

ผลของการจัดการเศษพืชตกค้างที่มีต่อการสูญเสีย และ  
ความสมดุลไนโตรเจนจากปุ๋ยยูเรียในระบบการปลูกข้าว  
Effect of Crop Residue Management on Nitrogen Loss  
and Balance from Urea in a Lowland Rice Cropping System

สาคร ผ่องพันธุ์<sup>1</sup> Arvin R. Mosier<sup>2</sup> เจนวิทย์ สุขทองสา<sup>3</sup>  
Sakorn Phongpan<sup>1</sup> Arvin R. Mosier<sup>2</sup> Jenvith Sookthongsa<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Field experiments were conducted in a rice–follow –rice cropping sequence during consecutive dry and wet seasons of 1997 at the Suphanburi Rice Experiment Station on a Phimai soil (Vertic Tropaquepts) to determine the fate and efficiency of broadcast urea in combination with three crop residue management practices as no residue, burned residue and untreated rice crop residue which were incorporated into the soil 1 week before transplanting.

The results showed that the maximum rate of ammonia volatilization losses from urea (11.2 kg N rai<sup>-1</sup>) broadcast into floodwater shortly after transplanting occurred 2–4 days after fertilization. The cumulative NH<sub>3</sub> losses during the 11 days following urea application were 0.74, 1.30 and 0.90 kg N rai<sup>-1</sup> from no residue, burned residue and residue treated plots which corresponded to 7, 12 and 8% of the applied N, respectively. At nearly that time N<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>O emissions were first detected 3 days after urea application. From day 3 to 12 following urea addition, N<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>O emission rates averaged 290, 110 and less than 10 µg N m<sup>-2</sup>hr<sup>-1</sup> from no residue burned residue and residue treated plots, respectively or the cumulative percent of N<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>O emission due to urea addition corresponded to 10, 4.3 and nil.

The <sup>15</sup>N balance study at grain maturity of the dry season rice showed that fertilizer N recovered by the grain, straw and roots did not show significant differences among residue treatments. Fertilizer N recovery by the grain was low, only 9 to 11% of the N applied. Fifty to 53% of the applied <sup>15</sup>N remained in the soil after rice harvest, mainly in the upper 0–5 cm layer. The unaccounted for <sup>15</sup>N was probably lost by gaseous N emissions which ranged from 27 to 33% of the applied N and was unaffected by residue treatments. Only 4 to 5% of the initial <sup>15</sup>N–labeled urea applied to the dry season rice crop was taken up by the succeeding rice crop in the wet season to which no additional N fertilizer was applied. Grain yield and N uptake were significantly increased (P=0.05) by N application in the dry season but not significantly affected by residue treatment in either season.

**Key words :** ammonia volatilization, denitrification, nitrogen loss <sup>15</sup>N balance, urea, flooded rice

<sup>1</sup> กลุ่มงานวิจัยนิวเคลียร์เทคนิคการเกษตร กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร

Nuclear Research in Agriculture Group, Agricultural Chemistry Division, Department of Agriculture

<sup>2</sup> United States Department of Agriculture, Agricultural Research service, P.O. Box E, Fort Collins, USA.

<sup>3</sup> สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร

Suphanburi Rice Experimental Station, Rice Research Institute, Department of Agriculture

## บทคัดย่อ

ได้ดำเนินการทดลองในระบบการปลูกข้าว แบบตามกันคือข้าว-ปล่อยที่ว่างเปล่า-ข้าวทั้งฤดูแล้งและฝนติดต่อกันในปี 2540 ณ แปลงทดลองสถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรีในดินชุดพินาย (Vertic Tropaquepts) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพของยูเรียที่หว่านในนาข้าว ทั้งภายใต้สภาพที่มีการจัดการเศษพืชตกค้างที่เหลือภายหลัง การเก็บเกี่ยว 3 วิธี คือ กำจัดฟางออกจากแปลงนา เผาฟางทิ้งและปล่อยฟางทิ้งไว้และไถคราดกลบก่อนปักดำข้าว 1 สัปดาห์

ผลการทดลองพบว่า การสูญเสียแอมโมเนียจากยูเรียอัตรา 11.2 กก. ไนโตรเจนต่อไร่เมื่อหว่านไปน่าน้ำที่ท่วมขัง ภายหลังจากปักดำเกิดขึ้นสูงสุด 2-4 วัน ภายหลังจากใส่ยูเรีย ปริมาณสะสมของแอมโมเนียที่สูญเสียในช่วงระยะเวลา 11 วัน ภายหลังจากใส่ยูเรียเกิดขึ้น 0.74, 1.30 และ 0.90 กก. ไนโตรเจนต่อไร่จากดำรับการทดลอง กำจัดฟางออกจากแปลง เผาฟางทิ้งและปล่อยฟางทิ้งไว้ตามลำดับ หรือเท่ากับการสูญเสียแอมโมเนียเกิดขึ้น 7, 12 และ 8% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ตามลำดับ ในช่วงระยะเวลาใกล้เคียงกัน ปริมาณการปลดปล่อย  $N_2 + N_2O$  สามารถวัดได้ภายหลังจากใส่ยูเรียแล้ว 3 วัน จากวันที่ 3 ถึง 12 ภายหลังจากใส่ยูเรีย อัตราการปลดปล่อย  $N_2 + N_2O$  มีค่าเฉลี่ย 290, 110 และน้อยกว่า  $10 \mu g N m^{-2} hr^{-1}$  จากดำรับการทดลองกำจัดฟางออกจากแปลงนา เผาฟางทิ้งและปล่อยฟางทิ้งไว้ตามลำดับ หรือปริมาณสะสม  $N_2 + N_2O$  ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใส่ยูเรีย ในดำรับการทดลองดังกล่าวข้างต้นเมื่อสิ้นสุดการวัดในวันที่ 12 มีค่าเท่ากับ 10, 4 และมีค่าน้อยมาก (%) ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่

การวัดความสมดุลของไนโตรเจน-15 เมื่อตอนเมล็ดสุกของข้าวที่ปลูกในฤดูแล้งพบว่าปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตรวจพบ (recovery) ในเมล็ดฟางและรากของทุกดำรับการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตรวจพบในเมล็ดมีค่าเพียง 9 ถึง 11% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ ประมาณ 50-53 % ของไนโตรเจนที่ใส่เหลือตกค้างอยู่ในดิน ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวโดยส่วนใหญ่จะ

อยู่ในชั้น 0-5 ซม. จากผิวดิน ปริมาณที่ขาดหายไปซึ่งคาดว่าเกิดการสูญหายไปในรูปแบบก๊าซไนโตรเจนอยู่ในช่วง 27 ถึง 33 % ของไนโตรเจนที่ใส่และไม่แตกต่างกันระหว่างดำรับการทดลอง ปริมาณเพียงแค่ 4-5 % ของไนโตรเจนที่ใส่ลงไปให้แก่ข้าว ที่ปลูกในฤดูแล้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สำหรับข้าวที่ปลูก ตามมาในฤดูฝนเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนช่วยเพิ่มผลผลิตเมล็ดและปริมาณการดูดกินไนโตรเจน ในฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญ ( $P=0.05$ ) แต่การจัดการเศษพืชตกค้างไม่มีผลแต่ประการใดทั้งสองฤดู

**คำหลัก :** การระเหยของแอมโมเนีย ดินดริฟิเคชัน การสูญเสียไนโตรเจน ความสมดุลไนโตรเจน-15 ยูเรีย ข้าว นาลุ่ม

## คำนำ

เศษพืชตกค้างเป็นแหล่งที่สำคัญของธาตุอาหารพืชและอินทรีย์วัตถุสำหรับรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างยั่งยืนในระบบนิเวศเกษตร (Agroecosystems) เศษพืชตกค้างมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ชีวเคมีตลอดจนคุณภาพของดินเมื่อนำกลับไปสู่ดินอีกครั้ง นอกจากนี้ผลตกค้างของคาร์บอนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุม กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินสำหรับการนำเอาธาตุอาหารพืชกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีก และมีบทบาทที่สำคัญต่อการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน การจัดการเศษพืชตกค้างควรปฏิบัติ เพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชอย่างยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้เสื่อมโทรมน้อยที่สุด

โดยทั่วไปเศษพืชตกค้างของข้าวในรูปของฟาง ภายหลังจากเก็บเกี่ยวเอาเมล็ดออกไปแล้วมักจะถูกเผาทิ้งในนาก่อนเตรียมดินสำหรับปลูกพืชถัดไปซึ่งจะมีผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินนาลดลง และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลภาวะทางอากาศ การจัดการเศษพืชตกค้างที่เหมาะสม สามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนจากเศษพืชตกค้าง โดยการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาเป็นประโยชน์ต่อข้าว ภายหลังจากสลายตัว

ยูเรียเป็นปุ๋ยไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับข้าวนาลุ่มสภาพน้ำขังในเอเชียเขตร้อนแต่ไม่สามารถใช้ได้อย่างมี

ประสิทธิภาพเนื่องจากเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในปริมาณที่สูงในดินนา โดยเฉพาะกระบวนการระเหยของแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$  Volatilization) และ denitrification (De Datta and Buresh, 1989) ซึ่งย่อหมายถึงการสูญเสียทางเศรษฐกิจของไนโตรเจนจากปุ๋ย สำหรับชาวนาโดยตรงและมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวให้ลดลง ผลการทดลองในประเทศไทย พบการสูญเสียไนโตรเจนจากปุ๋ยยูเรียในนาข้าวจากการวัดความสมดุลไนโตรเจน-15 เมื่อตอนระยะเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นตั้งแต่ 20 ถึง 50% ของปริมาณที่ใส่รองพื้นตอนระยะปักดำ (Snitwongse *et al.*, 1988 a, b : Satrusajang *et al.*, 1991, Freney *et al.*, 1995) รายงานการทดลองวัดการสูญเสียแอมโมเนีย ภายหลังจากหว่านยูเรียแก่ข้าวในนาที่สุพรรณบุรีระบุว่า การสูญเสียแอมโมเนียเกิดขึ้น 14.5 ถึง 19.5% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ (Freney *et al.*, 1995 ; Phongpan *et al.*, 1995 ; Chaiwanankupt *et al.*, 1996) อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการทดลองถึงผลกระทบของการจัดการเศษพืชตกค้างที่มีต่อการสูญเสียไนโตรเจนดังกล่าวข้างต้น

วัตถุประสงค์ของการทดลองครั้งนี้เพื่อ (1) ศึกษาการสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซจากยูเรีย ที่หว่านในนาข้าวภายใต้สภาพที่มีการจัดการเศษพืชตกค้าง ที่เหลือภายหลังจากการเก็บเกี่ยว 3 วิธี คือ กำจัดฟางออกจากแปลง เผาฟางทิ้งและปล่อยฟางทิ้งไว้ในนา และ (2) ทดสอบผลกระทบของการจัดการเศษพืชตกค้างที่มีต่อการตอบสนองของข้าวต่อยูเรีย (ผลผลิตเมล็ด และการดูดกินไนโตรเจน) ความสมดุลของไนโตรเจน ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวที่ปลูกในฤดูแรก และผลตกค้างไนโตรเจนที่ใส่ในฤดูแรกสำหรับข้าวที่ปลูกตามมา

### อุปกรณ์และวิธีการ

ได้ดำเนินการทดลองในระบบการปลูกข้าวแบบตามกันคือข้าว-ปล่อยที่ว่างเปล่า-ข้าว ในฤดูนาปรังและนาปี ติดต่อกันบนพื้นที่เดิมโดยเริ่มต้นในเดือนกุมภาพันธ์ 2540 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี (เส้นรุ้งที่  $14^{\circ}30'$  เหนือเส้นแวงที่  $160^{\circ}0.5'$  ตะวันออก) ดินที่ทดลองมีวัตถุต้นกำเนิดดินเกิดจากตะกอนของน้ำจืด (Fresh Water Alluvial Soil) และจัดอยู่ในชุดดินพิมาย (Phimai, Vertic Tropequepts.) คุณสมบัติบางประการของดินดังกล่าวในระดับความลึกชั้นไทรพรวน (0.15 ม.) มีดังนี้ คือ pH (1:1 ดิน:น้ำ) = 5.8, Total N =  $1.6 \text{ g kg}^{-1}$ ,

อินทรีย์วัตถุ (Walkley and Black) =  $17.9 \text{ g kg}^{-1}$ , cation exchange capacity =  $23 \text{ cmol kg}^{-1}$ , clay =  $660 \text{ g kg}^{-1}$  และ sand =  $180 \text{ g kg}^{-1}$

ในฤดูปลูกนาปีพ.ศ.2539 (สิงหาคม-พฤศจิกายน) ได้ทำการปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในแปลงทดลองขนาด  $4 \times 4$  ม. ซึ่งมีคันดินสูง 0.2 ม. และกว้าง 0.4 ม. คันล้อมรอบแปลง โดยไม่ใส่อะไรเลย เพื่อให้ต้นข้าวดูดตั้งธาตุอาหารออกจากดิน โดยเฉพาะไนโตรเจนที่เหลือตกค้างดั้งเดิมในดิน เมื่อถึงระยะเมล็ดสุกทำการระบายน้ำและเก็บเกี่ยวรวงข้าวออกจากแปลงเหลือไว้แต่ตอซังปล่อยทิ้งไว้ในแปลง จนกระทั่งถึงวันที่ 15 มกราคม 2540 จึงได้ทำการเก็บเกี่ยวตอซังฟางที่ตกค้างออกจากทุกแปลงทดลองนำมารวมกันแล้วสับให้ฟางมีขนาดความยาว 2-3 ซม. พร้อมกับนำมาตากแดดจนแห้งสนิท

สำหรับพื้นที่นาภายในแปลงทดลองที่ว่างเปล่าไม่มีเศษตอซังฟางข้าวเหลืออยู่ รวมทั้งวัชพืชได้ปล่อยน้ำชลประทานเข้าท่วมซังดินเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2540 แล้วไถคราด เตรียมดินให้อยู่ในสภาพเป็นเทือกพร้อมทั้งปรับระดับพื้นที่ให้ราบเรียบสม่ำเสมอ ขณะเดียวกันนำแผ่นพลาสติกสีดำมาฝัง ล้อมรอบด้านในของแปลงลึกประมาณ 0.3 ม. เพื่อป้องกันการซึมรั่วของน้ำออกจากแปลง จัดการทดลองแบบ Randomized complete block ทำ 4 ซ้ำ ดำรับการทดลองประกอบด้วย (1) กำจัดเศษฟางตกค้างออกจากแปลงทดลอง (2) ทิ้งเศษฟางตกค้างไว้บนผิวดิน 600 กก. ฟางแห้งต่อไร่ หรือ 6 กก. ต่อแปลง มีปริมาณไนโตรเจน  $3.472 \text{ กก.ต่อไร่}$  อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน = 67:1 (3) เผาเศษฟางอัตราเดียวกับข้อ (2) ในภาชนะโลหะจนเป็นถ้ำแล้วนำมาใส่ในแปลงทดลองโดยหว่านให้ทั่ว (4) ยูเรีย (46% N) หว่านในน้ำที่ท่วมซังดิน (3 ซม.) ภายหลังจากปักดำแล้ว 1 ชั่วโมง ในอัตรา 11.2 กก. ไนโตรเจนต่อไร่ (7 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตร) (5) เหมือนข้อ 4+2 และ (6) เหมือนข้อ 4+3

สำหรับเศษฟางและขี้เถ้าที่ใส่ไว้บนผิวดินได้คราดกลบให้ลึกได้ผิวดิน ( $\approx 0.05$  ม.) เมื่อ 1 สัปดาห์ก่อนการปักดำ ใส่ปุ๋ยรองพื้นทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ( $46\% \text{ P}_2\text{O}_5$ ) และโพแทสเซียมคลอไรด์ ( $60\% \text{ K}_2\text{O}$ ) ในอัตรา 3.8 กก. ฟอสฟอรัสต่อไร่ และ 4.5 กก. โพแทสเซียมต่อไร่ตามลำดับ โดยหว่านไปบนผิวดินที่ได้ปล่อยให้น้ำแห้งจนเหลือน้อยที่สุด แล้วคราดกลบ

ให้ปุ๋ยจวมลึกใต้ผิวดิน หลังจากนั้นปักดำด้วยต้นกล้า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่มีอายุประมาณ 3 สัปดาห์จำนวน 3 ต้นต่อจับโดยใช้ระยะปักดำ 20x20 ซม. เมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2540 ภายหลังจากปักดำได้ปล่อยน้ำ เข้าในแปลงทดลองให้อยู่ที่ระดับประมาณ 0.03 ม. จากผิวดินก่อนทำการใส่ปุ๋ยยูเรียโดยหว่านไปบนผิวน้ำที่ท่วมขังดินเมื่อเวลาประมาณ 10.30 น. ของวันเดียวกัน หลังจากนั้น 2 วันต่อมาควบคุมรักษาระดับน้ำให้อยู่ประมาณ 0.05 ม. พร้อมกับปรับระดับน้ำดังกล่าวให้ใกล้เคียงกันตลอดช่วงการเก็บตัวอย่างน้ำ ในแปลงทดลองและรักษาความลึกของน้ำท่วมขังดินอยู่ในระดับ 0.05–0.10 ม. ภายใต้อุณหภูมิให้น้ำอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต ของต้นข้าวในฤดูปลูก

### การระเหยของแอมโมเนีย

ภายหลังจากการใส่ปุ๋ยเรียทำการวัดอุณหภูมิและระดับความลึกของน้ำใน 3 แปลงทดลอง (ตำรับ 4, 5 และ 6) ของแต่ละเช้าทุก ๆ 2 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นระยะเวลาติดต่อกันนาน 11 วัน โดยเริ่มต้นเมื่อเวลา 08.00 น. ของวันที่ 26 มีนาคม 2540 และสิ้นสุดเมื่อเวลา 14.00 น. ของวันที่ 8 เมษายน 2540 ในเวลาเดียวกันเก็บตัวอย่างน้ำ 5 จุด ภายในแต่ละแปลงไปวัดค่า pH ทันทีด้วย glass electrode โดยให้แล้วเสร็จภายใน 1 ชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเดียวกันภายหลังจากวัด pH เติม phenyl mercuric acetate เพื่อยับยั้ง urease activity แล้ววัดหา ammoniacal-N ด้วย ammonia electrode และ millivolt meter (Orion 1983)

วัดความเร็วลมที่พัดผ่านบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางของแปลงทดลองโดยรวมด้วยเครื่อง cup anemometer ที่ระดับ 0.8 ม. เหนือผิวน้ำในระหว่างเวลา 08.00–12.00, 12.00–18.00 และ 18.00–08.00 น. ข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณหาปริมาณการสูญเสียแอมโมเนีย ในแต่ละแปลงทดลองโดยใช้วิธี Bulk aerodynamic ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ของข้อมูลความเร็วลม pH อุณหภูมิ และความเข้มข้นของ ammoniacal -N ในน้ำที่ท่วมขังดินของการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง (Freny *et al.*, 1985;

De Datta *et al.*, 1989)

### (N<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>O) flux

ภายในแปลงทดลองขนาด 4x4 ม. ของตำรับ การทดลองที่ 1, 2 และ 3 ได้ฝังท่อ polyvinyl chloride (PVC) ขนาดความยาว 0.5 ม. และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.2 ม. ลงไปลึกใต้ดินที่ระดับ 0.25 ม. จากผิวดิน เมื่อวันที่ 24 มีนาคม 2540 ก่อนปักดำ 1 วัน ภายหลังจากปักดำต้นกล้าข้าวในท่อใส่ <sup>15</sup>N-labeled urea (60.2 atom % excess) ในรูปสารละลายอัตราที่เทียบเท่ากับ 11.2 กก. ไนโตรเจนต่อไร่ โดยใส่ไปบนผิวดินที่ท่วมขังดินประมาณ 0.03 ม. ภายในท่อแต่ละอัน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 วัน ภายหลังจากใส่สารละลายไนโตรเจน -15 เก็บก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาจากภายในท่อโดยวางครอบท่อด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างก๊าซที่ทำด้วยพลาสติกใส ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ม. และความสูง 0.2 ม. เมื่อเวลา 17.30 น.แล้วปล่อยทิ้งไว้ ค้างคืนจนกระทั่งถึงเวลา 7.30 น. ของตอนเช้าวันรุ่งขึ้น ดูดตัวอย่างก๊าซภายในกระบอกด้วย monoject syringe ขนาด 60 มล. พร้อมเข็มและ stopcock ผ่านทาง septum แล้วถ่ายตัวอย่างก๊าซใส่หลอดเก็บก๊าซที่ดูดอากาศออก (evacuated vacutainer) พร้อมกับทาบบริเวณผิวน้ำ septum ด้วย silicone sealant เพื่อป้องกันการซึมรั่วของก๊าซจากภายในหลอดเก็บก๊าซ ในขณะทำการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ทำการบันทึก ความสูงของปริมาตรภายในกระบอก จากผิวน้ำในท่อถึงขอบด้านในบนสุดของท่อ (headspace height) และ อุณหภูมิของน้ำที่ท่วมขังดิน ตัวอย่างก๊าซที่เก็บได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณ N<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>O โดยวิธี Isotope ratio mass spectrometry (Mosier *et al.*, 1986; Mosier *et al.*, 1990)

### ความสมดุลไนโตรเจน 15

ภายในแปลงทดลองตำรับที่ 4, 5 และ 6 ของทุกเช้า ฝังกรอบเหล็กกล้าไนซ์ (galvanized steel) ขนาด 1.2x1.2 ม. สูง 0.30 ม. ให้ลึกลงไปดิน 0.15 ม. เพื่อใช้เป็นบริเวณที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน-15ในรูปยูเรีย (10.1 atom % excess) โดยใช้อัตราและวิธีการใส่เช่นเดียวกัน

กับที่ได้ปฏิบัติกับแปลงทดลอง เมื่อถึงระยะเมล็ดสุก ทำการตัดส่วนของต้นข้าว ที่อยู่เหนือดินในบริเวณเนื้อที่ 0.8 x 0.8 ม. (16 กอ) ของแต่ละ microplot แล้วแยกออกเป็นส่วนของเมล็ดและฟาง หลังจากนั้นทำการตักน้ำออกจาก microplot อย่างระมัดระวัง จนเหลือน้อยที่สุดโดยไม่ให้กระทบกระเทือนต่อผิวดิน เก็บตัวอย่างดินที่สามารถเปิดผาด้านข้างออกซึ่งทำโดยเหล็กกล้าวไนซ์ขนาดยาว 0.4 ม. กว้าง 0.13 ม. และสูง 0.5 ม. จำนวน 2 กล่องนำมาตอกให้ลึกกลงไปในดิน 0.3 ม. ที่บริเวณกอข้าว 4 กอ ตรงจุดศูนย์กลางของแปลง หลังจากนั้นนำกล่องเก็บตัวอย่างดินขึ้นมาจากแปลงแล้วทำการเปิดผาด้านข้างออก และตัดชั้นดินตามระดับความลึกที่ 0–0.05, 0.05–0.10 และ 0.10–0.20 ม. ขณะเดียวกันแยกรากออกจากดินแล้วนำไป ล้างน้ำกลั่นให้ปราศจากดิน นำตัวอย่างดินที่ตัดออก แต่ละชั้น ความลึกมาชั่งน้ำหนัก แต่ละชั้นผสมคลุกเคล้าดิน ให้เข้ากันโดยทั่วแล้วสุ่มเก็บตัวอย่างดินส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของดินเปียกและอีกส่วนหนึ่งนำไปผึ่งให้แห้งในที่ร่มก่อนนำไปบดให้ละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.2 ม.ม. สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและ atom % excess  $^{15}\text{N}$  นำส่วนของต้นพืชคือ เมล็ด ฟางและราก ไปอบที่อุณหภูมิ 65°C จนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงตัวแล้วทำการชั่งน้ำหนัก ก่อนนำส่วนของตัวอย่างดังกล่าวไปบดละเอียด (0.15 ม.ม.) ส่วนหนึ่งของตัวอย่างดินและพืชที่บดละเอียดแล้ว ถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและอัตราส่วนของไนโตรเจนไอโซป ( $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ ) โดยวิธี Automated combustion–isotope ratio mass spectrometry ด้วยเครื่อง VG 903 IRMS ที่เชื่อมกับเครื่อง Carlo Erba C/N analyzer (Porter and Mosier, 1992)

ตัวอย่างดินของแต่ละชั้นที่เหลือภายหลังทำการสุ่มตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีเมื่อสิ้นสุดการทดลองในฤดูแล้ง นำกลับไปใส่แต่ละชั้นบริเวณที่เดิมภายในแปลง microplot

### การทดลองในช่วง Fallow

ได้ดำเนินการต่อเนื่องจากการทดลองในฤดูนาปี ภายหลังการเก็บเกี่ยวด้วยการระบายน้ำออกจากแปลงทดลอง ให้หมดและปล่อยให้พื้นที่นาว่างเปล่าโดยไม่ปลูกพืช (Fallow) เป็นระยะเวลาประมาณ 70 วัน

ภายหลังเก็บเกี่ยวต้นพืชส่วนที่อยู่เหนือดิน ในแปลง microplot ทำการฝังท่อ PVC ขนาดเส้นผ่า

ศูนย์กลาง 0.05 ม. และยาว 0.10 ม. ลงไปให้ลึกประมาณ 0.10 ม. ได้ผิวดิน ทุก ๆ 2 สัปดาห์ในช่วง Fallow ภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บท่อ PVC ที่ฝังไว้ นำขึ้นมาจากแปลงพร้อมกับใช้มีดปาดหน้าดิน บริเวณด้านบน และล่างของท่อให้เรียบก่อน นำส่วนของดินภายในท่อ มาชั่งน้ำหนักเปียกและผสมคลุกเคล้ากันให้ทั่ว สุ่มเก็บตัวอย่างดินส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและอีกส่วนหนึ่งนำไปสกัดด้วย  $2\text{NKCl}$  (อัตราส่วน 1 : 5) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณน้ำยาสกัดดินนำไปกลั่นหา  $\text{NH}_4\text{-N}$  และ  $\text{NO}_3\text{-N}$  ตามวิธีการที่บรรยายไว้โดย Porter and Moosier (1992)

ในช่วง Fallow เป็นระยะเวลา 70 วัน ก่อนทำการปล่อยน้ำท่วมขังดิน สำหรับการปลูกข้าวในฤดูฝน ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซในแต่ละสัปดาห์ โดยวางกระบอกเก็บก๊าซพลาสติก ขนาดความสูง 0.2 ม. และผ่าศูนย์กลาง 0.2 ม. ลงบนส่วนฐานของท่อดิน PVC (เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ม. และความยาว 0.3 ม.) ที่ฝังลึกลงใต้ดินประมาณ 0.2 ม. ภายในแต่ละ microplot เมื่อเวลา 10.00 น. และเก็บตัวอย่างก๊าซเมื่อเวลา 14.00 น. (ระยะเวลา 4 ชั่วโมง) พร้อมกับทำการบันทึกอุณหภูมิและความสูงของ headspace ภายในกระบอกเก็บก๊าซ ในการดูดเก็บตัวอย่างก๊าซแต่ละครั้งโดยใช้ Polypropylene syringe ทำการถ่ายใส่ในหลอดและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ ไนโตรสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ด้วยเครื่อง Gas chromatography โดยใช้ electron capture detector (ECD) ตามวิธีการและเทคนิคที่บรรยายโดย Mosier and Mack (1980)

### ผลผลิตและการดูดกินไนโตรเจน

เก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดสุกเพื่อวัดผลผลิตโดยเก็บเกี่ยวในเนื้อที่ 2x3.2 ม. ของแต่ละแปลงทดลอง นำมานวด ผัด ตากแดด อบ ลดความชื้น ชั่งน้ำหนักผลผลิตข้าวเปลือก และปรับค่าผลผลิตเมล็ดที่ระดับความชื้น 14% สุ่มเก็บตัวอย่างผลผลิตที่ระยะเก็บเกี่ยว แล้วแยกส่วนตัวอย่างออกเป็นเมล็ดและฟาง นำไปอบในตูบที่อุณหภูมิ 65°C จนกระทั่งน้ำหนักคงตัว ชั่งน้ำหนักบดให้ละเอียด และวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนรวมทั้งหมดโดยวิธี micro-Kjeldahl (Bremner, 1965)

### การทดลองในฤดูฝน

ได้ทดลองศึกษาหาผลตกค้างของดำรับไนโตรเจน

ที่ใส่ให้แก่ข้าวเมื่อปลูกในฤดูก่อนที่มีต่อผลผลิตข้าว ปริมาณการดูดกินไนโตรเจน และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนของข้าวที่ปลูก ในฤดูฝนถัดมา โดยใช้แปลงและดำรับการทดลองอันเดิม ยกเว้นไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และการจัดการเศษพืชตกค้างแต่ประการใด ในฤดูฝนนั้นได้ทำการขังน้ำ และคราดไถดินในแปลงทดลองก่อนการปักดำ ประมาณ 2 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทชก่อนปักดำต้นข้าวประมาณ 1 ชั่วโมง ในแปลงทดลองรวมทั้งในแปลง microplot โดยใช้อัตราพันธุ์ข้าวและระยะปลูกอันเดิม เหมือนกับที่ได้ปฏิบัติในการทดลองฤดูที่แล้ว เมื่อถึงระยะเมล็ดสุก ทำการวัดผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก ปริมาณการดูดกินไนโตรเจน และปริมาณที่ตรวจพบไนโตรเจน -15 จากส่วนของตัวอย่างพืชเช่นเดียวกับการทดลองในฤดูที่แล้ว

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### สภาพลมฟ้าอากาศบริเวณแปลงทดลอง

Figure 1 แสดงค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด และปริมาณน้ำฝนที่ตกของเดือนต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2540 ระหว่างการดำเนินการทดลอง ปริมาณฝนที่ตกมีรูปแบบของการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ ในช่วงการเจริญเติบโตของข้าว ทั้งสองฤดูปลูกที่มีสภาพลมฟ้าอากาศที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างฤดู (มีนาคมถึงมิถุนายน) ข้าวเจริญเติบโตภายใต้สภาพของอุณหภูมิอากาศและปริมาณแสงแดด ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีปริมาณฝนตกน้อยในขณะที่ในฤดูฝน (กรกฎาคมถึงพฤศจิกายน) เป็นระยะที่ต้นข้าวเจริญเติบโต ภายใต้สภาพที่มีปริมาณฝนตกเกิดขึ้นสูงสุด ส่วนอุณหภูมิอากาศสูงสุดและต่ำสุดเกิดขึ้นต่ำกว่าในฤดูที่แล้ว ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นสูงกว่าค่าเฉลี่ย (37.1°ซ) แต่ไม่เกิน 40°ซ ปริมาณของฝนที่ตกตลอดทั้งปีรวมกันได้ประมาณ 800 มม.

#### การระเหยของแอมโมเนีย

การระเหยของแอมโมเนียจากดินนาส่วนหนึ่งถูกควบคุมโดยปัจจัยลมฟ้าอากาศ คืออุณหภูมิของน้ำ

ที่ท่วมขังดินและความเร็วลมซึ่งแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง 24-37 °ซ และระหว่าง 1 ถึง 3 ม. ต่อวินาที การสูญเสียแอมโมเนียเกิดขึ้นในปริมาณที่ต่ำ ในวันแรกภายหลังการใส่ปุ๋ยยูเรีย หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดในวันที่ 2 และ 4 และลดลงหลังจากนั้นไปจนกระทั่งวัดปริมาณได้น้อยมากใน วันที่ 11 (Fig. 2) รูปแบบของการสูญเสียแอมโมเนีย ของการทดลองครั้งนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับงานทดลอง ที่ผ่าน ณ สถานที่ทดลองเดียวกัน (Freney *et al.*, 1995. Chaiwanakupt *et al.*, 1996) เมื่อการระเหยของแอมโมเนียเกิดขึ้นสูงสุดในวันที่ 4 ปริมาณการสูญเสียแอมโมเนียในตำรับที่เผาฟาง เกิดขึ้นมากกว่าตำรับอื่น อาจเนื่องมาจากเถาของเศษพืชที่เผามีคุณสมบัติช่วยเพิ่ม pH ของดินให้อยู่ในสภาพเป็นด่างหรือพวกเถาที่ตกค้าง มีปริมาณธาตุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ตั้งนั้นจึงช่วยลดความสามารถของดินในการดูดซับ (adsorb)  $\text{NH}_4\text{-N}$  ที่เกิดขึ้นและเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสในดิน (Raison and Mc Garity, 1978) ปริมาณสะสมของแอมโมเนียที่สูญเสียในช่วงระยะเวลา 11 วัน ภายหลังจากใส่ปุ๋ยยูเรียจากดำรับการทดลอง กำจัดฟางออกจากแปลง เผาฟางทิ้ง และปล่อยฟางทิ้งไว้เกิดขึ้น 0.74, 1.30 และ 0.90 กก. ไนโตรเจนต่อไร่ตามลำดับหรือเท่ากับกับการสูญเสียแอมโมเนีย เกิดขึ้น 7, 12 และ 8 % ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ตามลำดับ การสูญเสียแอมโมเนียดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานการสูญเสียแอมโมเนียที่วัดโดยวิธี Bulk aerodynamic ณ สถานที่ทดลองเดียวกันที่ผ่านมา Phongpan *et al.* (1995) พบว่าการสูญเสียแอมโมเนียจากปุ๋ยยูเรียเมื่อหว่านในน้ำที่ท่วม ขังดินในนาข้าวเกิดขึ้น 15 % ของไนโตรเจนที่ใส่ Freney *et al.* (1995) รายงานการสูญเสียแอมโมเนียเกิดขึ้น 14.5 % ของยูเรียที่ใส่ในขณะที่ Chaiwanakupt *et al.* (1996) รายงานการสูญเสียแอมโมเนียเกิดขึ้น 19.5 % ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ ภายหลังจากใส่ปุ๋ยยูเรียในนาข้าว

#### การปลดปล่อย $\text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$

การปลดปล่อย  $\text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$  จากดินนาปลูกข้าวภายใต้สภาพน้ำขังสามารถวัดปริมาณได้ภายหลัง เมื่อ

ใส่ยูเรียแล้ว 3 วัน ทุกตัวรับการทดลอง (Fig. 3) ในตัวรับการทดลองที่กำจัดฟางออกจากแปลง พบว่าอัตราการปลดปล่อย  $N_2 + N_2O$  เกิดขึ้นสูงสุด ( $387 \mu\text{gN m}^{-2}\text{hr}^{-1}$ ) ที่ระยะเวลา 7 วัน ภายหลังจากใส่ยูเรีย หลังจากนั้นได้ลดลงจนถึงจุดต่ำสุด ในวันที่ 10 ก่อนเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนกระทั่งสิ้นสุดในวันที่ 12 ส่วนตัวรับเผ่าฟางทั้งอัตราการปลดปล่อย  $N_2 + N_2O$  เกิดขึ้น สูงสุด ( $233 \mu\text{gN m}^{-2}\text{hr}^{-1}$ ) ในวันที่ 3 แล้วค่อย ๆ ลดลงไปที่ต่ำสุด ในวันที่ 7 ก่อนเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นจนกระทั่งถึงวันที่ 12 ในทางกลับกันอัตราการปลดปล่อยของ  $N_2 + N_2O$  จากตัวรับที่ปล่อยฟางทิ้งไว้สามารถวัดค่าได้สูงสุดไม่เกิน  $10 \mu\text{gN m}^{-2}\text{hr}^{-1}$  ตลอดช่วงระยะเวลา 12 วัน สาเหตุที่อัตราการปลดปล่อยของ  $N_2 + N_2O$  เกิดขึ้นน้อยมากในตัวรับที่ปล่อยฟางทิ้งไว้ อาจเนื่องมาจากกระบวนการ immobilization ของ N จากยูเรียที่ใส่ลงไป โดยจุลินทรีย์ในดินซึ่งใช้เศษพืชตักค้ำเป็นแหล่งของพลังงาน สำหรับการเจริญเติบโต และดำเนินกิจกรรม (Aulakh *et al.*, 1991) จากวันที่ 3 ถึง 12 ภายหลังจากใส่ยูเรียอัตราการปลดปล่อย  $N_2 + N_2O$  มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 290 110 และ น้อยกว่า  $10 \mu\text{g m}^{-2}\text{hr}^{-1}$  จากตัวรับการทดลองกำจัดฟางออกจากแปลงนา เผ่าฟางทิ้งและปล่อยฟางทิ้งไว้ตามลำดับ เมื่อนำเอาค่า atom % enrichment และสมการการวัด gas flux ที่เสนอโดย Mosier *et al.* (1989) มาใช้ในการคำนวณ พบว่าปริมาณสะสมการปลดปล่อย  $N_2 + N_2O$  ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการใส่ยูเรียในตัวรับการทดลองดังกล่าวข้างต้นเมื่อสิ้นสุดการวัดมีค่าเท่ากับ 10, 4 และมีค่าน้อยมาก % ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ (Fig.4) ปริมาณของไนโตรเจนในรูป  $N_2 + N_2O$  ที่ปลดปล่อยออกมาในปริมาณที่น้อยกว่ายูเรียที่ใส่ในการทดลองครั้งนี้ให้ผลคล้ายกับผลงานวิจัยที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ (John *et al.*, 1989; Mosier *et al.*, 1989; Mosier *et al.*, 1990; De Datta *et al.*, 1991; Buresh *et al.*, 1991; Keerthisinghe *et al.*, 1996) การปลดปล่อย ของ  $N_2 + N_2O$  ในปริมาณน้อยกว่าปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในนาข้าว อาจเนื่องมาจากก๊าซไนโตรเจนดังกล่าวส่วนใหญ่มักติดค้ำ (entrapment) อยู่ในดินนา ซึ่งมีผลต่อการลดปริมาณการปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ (Lindau *et al.*, 1988; Mosier *et al.*, 1990; Samson *et al.*, 1990)

### ไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตักค้ำในดิน

Fig. 5 แสดงการกระจายตัวของไนโตรเจน-15

จากยูเรียที่เหลือตักค้ำอยู่ในชั้นดินของแต่ละตัวรับการทดลอง ภายหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวฤดูแล้งโดยชี้ให้เห็นว่าปริมาณไนโตรเจน-15 จากปุ๋ยยูเรียที่ใส่มีการสะสมเป็นส่วนใหญ่ บริเวณผิวดินที่ระดับ 0-0.05 ม. และแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชั้นดินที่ลึกลงไป ( $P=0.01$ ) ไนโตรเจน-15 ที่วัดได้มีปริมาณค่อนข้างต่ำในชั้นดินระดับ 0.05-0.10 และ 0.10-0.20 ม. เป็นเครื่องชี้ให้เห็นว่าการเคลื่อนย้ายลงลึก ลงไปใต้ดินของยูเรียที่ใส่ลงไปเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ประมาณ 84 % ของไนโตรเจนที่ใส่ลงไปสะสมอยู่บริเวณชั้นผิวดินที่ 0-0.5 ม. โดยปริมาณของไนโตรเจนที่ตักค้ำอยู่ในชั้นนี้มีช่วงระหว่าง 41 ถึง 46 % ของไนโตรเจนที่ใส่ และไม่แสดงความแตกต่างกันระหว่างตัวรับการทดลอง (Table 1) ส่วนไนโตรเจน-15 ที่ตรวจพบในชั้น 0.05 ถึง 0.10 ม. มีน้อยกว่า 4% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ ในขณะที่ชั้นที่ลึกลงไปคือ 0.10 ถึง 0.20 ม. มีปริมาณไนโตรเจน-15 ที่ตรวจพบ 3 ถึง 6% ของไนโตรเจนที่ใส่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นปริมาณของยูเรียไนโตรเจน-15 ที่ใส่ลงไปให้แก่ข้าวเหลือตักค้ำอยู่ในดินเป็นจำนวนมาก (50-53 %) ภายหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวที่ปลูกในฤดูแล้ง และไม่แสดงความแตกต่างกัน ระหว่างตัวรับการทดลอง ปริมาณของไนโตรเจนที่เหลือตักค้ำอยู่ในดิน ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนแปลง โดยกระบวนการ immobilization ของไนโตรเจนไปอยู่ในรูป ของอินทรีย์ไนโตรเจนดังเคยมีรายงานมาก่อน (Kai *et al.*, 1983)

### ไนโตรเจน-15 ที่ตรวจพบในต้นข้าว

เมื่อวัดความสมดุลของไนโตรเจนจากแปลงทดลอง  $^{15}\text{N}$  microplot ของฤดูแล้งปี 2540 (Table 2) พบว่าที่ระยะเมล็ดสุก ปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตรวจพบ (recovery) ในต้นพืช (เมล็ด ฟาง ราก) ไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างตัวรับการทดลอง ปริมาณของไนโตรเจนที่ตรวจพบได้ในเมล็ดมีปริมาณต่ำเพียงแค่ 9 ถึง 11% ของไนโตรเจนที่ใส่ ส่วนปริมาณของปุ๋ยไนโตรเจนที่ตรวจพบในฟางและราก ไม่แสดงความแตกต่างกัน ระหว่างตัวรับการทดลอง โดยมีช่วงระหว่าง 7 ถึง 11% และ 0.15 ถึง 0.21% ตามลำดับปริมาณไนโตรเจนรวมทั้งที่ตรวจพบในตัวรับที่กำจัดฟาง ออกจากแปลงนา (23%) ให้ผลไม่แตกต่างจากตัวรับปล่อยฟางทิ้งไว้ (18%) และตัวรับที่เผ่าฟางทิ้ง (17%) ค่าของไนโตรเจนที่ตรวจพบในต้นข้าวของ

การทดลอง ครั้งนี้ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณไนโตรเจน จากปุ๋ยที่ตรวจพบในดินพืช ที่ระยะเก็บเกี่ยวของการทดลองอื่น ๆ ที่ผ่านมาซึ่งอยู่ในช่วง 30–50% (Snitwongse *et al.*, 1988a,b ; Satrusajang *et al.*, 1991) อย่างไรก็ตามผลการวิจัยที่ได้ดำเนินการทดลอง บริเวณใกล้เคียงกับการทดลอง ปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าปริมาณของยูเรียไนโตรเจน-15 ที่ตรวจพบในดินข้าวมีค่าใกล้เคียง 20% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ (Freney *et al.*, 1995)

### การสูญเสียไนโตรเจน

ปริมาณที่ขาดหายไปของไนโตรเจน-15 (Table 2) เมื่อวัดความสมดุลของไนโตรเจนอาจเนื่องมาจากการสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซอยู่ในช่วง 27 ถึง 33% ของไนโตรเจนที่ใส่ และไม่แสดงความแตกต่างกันระหว่างตำรับการทดลอง ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องใกล้เคียงกับผลการทดลอง Snitwongse *et al.* (1988a,b) ซึ่งรายงานการสูญเสียไนโตรเจน 20 ถึง 28 % ของปริมาณที่ใส่จากปุ๋ยเมื่อใส่รองพื้น โดยคลุกเคล้าเข้ากับดินตอนระยะปักดำ อย่างไรก็ตาม มีรายงานการสูญเสียไนโตรเจนวัดเมื่อตอนระยะเมล็ดสุกเกิดขึ้นเกิน 50% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่จากงานทดลอง ในสภาพที่ไร่นาเมื่อทำการใส่ยูเรียแบบหว่านไปบนผิวน้ำที่ท่วม ชักดินภายหลังปักดำ (Satrusajang *et al.*, 1991 ; Freney *et al.*, 1995)

### การปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (N<sub>2</sub>O)

ใน microplot ที่ใส่ <sup>15</sup>N ปริมาณการปลดปล่อยของ N<sub>2</sub>O เกิดขึ้นในตำรับที่กำจัดฟางออกจากแปลงมากกว่าตำรับการทดลองอื่นในสัปดาห์แรกของช่วงระยะที่ว่างเปล่า (6 มิถุนายน ถึง 14 สิงหาคม) หลังจากนั้น ปริมาณ ของ N<sub>2</sub>O ลดลงจนกระทั่งถึงกลางเดือนสิงหาคม (Fig. 6) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาทั้งหมด เมื่อทำการวัดการปลดปล่อย N<sub>2</sub>O ทุกสัปดาห์พบว่าไม่แสดงความแตกต่างกัน ระหว่างตำรับการทดลอง โดยที่มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 49 37 และ 42 μgN m<sup>-2</sup> hr<sup>-1</sup> และมีช่วงอยู่ระหว่าง 25 ถึง 128 19 ถึง 59 และ 24 ถึง 75 μgN m<sup>-2</sup>hr<sup>-1</sup> จากตำรับการทดลองกำจัดฟางออกจากแปลง เผาฟางทิ้ง และปล่อยฟางทิ้งไว้ตามลำดับ ปริมาณการปลดปล่อยของ N<sub>2</sub>O นี้น้อยกว่าค่าที่รายงาน (15–22 mg N m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) โดย Bronson *et al.* (1997) ในการทดลองช่วงที่ปล่อยที่นาว่างเปล่าในฤดูแล้ง

อย่างไรก็ตามผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องใกล้เคียงกับการทดลองภายใต้สภาพคล้ายคลึงกันที่ปริมาณการปลดปล่อย N<sub>2</sub>O ไม่ได้รับผลกระทบจากการใส่ฟางข้าว (Bronson *et al.*, 1997) แต่มีความแตกต่างจากรายงานการทดลองในดินไร่ ซึ่งพบว่าการใส่เศษพืชตักค้ำมีผลกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อย N<sub>2</sub>O เพิ่มขึ้น (Aulakh *et al.*, 1991) ในการทดลองครั้งนี้การปลดปล่อย N<sub>2</sub>O ในช่วงที่ปล่อยที่นาว่างเปล่า ในฤดูแล้งอาจเป็นผลเนื่องมาจากทั้งกระบวนการ nitrification ของอินทรีย์ไนโตรเจนที่สลายตัวในชั้นผิวดิน และกระบวนการ denitrification ในชั้นใต้ดินที่มีความเปียกชื้น (Mosier *et al.*, 1986 ; Bronson *et al.*, 1997)

### การดูดกินไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตักค้ำ

ตำรับปล่อยฟางทิ้งไว้ไม่มีผลต่อปริมาณการดูดกินไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตักค้ำของข้าว ซึ่งปลูกถัดมาในฤดูฝน (Table 3) เมื่อแสดงออกในรูปของไนโตรเจน-15 ที่ใส่ เมื่อเริ่มต้นปรากฏว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณไนโตรเจน-15 ที่ตรวจพบในส่วนของต้นพืชไม่ว่าเป็นเมล็ด ฟาง และรากในระหว่างตำรับการทดลอง ปริมาณ เพียงแค่ 4–5 % ของไนโตรเจนจากยูเรีย ที่ใส่ให้แก่ข้าวที่ปลูกในฤดูแล้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สำหรับข้าวที่ปลูก ตามมาในฤดูฝนชี้ให้เห็นว่าไนโตรเจนจากส่วนเหลือตักค้ำ ในดินนาภายหลังเก็บเกี่ยวต้นข้าวในฤดูแรกสามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชในฤดูปลูกถัดมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับรายงานการทดลองที่ผ่านมาว่าไนโตรเจนที่เหลือตักค้ำในดินนาข้าวที่ปลูกตามมาสามารถดูดกินไนโตรเจนดังกล่าวได้ในปริมาณที่ต่ำ (Cao *et al.*, 1984 ; De Datta *et al.*, 1987 ; Panda *et al.*, 1995)

### การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดิน

ในช่วงที่ปล่อยที่นาว่างเปล่าในฤดูแล้งปรากฏว่าปริมาณไนโตรเจนที่สกัดได้จากแปลง microplot ที่ใส่ <sup>15</sup>N ของตำรับการทดลองการจัดการเศษซากพืชตักค้ำส่วนใหญ่ อยู่ในรูปของ NO<sub>3</sub>-N มากกว่า NH<sub>4</sub>-N (Table 4) อย่างไรก็ตามในช่วงที่ปล่อยที่นาว่างเปล่าในฤดูฝนกลับปรากฏว่าปริมาณไนโตรเจนที่สกัดได้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของ NH<sub>4</sub>-N มากกว่า NO<sub>3</sub>-N ปริมาณของ NH<sub>4</sub>-N และ NO<sub>3</sub>-N ระหว่างตำรับการทดลองไม่แสดงความแตกต่างกัน ในช่วงที่ปล่อยที่นาว่างเปล่าทั้งสองฤดูและ

ระยะเวลาภายหลัง เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวปริมาณที่สูงของ  $\text{NO}_3$  ซึ่งสะสมในดิน ช่วงที่ปล่อยที่นาว่างเปล่าหลังสองฤดูปลูก เอื้ออำนวยให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนได้ง่าย โดยกระบวนการ denitrification ในระยะที่ทำการปล่อยน้ำเข้าท่วมขังดินเพื่อเตรียมไถพื้นที่ ก่อนการปลูกข้าว (Buresh *et al.*, 1989)

### ผลผลิตเมล็ดและการดูดกินไนโตรเจน

ในฤดูแล้งผลผลิตเมล็ดในสภาพที่ไม่ได้ใส่ยูเรียของตำรับปล่อยฟางทิ้งไว้ไม่แสดงความแตกต่างไปจากตำรับกำจัดฟางออกจากรนาและเผาฟางทิ้ง (Table 5) ในขณะที่ผลผลิตของเมล็ด และปริมาณการดูดกินไนโตรเจนสำหรับเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ตำรับที่ใส่ยูเรียเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการจัดการเศษพืชตกค้างที่ไม่ได้ใส่ยูเรีย ส่วนปริมาณการดูดกินไนโตรเจนสำหรับฟางไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดระหว่างตำรับที่ใส่และไม่ใส่ยูเรีย ในฤดูฝนปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกันของผลผลิตเมล็ด ระหว่างตำรับการทดลองทั้งหมดและผลตกค้างของการใส่ไนโตรเจนในฤดูแล้งที่พบในต้นข้าวที่ปลูกตามมาในฤดูฝนเป็นเครื่องชี้ให้เห็นว่าปริมาณของไนโตรเจนที่เหลือตกค้างในดินจำนวนมากภายหลังเก็บเกี่ยวข้าวในฤดูกาลแรกสามารถเป็นประโยชน์ต่อข้าวที่ปลูกตามมาในฤดูถัดไปได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองพบว่าการสูญเสียแอมโมเนียจากยูเรียอัตรา 11.2 กก. ไนโตรเจนในช่วงระยะเวลา 11 วัน ภายหลังการใส่แบบหว่านเกิดขึ้น 7, 12 และ 8% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ จากตำรับการทดลองกำจัดฟางออกจากแปลง เผาฟางทิ้ง และปล่อยฟางทิ้งไว้ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาใกล้เคียงกันปริมาณสะสม  $\text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$  ที่ปลดปล่อยออกมา เนื่องจากการใส่ยูเรียในตำรับการทดลองดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 10, 4 และมีค่าน้อยมาก (%) ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่

สำหรับข้าวที่ปลูกในฤดูแล้ง ปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตรวจพบในเมล็ดและฟางมีค่อนข้างต่ำเพียงแค่ 9 ถึง 12% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ซึ่งกล่าวสรุปโดยทั่วไปว่า ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในการทดลองครั้งนี้สามารถใช้ประโยชน์จากปุ๋ยยูเรียได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องจากส่วนหนึ่งเกิดการสูญเสียไนโตรเจนโดยการปลดปล่อยสู่บรรยากาศในรูปก๊าซ (27–33%) และเหลือตกค้างอยู่ในดินในปริมาณที่สูงเมื่อสิ้นสุดฤดูปลูก (50–53%) ไนโตรเจนที่ตกค้างอยู่ในดินเมื่อปล่อยทิ้งไว้ว่างเปล่า ภายหลังเก็บเกี่ยวข้าวในฤดูแล้งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไนเตรทซึ่งอาจเอื้ออำนวยให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนได้ง่าย โดยกระบวนการ denitrification เมื่อทำการขังน้ำ สำหรับเตรียมดินปลูกข้าวในฤดูฝนถัดมา ความเป็นประโยชน์ได้ของไนโตรเจนจากยูเรียเมื่อใส่ให้แก่ข้าว ที่ปลูกในฤดูแล้งสามารถตรวจพบได้เพียงแค่ 4–5% สำหรับข้าวที่ปลูกตามมาในฤดูฝนเมื่อไม่มีการใส่ไนโตรเจน

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากระบวนการสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซและกระบวนการ Immobilization ของไนโตรเจนเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของยูเรีย ที่ใส่ให้แก่ข้าวลดต่ำลงเหลือเพียงประมาณ 20% ในฤดูแรกและ 5% ในฤดูถัดไปภายใต้ระบบการปลูกข้าวแบบตามกัน ติดต่อกันทั้งสองฤดูปลูกซึ่งสามารถสะท้อนออกมาในรูปของผลผลิตเมล็ด และการดูดกินไนโตรเจน การลดการสูญเสีย ไนโตรเจนและ immobilization ให้น้อยลงโดยวิธีการปฏิบัติที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทดลองเพิ่มเติมต่อไป

### คำขอขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคุณจันทนา สรสิริ ฝ่ายวิชาการสถิติ กองแผนงาน และวิชาการที่ช่วยเหลือวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติผลการวิจัย

**Table 1** Recovery of <sup>15</sup>N-labeled urea in soil by depth at harvest ; Suphanburi, 1997 dry season

Soil depth	Treatment			Significance of difference
	Urea	Urea+burned straw	Urea+straw	
m.	.....% of applied <sup>15</sup> N.....			
0-0.05	41.80	40.88	46.37	NS
0.05-0.10	3.08	3.87	3.92	NS
0.10-0.20	6.12	4.99	2.75	NS
Total	51.00	49.74	53.04	NS

NS = Not significant at P>0.05

**Table 2** Balance of <sup>15</sup>N-labeled fertilizer in the soil-plant system at harvest ; Suphanburi, 1997 dry season

Treatment	<sup>15</sup> N recovery (% N applied)				
	Grain	Straw	Roots	Soil	Unaccounted for
Urea	10.68 a	11.13 a	0.21 a	51.00 a	26.98 a
Urea + burned straw	9.37 a	7.49 a	0.17 a	49.74 a	33.23 a
Urea + straw	8.92 a	8.77 a	0.15 a	53.04 a	29.12 a

Values in a column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

**Table 3** Uptake of residual <sup>15</sup>N-labeled urea by the second rice crop as affected by residue treatment at harvest ; Suphanburi, 1997 wet season

Treatment	<sup>15</sup> N uptake			Recovery of initially Applied <sup>15</sup> N			
	Grain	Straw	Roots	Grain	Straw	Roots	Total
	.....Kg N/ha.....			.....%.....			
Urea	1.67	1.28	0.02	2.38 a	1.83 a	0.03 a	4.24
Urea + burned straw	1.84	1.88	0.03	2.63 a	2.68 a	0.04 a	5.35
Urea + straw	1.90	1.53	0.03	2.72 a	2.18 a	0.04 a	4.94

Values in a column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

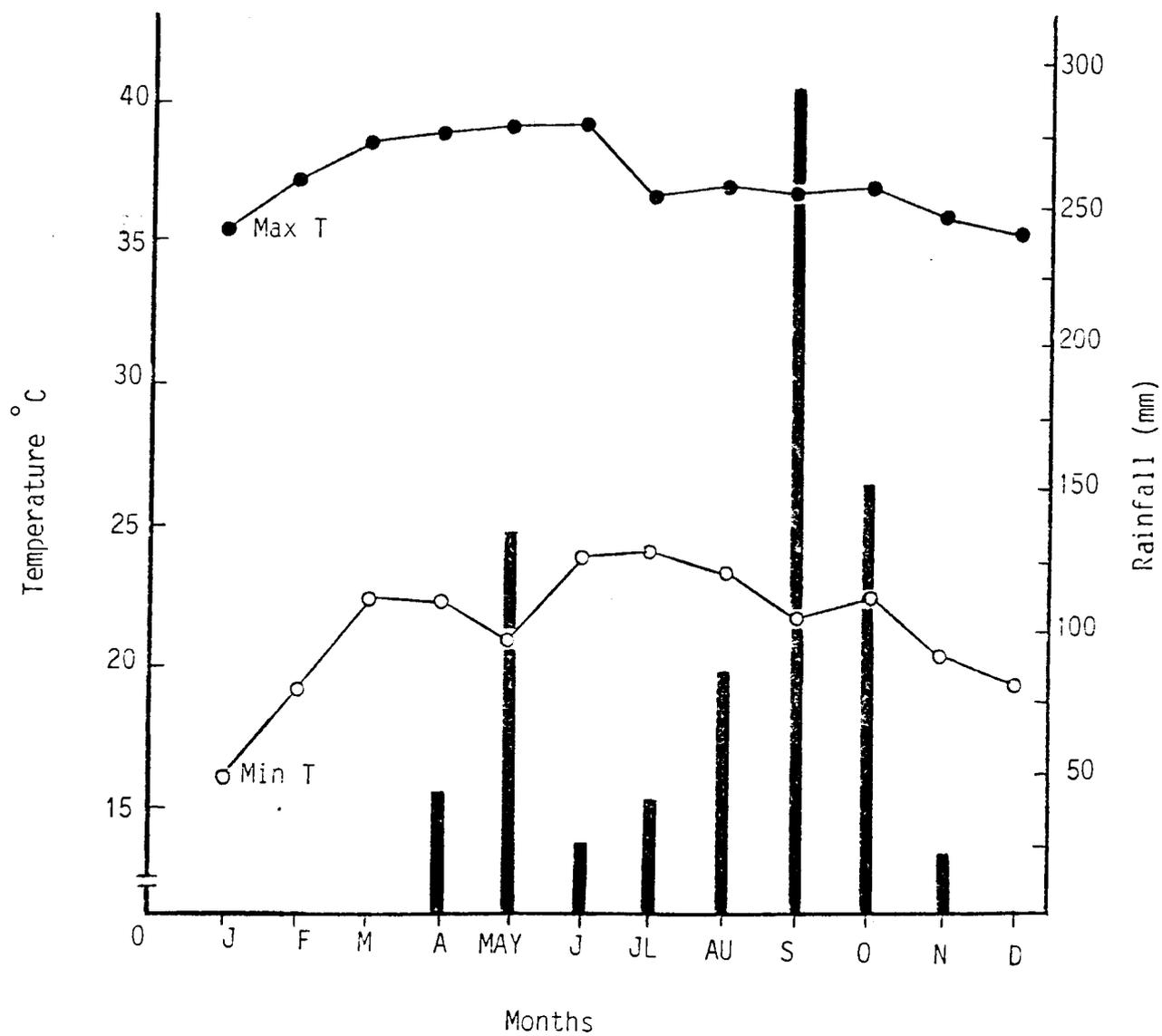
**Table 4** Soil ammonium-N and nitrate-N accumulation during fallow periods from urea <sup>15</sup>N treated microplots

Treatment	Weeks after rice harvest					
	Ammonium-N			Nitrate-N		
	0	2	4	0	2	4
	.....mg N kg <sup>-1</sup> .....					
<b>Dry season</b>						
Urea	20.7	11.4	10.0	37.9	23.3	20.4
Urea + burned straw	19.4	11.6	11.6	39.8	22.5	25.1
Urea + straw	21.3	12.3	11.8	32.9	23.2	24.1
<b>Wet season</b>						
Urea	47.9	34.5	32.8	23.7	26.3	23.8
Urea + burned straw	46.0	37.1	32.0	24.3	24.5	24.7
Urea + straw	57.0	39.5	33.4	26.6	29.5	24.9

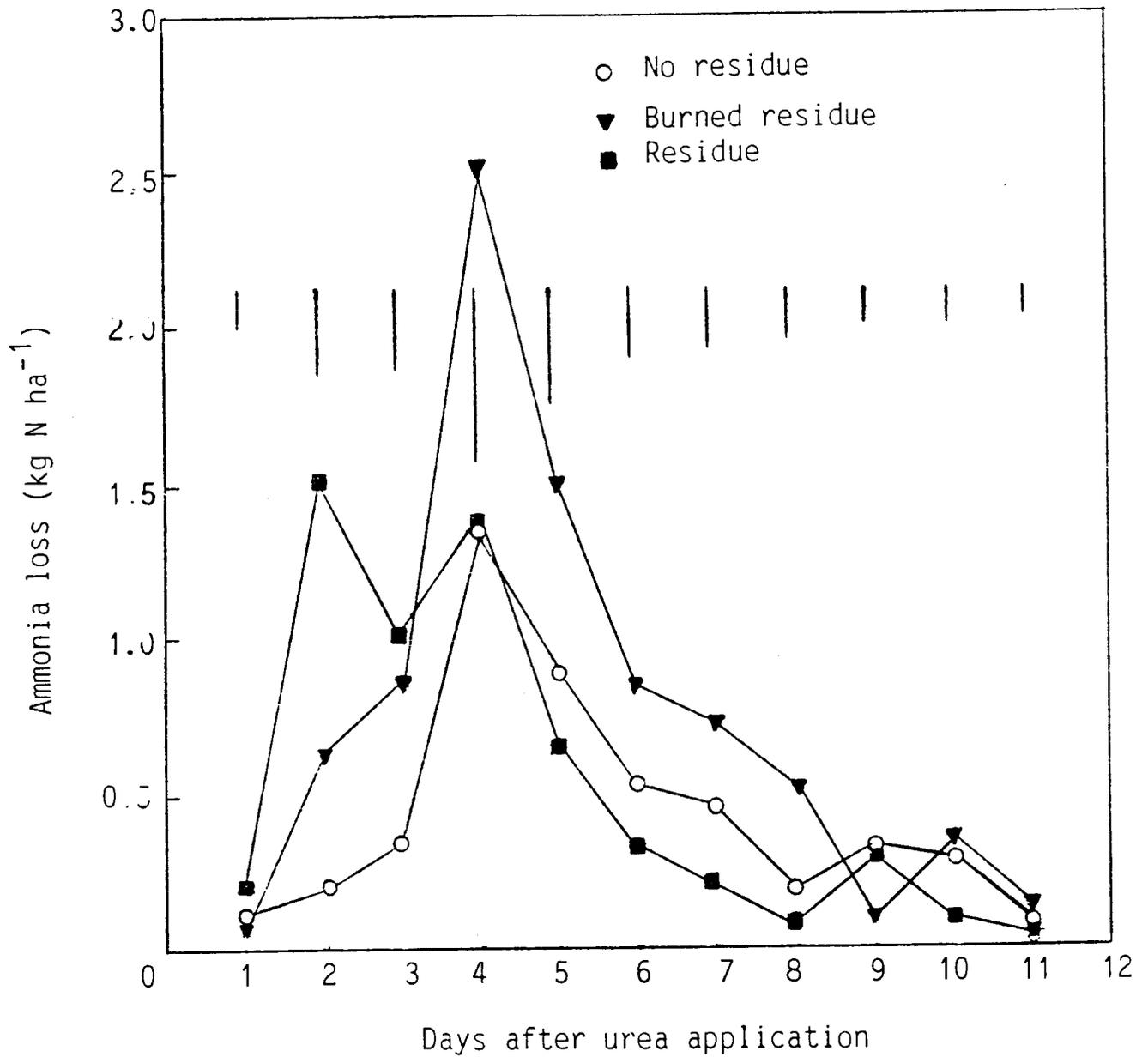
**Table 5** Mean grain yield and N uptake of rice at maturity as affected by urea and crop residue management practices ; Suphanburi, 1997 dry and wet seasons

Treatment	Dry season			Wet season		
	Grain yield (Mg/ha)	N uptake kg N ha <sup>-1</sup>		Grain yield (Mg/ha)	N uptake kg N ha <sup>-1</sup>	
		Grain	Straw		Grain	Straw
	1. Straw removed	3.7 c	35.6 b	35.0 b	4.0 a	46.6 a
2. Straw left	4.0 bc	39.7 ab	36.9 b	4.1 a	41.9 ab	45.3 b
3. Straw burned	3.7 c	38.4 b	41.3 ab	3.9 a	45.4 a	54.2 ab
4. Urea	4.7 a	46.2 a	43.7 a	3.8 a	35.0 b	45.3 b
5. Urea + straw	4.8 a	48.5 a	39.76 a	3.9 a	37.9 ab	47.4 b
6. Urea + burned straw	4.2 a	47.4 a	41.1 ab	3.7 a	36.9 b	53.1 ab
CV (%)	6.5	12.3	16.2	9.1	12.4	19.5

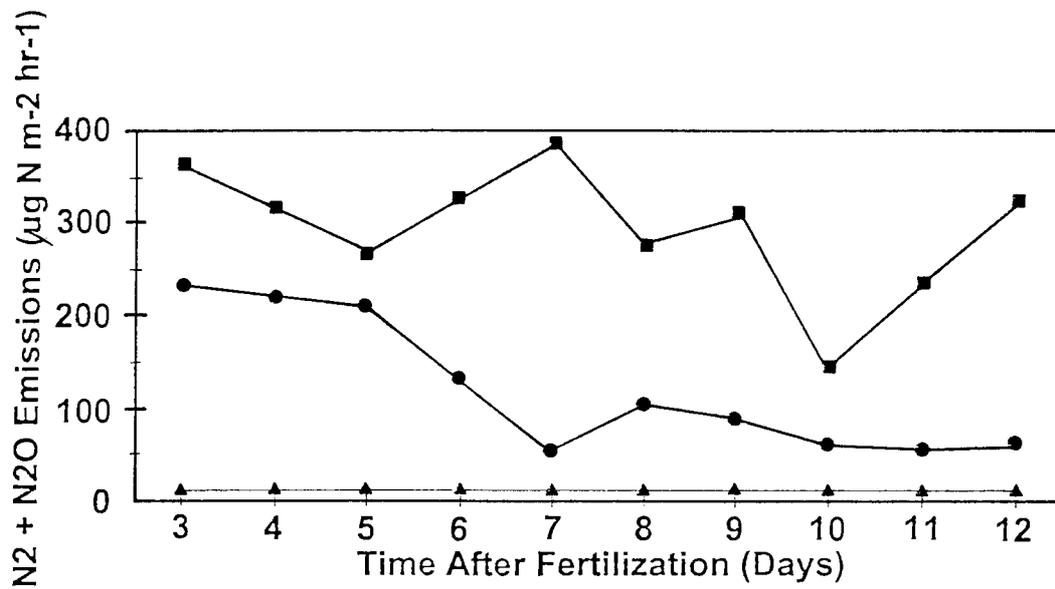
Values in a column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.



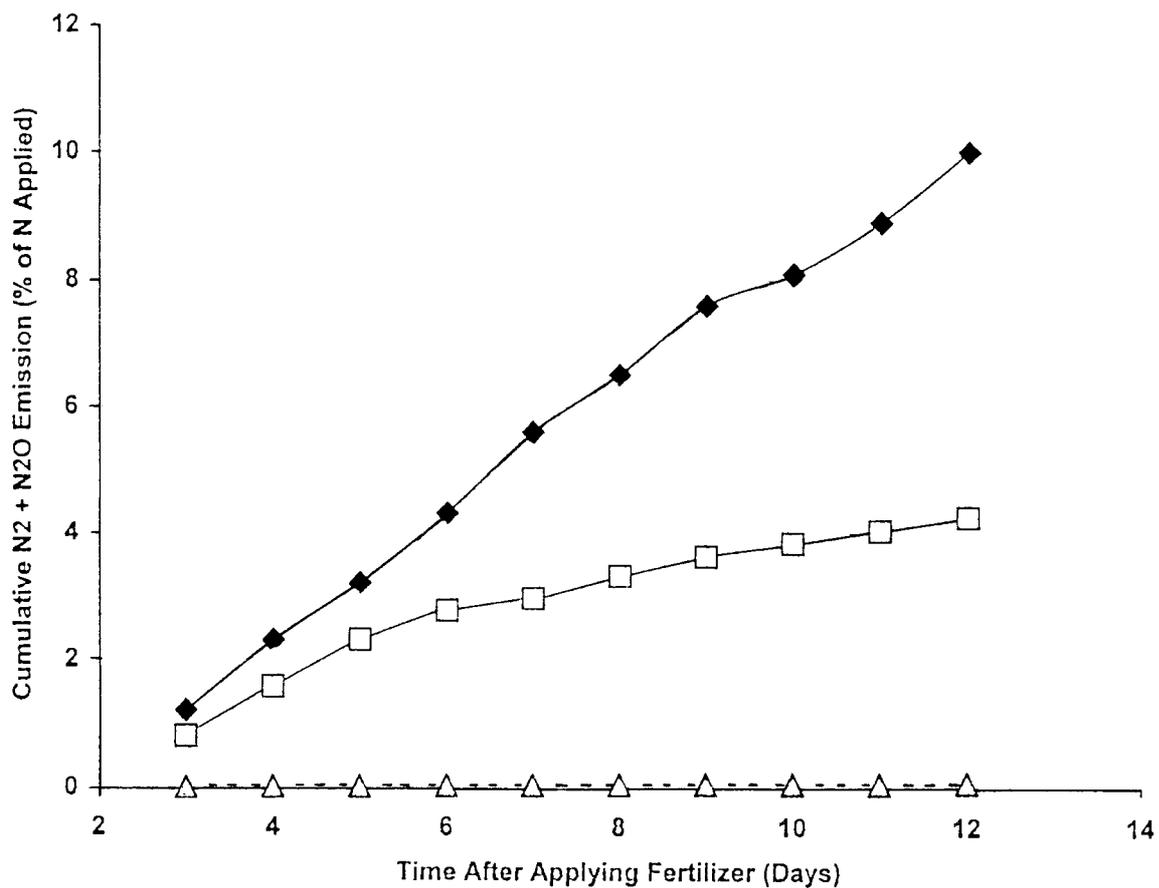
**Fig. 1** Monthly rainfall and maximum and minimum temperatures at the experimental site during the year 1997. Line chart represents temperature and bar chart represents rainfall



**Fig. 2** Effect of residue treatment on  $\text{NH}_3$  loss from flooded rice broadcast with urea. [○ No residue; ▼ Burned residue; ■ Residue]. Vertical lines represent LSD (least significant difference) at  $P < 0.05$ . Suphanburi, dry season 1997.



**Fig. 3** Effect of residue treatment on emissions of N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O from a flooded rice soil after urea application [■ No residue; ● Burned residue; ▲ Residue]. Suphanburi, dry season 1997.



**Fig. 4** Cumulative percent of N<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>O emission due to urea addition. [◆ No residue; □ Burned residue; △ Residue].

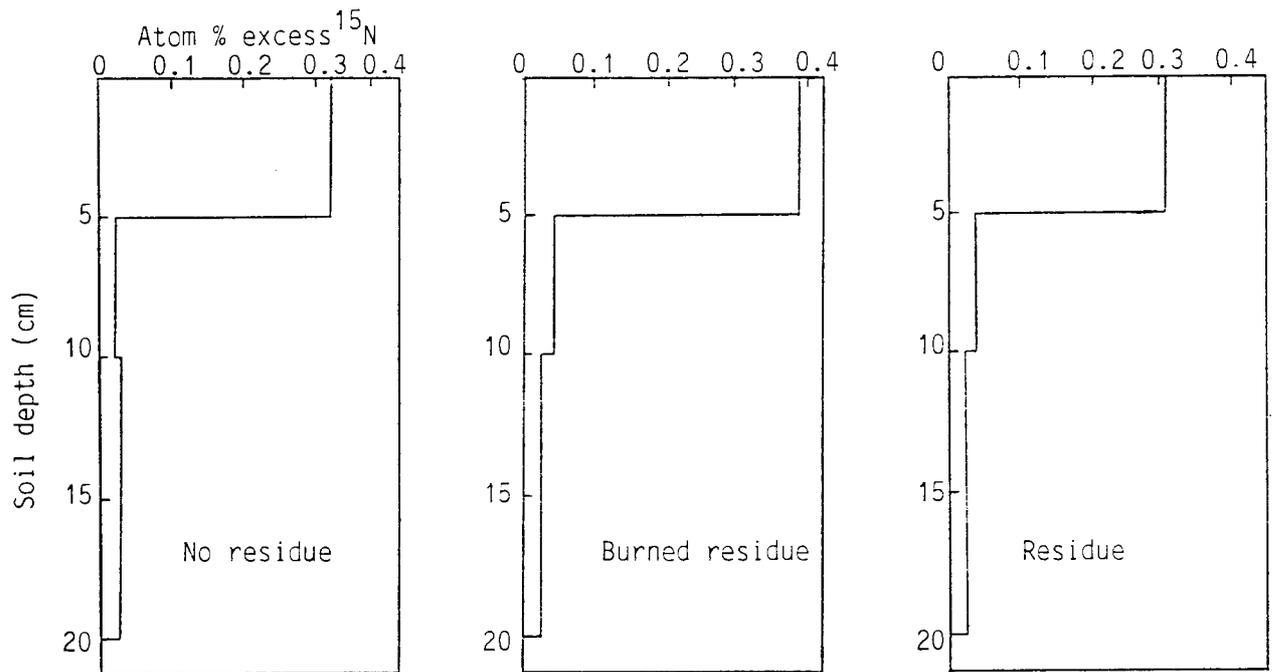


Fig. 5 Distribution of residual  $^{15}\text{N}$ -labeled urea in the soil profile at harvest. Suphanburi, 1997 dry season.

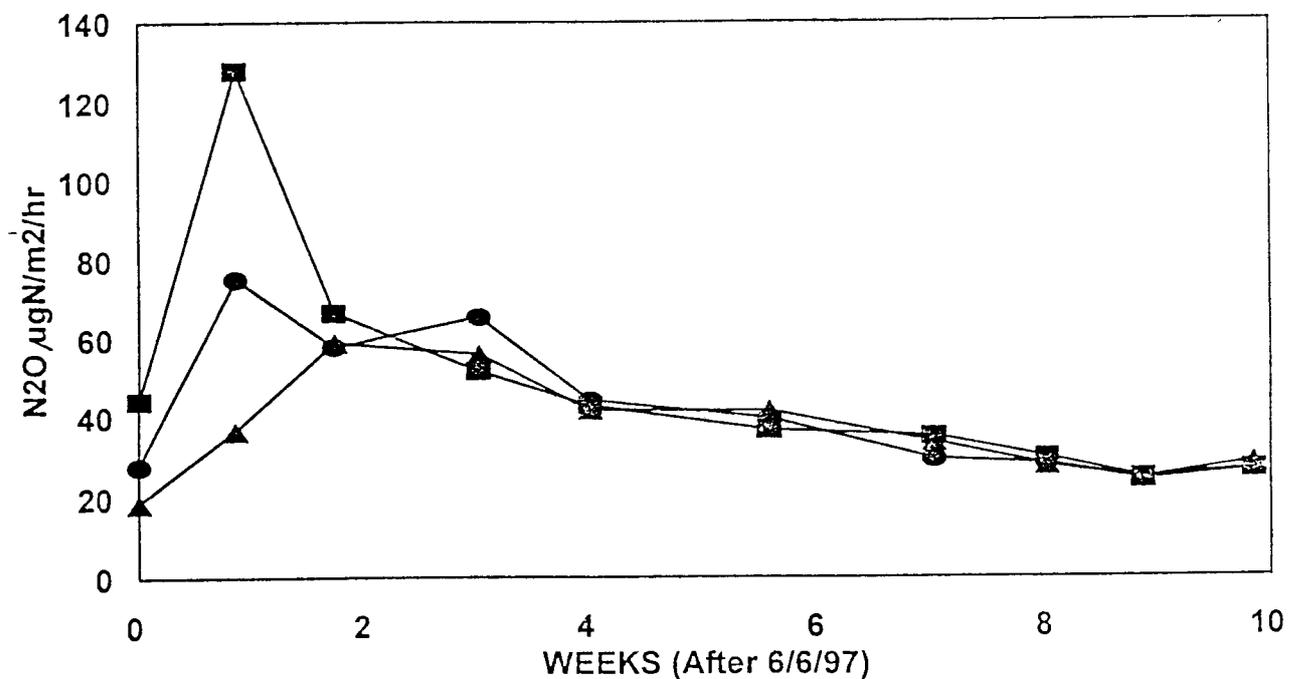


Fig. 6 Weekly emissions of  $\text{N}_2\text{O}$  from a non-flooded soil during a fallow period as affected by residue treatment. [■ No residue; ▲ Burned residue; ● Residue]. Suphanburi, dry season 1997.

- Aulakh, M.S.; J.W. Doran; D.T. Walters; A.R. Mosier and D.D. Francis. 1991. Crop residue type and placement affects on denitrification and mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 : 1020–1025.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. Pages 1149–1178. In : Black CA (ed) *Methods of Soil Analysis Part 2*, Am Soc. Agron, Madison, WI.
- Bronson, K.E.; U.Singh, H.U. Neue and E.B.Abao. 1997. Automated chamber measurements of methane and nitrous oxide flux in a flooded rice soil : II. Fallow period emissions. *Soil Sci. Am. J.* 61 : 988–993.
- Buresh, R.J.; T.Woodhead; K.D. Shepherd; E.V. Flordeles and R.C. Cabangon; 1989. Nitrate accumulation and loss in a mungbean/lowland rice cropping system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53 : 477–482.
- Buresh, R.J.; S.K. De Datta 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.
- Cao, Z.H.; S.K. De Datta and I.R.P. Fillery. 1984. Nitrogen-15 balance and residual effects of urea-N in wetland rice fields as affected by deep placement techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48 : 203–208.
- 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; I.R.P. Fillery; W.N. Obcemea and R.C.Evangelista. 1987. Floodwater properties, nitrogen utilization, and nitrogen-15 balance in a calcareous lowland rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51 : 1355–1362.
- 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; J.G. 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 : 1275–1581.
- De Datta, S.K.; R.J. Buresh; M.I. Samson; W.N. Obcemea and J.G. Real 1991. Direct measurement of ammonia and denitrification fluxes from urea applied to rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 : 543–548.
- 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: 225–223.
- 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.
- Kai, H., S. Kawaguchi; X. Jiraporncharoen ; T. Aibe; N.Komthong ; K. Naklong; H. Kunathi and

- S.Kuanthavon. 1983.  $^{15}\text{N}$ -tracer experiment. Pages 164–182. In : Paddy Nitrogen Economy. NODAI Rerearch Institute, Tokyo, Japan.
- 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.
- Lindau, C.W.; W.H. Patrick; R.D. Delaune; K.R. Reddy and P.K. Bollich. 1988. Entrapment of nitrogen–15 dinitrogen during soil denitrification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52 : 538–540.
- Mosier, A.R. and I.Mack, 1980. Gas chromatographic system for precise, rapid analysis of  $\text{N}_2\text{O}$ . *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44 : 1121–1123.
- Mosier, A.R.; W.D. Guenzi and F.E. Schweizer. 1986. Soil losses of dinitrogen and nitrous oxide from irrigated crops in northeastern Colorado. *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  $^{15}\text{N}$  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.
- Orion. 1983. Instruction Manual for Ammonia Electrode Model 95–12. Cambridge, Mass : Orion Research Inc.
- Panda, M.M.; A.R. Mosier; S.K. Mohanty; S.P. Chakravorti; A.B. Cahlam and M.D. Reddy. 1995. Nitrogen utilization by lowland rice as affected by fertilization with urea and green manure. *Fert. Res.* 40 : 215–223.
- 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.  $^{15}\text{N}$  Tehniques and analytical Procedures : Indo /U.S. Science and Technology Initiative. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS–95 : 1–26.
- Raison, R.J. and J.W. Mc Garity. 1978. Effect of plant ash on nitrogen fertilizer transformation and ammonia volatilization. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 42 : 140–143.
- 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.
- Satrusajang, A; P. Snitwongs; R.J. Buresh and D.K. Friesen. 1991. Nitrogen–15 and sulfur 35 balances for fertilizers applied to transplanted rainfed lowland rice. *Fert. Res.* 28 : 55–65.
- Snitwongse, P.;A. Satrusajang and R.J. Buresh. 1988a. Fate of nitrogen fertilizer applied to lowland rice on a Sulfic Trophaequept. *Fert. Res.* 16 : 227–240.
- Snitwongse, P.;C.Siripaiboon; A. Satrusajang and P. Chaiwanakupt. 1988b. Fate and effeciency of fertilizer nitrogen ( $^{15}\text{N}$  labeled) in wetland rice soil in Thailand. *Thai. J. Agric. Sci.* 21 : 277–283.