ผลของวิธีจัดการยูเรียที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ไนโตรเจนของข้าวนาสวน

Effect of Urea Management on N Use Efficiency of Lowland Transplanted Rice

สาคร ผ่องพันธ์ [1/] เจนวิทย์ สุขทองสา [2/]
Sakorn Phongpan Jenvith Sookthongsa

ABSTRACT

A field experiment was conducted during the dry season of 1996 at the Suphan Buri rice experiment station in Central Thailand to determine the effect of urea (9.6 kg N per rai) broadcast shortly after transplanting either just pior to irrigation or following irrigation on grain yield and N use efficiency of lowland rice grown on a Phimai soil (Vertic Tropaquept) in the presence or absence of compost amendment (400 kg dry weight per rai). The results showed that N_2+N_2O emission was first detected with six days after urea broadcasting into floodwater. The cumulative emission of N_2+N_2O for both urea and urea + compost treatments represented 2.4 and 2.7% of applied N at 14 days following urea addition. The fertilizer N contribution to the cumulative NH_3 volatilization at the end of 11 day sampling occurred 1.01 and 1.24 kg N per rai from the urea and urea + compost treatments which corresponded to 11 and 13% of applied N, respectively. Nitrogen-15 balance data at 56 days after urea application indicated that total fertilizer N recovered by plant (shoots + roots) and soil did not differ significantly between the urea and urea+compost treatments. Losses of N (unaccounted for) from the water - soil plant system were 25 and 27% of N applied for the corresponding treatments, respectively. Grain yield and N uptake in both grain and straw were significantly increased with urea over the control. Compost amendment did not change grain yield and N accumulation in rice. Urea broadcasting before or after irrigatioin did not show any grain yield and N uptake differences, regardless of source of urea and combination with compost.

Key words : urea, compost, ammonia volatilization, denitrification, nitrogen loss, ^{15}N balance, lowland transplanted rice

1/ กลุ่มงานวิจัยนิวเคลียร์เทคนิคการเกษตร กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Nuclear Research in Agriculture Group, Agricultural Chemistry Division, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900

2/ สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000
Suphan Buri Rice Experiment Station, Rice Research Institute, Department of Agriculture, Muang district, Suphan Buri province 72000

บทคัดย่อ

ได้ดำเนินการทดลองในผลของวิธีการปฏิบัติการใส่ยูเรีย (อัตรา 9.6 กก.ไนโตรเจน/ไร่) แบบหว่านภายหลังปักดำทั้งก่อนและหลังการให้น้ำท่วมขังในแปลงที่มีต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของข้าวนาสวนที่ปลูกในดินชุดพิมาย (Vertic Tropaquept) ภายใต้สภาพที่ไม่ใส่และใส่ปุ๋ยหมัก (อัตรา 400 กก.น้ำหนักแห้งต่อไร่) ฤดูนาปรังปี พ.ศ. 2539 ณ สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรีในภาคกลางของประเทศไทย ผลการทดลองพบว่าการปลดปล่อย N_2+N_2O สามารถวัดได้ภายหลังหว่านยูเรียไปในน้ำที่ท่วมขังแล้ว 6 วัน ปริมาณสะสม N_2+N_2O ที่เกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการวัดในวันที่ 14 ภายหลังการใส่ยูเรียสำหรับตำรับการทดลองใส่ยูเรียและยูเรีย + ปุ๋ยหมักเกิดขึ้น 2.4 และ 2.7% ของไนโตรเจนที่ใส่ปริมาณสะสมของแอมโมเนียที่ระเหยออกมาเมื่อสิ้นสุดการวัดในวันที่ 11 ภายหลังการใส่ยูเรียในตำรับที่ใส่ยูเรียและยูเรีย + ปุ๋ยหมัก เกิดขึ้น 1.01 และ 1.24 กก. ไนโตรเจนต่อไร่ หรือเท่ากับการสูญเสียแอมโมเนียเกิดขึ้น 11 และ 13% ของไนโตรเจนที่ใส่ในตำรับดังกล่าวตามลำดับ ข้อมูลความสมดุลไนโตรเจน -15 ที่ระยะ 56 วันภายหลังการใส่ยูเรียชี้ให้เห็นว่าปริมาณการตรวจพบไนโตรเจนรวมในส่วนของพืช(ต้น + ราก) และดินของตำรับที่ใส่ยูเรียให้ผลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากตำรับที่ใส่ยูเรีย + ปุ๋ยหมัก การสูญเสียไนโตรเจน(ปริมาณที่ขาดหายไป)จากระบบน้ำ-ดิน และพืชของตำรับการทดลองดังกล่าวเท่ากับ 25 และ 27 % ของไนโตรเจนที่ใส่ตามลำดับ ตำรับที่ใส่ยูเรียให้ผลผลิตเมล็ดและปริมาณการดูดกินไนโตรเจนทั้งในเมล็ดและฟางสูงกว่าตำรับที่ไม่ได้ใส่อะไรเลยอย่างมีนัยสำคัญ การใส่ปุ๋ยหมักไม่มีผลต่อผลผลิตเมล็ดและการดูดกินไนโตรเจนของข้าว การหว่านยูเรียก่อนหรือหลังการให้น้ำท่วมขังในแปลงให้ผลผลิตเมล็ดและปริมาณการดูดกินไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน โดยไม่คำนึงถึงชนิดของปุ๋ยยูเรียและการใส่ร่วมกับปุ๋ยหมัก

คำหลัก : ยูเรีย ปุ๋ยหมัก การระเหยของแอมโมเนีย ดิไนตริฟิเคชั่น การสูญเสียไนโตรเจน ความสมดุลไนโตรเจน -15 ข้าวนาสวน

คำนำ

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารพืชที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าว เนื่องจากดินนาบริเวณที่ลุ่ม ซึ่งใช้ปลูกข้าวมักจะขาดแคลนไนโตรเจน ที่เป็นประโยชน์และพอเพียงแก่ความต้องการของต้นข้าว จึงมีผลทำให้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีบทบาทที่สำคัญในการแก้ปัญหาดังกล่าว

ยูเรียเป็นแม่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เกษตรกรนิยมใช้อย่างกว้างขวาง และเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับนาข้าวในเอเชียเขตร้อน อย่างไรก็ตาม ยูเรียไม่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในดินนาข้าวโดยทั่วไปใช้ประโยชน์จากปุ๋ยยูเรียได้เพียงแค่ 20-40 % ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ลงไป (De Datta and Buresh , 1989) เนื่องจากเกิดการสูญเสียไนโตรเจน โดยกระบวนการต่างๆ ที่สำคัญในดินนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการระเหยของแอมโมเนีย (NH_3 volatilization) ทั้งนี้เพราะยูเรียเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสได้ง่ายและรวดเร็วโดยกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ซึ่งมีผลชักนำและส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน โดยการ

ระเหยของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะวิธีปฏิบัติการใส่ปุ๋ยยูเรียแบบหว่านลงในน้ำที่ท่วมขังดินภายหลังปักดำอันเป็นวิธีการที่เกษตรกรไทยนิยมปฏิบัติ

การจะเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยยูเรียในนาข้าว จึงควรพิจารณาลดการสูญเสียไนโตรเจนจากกระบวนการระเหยของแอมโมเนียให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยการเลือกปรับปรุงวิธีการปฏิบัติให้เหมาะสม กลยุทธ์จัดการยูเรียในนาข้าวเพื่อลดการสูญเสียแอมโมเนีย เช่น การใช้สารยับยั้งยูรีเอสสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของปุ๋ย ยูเรียในนาข้าวได้ดียิ่งขึ้น (Freney *et al* 1995 ; Phongpan *et al.*, 1995 ; Chaiwanakupt *et al.*, 1996) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแนวทางดังกล่าวประสบความสำเร็จ แต่การใส่สารยับยั้งยูรีเอสร่วมกับยูเรียไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐกิจ เนื่องจากมีราคาแพงและเป็นผลิตภัณฑ์ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ การปรับปรุงวิธีการใส่ปุ๋ยยูเรียควบคู่การให้น้ำในแปลง เป็นแนวทางที่เป็นไปได้ โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในแปลงนาก่อนการปล่อยน้ำเข้านา(preflood) ภายหลังการปลูกเพื่อให้น้ำที่ปล่อยเข้าเป็นตัวนำให้ยูเรียถูกเคลื่อนย้ายลงลึกใต้ผิวดิน วิธีการปฏิบัติดังกล่าวนี้อาจลดการสูญเสียไนโตรเจนจากการระเหยของแอมโมเนีย (Bouwmeester *et al.*, 1985) ในทางตรงกันข้ามการใส่ปุ๋ยยูเรียก่อนการให้น้ำอาจนำไปสู่การสูญเสียไนโตรเจน โดยกระบวนการ denitrification และในบางกรณีอาจส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน โดยการชะล้าง (leaching) ของยูเรีย โดยเฉพาะในดินที่มีเนื้อหยาบ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (C.E.C.) ต่ำ (De Datta and Buresh, 1989)

เนื่องจากขาดข้อมูลการทดลองภาคสนามว่า การใส่อินทรียวัตถุที่สลายตัวง่าย เช่น ปุ๋ยหมักมีผลกระทบอย่างไรต่อการสูญเสียไนโตรเจนจากยูเรีย ที่หว่านในนาข้าวภายหลังปลูก เนื่องจากการใส่อินทรียวัตถุช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสในดิน (Bremner and Mulvaney, 1978) ซึ่งควบคุมกระบวนการระเหยของแอมโมเนีย

วัตถุประสงค์ของการทดลองครั้งนี้ เพื่อประเมินการตอบสนองของข้าวนาสวนต่อยูเรีย (ผลผลิตเมล็ดและการดูดกินไนโตรเจน) เมื่อใส่แบบหว่านภายหลังปักดำที่สัมพันธ์กับการให้น้ำในแปลงนาภายใต้สภาพที่ไม่ใส่และใส่ปุ๋ยหมัก และทดสอบผลกระทบของการใส่ยูเรียแบบหว่านในน้ำที่ท่วมขังดินภายหลังปักดำไม่ว่าใส่เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับปุ๋ยหมักที่มี ต่อการสูญเสียแอมโมเนีย การปลดปล่อย N_2+N_2O และความสมดุลไนโตรเจน -15 ในระบบน้ำ-ดิน และพืช

อุปกรณ์และวิธีการ

ได้ดำเนินการทดลองภายใต้สภาพข้าวนาชลประทานในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2539 (มีนาคม - มิถุนายน) ณ ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี จ.สุพรรณบุรี (เส้นรุ้งที่ 14° 30' เหนือ เส้นแวงที่ 100° 0.5' ตะวันออก) ดินที่ทดลองมีวัตถุต้นกำเนิดดินเกิดจากตะกอนของน้ำจืด(fresh water alluvial soil) และจัดอยู่ในชุดดินพิมาย (Vertic Tropaquept) คุณสมบัติบางประการของดินดังกล่าวในระดับความลึก 0.20 ม. จาก ผิวดินมีดังนี้ คือ pH (1 : 1 ดิน : น้ำ) = 6.4, total N = 1.6 g kg^{-1}, organic C = 18 g C kg^{-1}, clay = 630 g kg^{-1}, sand =

180 g kg^{-1}, และ cation exchange capacity = 20 cmol kg^{-1}

ไถคราดเตรียมดินพื้นที่นาให้อยู่ในสภาพเป็นเทือก พร้อมทั้งปรับระดับพื้นที่ให้ราบเรียบสม่ำเสมอ เตรียมแปลงทดลองขนาด 4 x 4 ม. จำนวน 32 แปลง ให้มีคันดินสูง 0.2 ม. และกว้าง 0.4 ม. ขณะเดียวกันนำแผ่นพลาสติกสีดำมาฝังล้อมรอบด้านในของแปลงลึกประมาณ 0.03 ม. เพื่อป้องกันการซึมรั่วของน้ำออกจากแปลงทดลอง จัดการทดลองแบบ randomized complete block ทำ 4 ซ้ำ ตำรับการทดลองประกอบด้วย (1) ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์และไนโตรเจน (control) (2) ใส่ปุ๋ยหมักที่ทำจากฟางข้าวในอัตรา 400 กก. น้ำหนักแห้ง/ไร่ ซึ่งคิดเป็นปริมาณไนโตรเจน 4.7 กก./ไร่ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน = 21: 1 (3) ใส่ยูเรีย (46% N) ภายหลังการให้น้ำโดยหว่านในน้ำที่ท่วมขังดิน (0.03 ม.) หลังจากปักดำแล้ว 1 ชั่วโมงในอัตรา 9.6 กก.ไนโตรเจน/ไร่ (4) ใส่ยูเรียก่อนการให้น้ำโดยหว่านบนผิวดินที่ได้ปล่อยให้น้ำแห้งจนเหลือน้อยที่สุดแล้วไขน้ำท่วม (0.03 ม.) ทันทีหลังจากนั้น (5) เหมือนข้อ 4 แต่ใส่ยูเรียเม็ด (granular urea) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.6 มม. (6) เหมือนข้อ 2 และใส่ยูเรียเหมือนข้อ 3 (7) เหมือนข้อ 2 และใส่ยูเรียเหมือนข้อ 4 และ (8) เหมือนข้อ 2 และใส่ยูเรียเม็ดเหมือนข้อ 5

สำหรับปุ๋ยหมักใส่โดยหว่านให้ทั่วทั้งแปลงแล้วคราดกลบให้จมลึกใต้ผิวดิน (0.05ม.) ที่ระยะ 2 สัปดาห์ก่อนการปักดำ ใส่ปุ๋ยรองพื้นทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (46% P_2O_5) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (60% K_2O) ในอัตรา 3.8 กก.ฟอสฟอรัส/ไร่ และ 4.5 กก.โพแทสเซียมต่อไร่ ตามลำดับ โดยหว่านไปบนผิวดินแล้วคราดกลบ หลังจากนั้นปักดำด้วยต้นกล้าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 90 อายุประมาณ 3 สัปดาห์ จำนวน 3 ต้นต่อจับ โดยใช้ระยะปักดำ 20 x 20 ซม. ภายหลังปักดำเสร็จแล้วได้ปล่อยน้ำเข้าไปในแปลงทดลอง ให้อยู่ที่ระดับประมาณ 0.03 ม. จากผิวดินให้สอดคล้องกับกรรมวิธีการทดลองใส่ปุ๋ยยูเรียแบบต่าง ๆ หลังจากนั้น 2 วันต่อมาควบคุมรักษาระดับน้ำให้อยู่ประมาณ 0.05 ม. ตลอดช่วงการเก็บตัวอย่างน้ำในแปลงทดลอง ภายหลังสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างน้ำรักษาระดับความลึกของน้ำท่วมขังดินอยู่ประมาณ 0.05-0.10 ม. ภายในสภาพการให้น้ำอย่างต่อเนื่อง ตลอดช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นข้าวในฤดูปลูกยกเว้นตอนระยะ 2 สัปดาห์ก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อเมล็ดสุกได้ระบายน้ำออกจากแปลงทดลองทั้งหมด

การระเหยของแอมโมเนีย

ภายหลังการใส่ยูเรียทำการวัดอุณหภูมิและความลึกของระดับน้ำใน 4 แปลงทดลอง ได้แก่ ตำรับที่ 1 (ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์และไนโตรเจน) ตำรับที่ 2 (ใส่ปุ๋ยหมัก) ตำรับที่ 3 (ใส่ยูเรียธรรมดาโดยหว่านในน้ำที่ท่วมขังดิน) และตำรับที่ 6 (ใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับยูเรียธรรมดา) ของแต่ละซ้ำทุก ๆ 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08:00 น. ถึง 18:00 น. เป็นระยะเวลาติดต่อกันนาน 11 วัน ขณะเดียวกันเก็บตัวอย่างน้ำ 5 จุด ภายในแต่ละแปลงไปวัดค่า pH ทันทีด้วย glass electrode โดยให้แล้วเสร็จภายใน 1 ชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเดียวกันภายหลังการวัด pH เติม phenyl mercuric acetate (PMA) เพื่อยับยั้ง urease activity แล้ววัดหา ammoniacal -N ด้วย ammonia electrode และ millivoltmeter (Orion,1990) สำหรับตัวอย่างที่เก็บเมื่อเวลา 14:00 น. ของทุกวันแบ่งส่วนหนึ่งมาเติม PMA

ทันที หลังจากนั้นนำไปแช่ในตู้แช่แข็ง (-20°ซ) และทำการวิเคราะห์ภายหลังเพื่อหาปริมาณยูเรียตามวิธีการที่บรรยายโดย Mulvaney และ Bremner (1979)

วัดความเร็วลมที่พัดผ่านบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางของแปลงทดลองโดยรวมด้วย เครื่อง cup anemometer ที่ระดับ 0.8 ม. เหนือผิวน้ำ ในระหว่างเวลา 08:00-12:00 12:00:18:00 และ 18:00-08:00 น. ข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณหาปริมาณการสูญเสียแอมโมเนียในแต่ละแปลงทดลองโดยใช้วิธี Bulk aerodynamic ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ของข้อมูลความเร็วลม pH อุณหภูมิ และความเข้มข้นของ ammoniacal -N ในน้ำที่ท่วมขังดินของการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง (Freney *et al.*, 1985 ; De Datta *et al.*, 1989)

Flux of N_2 + N_2O

ภายในแปลงทดลองขนาด 4 x 4 ม. ของตำรับการทดลองที่ 1 และ 2 ของแต่ละซ้ำ ได้ฝังท่อ polyvinyl chloride (PVC) ขนาดความยาว 0.5 ม. และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.2 ม. ลงไปลึกใต้ดินที่ระดับ 0.25 ม. จากผิวดินก่อนปักดำ 1 วัน ภายหลังการปักดำต้นกล้าข้าวในท่อใส่ ^{15}N-labeled urea (60.2 atom% excess) ในรูปสารละลายอัตราที่เทียบเท่ากับ 9.6 กก.ไนโตรเจน/ไร่ โดยใส่ไปบนผิวระดับน้ำที่ท่วมขังดินประมาณ 0.03 ม. ภายในท่อแต่ละอันที่ระยะเวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 และ 14 วัน ภายหลังการใส่สารละลายไนโตรเจน-15 เก็บก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาจากภายในท่อโดยวางครอบท่อด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างก๊าซที่ทำด้วยพลาสติกใส ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ม.และความสูง 0.2 ม. เมื่อเวลา 9:30 น. แล้วปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งถึงเวลา 10.30 น. ของวันเดียวกัน ดูดตัวอย่างก๊าซภายในกระบอกด้วย monoject syringe ขนาด 60 มล. พร้อมเข็มและ stopcock ผ่านทาง septum แล้วถ่ายตัวอย่างก๊าซใส่หลอดเก็บก๊าซที่ดูดอากาศออก (evacuated vacutainer) พร้อมกับทาบริเวณผิวหน้า septum ด้วย silicone sealant เพื่อป้องกันการซึมรั่วของก๊าซจากภายในหลอดเก็บก๊าซ ในขณะทำการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ทำการบันทึกความสูงของปริมาตร ภายในกระบอกจากผิวน้ำในท่อถึงขอบด้านในบนสุดของท่อ (headspace height) และอุณหภูมิของน้ำที่ท่วมขังดิน ตัวอย่างก๊าซที่เก็บได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณ N_2 + N_2O โดยวิธี Isotope ratio mass spectrometry (Mosier *et al.*, 1986 ; Mosier *et al.*, 1990)

ความสมดุลไนโตรเจน 15

ภายในแปลงทดลองตำรับที่ 3 และ 6 ของทุกซ้ำ ฝังกรอบเหล็กกัลวาไนซ์ (galvanized steel) ขนาด 1.2 x 1.2 ม. สูง 0.30 ม. ให้ลึกลงไปในดิน 0.15 ม. เพื่อใช้เป็นบริเวณที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน-15 ในรูปยูเรีย (5.27 atom% excess) โดยใช้อัตราและวิธีการใส่เช่นเดียวกันกับที่ได้ปฏิบัติกับแปลงทดลอง เมื่อถึงระยะ 56 วัน ภายหลังการใส่ยูเรีย (ประมาณ 7 วันก่อนระยะข้าวเริ่มสร้างรวงอ่อน) ตัดส่วนของต้นข้าวที่อยู่เหนือดินในบริเวณเนื้อที่ 0.8 x 0.8 ม. (16 กอ) ของแต่ละ microplot หลังจากนั้นทำการตักน้ำออกจาก microplot มาใส่ไว้ในถังอย่างระมัดระวังจนเหลือน้อยที่สุดโดยไม่ให้กระทบกระเทือนต่อผิวดิน วัดปริมาณน้ำที่เก็บได้ทั้งหมด แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำบรรจุใส่ขวดพลาสติกขนาดบรรจุ 1 ลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและไอโซโทป เก็บตัวอย่างดินโดยใช้

กล่องเก็บตัวอย่างดินที่สามารถเปิดฝาด้านข้างออก ซึ่งทำโดยเหล็กกัลวา-ไนซ์ขนาดยาว 0.4 ม. กว้าง 0.13 ม. และสูง 0.5 ม. จำนวน 2 กล่อง นำมาตอกให้ลึกลงไปในดิน 0.3 ม. ที่บริเวณกอข้าว 4 กอ ตรงจุดศูนย์กลางของแปลง หลังจากนั้นนำกล่องเก็บตัวอย่างดินขึ้นมาจากแปลงแล้วทำการเปิดฝาด้านข้างออก และตัดชั้นดินตามระดับความลึกที่ 0-0.05, 0.05-0.10 และ 0.10-0.20 ม. ขณะเดียวกันแยกรากออกจากดินแล้วนำไปล้างน้ำกลั่นให้ปราศจากดิน นำตัวอย่างดินที่ตัดออกแต่ละชั้นความลึกมาชั่งน้ำหนัก แต่ละชั้นผสมคลุกเคล้าดินให้เข้ากันโดยทั่ว แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างดินส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของดินเปียก และอีกส่วนหนึ่งนำไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ก่อนนำไปบดให้ละเอียดผ่านตะแกรงร่องขนาด 0.2 ม.ม. สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและ atom % excess ^{15}N นำส่วนของต้นพืชไปอบที่อุณหภูมิ 65 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงตัวแล้วชั่งน้ำหนัก ก่อนนำส่วนของตัวอย่างดังกล่าวไปบดให้ละเอียด (0.15 ม.ม.) ส่วนหนึ่งของตัวอย่างน้ำ ดินและพืชถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและอัตราส่วนของไนโตรเจนไอโซโทป ($^{15}N/^{14}N$) โดยวิธี Automated combustion-isotope ratio mass spectrometry (Porter and Mosier, 1992)

ผลผลิตและการดูดกินไนโตรเจน

เก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดสุกเพื่อวัดผลผลิตในเนื้อที่ 2 x 3.2 ม. ของแต่ละแปลงทดลอง นำมานวด ฝัด ตากแดด อบ ลดความชื้น ชั่งน้ำหนักผลผลิตข้าวเปลือกและปรับค่าผลผลิตเมล็ดที่ระดับความชื้น 14% สุ่มเก็บตัวอย่างผลผลิตที่ระยะเก็บเกี่ยวแล้วแยกส่วนตัวอย่างออกเป็นเมล็ดและฟาง นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงตัว ชั่งน้ำหนักบดให้ละเอียด และวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนรวมทั้งหมดโดยวิธี Micro-Kjeldahl (Bremner, 1965)

ผลและวิจารณ์การทดลอง

อุณหภูมิของน้ำท่วมขังดินที่บริเวณผิว (0.01 ม.) แปรเปลี่ยนอยู่ในช่วงระหว่าง 24.5 ถึง 38.5°ซ โดยอุณหภูมิต่ำสุดเกิดขึ้นในตอนเช้าและสูงสุดในตอนบ่าย (Figure 1) และมีความแปรปรวนในแต่ละวันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นมีผลทำให้อัตราของยูเรียไฮโดรไลซีสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีผลกับการเพิ่มขึ้นของ pH และ ammoniacal-N ในน้ำ (Vlek and Craswell, 1981) ความเร็วลมที่พัดผ่านต้นพืชเหนือผิวน้ำ 0.8 ม. มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 4.1 ม. ต่อวินาที (Figure 2) การเพิ่มความเร็วลมช่วยให้อัตราการระเหยของแอมโมเนียจากนาข้าวเพิ่มสูงขึ้นโดยส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนย้ายอย่างรวดเร็วของก๊าซ NH_3 ระเหยไปจากผิวน้ำ (Vlek and Craswell, 1981)

ในตำรับที่ไม่ได้ใส่อะไรเลยพบว่า pH ของน้ำแสดงรูปแบบ diurnal cycling คือ pH เพิ่มสูงขึ้นในเวลาตอนบ่ายและลดตัวในตอนเช้าและเย็น (Figure 3) อันเป็นลักษณะเฉพาะอันหนึ่งของดินนา ซึ่งเกิดจากกิจกรรมการสังเคราะห์แสงและหายใจของสาหร่ายและพืชน้ำ ที่เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ (Mikkelsen *et al.*, 1978) ค่าสูงสุดของ pH ในแต่ละวันแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง 7.9 ถึง 8.6 ในขณะที่ pH ต่ำสุด

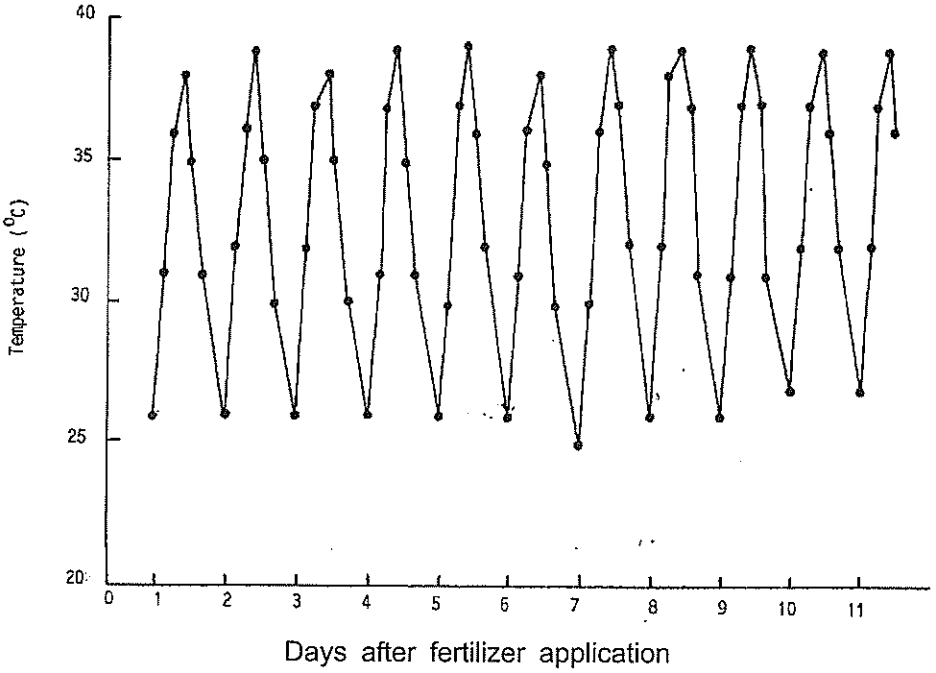

Figure 1. Average temperature of floodwater, 0.01 m below the surface measured every 2 hours from 08:00 - 18:00 hr in the plot areas

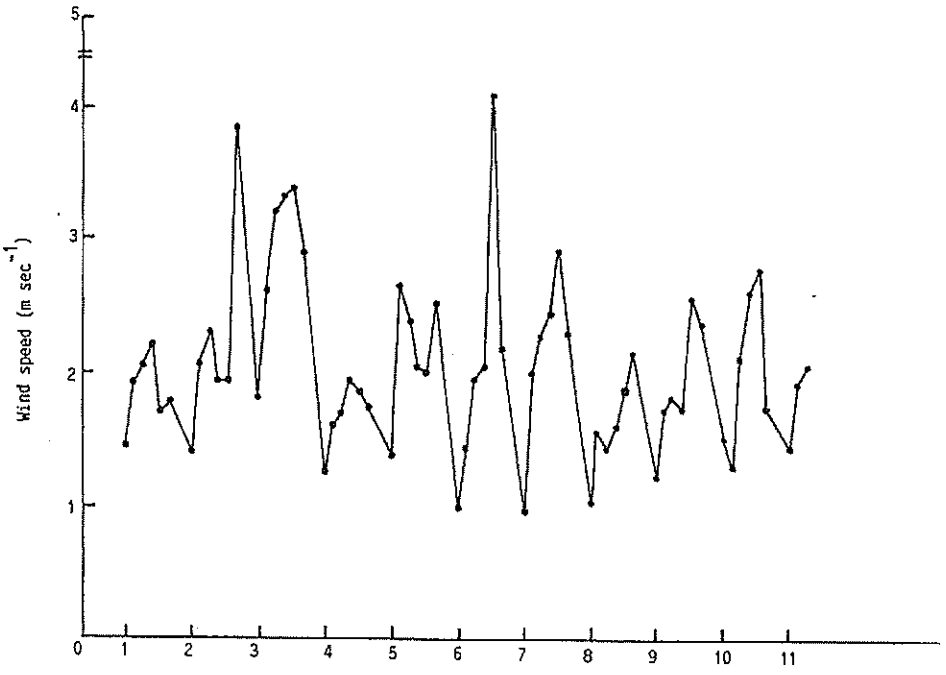

Figure 2. Wind speeds 0.8 m above the floodwater during 08:00 - 12:00, 12:00 - 18:00 and 18:00 - 08:00 hr of the experimental period

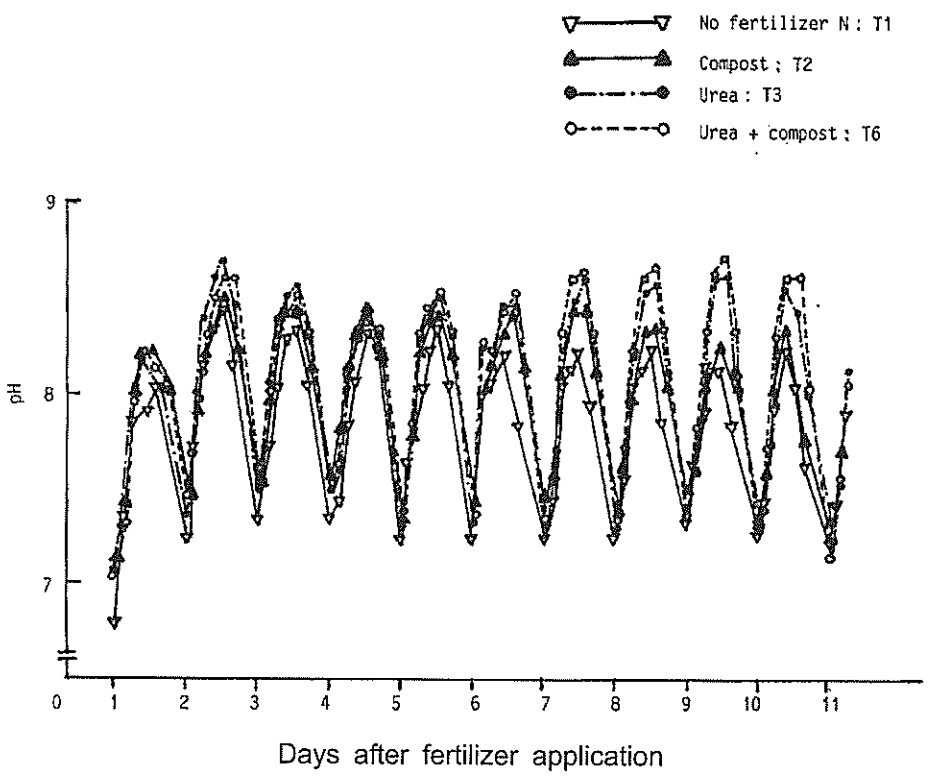

Figure 3. Floodwater pH measured every 2 hours from 08:00 to 18:00 hr in the plot areas as affected by urea and compost amendment

อยู่ระหว่าง 6.7 ถึง 7.3 การใส่ปุ๋ยหมักมีผลเล็กน้อยต่อการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในแต่ละวันตลอดช่วงระยะ 11 วัน ภายหลังการปักดำ อย่างไรก็ตามการใส่ยูเรียไม่ว่าเพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับปุ๋ยหมักสามารถช่วยเพิ่ม pH ของน้ำที่ขังท่วมดินประมาณ 1 หน่วย ในระยะ 5 วันแรกภายหลังการใส่ยูเรีย เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่ได้ใส่อะไรเลย ภายหลังวันที่ 5 ความแตกต่างของ pH เพิ่มขึ้นเป็น 2-3 หน่วย เนื่องจากการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาละลายในน้ำมากขึ้นภายหลังปฏิกริยาไฮโดรไลซีสของยูเรีย (Vlek and Craswell, 1981)

ปริมาณความเข้มข้นของยูเรียที่ไม่ได้ถูกไฮโดรไลซ์ในตำรับที่ใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียวลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งไม่สามารถวัดปริมาณได้ภายหลังการใส่ยูเรียแล้ว 9 วัน (Figure 4) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกิจกรรมเอนไซม์ยูรีเอสในดินที่ได้ทดลองมีปริมาณต่ำ รูปแบบของผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานการทดลองในนาข้าว ณ สถานีทดลองเดียวกันที่ผ่านมา (Phongpan and Byrnes, 1990, 1993 ; Phongpan *et al.*, 1995 ; Freney *et al.*, 1995 ; Chaiwanakupt *et al.*, 1996)

การใส่ยูเรียร่วมกับปุ๋ยหมักมีผลเพียงเล็กน้อย ต่ออัตราการไม่ปรากฏตัวของยูเรียในน้ำแม้ว่าปริมาณของยูเรียที่ใส่ลงไปคงเหลืออยู่ 6 gm^{-3} ในน้ำที่ท่วมขังดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 11) ปริมาณความเข้มข้นของยูเรียที่เหลืออยู่ในน้ำ ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นแอมโมเนียม

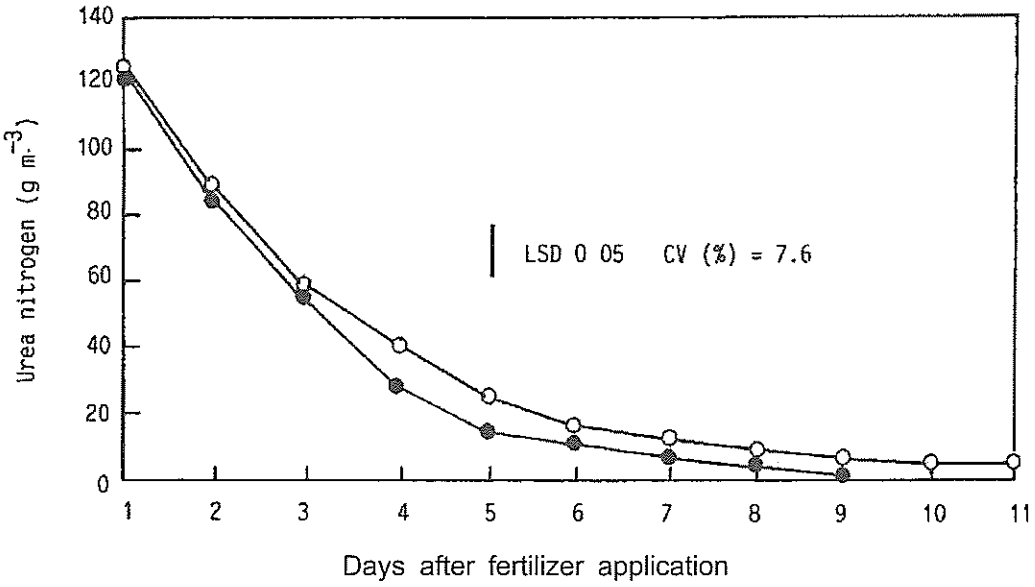

Figure 4. Urea concentrations in the floodwater as affected by treatments
(● T3 : urea ; o T6 : urea + compost)

ไนโตรเจนโดยกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอส โดยบางส่วนอาจถูกต้นข้าว วัชพืช และสาหร่ายดูดกินยูเรียโดยตรง รวมทั้งถูกจุลินทรีย์ดินนำไปใช้ (microbial immobilization) หรือเคลื่อนย้ายลงไปในชั้นดินโดย convection หรือ diffusion

ในตำรับที่ใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียวพบว่าปริมาณความเข้มข้นของ ammoniacal-N (NH_3 + NH_4 +) หรือ AN ในน้ำที่ท่วมขังดินอันเกิดจากปฏิกริยาไฮโดรไลซีสของยูเรียค่อยๆ เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในวันแรกแล้วสูงขึ้นอย่างรวดเร็วถึงจุดสูงสุดที่ 19.5 μmg m^{-3} ในวันที่ 3 ภายหลังการใส่ยูเรียก่อนลดปริมาณลงจนกระทั่ง เกือบไม่สามารถวัดปริมาณได้ในวันที่ 11 (Figure 5) ส่วนในตำรับที่ไม่ใส่ไนโตรเจนและตำรับที่ใส่ปุ๋ยคอกพบว่ามีปริมาณ AN ในน้ำที่ท่วมขังดินอยู่ต่ำจนไม่สามารถวัดได้ตลอดช่วงระยะเวลา 11 วัน ปริมาณความเข้มข้นของ AN ในตำรับที่ใส่ยูเรียร่วมกับปุ๋ยหมักอยู่ในระดับใกล้เคียงกับตำรับที่ใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียว ความแตกต่างของปริมาณ AN ระหว่างตำรับการทดลองดังกล่าวเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดช่วงระยะเวลาทดลอง

การสูญเสียแอมโมเนียในวันแรกภายหลังการใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียวเกิดขึ้นในปริมาณที่ต่ำ หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดในวันที่ 3 (226 g N rai^{-1}) และลดลงหลังจากนั้นไปจนกระทั่งวัดปริมาณได้น้อยมากในวันที่ 11 (Table 1) ในตำรับที่ใส่ยูเรียร่วมกับปุ๋ยหมักให้ปริมาณการสูญเสียแอมโมเนียสูงกว่าตำรับที่ใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียวในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นวันที่ 3 ภายหลังการใส่ยูเรียซึ่งการระเหยของแอมโมเนียเกิดขึ้นสูงสุด ปริมาณการสูญเสียแอมโมเนียในตำรับยูเรีย + ปุ๋ยหมัก (318 g N rai^{-1}) เกิดขึ้นมากกว่าตำรับที่ใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียว

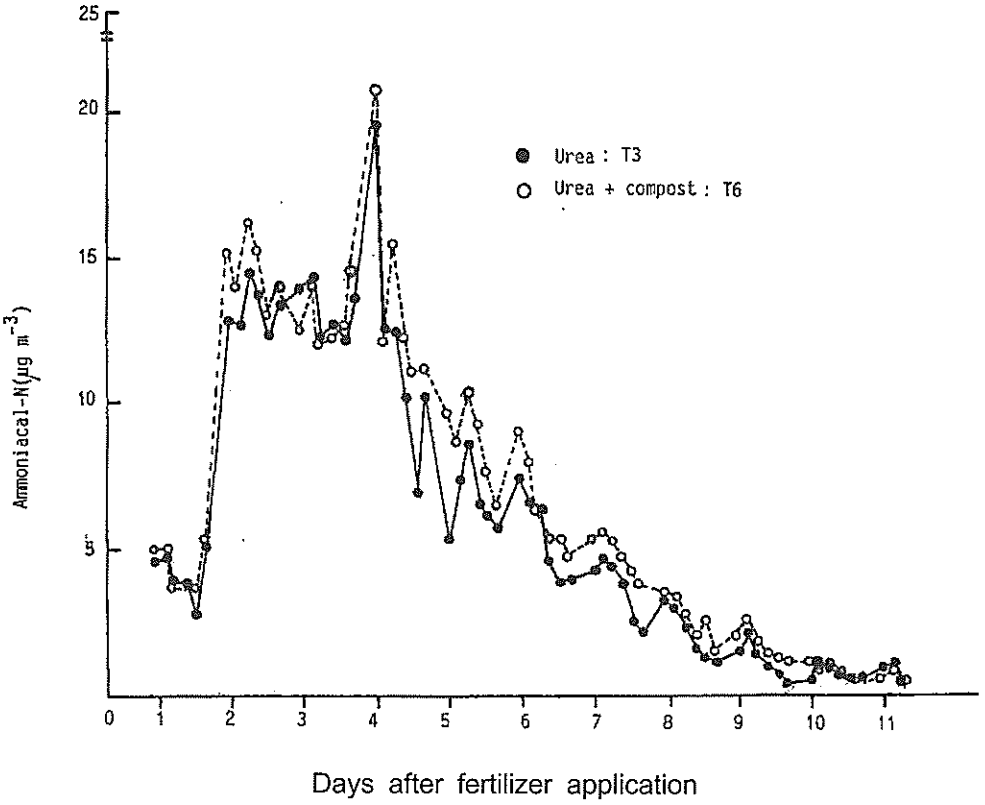

Figure 5. Ammoniacal nitrogen in floodwater at various time intervals as affected by urea and compost amendment

อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณสะสมของแอมโมเนียที่สูญเสียในช่วงระยะเวลา 11 วันภายหลังการใส่ยูเรียจากตำรับการทดลองใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียว และยูเรีย + ปุ๋ยหมัก เกิดขึ้น 1.01 และ 1.24 กก. ไนโตรเจนต่อไร่ ตามลำดับ หรือเท่ากับการสูญเสียแอมโมเนียเกิดขึ้น 11 และ 13% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การสูญเสียแอมโมเนียจากการทดลองครั้งนี้เกิดขึ้นในปริมาณที่ต่ำกว่ารายงานการสูญเสียแอมโมเนียที่วัดโดยวิธี Bulk aerodynamic ณ สถานีทดลองเดียวกัน ซึ่งแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 15-20% ของไนโตรเจนที่ใส่ (Freney *et al.*, 1995 ; Phongpan *et al.*, 1995 ; Chaiwanakupt *et al.*, 1996)

การปลดปล่อย N_2+N_2O จากดินนาปลูกข้าวภายใต้สภาพน้ำขังสามารถวัดปริมาณได้ภายหลัง หว่านยูเรียไปบนน้ำที่ท่วมขังดินแล้ว 6 วัน ทั้งในตำรับที่ใส่ยูเรียและยูเรีย + ปุ๋ยหมัก (Figure 6) ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งจุดสูงสุดที่ประมาณ 100 $mgNm^{-2}$ ที่ระยะเวลา 11 วัน ภายหลังการใส่ปุ๋ยยูเรีย หลังจากนั้นได้ลดลงจนถึงจุดต่ำสุดในวันที่ 14 อัตราการปลดปล่อย N_2+N_2O ระหว่างตำรับทั้งสองข้างต้นไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงระยะเวลาศึกษา จากวันที่ 6 ถึง 14 ภายหลังการใส่ยูเรียอัตราการปลดปล่อย N_2+N_2O มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40 และ 44 $mgNm^{-2}day^{-1}$ จาก

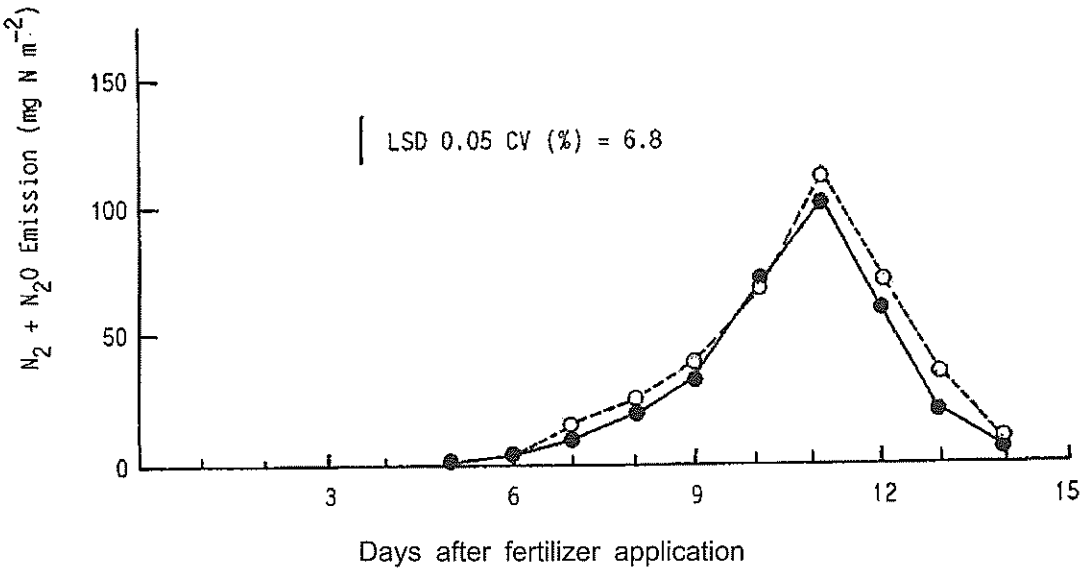

Figure 6. Emission of N_2 + N_2O from urea broadcast to flooded rice as affected by compost amendment (● **T3 : urea ; o T6 : urea + compost)**

ตำรับที่ใส่ยูเรียและยูเรีย+ปุ๋ยหมักตามลำดับ เมื่อนำเอาค่า atom % enrichment และสมการวัด gas flux ที่เสนอโดย Mosier และคณะ (1989) มาใช้ในการคำนวณพบว่าปริมาณสะสมการปลดปล่อย N_2+N_2O ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการใส่ยูเรียในตำรับการทดลองดังกล่าวข้างต้นเมื่อสิ้นสุดการวัดมีค่าเท่ากับ 2.42 และ 2.66 % ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ ผลการทดลองให้ค่าสูงกว่า รายงานการทดลองของ Buresh และคณะ (1991) ที่พบว่าปริมาณ (N_2+N_2O)-^{15}N มีเพียงแค่ 0.05% ภายหลังการใส่ยูเรียแบบหว่านให้แก่ข้าวในนาบางเขนของประเทศไทย จากการทดลองใส่ยูเรียในนาข้าวของจีน Cai และคณะ (1991) พบว่าการปลดปล่อย N_2+N_2O เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเพียง 0.1 ถึง 1.8% ของไนโตรเจนที่ใส่ภายใน 9 วันภายหลังการใส่ยูเรีย ในออสเตรเลีย Keerthisinghe และคณะ (1996) รายงานผลที่คล้ายกันว่าปริมาณ N_2+N_2O ที่ปลดปล่อยในช่วง 9 วัน ภายหลังการใส่ยูเรียให้แก่ข้าวอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1 ถึง 0.6% ของไนโตรเจนที่ใส่ John และคณะ (1989) วัด N_2+N_2O flux จากยูเรียที่ใส่ในนาข้าวที่ฟิลิปปินส์ และพบว่าเพียงแค่ 0.51 % ของไนโตรเจนที่ใส่สามารถตรวจวัดได้ในรูป N_2+N_2O ในช่วงระยะเวลา 19 วันภายหลังการใส่ยูเรีย สาเหตุการปลดปล่อย N_2+N_2O จากปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในนาข้าวเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อย อาจเนื่องมาจากก๊าซไนโตรเจนดังกล่าวส่วนใหญ่มักติดค้าง (entrapment) อยู่ในดินนาซึ่งมีผลทำให้ลดการปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ (John *et al.*, 1989 ; Samson *et al.*, 1990 ; Cai *et al.*, 1991)

ไนโตรเจน-15 ในระบบน้ำ-ดินและพืช

ข้อมูลการตรวจพบปริมาณไนโตรเจน -15 (% ไนโตรเจนที่ใส่ลงไป) ของตำรับยูเรียและยูเรีย + ปุ๋ยหมักในระบบน้ำ - ดิน และพืช

Table 1. Effect of urea and urea + compost treatments on NH_3 volatilization losses. Suphan Buri, dry season 1996

Days after fertilizer application	NH_3 volatilization loss ($g\ N\ rai^{-1}$)		Significance of difference
	T3:Urea	T6:Urea+compost	
1	27.84	29.92	NS
2	186.72	218.20	NS
3	226.08	318.08	*
4	216.96	259.20	NS
5	138.40	153.28	NS
6	79.04	91.20	NS
7	82.24	100.00	NS
8	28.16	32.96	NS
9	19.52	24.96	NS
10	8.16	8.80	NS
11	1.60	1.28	NS
Total NH_3 loss	1,014.7	1,237.9	NS
% of applied N lost as NH_3	10.6	12.9	NS

* Significance level at $P < 0.05$

NS = Not significant

ที่ระยะ 56 วัน ภายหลังการใส่ยูเรียได้แสดงไว้ใน Table 2 ไนโตรเจน -15 มีเหลืออยู่ในน้ำที่ขังดินในปริมาณที่ต่ำเช่นเดียวกับในรากปริมาณไนโตรเจน -15 ที่ตรวจพบในส่วนของพืชที่อยู่เหนือดินมี 13% ในตำรับยูเรียในขณะที่ตำรับยูเรีย+ปุ๋ยหมักให้ปริมาณการตรวจพบไนโตรเจน -15 ต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย (10%) ไนโตรเจนที่ใส่เหลือตกค้างอยู่ในดินในระดับความลึกชั้นดินต่าง ๆ ไม่แสดงความแตกต่างกันระหว่างตำรับที่ใส่ยูเรีย และยูเรีย + ปุ๋ยหมัก ประมาณ 80% ของไนโตรเจนที่ตรวจพบส่วนใหญ่ในดินสะสมอยู่ในระดับความลึก 0-0.05 ม. สาเหตุดังกล่าว อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ immobilization ของไนโตรเจนโดยกิจกรรมของสาหร่ายที่เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ ทั้งนี้เพราะสามารถสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่าย ที่ปกคลุมผิวน้ำอย่างหนาแน่นในช่วงเวลาตอนบ่ายในตำรับที่ใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับปุ๋ยหมัก ในขณะที่ตำรับที่ไม่ได้ใส่ไนโตรเจน มีปริมาณสาหร่ายเกิดขึ้น

Table 2. Effect of urea and urea amended with compost on recovery of ^{15}N (% N applied) in components of the water -soil -plant system at 56 d after urea application . Suphan Buri, 1996 dry season

Component	^{15} N recovery (% of applied N)	
	T3:Urea	T6:Urea+compost
Floodwater	0.01	0.00
Plant shoots	13.23	9.72
Plant roots	0.35	0.24
Soil : 0-0.05 m	50.53	51.20
0.05-0.10 m	8.68	9.72
0.10 -0.20 m	2.26	2.24
Total recovery [1/]	75.06	73.12
^{15} N unaccounted for	24.94	26.88

[1/] LSD apply to total recoveries only; LSD 0.05 = 6.3, LSD 0.01 = 10.2

เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ปริมาณไนโตรเจนที่ตรวจพบทั้งหมดในตำรับการทดลองใส่ยูเรียอย่างเดียว และยูเรียร่วมกับปุ๋ยคอกเท่ากับ 75 และ 73 % ตามลำดับและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อคิดคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ลงไป ปรากฏว่ามีการขาดหายไปจากตำรับดังกล่าว 25 และ 27% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียไนโตรเจนในปริมาณเช่นเดียวกับการทดลองเมื่อวัดตอนระยะเวลาใกล้เคียงกันที่ผ่านมาของ Phongpan และ Byrnes (1993) แต่ต่ำกว่าผลการทดลองของ Phongpan และ Byrnes (1990) ซึ่งรายงานการสูญเสียไนโตรเจนสูงถึง 50% จากการใส่ยูเรียแบบหว่านในน้ำที่ท่วมขังดินที่ระยะ 10 วันภายหลังปักดำในนาข้าว ณ สถานที่ทดลองเดียวกัน อย่างไรก็ตามมีรายงานการสูญเสียไนโตรเจนภายใต้สภาพที่คล้ายคลึงเกิดขึ้นสูงถึง 51% ของไนโตรเจนที่ใส่ในงานทดลองในดินนาเปรี้ยวเมื่อทำการใส่ยูเรียแบบหว่านในน้ำที่ท่วมขังดินภายหลังปักดำ (Phongpan *et al.*, 1993)

ตลอดช่วงการทดลอง 56 วันหลังปักดำจากการสังเกตไม่ปรากฏฝนตกหนักและการไหลบ่าของน้ำท่วมแปลง microplot แต่ประการใด นอกจากนี้ปริมาณไนโตรเจน -15 ที่ตรวจพบในชั้นดินระดับ 0.10 - 0.20 ม. มีเพียงแค่ประมาณ 2% ของไนโตรเจนที่ใส่ และดินที่ใช้ทดลองเมื่อทำเทือกมีอัตราการไหลซึมของน้ำ (percolation rate) ต่ำแค่ 2.1 มม./วัน ความเป็นไปได้ที่ไนโตรเจนที่ใส่จะถูกชะล้างลงลึกในชั้นดินต่ำกว่าระดับที่ศึกษา (0.2 ม.) เกิดขึ้นได้น้อยมาก ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนที่ขาดหาย

ไปจึงคาด ว่าเนื่องมาจากการสูญเสียไนโตรเจนโดยการปลดปล่อยในรูปก๊าซจากกระบวนการระเหยของแอมโมเนีย และ denitrification ซึ่งสอดคล้องกับผลการสูญเสียแอมโมเนียที่เกิดขึ้น 11 - 13% และ denitrification ประมาณ 2.5% ของการทดลองนี้ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การสูญเสียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นไม่ว่ามีการใส่ปุ๋ยคอกร่วมด้วยหรือไม่ก็ตาม อาจมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพที่ต่ำ ในการใช้ประโยชน์ไนโตรเจนจากปุ๋ยยูเรียของข้าว ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซ โดยเฉพาะการระเหยของแอมโมเนียเกิดขึ้น รวดเร็วกว่าความสามารถของรากพืชที่ยังเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ ที่จะสามารถแข่งขันดูดไนโตรเจนใช้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะ 10 วัน ภายหลังการใส่ยูเรีย นอกจากนี้ในส่วนของไนโตรเจนที่ไม่เกิดการสูญเสียโดยการระเหยของแอมโมเนียเมื่อเหลืออยู่ในน้ำที่ท่วมขังดินสามารถถูก nitrified ได้ง่ายให้กลายเป็นไนเตรตเคลื่อนย้ายลงไปลึกใต้ชั้นผิวดิน ซึ่งต่อมาเกิดการสูญเสียในรูป N_2 และ N_2O ปลดปล่อยสู่บรรยากาศโดยกระบวนการ denitrification (Freney *et al.*, 1995)

ผลผลิตเมล็ดและการดูดกินไนโตรเจน

ตำรับที่ใส่ยูเรียให้ผลผลิตเมล็ด และปริมาณการดูดกินไนโตรเจนทั้งในเมล็ดและฟางสูงกว่าตำรับที่ไม่ได้ใส่อะไรเลยอย่างมีนัยสำคัญ (Table 3) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับที่ใส่ยูเรียไม่ว่าเพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับปุ๋ยหมัก พบว่าผลผลิตสูงสุด ได้จากตำรับที่หว่านยูเรียเม็ดไปบนผิวดินแล้วไขน้ำท่วมทันที ซึ่งให้ผลผลิตเมล็ดไม่แตกต่างจากตำรับที่ใส่ยูเรียชนิดเดียวกันร่วมกับปุ๋ยหมักรวมทั้งยูเรียธรรมดาไม่ว่าใส่ก่อนหรือหลังการให้น้ำเมื่อใส่เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับปุ๋ยหมัก อย่างไรก็ตามมีเพียงตำรับที่ใส่ยูเรียเม็ดเท่านั้นที่ให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมัก ที่ระยะเก็บเกี่ยว ปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในเมล็ดของตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักให้ผลไม่แตกต่างจากตำรับที่ไม่ได้ใส่อะไรเลย (Table 3) แต่ตำรับที่ใส่ยูเรียไม่ว่าใส่เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับปุ๋ยหมัก ให้ผลแตกต่างจากตำรับที่ไม่ได้ใส่อะไรเลย ในระหว่างตำรับที่ใส่ยูเรียทั้งหมดปรากฏว่าให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่มีเพียงตำรับยูเรียเม็ดเมื่อใส่ก่อนการให้น้ำไม่ว่าเพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับปุ๋ยหมักและตำรับยูเรียธรรมดาเมื่อใส่หลังการให้น้ำ ที่ให้ปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในเมล็ดสูงกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมัก ส่วนปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในฟางของตำรับ ที่ใส่ปุ๋ยหมักและยูเรียให้ผล ไม่แตกต่างกันแต่ให้ผลแตกต่างไปจากตำรับที่ไม่ได้ใส่อะไรเลย โดยไม่คำนึงถึงชนิดของปุ๋ยยูเรียและการใส่ร่วมกับปุ๋ยหมัก

สรุปผลการทดลอง

การสูญเสียแอมโมเนียจากยูเรียเมื่อใส่ในอัตรา 9.6 กก. ไนโตรเจน/ไร่ ในช่วงระยะเวลา 11 วัน ภายหลังการใส่แบบหว่านไปบนน้ำที่ท่วมขังดินเกิดขึ้น 11 และ 13% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่จากตำรับการทดลองที่ใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียว และยูเรีย + ปุ๋ยหมักตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาใกล้เคียงกันปริมาณสะสม $N_2 + N_2O$ ที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อสิ้นสุดการวัดในวันที่ 14 ภายหลังการใส่ยูเรียในการทดลองดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 2.4 และ 2.7% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่

Table 3. Effect of urea management on grain yield and N uptake of lowland rice, Suphan Buri, dry season 1996

Treatment	Grain yield [1/] (kg rai^{-1})	N uptake [1/] (kg N rai^{-1}) [1/]	
		Grain	Straw
1. Control	428 c	4.45 c	2.22 b
2. Compost	463 bc	5.84 bc	2.93 a
3. Urea broadcast after irrigation	486 ab	6.37 ab	3.32 a
4. Urea broadcast before irrigation	498 ab	6.79 a	3.29 a
5. Granular urea broadcast before irrigation	518 a	6.85 ab	3.40 a
6. Same as 2 but with urea added as in 3	495 ab	6.44 ab	3.20 a
7. Same as 2 but with urea added as in 4	489 ab	6.56 ab	3.35 a
8. Same as 2 but with urea added as in 5	509 a	6.78 a	3.57 a
CV (%)	7.98	13.11	11.51

[1/] Values in a column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

เมื่อวัดความสมดุลไนโตรเจน-15 ที่ระยะ 56 วันภายหลังการใส่ยูเรีย พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ตรวจพบทั้งหมดในต้นพืช รากและดินจากตำรับใส่ยูเรียอย่างเดียว และยูเรียร่วมกับปุ๋ยคอกเท่ากับ 75 และ 73% ของไนโตรเจนที่ใส่ตามลำดับ และปริมาณการสูญเสียไนโตรเจนจากระบบน้ำ ดินและพืชจากตำรับดังกล่าวเกิดขึ้น 25 และ 27%

การจัดการใส่ยูเรียโดยหว่านบนผิวดินที่มีน้ำเหลือน้อยที่สุดแล้วปล่อยให้น้ำท่วมทันทีไม่มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตเมล็ด และปริมาณการดูดกินไนโตรเจนได้สูงกว่า การหว่านยูเรียไปในน้ำที่ท่วมขังดินแต่ประการใด การใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับยูเรียไม่มีผลช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจน เพิ่มผลผลิตเมล็ดและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ไนโตรเจนจากยูเรีย เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียว

เอกสารอ้างอิง

Bouwmeester, R.J.B; P.L.G. Vlek and J.M. Stumpe. 1985. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea fertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 49 : 376-381.

Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. Pages 1149-1178. *In :* Black, C.A. (ed) Methods of Soil Analysis Part 2, Am. Soc. Agron., Madison, WI.

Bremner, J.M. and R.L. Mulvaney. 1978. Urease Activity in Soils. Pages 149-196. *In :* Burns, R.G. C (ed) Soil Enzymes. Academic Press, London.

Buresh, R. J. S. K. De Detta M. I. Samson S. Phongpan P. Snitwongse A. M. Fagi and R. Tejasawana. 1991. Dinitrogen and nitrous oxide flux from urea basally applied to puddled rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 : 268-273.

Cai, G. X. Y. C. Chao N. C. Yang Y. H. Lu L. J. Zhuang X. Z. Wang and X. L. Zhu. 1991. Direct estimation of nitrogen gases emited from flooded soils during denitrification of applied nitrogen. *Pedosphere.* 1 : 241-251.

Chaiwanakupt, P. J. R. Freney D. G. Keerthisinghe S. Phongpan and R. L. Blakeley. 1996. Use of urease algal inhibitors and nitrification inhibitors to reduce nitrogen loss and increase the grain yield of flooded rice (*Oryza sativa* L.). *Biol. Fertil. Soils.* 22 : 89 - 95.

De Datta, S.K. and R.J. Buresh. 1989. Integrated nitrogen management in irrigated rice. Adv. *Soil Sci.* 10 : 143-169.

De Datta, S. K. A. C. F. Trevitt. J. R. Freney. W. N. Obcemea. J. G. Real and J. R. Simpson. 1989. Measuring nitrogen losses from lowland rice using bulk aerodynamic and nitrogen -15 balance methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53 : 1275 - 1281.

Freney, J. R. R. Leaning J. R. Simpson O. T. Denmead and W. A. Muirhead. 1985. Estimating ammonia volatilization from flooded rice fields by simplified techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 1049 - 1054.

Freney, J. R. D. G. Keerthisinghe S. Phongpan P. Chaiwanakupt and K. Harrington. 1995. Effect of urease, nitrification and algal inhibitors on ammonia loss and grain yield of flooded rice in Thailand. *Fert. Res.* 40 : 225 - 233.

John, P. S. R. J. Buresh R. Prasad and R. K. Pandey 1989. Nitrogen gas dinitrogen plus dinitrogen oxygen flux from urea applied to lowland rice as affected by green manure. *Plant and Soil.* 119 : 7 - 14.

Keerthisinghe, D. G L. Xin-jian L. Oi-xiang and A. R. Mosier. 1996. Effect of encapsolated calcium carbide and urea application on denitrification and N loss from flooded rice. *Fert. Res* 45 : 31 - 36.

Mikkelsen, D.S. S.K. De Datta and W.N. Obcemea. 1978. Ammonia volatilization losses from flooded

rice soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 725-730.

Mosier, A. R. W. D. Guenzi and F. E. Schweizer. 1986. Soil losses of dinitrogen and nitrous oxide from irrigated crops in northeastern Calorado. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 : 344 - 348.

Mosier, A. R. S. L. Chapman and J. R. Freney. 1989. Determination of dinitrogen emission and retention in floodwater and porewater of a lowland rice field fertilized with ^{15}N urea. *Fert. Res.* 19 : 127 - 135.

Mosier, A. R. S. K. Mohanty A. Bhadrachalam and S. P. Chakravorti. 1990. Evolution of dinitrogen and nitrous oxide from the soil to the atmosphere through rice plants. *Biol. Fertil. Soils* 9:61 - 67.

Mulvaney, R. A. and J. M. Bremner. 1979. A modified diacetylmonoxime method for colorimetric determination of urea in soil extracts. Commua. *Soil Sci. Plant Anal.* 10 : 1163 - 1170.

Orion. 1990. Instruction Manual for Ammonia Electrode Model 95 - 12. Cambridge, Mass : Orion Research Inc. 31 p.

Phongpan, S. and B. H. Byrnes. 1990. The effect of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on the efficiency of urea application in a flooded rice field trial in Thailand. *Fert Res.* 25 : 145 - 151.

Phongpan, S. and B. H. Byrnes. 1993. Effect of methods of application on the efficiency of urea broadcast onto lowland rice (*Oryza sativa* L). *Biol. Fertil. Soils.* 15 : 235 - 240.

Phongpan, S. S. Boondown and R. Wetseeaar. 1993. Effect of urea management on yield and N use efficiency of lowland rice on an acid sulfate soil. *Fert. Res.* 34 : 27 - 35.

Phongpan, S. J. R. Freney D. G. Keerthisinghe and P. Chaiwanakupt 1995. Use of phenylphosphorodiamidate and N-(n-butyl) thiophosphorictriamide to reduce ammonia loss and increase grain yield following application of urea to flooded rice. *Fert. Res.* 41 : 59 - 66.

Porter, L. K. and A. R. Mosier. 1992. ^{15}N Tehniques and Analytical Procedures : Indo/U. S. Science and Technology Initiative. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-95 : 1 - 26.

Samson, M. I. R. J. Buresh and S. K. De Datta. 1990. Evaluation and soil entrapment of nitrogen gases formed by dinitrification in flooded soil. *Soil Sci Plant Nutr.* 36 : 299 - 308.

Vlek, P. L. G. and E. T. Craswell. 1981. Ammonia volatilization from flooded soils. *Fert. Res.* 2 : 227 - 245.