SC 1000 kg./rai + CF	7.30	8. 4.8-0-0+RHA 500	3.05
9. SC 1500 kg./rai + CF	9.45	9. RH 500	2.15
10. SC 2000 kg./rai + CF	11.45	10. RHA 500	2.95
SC = rice straw compost CF = Chemical fertilizer 8-4-4 kg. $N-P_2O_5-K_2O$/rai		RH 500, RH 1000 = rice hull 500, 1000 kg./rai RHA 500, RHA 1000 = rice hull ash 500, 1000 kg/rai	

Table 9 Phosphorus sorption coefficient (PSC) of the major low land rice soil series in lower north of Thailand

Soil Series	pH	No.of Soil Samples	P-Sorption Coefficient-(PSC) (mg P_2O_5/100 g Soil)
Roi Et	4.86±0.44 *	10	145±99
Ratchaburi	5.36±0.50	8	689±58
Nakhon Pathom	5.09±0.65	15	467±194
Chiang Rai	5.28±0.37	9	369±199
Uttaradit	5.45±0.61	17	570±176
Saraburi	4.98±0.67	7	817±135
Lampang	4.93±0.25	3	303±132
Mae Sai	5.95	2	554±32
Phan	4.82±0.21	4	322±51
Pichit	4.97±0.40	4	487±51
Chumsaeng	4.85±0.13	4	314±31
Rangsit	3.73	1	864
Lateritic Soil	6.37	1	1061

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

ผลปรากฏว่า แปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งดำเนินการมา 16 ปี (2519-2535) กรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย (Control) จะมีปริมาณ ฟอสฟอรัสต่ำมาก (2.00 ppm P) และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 500-2000 กก./ไร่ ปริมาณฟอสฟอรัสในดินจะเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักฟางข้าว (3.10-6.80 ppm P) และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีแต่เพียงอย่างเดียว ปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับกรรมวิธีใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว 1000 กก./ไร่ คือ 3.95 และ 3.25 ppm P ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 500-2000 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 8-4-4 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ในดินจะสูงขึ้น ตามอัตราของปุ๋ยหมักฟางข้าว และสูงกว่าปุ๋ยหมักฟางข้าวแต่เพียงอย่างเดียวในอัตราที่เท่ากัน (5.15-11.45 ppm P)

สำหรับแปลงที่ใส่แกลบ (RH) และขี้เถ้าแกลบ (RHA) ซึ่งปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาเป็นเวลาติดต่อกัน 18 ปี (2517-2535) กรรมวิธีเปรียบเทียบ (Control), RH500, RHA 500 รวมทั้งกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่ไม่มีปุ๋ยฟอสเฟต (4.8-0-0+RH500 และ 4.8-0-0+RHA 500) ปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ในดินต่ำมาก และมีค่าใกล้เคียงกัน (2.15-3.05 ppm P) ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีที่มีฟอสเฟตร่วมกับ RH และ RHA อัตราต่างๆ จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ในดินสูงกว่า (4.65-7.20 ppm P.) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการคืนส่วนของฟางข้าว ในรูปของปุ๋ยหมักฟางข้าว จะมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินมากกว่าการคืนกลับสู่ดินในรูปของแกลบและขี้เถ้าแกลบ ซึ่งมีฟอสฟอรัสอยู่น้อย

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดตรึงฟอสฟอรัส (Phosphorus Sorption Coefficient-PSC) ในดินนาชุดสำคัญๆ

เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปในดินแล้วประจุของอนุมูลของปุ๋ยฟอสเฟตจะเป็นลบ (HPO_4^{2-} และ $H_2PO_4^-$) ซึ่งจะไม่ถูกดูดยึดหรือถูกดูดยึดได้น้อยมาก โดยอนุภาคของดินซึ่งส่วนใหญ่จะมีประจุลบเช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปในดิน ฟอสฟอรัสจะถูกยึดหรือทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น หรือสารประกอบต่างๆ ในดิน เช่น ทำปฏิกิริยากับ Fe,Al, Zn, Ca, เป็นต้น และเมื่อฟอสฟอรัสถูกดูดยึดโดยสารประกอบในดินนี้แล้ว อาจจะอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในทันที แต่จะค่อยๆ ละลายออกมาเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีน้ำขังในดิน แต่มีบางกรณีที่ฟอสฟอรัสถูกดูดยึดในดินแล้วพืชอาจจะนำมาใช้ประโยชน์ได้น้อยมากหรือไม่ได้เลย เช่น การดูดตรึงฟอสฟอรัสโดยดินที่มีกำเนิดจากเถ้าภูเขาไฟ (Volcanic ash soils) ซึ่งเป็นปัญหามากแต่ดินชนิดนี้พบน้อยมากในประเทศไทย ดังนั้นอนุมูลฟอสเฟตจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดิน ถ้าหากดินดูดตรึงได้น้อย และพืชดูดไปใช้ไม่ทันอาจจะสูญหายไปโดยน้ำได้ (leaching) การดูดตรึงฟอสฟอรัสในดินมากหรือน้อยนั้นยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกที่สำคัญได้แก่ pH อินทรียวัตถุในดิน เนื้อดิน และวัตถุต้นกำเนิดดิน เป็นต้น ในที่นี้ค่า Phosphorus Sorption Coefficient of Soils (PSC) เป็นค่าการดูดยึดฟอสฟอรัสของดินในสารละลายฟอสฟอรัสที่มี pH 7.0 ซึ่งไม่ใช่ค่าการดูดยึดฟอสฟอรัสสูงสุดของดิน ค่า PSC ของดินนาชุดสำคัญในเขตภาคเหนือตอนล่าง แสดงไว้ใน Table 9 ค่า PSC ของดินชุดร้อยเอ็ด จะมีค่าต่ำสุด (ค่าเฉลี่ย 145 mg P_2O_5/100 g Soil) ซึ่งน้อยมากเนื่องจากดินร่วนปนทรายหรือเนื้อดินหยาบจะมีความจุในการดูดตรึงฟอสฟอรัสได้น้อยมาก (Khalid *et al.*, 1977) ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปในดินชุดร้อยเอ็ด จึงมีโอกาสสูญเสียไปโดยน้ำ (leaching) ได้ง่าย สำหรับดินนาชุดอื่นๆ จะมีค่า PSC โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 303-817 mg P_2O_5/100 g Soil เมื่อเปรียบเทียบกับดินนาชุดรังสิต ซึ่งเป็นดินกรดจัดและดินไร่ที่มีสีน้ำตาล แดง (Lateritic Soil) มีค่า PSC 864 และ 1061 mg P_2O_5/100 g Soil ตามลำดับ ประพิศ และคณะ (2528 ก) ได้ศึกษาการดูดตรึงฟอสฟอรัสของดินชุดต่างๆ พบว่า Acid Sulfate Soil มีการดูดตรึงฟอสฟอรัสสูงสุด รองลงมาได้แก่ ดินพวก Grumusols และต่ำสุดได้แก่ Noncalcic Brown Soil แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับ pH ในขณะนั้นเป็นสำคัญ เช่นดิน Acid Sulfate soil จะดูดตรึงฟอสฟอรัสสูงสุดที่ pH 5.0 ประพิศ และคณะ (2528 ข) ยังได้สรุปว่าการใช้ปูน (lime) ร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟตทำให้ available P เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูป Al-P และ Ca-P สูงในทุกชุดดิน แต่ Fe-P จะลดลง และ Extractable-P จะสูงขึ้น ดังนั้นในดินชุดร้อยเอ็ดที่มีค่า PSC ต่ำมากอาจจะแก้ไขโดยการใส่ปูน (lime) เข้าร่วมด้วย จะทำให้การสูญเสียของฟอสฟอรัสโดยการถูกชะล้างลดน้อยลง และพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาเบื้องต้นการตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อปุ๋ยฟอสเฟตในแปลงนาเกษตรกร

การตอบสนองของผลผลิตข้าวในแปลงนาเกษตรกร ที่ในอดีตไม่เคยใส่ปุ๋ยฟอสเฟตมาก่อน (นาปี) ในดินนาที่เป็นดินเนื้อหยาบ (Sandy Clay Loam และ Sanday loam) กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 10-26%

2. การตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแต่เพียงอย่างเดียวอัตราต่างๆ และการสูญเสียฟอสฟอรัสจากดินไปกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

ในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ตลอด 6 ปี ของการทดลอง (1990, 1992,1993,1994,1995 และ 1996) ทั้งผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข 23 และขาวดอกมะลิ 105 ไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟต

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (% P) ที่สะสมในส่วนของฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะสูงกว่าพันธุ์ กข 23 การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและใส่ปุ๋ยฟอสเฟตร่วมด้วยทำให้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ดูดฟอสฟอรัสไปสะสมในส่วนของฟางข้าวเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มฟอสฟอรัสจะสะสมในส่วนของเมล็ดเพิ่มขึ้น เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (จากตัวเลขผลการทดลองปี 1994)

การเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัส (กก.P_2O_5/ไร่) ออกจากดินโดยพืช ข้าวพันธุ์ กข 23 ที่ได้รับ ปุ๋ยไนโตรเจนมีแนวโน้มที่จะมีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในเมล็ดมากกว่าการสะสมในฟางข้าว ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสโดยข้าว (ฟาง+เมล็ด) 5.120 กก.P_2O_2/ไร่ ส่วนในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะมีการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสจากดินไปสะสมทั้งในฟางและเมล็ด และมีค่าเฉลี่ยรวม 7.718 กก.P_2O_5/ไร่ ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะมีการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสไปสะสมในส่วนของฟางมากกว่าพันธุ์ กข 23 ส่วนในเมล็ดทั้ง 2 พันธุ์ มีการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสใกล้เคียงกัน (จากตัวเลขผลการทดลองปี 1994)

3. ปริมาณของฟอสฟอรัสในดินจากการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์รวมทั้งคุณสมบัติการดูดตรึงฟอสฟอรัสในดินนาชุดสำคัญ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน การวิเคราะห์ดินในแปลงทดลองหลังสิ้นสุดการทดลอง (2533-2539) พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่มีฟอสเฟตด้วยจะมีปริมาณของฟอสฟอรัสในดินสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตแต่ทุกกรรมวิธีมีค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ในปีแรกก่อนการทดลอง ในแปลงทดลองระยะยาว แปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกันมา 16 ปี ปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ในดินจะเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ใส่ และจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี สำหรับแกลบและขี้เถ้าแกลบไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ในดินที่ใส่ติดต่อกันมาเป็นเวลา 18 ปี

ค่าวิเคราะห์การดูดตรึงของฟอสฟอรัสในดิน (PSC) ของดินนาชุดร้อยเอ็ดต่ำมาก ซึ่งจะมีผลให้มีโอกาสของการสูญเสียธาตุฟอสฟอรัสจากปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงในดินได้โดยง่าย

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ นายประเสริฐ สองเมือง ที่อนุญาตให้ใช้ข้อมูลบางส่วนของงานทดลองระยะยาว ในศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก เพื่อความสมบูรณ์ของงานทดลองเรื่องนี้

เอกสารอ้างอิง

ประพิศ แสงทอง นิลประไพ จันทนภาพ และวิศิษฐ์ โชลิตกุล.2528 (ก).การดูดตรึงฟอสเฟตสูงสุดของดินชุดต่างๆ. *วารสารวิชาการเกษตร 3: 157-164.*

ประพิศ แสงทอง นิลประไพ จันทนภาพ พิชิต พงษ์สกุล และวิศิษฐ์ โชลิตกุล.2528 (ข). การเปลี่ยนแปลงสภาพของฟอสฟอรัสในดินนาเมื่อใส่ฟอสเฟตและใส่ปูน. *วารสารวิชาการเกษตร* 3:79-83.

ประเสริฐ สองเมือง วิทยา ศรีทานันท์ นิพรรณศรี โคมทอง ไชยันต์ เสถียร ธวัชชัย วะหิม สมศักดิ์ โตจันทึก บรรจง เหมพานนท์ วชิระ ณ พัทลุง พรรณี จุฑามาตย์ และยุวดา ประทุมแก้ว. 2527. การตอบสนองของข้าวที่ให้ผลผลิตสูงต่อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟตและโปแตส. รายงานผลการค้นคว้าวิจัยดินและปุ๋ยข้าว 2527. กลุ่มงานวิจัย

ดินและปุ๋ยข้าว กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

Bray,R.H. snd L.T.Kurtz. 1954. Determination of total organic and available form of Phosphorus in Soils. *Soil Sci.*59:39-45.

De Data,S.K.1981. Mineral nutrition and fertilizer management of rice. Pages 348-419. in: Principles and Practices of Rice Production. IRRI. Los Banos Laguna,Philippines.

Ishizuka, Y.1965. Nutrient uptake at different stages of growth. Pages 199-217. in : The mineral nutrition of the rice plant. Proceedings of symposium at IRRI Feb. 1964. The Johns Hopkins Press,Baltimore,Maryland.

Khalid,R.A.;W.H.Patrilk Jr.and R.D.DeLaue. 1977. Phosphorus sorption characteristics of flooded soils.*Soil Sci.Soc. Am.J.*41:305-310.

Lain,S.1989.Fertility management of rice soils in R.O.C. on Taiwan. Food and Fertilizer Technology Center. ASPAC,Extension Bulletin No.293.

Mahapatra,I.C.and W.H.Patrick, Jr.1971. Evaluation phosphorus fertility in waterlogged soils. Int.Symp.Soil Fert.Evaluation *Proc.Indian Soc.Soil Sci. New Delhi* 1:53-62.

Tropical Agriculture Research Center. (No date) Laboratory Manual for Soil Chemical Analysis.

Yoshida,S.1981. Fundamentals of rice crop science. IRRI.Los Banos, Laguna, Philippines.