การศึกษาธาตุอาหารพืชที่เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของข้าวในดินเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยภายใต้สภาพที่มีน้ำจำกัดและเพียงพอ

Indentification Nutrients Limiting Rice Growth in Soils of Northeast Thailand under Water-Limiting and Non-Limiting Conditions

ดวงใจ สุริยาอรุณโรจน์[1] ประเสริฐ ไชยวัฒน์[1] Shu Fukai[2] Pax Blamey[2]

Duangjai Suriya-arunroj[1] Prasert Chaiwat[2] Shu Fukai[2] Pax Blamey[2]

ABSTRACT

Glasshouse nutrient omission trials are useful in identifying nutrient limitations for plant growth in a number of soils under the same environmental conditions. Soils of low fertility are commonly used for production of rainfed lowland rice (*Oryza sativa* L.), and the crop often encounters water stress. Nutrient requirements may be modified when standing water disappears from the field. Two experiments with rice seedlings were conducted in a glasshouse at Ubon Rice Research center, Thailand, to identify the nutrients which limit rice growth in soils of Northeast Thailand and to determine whether nutrient limitations are affected by water availability. In Experiment 1, rice was grown on two soils (Roi et and Ubon series) under well-watered and water-limiting conditions and 15 nutrient treatments were imposed. In Experiment 2, six soils from Northeast Thailand were examined using the same 15 nutrient treatments. The nutrients which clearly limited the growth of rice plants in soils of Northeast Thailand were nitrogen (N) and phosphorus (P). In some cases, potassium (K) and sulfur (S) also limited growth, and in one soil zinc (Zn) and boron (B) also limited growth. A shortage of N was the most important limitation for plant growth in all soils except one in which P was more important. The low supply of P decreased plant height and leaf area development during early growth; low N supply had a greater effect later during growth. The omission of P had a larger detrimental effect on growth when water supply was limited. In the Roi et soil, the omission of S had a large effect on leaf area and total dry matter production only under water stress conditions, but this was not found in the other soils examined. These results from glasshouse studies show that the nutrients limiting rice growth depend on soil type and water availability in soils of Northeast Thailand.

Keyword : nitrogen, nitrogen omission *Oryza sativa* L., phosporus, potassium, rainfed lowland rice, sulfur, water stress

1 ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี ตู้ ปณ. 65 อ. เมือง จ.อุบลราชธานี 34000 โทรศัพท์ 045-344103-4

Ubon Ratchthani Rice Research Center, PO.Box 65, Muang, Ubon Ratchathani 34000, Tel. 045-344103-4

2 School of Land and Food, The University of Queensland, Brisbane, Australia

บทคัดย่อ

การทดลองการขาดธาตุอาหารพืชในเรือนทดลองจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาการจำกัดของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช ที่ปลูกในดินหลายชนิดที่มีสภาพแวดล้อมในลักษณะเดียวกันดินที่ปลูกข้าว (*Oryza sativa* L.) ในสภาพน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และต้นข้าวมักประสพกับสภาวะขาดน้ำ ซึ่งอาจมีผลให้ความต้องการธาตุอาหารของพืชปรับเปลี่ยนไปเมื่อปริมาณน้ำเหือดแห้งไปจากนาอันเนื่องจากฝนทิ้งช่วง ได้ดำเนินการทดลองโดยทดสอบต้นข้าวในระยะกล้า 2 การทดลอง ที่ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี เพื่อศึกษาธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของข้าวในดินนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และเพื่อทดสอบผลกระทบจากปริมาณน้ำในขณะที่ข้าวเจริญเติบโตในสภาพจำกัดธาตุอาหารพืช ในการทดลองที่ 1 ปลูกข้าวในดิน 2 ชุด คือชุดร้อยเอ็ดและชุดอุบล ใน 2 สภาพ คือ มีน้ำเพียงพอและมีน้ำจำกัด แบ่งการให้ธาตุอาหารพืชเป็น 15 กรรมวิธี ในการทดลองที่ 2 ปลูกข้าวในดินจาก 6 แหล่งใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจัดเป็นชุดดินได้ 3 ชุด คือ 1. ชุดร้อยเอ็ด 2. ชุดอุบล 3. ชุดพิมาย โดยมีการใส่ธาตุอาหารเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 พบว่าธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของข้าวอย่างเด่นชัด คือ ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในบางกรณีเท่านั้น คือ ในดินชุดร้อยเอ็ดและอุบล จากศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี ที่ธาตุโพแทสเซียม ซัลเฟอร์มีส่วนในการจำกัดการเจริญเติบโต และนอกจากนี้ธาตุสังกะสี และโบรอน ก็มีผลต่อการเจริญเติบโตบ้างในดินบางชนิด จากการทดลองนี้ การขาดธาตุไนโตรเจนมีผลกระทบอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของข้าวในดินเกือบทุกแหล่งมีเพียงแหล่งเดียวเท่านั้นที่ฟอสฟอรัสมีผลต่อการเจริญเติบโตเด่นชัดมากกว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสแก่ข้าวในอัตราต่ำมีอิทธิพลในการลดความสูงและการพัฒนาพื้นที่ใบของต้นข้าว ส่วนการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่ำเกินไปจะมีผลกระทบกับการเจริญเติบโตในระยะต่อไป อย่างไรก็ตามการขาดธาตุฟอสฟอรัสมีผลเสียหายต่อการเจริญเติบโตมากกว่าในสภาพน้ำจำกัดของดินชุดร้อยเอ็ด ส่วนการขาดธาตุซัลเฟอร์มีผลมากต่อพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งของข้าวเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพน้ำจำกัดเท่านั้น แต่ผลกระทบนี้จะไม่พบในดินอื่น ๆ ที่ทดลอง ผลจากการทดลองในเรือนทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าธาตุอาหารที่จะจำกัดการเจริญเติบโตของข้าวนั้น ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของดินและปริมาณน้ำในดินประกอบกัน

คำหลัก : ไนโตรเจน การขาดไนโตรเจน *Oryza sativa* L. ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ข้าวนาน้ำฝน ซัลเฟอร์ การขาดน้ำ

คำนำ

การที่ข้าว (*Oryza sativa* L.) ที่ปลูกในสภาพน้ำฝนในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีผลผลิตต่ำ เพราะดินมีธาตุอาหารต่ำมีโครงสร้างหยาบ (coarse texture) และมีความเป็นกรดสูงซึ่งมักพบโดยทั่วไปในพื้นที่ดังกล่าว Dudal (1980) ได้อธิบายไว้ว่า ปัญหาที่พบจากการที่ดินมีโครงสร้างหยาบเป็นผลเกี่ยวเนื่องทำให้มีความสามารถอุ้มน้ำต่ำ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกก็ต่ำ และการขาดจุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริมบางชนิด ได้แก่ สังกะสี แมงกานีส ทองแดง เหล็ก ซึ่งโดยปกติจะยึดติดอยู่กับดินเหนียวและอินทรียวัตถุในดิน การใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารที่ใส่ลงดินจะต่ำมาก โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นดินที่หยาบทำให้มีการชะล้างไนโตรเจนในรูปของไนเตรตได้อย่างรวดเร็ว ในสภาพเช่นนี้ผลผลิตของข้าวที่ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมักไม่สูงเท่าที่ควร (Ragland and Bunpuckdee, 1987)

น่าจะกล่าวได้ว่าฝนเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญของการปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ โดยเฉลี่ยในภูมิภาคนี้ได้รับน้ำฝนประมาณ 1,000 ถึง 1,500 มม.ต่อปี ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับภูมิภาคอื่น ดังนั้นในแต่ละปีการปลูกข้าวมักประสพปัญหาขาดน้ำ ในสภาพเช่นนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ดินอยู่ในสภาพออกซิไดซ์ ความเป็นกรดจะเพิ่มมากขึ้น ธาตุอาหารบางชนิดจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ไม่อยู่ในรูปที่พืชใช้ได้ และในขณะเดียวกันข้าวอาจได้รับผลกระทบจากพิษของธาตุอาหารบางชนิด ซึ่งสภาพดังกล่าวมีผลให้ผลผลิตข้าวต่ำ มีการทดลองหลายงานที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับความทนแล้งของข้าวในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Jearakongman *et al.*,1995; Wonprasaid et al., 1996) พบว่าการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในเขตนี้ไม่เพียงแต่ เพื่อให้ได้พันธุ์ข้าวทนแล้ง

เพียงลักษณะเดียว แต่ยังต้องมีการปรับตัวได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดหรือดินที่มี pH ต่ำด้วย อย่างไรก็ตาม อาจมีปัจจัยอื่นที่ทำให้ผลผลิตของข้าวในภูมิภาคนี้ต่ำ และยังไม่มีข้อมูลการวิจัยบ่งชี้ชัด เช่น การขาดธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่ง ในสภาพการปลูกข้าวในพื้นที่นาน้ำฝนดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลความสำคัญของธาตุหนึ่ง ๆ ที่มีผลต่อการจำกัดการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินชุดต่าง ๆ ในสภาพนาอาศัยน้ำฝน ซึ่งอาจส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตข้าว จึงได้ดำเนินการทดลองนี้ขึ้น ซึ่งคาดว่าจะเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา และปรับปรุงการจัดการธาตุอาหารพืชในอันที่จะมีผลให้ผลผลิตข้าวในภูมิภาคนี้สูงขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองในเรือนทดลองของศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี ในปี 2540 ถึง ปี 2542

1. ดิน

ทำการปลูกข้าวในดิน 3 ชุด ที่เป็นตัวแทนของดินนาทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ได้แก่ ดินชุดร้อยเอ็ด (fine, loamy, kaolinitic, acid Aeric Paleaquults) ครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 18 ของพื้นที่นาจังหวัดอุบลราชธานี และชุดพิมาย (very-fine clayey, mixed, nonacid Vertic Tropaquepts) พบประมาณร้อยละ 1 ของพื้นที่นาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Keerati-Kasikorn, 1984) เก็บตัวอย่างดินชุดร้อยเอ็ดจากศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี (URRC) ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร (SKN) สถานีทดลองข้าวสุรินทร์ (SRN) สถานีทดลองข้าวชุมแพ (CPA) สถานีทดลองข้าวขอนแก่น (KKN) และสถานีทดลองข้าวไร่และธัญพืชเมืองหนาวอุดรธานี (UDN) ดินที่เก็บจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากนี้เป็นดินชุดอุบล นอกจากดินที่เก็บจากสถานีทดลองข้าวพิมาย (PMI) เป็นชุดพิมาย

การเก็บตัวอย่างอินในแต่ละแหล่ง ทำการเก็บที่ระดับ 0-20 ซม. ผึ่งดินให้แห้งในเรือนทดลองแยกเศษหิน ดินก้อนใหญ่ และเศษซากพืชขนาดใหญ่ (เช่น ฟางข้าวที่ยังไม่ย่อยสลาย) โดยการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 ซม. แล้วผึ่งดินให้แห้งในเรือนทดลอง ก่อนที่จะบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มม. เพื่อวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินดังแสดงใน Table 1 พบว่าดินทุกตัวอย่างเป็นดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด มี pH(1:1 ดิน : น้ำ) ในช่วงจาก 4.42 (ดินชุดร้อยเอ็ดจากศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี) ถึง 6.12 (ดินจากสถานีทดลองข้าวพิมาย) ซึ่งชี้ให้เห็นเด่นชัดว่าดินส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด ในทำนองเดียวกันดินทุกตัวอย่างมีอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ (Postassium dichromate method) มีค่า Extractable P (Bray II method) อยู่ในช่วงจากต่ำ (ดินชุดร้อยเอ็ดจากสถานีทดลองข้าวชุมแพและอุดรธานี) ถึงระดับกลาง (ดินชุดอุบลจากศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี) ทั้งดินชุดร้อยเอ็ดและอุบล มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ และยังมีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบต่ำด้วย สำหรับค่า Exchangeable K ของดินมีค่าในช่วงจากต่ำ (ดินชุดร้อยเอ็ดจากสถานีทดลองข้าวสุรินทร์) ถึงระดับปานกลาง (ดินชุดร้อยเอ็ดจากศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี)

Table 1 Physical and chemical properties of soils collected from eight sites in Northeast Thailand. The first two soils were used in Experiment 1. The remaining soils were used in Experiment 2.

Soil Series	Site	PH (H_2O)	% OM	Extractable P (mg kg^{-1})	Exch.K (mg kg^{-1})	CEC (comle kg^{-1})	Texture (%)			Textural class
							Sand	Silt	Clay	
Roi et	URRC	4.42	0.57	27	50.0	1.85	61	31	8	Sandy loam
Ubon	URRC	4.68	0.97	74	25.0	1.53	77	18	5	loamy sand
Roi et	SKN	5.45	1.81	25	14.8	-*	84	12	4	loamy sand
Roi et	KKN	5.51	0.67	15	44.4	-*	74	14	12	Sandy loam
Roi et	CPA	5.40	0.36	10	44.4	-*	62	16	22	Clay loam
Roi et	UND	6.04	1.20	10	33.3	-*	68	18	14	Sandy loam
Roi et	SRN	4.87	0.97	15	18.5	-*	72	22	6	Sandy loam
Phimai	PMI	6.12	0.33	15	77.7	-*	58	14	28	Silty clay loam

* No data available

2. ธาตุอาหาร

มีการจัดการธาตุอาหารพืชทั้งหมด 15 กรรมวิธีในแต่ละการทดลอง ซึ่งจะรวมไปถึง 4 กรรมวิธี ที่กำหนดขึ้นโดยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อการให้ธาตุอาหารแบบครบทุกธาตุ ดังนี้ 1. ไม่ใส่ธาตุอาหาร (Nil) 2. ไม่ใส่ธาตุอาหาร + $Ca(OH)_2$ 3. ใส่ธาตุอาหารทุกชนิด (N+P+K+Mg+S+Fe+Mn+Cu+Zn+B+Mo) 4. ใส่ธาตุอาหารทุกชนิด + $Ca(OH)_2$ ส่วนแต่ละกรรมวิธีที่เหลือต่อไปนี้เป็นการประเมินการขาดธาตุอาหารเดี่ยวแต่ละชนิดคือ :- 5. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่ N (All-N) 6. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่ P(All-P) 7. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่ K(All-K) 8. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่Mg All-Mg) 9. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่ S (All-S) 10.กรรมวิธีที่4 ไม่ใส่ Fe (All-Fe) 11. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่ Mn(All-Mn) 12. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่ Cu (All-Cu) 13. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่ Zn (All-Zn) 14. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่B (All-B) และ 15. กรรมวิธีที่ 4 ไม่ใส่ Mo (All-Mo) สารเคมีและอัตราธาตุอาหารที่ใส่ในแต่ละกรรมวิธีแสดงใน Table 2

Table 2 Salt forms and nutrient rates used in the nutrient omission pot trials.

Nutrient	Salt	Nutrient rate (kg/ha)
N	Urea	100
P	$NaH_2PO_4.H_2O$	30
K	KCl	80
Mg	$MgCl_2.6H_2O$	30
S	$Na_2.SO_4$	25
Fe	$FeCl_2.4H_2O$	5
Mn	$MnCl_2.4H_2O$	5
Cu	$CuCl_2.2H_2O$	3
Zn	$ZnCl_2$	4
B	H_2BO_3	2
Mo	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	0.4

ผลกระทบของการขาดธาตุอาหาร ประเมินโดยการเปรียบเทียบผลของการทดลองแต่ละกรรมวิธีกับกรรมวิธีที่ 4 กรรมวิธีที่ 2 และ 4 เปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 1 และ 3 ตามลำดับ เพื่อทดสอบการปรับ pH ของดินให้ถึงระดับ 6.0 ด้วยปูนขาว [$Ca(OH)_2$]

3. การทดลองที่ 1

การทดลองการขาดธาตุอาหารพืชโดยปลูกข้าวในกระถาง ศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวในดิน 2 ชนิด คือ : ดินชุดร้อยเอ็ด และดินชุดอุบล จากศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี และการจัดการธาตุอาหาร 15 กรรมวิธี ร่วมกับการให้น้ำ 2 กรรมวิธี : คือให้น้ำแบบเพียงพอ และให้น้ำจำกัด ในกรรมวิธีให้น้ำแบบเพียงพอ ปรับและรักษาระดับน้ำให้อยู่เหนือผิวดิน 3 ซม. ตลอดช่วง 2 สัปดาห์หลังการปลูก ในกรรมวิธีให้น้ำแบบจำกัด ได้แก่การให้น้ำแก่ข้าวจนถึงระดับความชื้นภาคสนาม (Field capacity เป็นระดับความชื้นสูงสุดของดินเมื่อทุกส่วนของความชื้นที่ปรากฏในดินอยู่ภายใต้อำนาจดูดยึดของดิน ในการทดลองนี้จะให้น้ำทีละน้อยและสังเกตการซึมของน้ำที่ผิวหน้าดินที่เปียกแต่ไม่มีหรือมีน้ำปริมาณน้อยมากอยู่บนผิวหน้าดิน)เป็น เวลา 2 สัปดาห์หลังจากนั้นให้น้ำเพียงร้อยละ 70 (เป็นเวลา 4 วัน) และ 50 (เป็นเวลา

3 วัน) ของปริมาณน้ำที่พืชใช้ในกรรมวิธีที่ให้น้ำแบบเพียงพอในสัปดาห์ที่ 3 เป็นการจัดการให้พืชอยู่ในสภาพขาดน้ำระดับปานกลางและให้น้ำแก่ข้าวถึงระดับความชื้นในภาคสนามตลอดสัปดาห์ที่ 4และสัปดาห์ถัดไปก็ให้น้ำแบบขาดน้ำระดับปานกลางอีก จากนั้นในอีก 2 สัปดาห์ ให้ต้นข้าวอยู่ในสภาพมีน้ำอย่างเพียงพอ จนถึงการเก็บเกี่ยว วางแผนการทดลองแบบ 2x2x15 Factorial in RCB จำนวน 4 ซ้ำ มี 3 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 คือ ดิน 2.ชุด : ชุดร้อยเอ็ดและชุดอุบล

ปัจจัยที่ 2 คือ การให้น้ำ : ให้น้ำแบบเพียงพอและให้น้ำจำกัด

ปัจจัยที่ 3 การจัดการธาตุอาหาร 15 กรรมวิธี

4. การทดลองที่ 2

ศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินที่เก็บจาก 6 แหล่ง คือ สถานีทดลองข้าวสุรินทร์ (SRN), ขอนแก่น (KKN), ชุมแพ (CPA), พิมาย (PMI เป็นดินชุดพิมาย), สถานีทดลองข้าวไร่และธัญพืชเมืองหนาวอุดร (UDN เป็นดินชุดร้อยเอ็ด) และศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร (SKN) โดยใช้กรรมวิธีการใส่ธาตุอาหาร 15 กรรมวิธีเหมือนการทดลองที่ 1 ปลูกข้าวจนอายุ 7 สัปดาห์ในสภาพที่มีน้ำอย่างเพียงพอ กล่าวคือ 2 สัปดาห์แรกให้น้ำที่ระดับความชื้นภาคสนาม หลังจากนั้นให้น้ำและรักษาระดับ 3 ซม. เหนือผิวดินอย่างต่อเนื่อง วางแผนการทดลองแบบ 6x15 Factorial in RCB จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ ดินจาก 6 แหล่งทดลอง ปัจจัยที่ 2 คือ การจัดการธาตุอาหาร 15 กรรมวิธี

5. วิธีการทดลอง

ใช้กระถางทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15.5 ซม. รองด้านในกระถางด้วยถุงพลาสติก 2 ชั้น เพื่อป้องกันการซึมออกตามรอยรั่วของกระถาง เติมปูนขาว (Finely-ground analytical grade) ลงในดินแต่ละกระถางเพื่อปรับ pH ให้ถึงระดับ 6.0 โดยคลุกเคล้าให้เข้ากันดี (ยกเว้นกรรมวิธีที่ 1 และ 3 ซึ่งไม่มีการใส่ปูนขาว) หลังจากนั้นใส่ธาตุอาหารในรูปสารละลายลงในแต่ละกระถางตามกรรมวิธีที่กำหนด ยกเว้นธาตุไนโตรเจน (ยูเรีย) จะใส่เมื่อกระถางทดลองอยู่ในระยะที่มีการใส่น้ำที่ระดับเหนือผิวดิน 3 ซม. แล้ว เพื่อเป็นการลดการสูญเสียไปในที่สุดโดยขบวนการ denitrification

เลือกเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ กข.6 ที่มีขนาดใกล้เคียงกันและมีความสมบูรณ์ดี ปลูกที่ระดับ 1 ซม.จากผิวดิน และให้น้ำให้เพียงพอที่ประมาณว่าดินจะมีความชื้นถึงระดับความชื้นภาคสนาม รักษาระดับความชื้นระดับนี้ไว้ 2 สภาพดังได้กล่าวแล้ว สำหรับการทดลองที่ 1 และให้น้ำตลอดฤดูปลูก 3 ซม. เหนือผิวดิน ในการทดลองที่ 2

ในการทดลองที่ 1 วัดพื้นที่ใบข้าวโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ วัดในช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว สำหรับการทดลองที่ 2 วัดพื้นที่ใบในสัปดาห์ที่ 4 และ 6 หลังเริ่มการทดลอง และวัดความสูงของข้าว 3 ครั้ง อนึ่งในแต่ละการทดลองได้ทำการบันทึกความสูงของต้นข้าว และน้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือผิวดินของต้นข้าว ผลการทดลองทั้งหมดนำเสนอโดยใช้ผลการบันทึกจากต้นข้าวทั้งหมดในกระถาง (3 ต้น)

ผลการทดลอง

จากผลของทั้งสองการทดลองพบว่า ข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ที่ไม่มีการใส่ธาตุอาหารใด ๆ มีการเจริญเติบโตผิดปกติ ทั้งความสูงขนาดลำต้น ใบ ในทางตรงข้ามการเจริญเติบโตดีขึ้นอย่างเด่นชัด ในกรรมวิธีที่ 3 ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มีการใส่ธาตุอาหารครบทุกชนิด สำหรับการใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH ของดินจนถึงระดับ 6.0 ไม่พบว่ามีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว กล่าวคือ การเจริญเติบโตในกรรมวิธีที่ 2 และ 4 ไม่ดีกว่า ในกรรมวิธีที่ 1 และ 3 ตามลำดับ แต่เนื่องจากทุกกรรมวิธีของการใส่ธาตุอาหาร ได้มีการใส่ปูนขาว ดังนั้นจึงต้องใช้ผลของกรรมวิธี 2 และ 4 เป็นตัวเปรียบเทียบในการประเมินผลของการขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดต่อการเจริญเติบโตของข้าวดังกล่าว

1. การทดลองที่ 1

พบว่าธาตุอาหารพืช ระดับน้ำ และชนิดของดินมีปฏิกิริยาต่อกัน อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีผลต่อการสร้างพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโดยพบว่าการขาด N P K หรือ S จะเกิดผลเสียอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตโดยรวม แต่ผลกระทบดังกล่าวแตกต่างกันเมื่ออยู่ในสภาพดินและระดับน้ำที่ต่างกัน (Table 3)

ในดินชุดร้อยเอ็ดเมื่อมีน้ำเพียงพอ และไม่ใส่ N และ

P มีผลต่อการลดพื้นที่ใบของข้าวอย่างเด่นชัด ซึ่งพื้นที่ใบในกรรมวิธีนี้มีเพียงร้อยละ 11 และ 5 ของพื้นที่ใบในกรรมวิธีที่ 4 (ใส่ธาตุอาหารครบ) เท่านั้น ผลกระทบของการขาดธาตุ N และ P ในลักษณะนี้ก็พบในกรรมวิธีที่มีน้ำจำกัดเช่นกัน ผลกระทบของการขาด K และ S ต่อพื้นที่ใบมีเล็กน้อยในสภาพที่มีน้ำเพียงพอ แต่การขาด S เป็นสาเหตุใหญ่ที่ลดพื้นที่ใบในสภาพที่มีน้ำจำกัด ผลของการขาดธาตุอาหารพืชต่อน้ำหนักแห้งของข้าวมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับพื้นที่ใบ แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วมีผลมากกว่า (Figure 1b) การขาด N หรือ P ทำให้มีน้ำหนักแห้งต้นข้าวใกล้เคียงกับกรรมวิธีไม่ใส่ธาตุอาหารในทั้งสองสภาพการให้น้ำ เช่นกัน การขาด S ไม่มีผลใด ๆ ในสภาพที่มีน้ำขัง แต่น้ำหนักแห้งลดลงเหลือเพียงร้อยละ 13 ของน้ำหนักแห้งในกรรมวิธีที่ 4 ในสภาพที่มีน้ำจำกัด

เมื่อมีการใส่ธาตุอาหารครบทุกชนิด (กรรมวิธีที่ 4) พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่ปลูกในดินชุดร้อยเอ็ดและอุบลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Figure 1) อย่างไรก็ตามการขาดธาตุอาหารในดินชุดอุบลมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตน้อยกว่า ในดินชุดนี้ภายใต้สภาพที่มีน้ำเพียงพอ การขาดธาตุ N มีผลกระทบมากกว่าการขาดธาตุ P ในทางตรงกันข้ามในสภาพที่มีน้ำจำกัดการขาด P จะส่งผลกระทบมากกว่า เมื่อขาด K หรือ S ในสภาพที่มีน้ำขัง มีผลลดพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งเล็กน้อย แต่จะส่งผลกระทบอย่างมากในสภาพที่มีน้ำจำกัด

Table 3 Effects of nutrient managements, water regime and soil type on leaf area and dry matter of rice (6 weeks after sowing)

Nutrient management	Leaf area (cm^2/pot)			Dry matter (g/pot)		
	Soil series			Soil series		
	Roi-et	Ubon	Diff	Roi-et	Ubon	Diff
Well water						
Control	24.7 c	98.9 d	-74.2 ns	0.97 d	2.46 f	-1.49 ns
Control + $Ca(OH)_2$	27.0 c	112.9 d	-85.2 ns	0.95 d	2.85 ef	-1.90 ns
All	444.1 a	492.5 a	-48.5 ns	15.62 a	18.52 a	-2.90**
All + $Ca(OH)_2$	455.6 a	425.6 abc	30.0 ns	17.23 a	16.06 bc	1.16ns
All + $Ca(OH)_2$-N	48.7 c	121.4 d	-72.8 ns	0.87 d	3.72 ef	-2.85**
All + $Ca(OH)_2$-P	22.1 c	187.3 d	-165.2**	0.89 d	4.87 e	-3.99**
All + $Ca(OH)_2$-K	326.4 b	357.2 c	-30.8 ns	8.86 c	13.32 d	-4.47**
All + $Ca(OH)_2$-Mg	405.0 ab	498.1 a	-93.1 ns	12.78 b	15.91 bc	-3.13**
All + $Ca(OH)_2$-S	369.8 ab	363.2 c	6.6 ns	10.77 bc	12.57 d	-1.80 ns
All + $Ca(OH)_2$-Fe	428.1 ab	465.9 abc	-37.8 ns	16.38 a	16.93 ab	-0.55 ns
All + $Ca(OH)_2$-Mn	452.6 a	417.4 abc	35.2 ns	17.23 a	15.85 bc	1.38 ns
All + $Ca(OH)_2$-Cu	446.7 a	452.4 abc	-5.6 ns	17.24 a	14.07 cd	3.18 **
All + $Ca(OH)_2$-Zn	452.2 a	372.9 bc	79.3 ns	16.21 a	15.79 bc	0.42 ns
All + $Ca(OH)_2$-B	417.8 ab	475.4 ab	-57.6 ns	17.38 a	16.22 bc	1.16 ns
All + $Ca(OH)_2$-Mo	421.2 ab	465.6 abc	-44.4 ns	15.16 a	18.14 ab	-2.98**
Limited water						
Control	34.3 b	95.6 b	-61.4 ns	0.81 c	2.11 b	-1.31 ns
Control + $Ca(OH)_2$	24.9 b	85.5 b	-60.6 ns	0.71 c	1.80 b	-1.09 ns
All	269.4 a	261.6 a	7.8 ns	5.93 ab	8.65 a	-2.72*
All + $Ca(OH)_2$	332.0 a	242.0 a	90.1 ns	6.89 ab	6.68 a	0.21 ns
All + $Ca(OH)_2$-N	53.1 b	130.8 b	-77.7 ns	0.73 c	3.74 b	-3.01**
All + $Ca(OH)_2$-P	22.0 b	81.1 b	-59.1 ns	0.85 c	1.85 b	-1.00 ns
All + $Ca(OH)_2$-K	228.8 a	283.4 a	-54.6 ns	4.85 b	6.60 a	-1.75 ns
All + $Ca(OH)_2$-Mg	270.4 a	270.8 a	- 0.4 ns	7.47 a	7.36 a	0.11 ns
All + $Ca(OH)_2$-S	33.5 b	277.2 b	-243.7 **	0.88 c	6.27 a	-5.39**
All + $Ca(OH)_2$-Fe	282.7 a	293.3 a	-10.6 ns	6.95 ab	6.80 a	0.15 ns
All + $Ca(OH)_2$-Mn	252.0 a	319.5 a	-67.5 ns	6.46 ab	7.59 a	-1.13 ns
All + $Ca(OH)_2$-Cu	279.2 a	305.8 a	-26.6 ns	7.15 ab	7.44 a	-0.29 ns
All + $Ca(OH)_2$-Zn	263.1 a	285.3 a	-22.3 ns	7.05 ab	7.33 a	-0.28 ns
All + $Ca(OH)_2$-B	319.0 a	240.0 a	79.0 ns	7.10 ab	7.86 a	-0.76 ns
All + $Ca(OH)_2$-Mo	299.6 a	236.4 a	63.2 ns	6.77 ab	6.32 a	0.46 ns
CV(%)	24.9			17.4		

In a column, mean followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

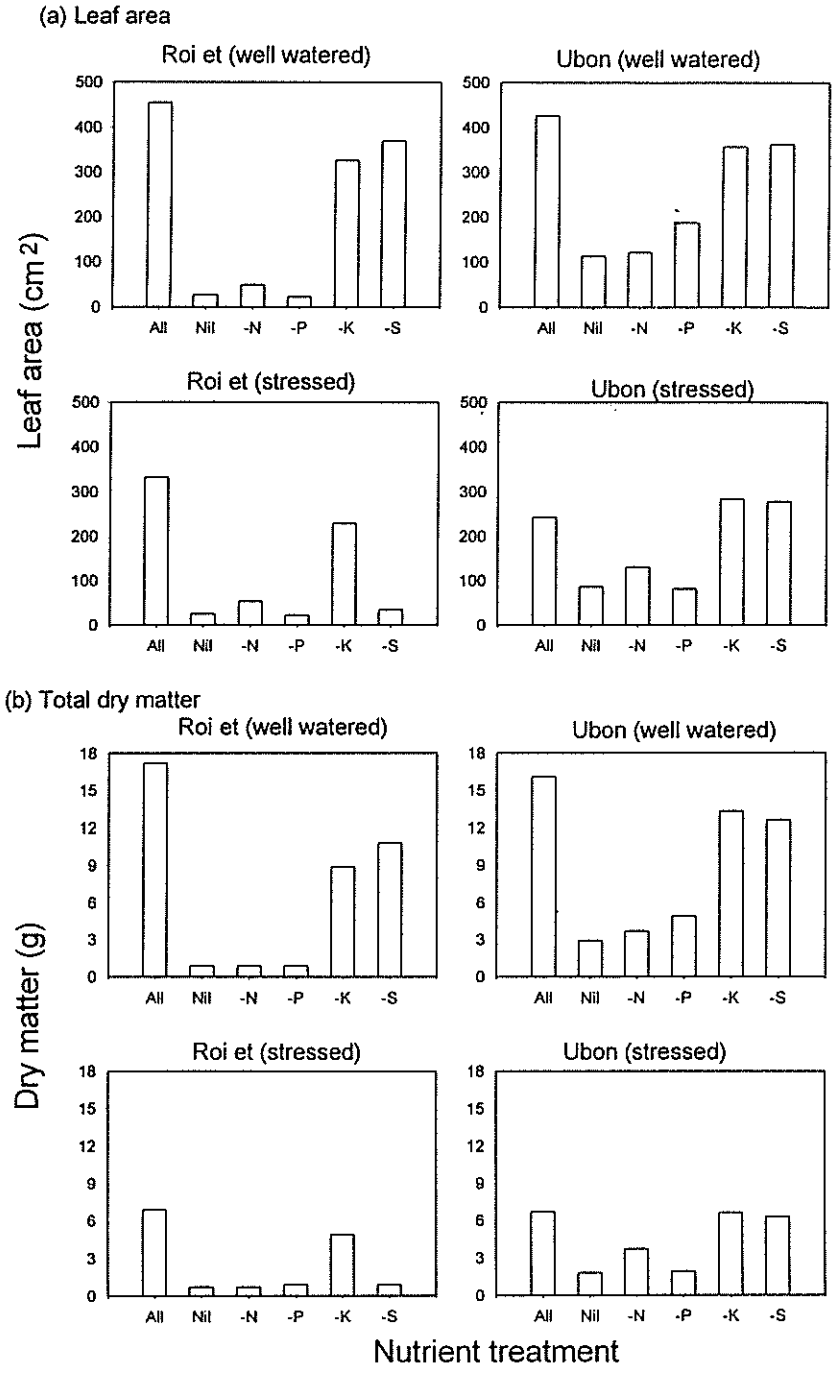

Figure 1. Response of rice seedlings (as measured by leaf area and total dry matter) to the omission of all nutrients (Nil), nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur. Rice seedlings were harvested after 6 weeks in two soils under well watered and water stress conditions (Experiment 1).

Figure 1.

2. การทดลองที่ 2

ผลจากการทดลอง และข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมด พบว่า ชนิดดิน ธาตุอาหาร มีปฏิกิริยาต่อกัน (interaction) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งทำให้การเจริญเติบโตของข้าวแตกต่างกัน ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ธาตุอาหารครบทุกชนิด (กรรมวิธีที่ 4) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 2 ซึ่งไม่มีการใส่ธาตุอาหารใด ๆ หรือแม้แต่ในการใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH ถึง 6.0 (Figure 2) อย่างเด่นชัด พื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เป็น 2-8 เท่า เมื่อใส่ธาตุอาหารครบทุกชนิด การขาด N มีผลกระทบในทางลบต่อต้นข้าวคล้ายกับการขาดธาตุอาหารอื่น ๆ ในดินทุกชนิด อย่างไรก็ตามพบว่าการขาด P จะลดการแสดงออกของข้าวเพียงในดินจาก PMI KKN CPA และ UDN ในขณะที่มีผลเล็กน้อย และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับดินจาก SRN และ SKN ในดินจาก UDN น้ำหนักแห้งของข้าวจากกรรมวิธีที่ไม่ใส่ P ใกล้เคียงกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ธาตุอาหาร สำหรับดินจาก PMI การขาดธาตุสังกะสีและโบรอน น้ำหนักแห้งลดลงถึงประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักในกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4a และ 4b)

Table 4a Effect of nutrient managements and soil types on leaf area of rice (7 weeks after sowing)

Nutrient	SOILS					
	SRN	PMI	KKN	CPA	SKN	UDN
Control	116 c	103 d	199 b	159 e	130 d	185 c
Control + $Ca(OH)_2$	153 c	119 d	165 b	121 e	307 c	167 c
All	470 ab	670 ab	459 a	475 bcd	498 ab	647 ab
All + $Ca(OH)_2$	545 ab	649 ab	540 a	642 abc	509 ab	571 ab
All + $Ca(OH)_2$-N	147 c	115 d	180 b	231 e	125 d	198 c
All + $Ca(OH)_2$-P	415 b	388 d	484 a	421 d	446 abc	113 c
All + $Ca(OH)_2$-K	563 ab	607 ab	635 a	532 a-d	431 abc	650 ab
All + $Ca(OH)_2$-Mg	444 b	606 ab	568 a	456 cd	516 ab	662 ab
All + $Ca(OH)_2$-S	658 a	563 ab	531 a	594 a-d	584 a	634 ab
All + $Ca(OH)_2$-Fe	511 ab	747 a	524 a	545 a-d	465 abc	612 ab
All + $Ca(OH)_2$-Mn	482 ab	651 ab	480 a	603 a-d	500 ab	713 a
All + $Ca(OH)_2$-Cu	516 ab	638 ab	497 a	693 a	427 abc	506 b
All + $Ca(OH)_2$-Zn	505 ab	533 bc	516 a	629 abc	447 abc	650 ab
All + $Ca(OH)_2$-B	545 ab	626 ab	571 a	666 a	427 abc	669 ab
All + $Ca(OH)_2$-Mo	557 ab	494 bc	524 a	646 ab	371 bc	520 b
CV(%)	24.6					

In a column, mean followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 4b Effect of nutrient managements and soil types on dry matter of rice (7 weeks after sowing)

Nutrient	SOILS					
	SRN	PMI	KKN	CPA	SKN	UDN
Control	1.20 d	1.13 d	2.10 c	1.68 d	1.55 c	1.80 c
Control + $Ca(OH)_2$	1.45 d	1.38 d	2.10 c	1.13 d	1.40 c	1.78 c
All	8.43 ab	11.00 ab	8.70 a	8.73 bc	7.73 a	10.38 a
All + $Ca(OH)_2$	7.73 abc	11.13 a	8.18 a	9.07 bc	6.00 ab	7.33 a
All + $Ca(OH)_2$-N	1.95 d	1.30 d	2.28 c	3.13 d	1.60 c	2.55 c
All + $Ca(OH)_2$-P	5.65 c	4.23 c	5.73 b	3.30 d	4.43 b	1.0 c
All + $Ca(OH)_2$-K	5.93 bc	8.82 ab	10.50 a	8.90 bc	5.60 ab	7.48 b
All + $Ca(OH)_2$-Mg	8.67 a	10.98 ab	9.88 a	9.30 abc	6.85 ab	7.80 ab
All + $Ca(OH)_2$-S	9.28 a	9.05 ab	8.65 a	8.88 bc	7.85 a	7.40 b
All + $Ca(OH)_2$-Fe	9.20 a	9.20 ab	9.20 a	10.10 abc	5.83 ab	8.63 ab
All + $Ca(OH)_2$-Mn	8.00 abc	8.85 ab	8.60 a	9.07 bc	7.50 a	8.82 ab
All + $Ca(OH)_2$-Cu	8.50 ab	9.00 ab	9.35 a	11.15 ab	8.23 a	7.10 b
All + $Ca(OH)_2$-Zn	9.28 a	8.35 b	8.70 a	11.73 a	6.68 ab	7.73 ab
All + $Ca(OH)_2$-B	8.95 a	8.30 b	10.40 a	8.20 c	6.30 ab	8.38 ab
All + $Ca(OH)_2$-Mo	8.80 a	8.75 ab	9.80 a	9.52 abc	5.92 ab	8.20 ab
CV(%)	24.2					

In a column, mean followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

ในระยะ 3 สัปดาห์หลังปลูก ผลกระทบโดยรวมของการขาด N P และทุกธาตุ (Nil) พิจารณาจากที่ปลูกในดิน 6 แหล่ง พบว่า ความสูงของต้นข้าวได้รับผลกระทบมาจากการขาด P แต่หลังจากนั้น N จะเป็นธาตุที่มีผลกระทบมากที่สุด (Table 5) ในทำนองเดียวกันพบว่ามีผลกระทบของการขาดธาตุอาหารดังกล่าวต่อพื้นที่ในลักษณะเดียวกัน จากผลการทดลองในกรรมวิธีไม่ใส่ธาตุอาหารชี้ให้เห็นว่าการขาด P อย่างเดียวในระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโตและการขาด N อย่างเดียวในระยะต่อมาลดการเจริญเติบโตของพืชในลักษณะเดียวกันกับ กรรมวิธีที่ไม่ใส่ธาตุอาหารที่ระยะ 6 สัปดาห์หลังปลูก เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีใส่ธาตุอาหารครบทุกชนิด พบว่าการขาดธาตุอาหารใช่วงนี้มีผลต่อความสูงของต้นข้าวมากกว่าพื้นที่ใบ

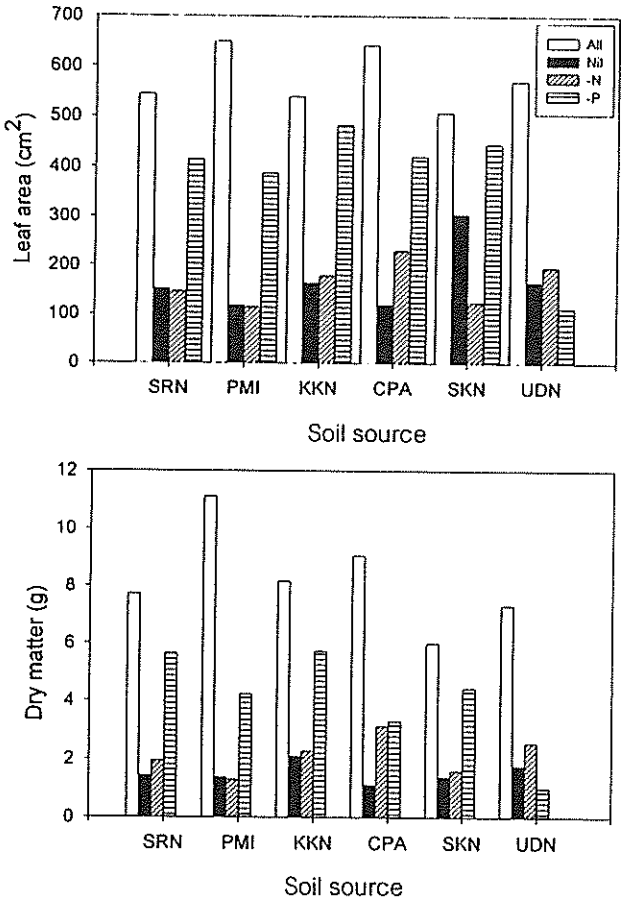

Figure 2 Figure 2 Response of rice seedlings (as measured by leaf area and total dry matter) To the omission of all nutrients(Nil), and of nitrogen(-N), phosphorus(-P), Rice seedling were harvested after 7 weeks on six soils from Surin(SRN), Phimai(PMI), Khon kaen(KKN), Chum Phae(CPA), Sakon Nakhon(SKN) and Udorn Thani(UDN)

Table 5. The effects of four nutrient treatments on plant height and leaf area of rice grown with standing water in experiment 2. (Data are the averages for the six soils which had been limed to pH 6.0.) das : days after sowing. Precentages relative to the all treatments are shown in brackets.

Treatment	Plant height (cm)			Leaf area (cm^2)	
	24 das	Soil source	38 das	28 das	50 das
Control	30.5 (84)	33.2 (72)	36.7 (62)	70 (33)	172 (30)
All	36.3 (100)	46.1 (100)	58.9 (100)	215 (100)	576 (100)
All-N	32.8 (90)	35.0 (76)	37.1 (63)	95 (44)	166 (29)
All-P	29.7 (82)	35.2 (76)	48.2 (82)	78 (37)	378 (66)
LSD(P=0.05)	4.5	6.5	8.6	79	226

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ธาตุอาหารที่มีส่วนจำกัดการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินชุดร้อยเอ็ด อุบล และพิมายมากที่สุด คือ ไนโตรเจน และรองลงมาคือ ฟอสฟอรัส ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการขาดธาตุอาหารอื่น ๆ โดยทั่วไปมีผลน้อยมากเมื่ออยู่ในสภาพที่มีน้ำอย่างเพียงพอ การเจริญเติบโตของข้าวในกรรมวิธีที่ขาดไนโตรเจนมีผลรุนแรงเกือบเท่ากับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ธาตุอาหารใด ๆ เลย แสดงให้เห็นถึงความสำคัญอย่างยิ่งของธาตุอาหารไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากการทดลองที่ดำเนินการในแปลงในเขตอาศัยน้ำฝนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมักแสดงให้เห็นเสมอถึงการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน เมื่อมีการใส่ธาตุอาหารอื่น ๆ ด้วย (Ragland and Bunpuckdee, 1987; Khonthasuvon et al., 1999) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตข้าวที่ได้มักแปรผันไปตามสถานที่ปลูกและมักตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนน้อยในการทดลองที่ได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำ (Ragland and Bunpuckdee, 1987)

ผลการทดลองการขาดธาตุอาหารนี้สามารถยืนยันผลการทดลองข้างต้นได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งการตอบสนองของข้าวต่อการขาดธาตุอาหารดังเช่น ในการทดลองที่ 1 ข้าวที่ปลูกในดินชุดร้อยเอ็ดตอบสนองต่อการขาดธาตุอาหารมากกว่าดินอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะ ดินชุดร้อยเอ็ดนี้มีอินทรียวัตถุ และ Extractable P ต่ำ ถึงแม้ดินนี้จะมี Exchangeable K สูงก็ตาม ในทำนองเดียวกันในการทดลองที่ 2 การตอบสนองต่อการขาดธาตุ P ต่ำในดินจาก SKN ซึ่งเป็นดินที่มีค่า Extractable P สูงเมื่อเทียบกับดินจากที่อื่น การตอบสนองสูงสุดพบในดินที่นำมาจาก UDN ซึ่งมีค่า Extractable P ต่ำที่สุด

การตอบสนองต่อการขาดธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะ P แตกต่างกันภายใต้สภาพน้ำที่แตกต่างกัน ในดินชุดอุบล ผลของการขาดธาตุ p ในสภาพที่ขาดน้ำมีความรุนแรงกว่าที่เป็นเช่นนี้จะเป็นเพราะในสภาพที่พื้นที่นาแห้ง ธาตุอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง P จะไม่อยู่ในสภาพที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Ragland et al., 1987)

ผลการวัดพื้นที่ใบของข้าวที่ตอบสนองต่อการขาดธาตุ P ในการทดลองที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการตอบสนองของพืชต่อธาตุอาหารในระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโตมีความรุนแรงมากกว่า และผลดังกล่าวก็พบในลักษณะเดียวกันในการทดลองที่ 1 ซึ่งการตอบสนองที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาอาจสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของราก ธาตุอาหาร P ในดินอาจอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เมื่อมีการพัฒนาระบบรากเพิ่มขึ้น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการที่ข้าวได้รับผลกระทบอย่างเด่นชัดในระยะกล้า โดยเฉพาะสำหรับธาตุ P ทั้งนี้อาจกล่าวมิได้ว่า ผลผลิตของข้าวลดลงเพราะการขาด p เท่านั้น เช่นเดียวกัน Ragland and Bunpuckdee (1987) รายงานว่า ผลผลิตข้าวมีการตอบสนองน้อยมากต่อการใส่ธาตุ N ในดินชุดร้อยเอ็ดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ในขณะที่การทดลองในเรือนทดลองครั้งนี้ พบว่าน้ำหนักแห้งของกล้าข้าวที่ทดสอบในกรรมวิธีที่ธาตุอาหาร N มีเพียงร้อยละ 10 20 ของของน้ำหนักแห้ง กรรมวิธีที่ใส่ธาตุอาหารครบทุกชนิด จึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้ข้าวในระยะกล้า (อายุ 6-7 สัปดาห์) ในการทดลองการขาดธาตุอาหารพืชและดำเนินการทดลองในเรือนทดลองจะให้ผลที่น่าเชื่อถือได้ แต่การศึกษาถึงผลกระทบของการขาดธาตุอาหารต่อผลผลิตน่าที่จะดำเนินการทดสอบในแปลงนา จึงจะได้ข้อมูลชัดเจนและถูกต้องกว่า

เอกสารอ้างอิง

Dudal, R. 1980. Soil-related constraints to agricultural development in the tropics. Pages 23-40. In: Soil-Related Constraints to Food Pro-duction in the Tropics. International Rice Research Institute and New York State College of Agriculture and Life Science. Cornell University.

Jearakongman. S; S. Rajatasereekul; K. Naklang; P. Romyen; S. Fukai, E. Skulkhu; B. Jumpaket ad K. Nathbutr. 1995. Growth and grain yield contrasting rice cultivars grown

under different conditions of water availabi lity. Field Crops Res. 44: 139-150.

Keerati-Kasikorn, Permpoon. 1984. Soil in Northeast of Thailand. Production of Agriculture Printed Material Project. Faculty of Agriculture,Khon KaenUniversity.Financially supported by the Canadian Embassy, Thailand.

Khonthasuvon. S.; S. Rajatasereekul; P. Hanviriya pant; P. Romyen; S. Fukai and J. Basnayake. 1998. Effects of fertiliser application on grain yield of serveral rice cultivars. 1. Effects of fertilizer application and irrigation. Field crops Res. 59P 99-108.

Ragland, J. and L. Boonpuckdee. 1987. Fertilizer responses in Northeast Thailand 1. Literature review and rationale. Thai Journal of Soils and Fertility. 9: 65-79.

Ragland. J. L. Boonpuckdee and W. Kongpolprom. 1987. Fertilizer responses in Northeast Thailand. 2. Soil acidity phosphorus availability, and water. Thai Journal of Soils and Fertility. 9: 122-130.

Wonprasaid S.; S. Khunthasuvon; P. Sittisuang and S. Fukai. 1996. Performance of contrasing rice cultivars selected for rainfed lowland conditions in relation to soil fertility and water availability. Field Crop Res. 47: 267-275.