

## การเพิ่มผลผลิตข้าวนาหว่านน้ำตมภายใต้การจัดการน้ำและปุ๋ยเคมี เพื่อลดก๊าซมีเทน และเปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

พัชรี แสนจันทร์<sup>1</sup> วุฒิชัย จันทรสสมบัติ<sup>2</sup> และ ชนะ ศรีสมภาร<sup>3</sup>

### Abstract

Saenjan, P.<sup>1</sup>, Juntarasombut, W.<sup>1</sup> and Saisompan, C.<sup>2</sup>

**Improvement of direct-wet-seeding rice yield and methane mitigation under water and fertilizer managements and comparison of its economic returns**  
Songklanakarin J. Sci. Technol., 2004, 26(6) : 795-806

In order to increase rice yields (RY) while reducing methane gas emissions (ME), several strategies for methane mitigation were compared in a trial during the second rice growing season of 2003. A split plot design was used, consisting of 2 water management (WM) treatments in main plots: 1) continuous flooding and 2) intermittent drainage (by letting water evapotranspire or drain away so as to maintain the soil moisture content approximately at field capacity) during a part of the maximum tillering and flowering stages; and five nitrogen (N) fertilizer treatments in sub plots: 1) no top-dressing of fertilizers, 2) top-dressing of ammonium fulfate (AS, 21% N) at 15 kg per rai, 3) AS at 30 kg per rai, 4) urea (46%N) at 7 kg per rai and 5) urea at 14 kg per rai. All plots received 16-16-8 at the rate of 20 kg per rai as a basal application. Results indicate that WM had no significant effect on RY, but that intermittent flooding resulted in significantly less methane emission than continuous flooding. Top-dressing of N fertilizers had significant effect on

<sup>1</sup>Department of Land Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand <sup>2</sup>Phitsanulok Rice Research Center, Wang Thong, Phitsanulok 65130, Thailand.

<sup>1</sup>D.Agr.(Soil Science), รองศาสตราจารย์, นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002 วัท.บ.(เทคโนโลยีการเกษตร), นักวิชาการเกษตร, ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก 65130

Corresponding e-mail: patsae1@kku.ac.th

รับต้นฉบับ 22 มกราคม 2547      รับลงพิมพ์ 1 เมษายน 2547

both RY and ME. Top-dressing of urea at the rate of 14 kg per rai resulted in the highest RY, 912 kg per rai, followed by top-dressing of AS at 30 kg per rai, which produced a yield of 874 kg per rai. Application of 30 kg per rai of AS was more effective in decreasing in both total methane emission (TME) and methane emission per unit grain yield (MPG) than the application of 14 kg per rai of urea. However, the highest benefit of 1,920 baht per rai and the highest income-cost ratio (I/C) of 2.11 were obtained by top-dressing of 14 kg per rai of urea. The next best treatment was the application of AS at the rate of 30 kg per rai which resulted in a benefit of 1,727 baht per rai, and I/C of 1.98. It was concluded that a basal application of 16-16-8 at the rate of 20 kg per rai, followed by top-dressing with either AS at 30 kg per rai or urea at 14 kg per rai (both equivalent to approximately 6 kg N per rai) and intermittent drainage to maintain soil moisture at field capacity could provide significantly higher RY, higher economic returns and lower methane emissions as compared to continuous flooding and with no or litter N fertilization.

**Key words :** rice yield, water management, methane mitigation, nitrogen fertilizer, cost-benefit

### บทคัดย่อ

พัชรี แสนจันทร์ วุฒิชัย จันทรสุมบัติ และ ชนะ ศรีสมภาร  
การเพิ่มผลผลิตข้าวนาหว่านน้ำตมภายใต้การจัดการน้ำและปุ๋ยเคมีเพื่อลดก๊าซมีเทน  
และเปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ  
ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2547 26(6) : 795-806

ได้ดำเนินการทดลองเกี่ยวกับการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว และเปรียบเทียบผลตอบแทนการลงทุนโดยเน้นศึกษากลยุทธ์ในการลดก๊าซมีเทน ในฤดูนาปรัง 2546 ในระบบการทำนาหว่านน้ำตม วางแผนการทดลองแบบ split plot โดยมีการจัดการน้ำเป็น main plot คือ 1) การขังน้ำตลอดฤดูปลูก และ 2) การปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วง โดยปล่อยให้น้ำในนาภายหลังหรือระบายน้ำให้ดินมีความจุความชื้นสนาม ทำ 2 ระยะการเจริญเติบโต คือ ระยะข้าวแตกกอสูงสุด และระยะข้าวออกดอก ส่วน sub plot คือ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยแต่งหน้า 2) แต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (AS; 21%N) อัตรา 15 กก/ไร่ 3) แต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต อัตรา 30 กก/ไร่ 4) แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย (46%N) อัตรา 7 กก/ไร่ และ 5) แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย อัตรา 14 กก/ไร่ โดยในทุกตำรับมีการรองพื้นด้วยปุ๋ย 16-16-8 อัตรา 20 กก/ไร่ จากผลการทดลอง พบว่าการจัดการน้ำทั้ง 2 แบบ ให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่าแปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงให้ผลผลิตข้าวสูงกว่า ในขณะที่แปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่า แปลงขังน้ำตลอดฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันมีผลทำให้ทั้งผลผลิตข้าวและปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด 912 กก/ไร่ รองลงมาคือการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ ให้ผลผลิต 874 กก/ไร่ แต่การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูก (total methane emission, TME) และปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต (methane emission per unit grain, MPG) ต่ำกว่าการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ อย่างไรก็ตาม การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ ให้กำไรสูงสุด 1,920 บาท/ไร่ และให้ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 2.11 รองลงมาคือการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ ให้กำไร 1,727 บาท/ไร่ และให้ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 1.98 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-16-8 อัตรา 20 กก/ไร่ และแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ หรือปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ ร่วมกับการจัดการน้ำในนา โดยการปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงจะสามารถให้ผลผลิตข้าวและผลตอบแทนสูงและมีการปล่อยก๊าซมีเทนต่ำ

ข้าวเป็นผลผลิตหลักทางการเกษตรของประเทศไทย จากข้อมูลพื้นที่ถือครองทางการเกษตรของประเทศไทยทั้งหมด 132.49 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 66.27 ล้านไร่ คิดเป็น 51.6% ของพื้นที่ถือครองทางการเกษตรทั้งหมด แต่ผลผลิตข้าวต่อไร่ของประเทศไทย 419 กก./ไร่ โดยพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่ของประเทศอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีพื้นที่ 37.9 ล้านไร่ คิดเป็น 55.9% ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด แต่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 386 กก./ไร่ ซึ่งอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่นของประเทศ (สำนักงานสถิติการเกษตร, 2546)

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างกว้างขวาง แต่ปริมาณ วิธีการ และเวลาที่ใส่ปุ๋ยของเกษตรกรยังไม่เหมาะสม จึงยังไม่สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้มาก (กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าว, 2543) การผลิตข้าวในปัจจุบัน นอกจากจะต้องคำนึงถึงผลผลิตข้าวแล้ว ยังต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อม (Saenjan *et al.*, 2002) ทั้งนี้ ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันในอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Kyoto Protocol) และมีข้อผูกพันที่จะต้องศึกษารวบรวมและจัดทำรายงานแห่งชาติแสดงข้อมูลและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ รวมถึงพื้นที่ดูดซับก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ ตลอดจนมีนโยบายในการปรับตัวต่อผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2543) ก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) มีเทน (methane, CH<sub>4</sub>) ไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) โอโซน (O<sub>3</sub>) และสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (chlorofluorocarbon-CFC) ซึ่งมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยเป็นอันดับสองรองจากคาร์บอนไดออกไซด์ แต่มีศักยภาพทำให้โลกร้อนมากกว่า CO<sub>2</sub> ประมาณ 25 เท่า (IPCC, 1996) ประไพ (2538) กล่าวว่า นาข้าวเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซมีเทนที่สำคัญของภาคเกษตรกรรมโดยนาข้าวของประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซมีเทน 1.748 ล้านตัน/ปี (42.82 ล้านตัน GWP<sup>1/</sup>)

ก๊าซมีเทนจากนาข้าวเกิดในดินนาข้าวซึ่ง โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (methanogenic bacteria) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนจากนาข้าวมีหลายประการ เช่น ชุดดิน อุณหภูมิดิน การจัดการน้ำ และปุ๋ยในนา พันธุ์ข้าว และวิธีปลูก (Conard, 1993; Saenjan *et al.*, 2001) จากการศึกษาของ Yang และ Chang (1999) พบว่า การระบายน้ำในนาให้แห้งบางช่วง (alternatively drainage) ช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนและทำให้ประหยัดน้ำได้ การใส่ปุ๋ยนอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวแล้วยังมีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทน (Sass *et al.*, 1990) เช่น การใส่ปุ๋ยไนเตรตและปุ๋ยซัลเฟตจะมีผลยับยั้งการปล่อยก๊าซมีเทน (Bollag and Czlonkowski, 1973)

เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นกับเกษตรกรผู้ผลิตข้าวในอนาคต หากมีนโยบายให้ลดการปล่อยก๊าซมีเทน นอกจากจะต้องเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่แล้ว ยังต้องคำนึงถึงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวอีกด้วย (Saenjan *et al.*, 2002) การศึกษารุ่นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตข้าว และลดก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจดี โดยศึกษาในฤดูนาปรังที่ได้รับปุ๋ยเคมีและมีการจัดการน้ำที่ต่างกัน เปรียบเทียบผลผลิตข้าวต่อหน่วยพื้นที่ ปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยพื้นที่ และปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าว เปรียบเทียบต้นทุน-กำไรการผลิต และผลตอบแทนที่ได้รับ

## วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. พื้นที่ศึกษาและคุณสมบัติของดิน

ทำการศึกษาในแปลงนาเกษตรกรบ้านโนนทัน ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น (16°24'34" N, 102°51'53"E) ในพื้นที่โครงการชลประทานหนองหวาย โดยทดลองในฤดูนาปรังปี 2546 ดินทดลองเป็นชุดดิน ร้อยเอ็ด (Roi Et soil series, Aeric Paleaquults) เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ซึ่งมี

<sup>1/</sup>Global Warming Potential (GWP) หมายถึง ศักยภาพของก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้โลกร้อนขึ้น

สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีดังแสดงใน Table 1 ดินเป็นกรดเล็กน้อย มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณคาร์บอนที่แปรปรวนง่าย (RMC<sup>2</sup>) ต่ำ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ปริมาณเหล็กและแมงกานีสที่แปรปรวนง่ายมีค่าปานกลาง ซึ่งเป็นตัวแทนดินนาส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

## 2. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ split plot in randomized complete block design มี 2 main plots คือ 1) การขังน้ำตลอดฤดูปลูก แต่ระบายน้ำออกก่อนการเก็บเกี่ยว 7 วัน และ 2) การปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วง ปล่อยให้น้ำแห้งโดยการคายระเหยหรือระบายน้ำออกจนผิวดินแตก 3 วัน (ความชื้นในดินชั้นรากประมาณความจุความชื้นสนาม) 2 ระยะ คือ ระยะข้าวแตกกอสูงสุด (ข้าวอายุ 55 วันหลังหว่าน) และระยะข้าวออกดอก (ข้าวอายุ 81 วันหลังหว่าน) และระบายน้ำออกก่อนการเก็บเกี่ยว 7 วัน กำหนดให้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็น sub plot ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยแต่งหน้า 2) แต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (AS; 21%N) อัตรา 15 กก/ไร่ 3) แต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต อัตรา 30 กก/ไร่ 4) แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย (46%N) อัตรา 7 กก/ไร่ และ 5) แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรียอัตรา 14 กก/ไร่ โดยทุกตำรับรองพื้นด้วยปุ๋ย 16-16-8 อัตรา 20 กก/ไร่

## 3. การเตรียมแปลงทดลองและการเขตกรรม

เตรียมดินโดยการไถกลบตอซังก่อนหว่านประมาณ 30 วัน แล้วไถแปร ไถคราด และทำเทือก ขึ้นรูปแปลงย่อยขนาด 10×10 เมตร จำนวน 10 แปลง สุ่มจัดหน่วยทดลอง ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (Chai Nat 1) โดยวิธีหว่านน้ำตม (direct wet seeding) ใช้เมล็ดพันธุ์อัตรา 15 กก/ไร่ หว่านปุ๋ยรองพื้น (basal fertilizer) เมื่อข้าวอายุ 28 วันหลังหว่าน และใส่ปุ๋ยแต่งหน้าเมื่อข้าวอายุ 59 วันหลังหว่าน ป้องกันกำจัดศัตรูข้าวโดยพ่นสารกำจัดแมลงคาร์บามาเมท 85% (Sevin 85%) เมื่อต้นข้าวเข้าสู่ระยะแตกกอสูงสุด กำจัดหนูโดยใช้ซิงค์ฟอสไฟด์ (zinc phosphide)

Table 1. Chemical characteristics of soil

Characteristics	0-15 cm	15-30 cm
pH (1:1 H <sub>2</sub> O)	4.84	5.17
OM (g kg <sup>-1</sup> )	6.94	2.15
Total N (%)	0.051	0.032
Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	5	2
Exchangeable K (mg kg <sup>-1</sup> )	54	49
Exchangeable Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	592	761
Exchangeable Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	138	279
EC 1:5 (dS m <sup>-1</sup> )	0.207	0.181
CEC (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	4.89	7.54
RMC (gC kg <sup>-1</sup> )	0.52	-
Fe <sup>2+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) ที่ 28 วัน	263	-
Mn <sup>2+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) ที่ 28 วัน	29	-

ผสมอาหารวางไว้ตามคันนา กำจัดวัชพืชโดยพ่นรอนสตาร์หรือออกซาไดอะซอน (oxadiazon) หลังหว่านข้าว 3 วัน และถอนด้วยมือ

## 4. การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ก๊าซมีเทน

ในแต่ละแปลงวางฐาน gas chamber สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซ 3 ซ้ำ (3 ฐาน) เก็บก๊าซจากแปลงทดลองโดยวิธี closed chamber สับดาห์ละ 2 ครั้ง ช่วงเวลา 9:00-11:00 นาฬิกา เก็บก๊าซทุก 5 นาที (0, 5, 10, 15 และ 20 นาที) วิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC 14B) ที่ติดตั้งด้วย Flame Ionization Detector (FID) คอลัมน์ยาว 1 เมตร บรรจุด้วย Porapak N ขนาด 80/100 mesh ใช้ N<sub>2</sub> เป็น carrier gas ความดัน 60 Kpa อุณหภูมิคอลัมน์ 60°C detector 100°C และ injections 100°C สอบเทียบความเข้มข้นของก๊าซมีเทนกับ certified standard methane (50 ppm) วิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซให้เสร็จภายใน 6 ชั่วโมง หลังจากเก็บตัวอย่างจากแปลงนา

## 5. ข้อมูลก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าว

คำนวณอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (mg CH<sub>4</sub>/ตร. เมตร/วัน) ใช้ค่าเฉลี่ย (average) ของ 3 ซ้ำ สร้างกราฟ

<sup>2</sup>Readily Mineralizable Carbon (RMC) หมายถึง ปริมาณสารคาร์บอนที่แปรปรวนง่าย

แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดอายุข้าวของทุกแปลง จำนวนผลรวมของปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยตลอดฤดูปลูก (seasonal emission หรือ total methane emission (TME เป็นกรัม CH<sub>4</sub>/ตร.เมตร) โดยอินทิเกรต (integrate) พื้นที่ใต้กราฟข้างต้น

สุ่มเก็บตัวอย่างผลผลิตข้าว จำนวนหาหน้าหนักเมล็ดแห้งที่ความชื้น 14% จำนวนผลผลิตข้าวต่อหน่วยพื้นที่ (กก/ไร่) และปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกต่อหน่วยผลผลิตข้าว (กรัม CH<sub>4</sub>/กก.ผลผลิต) วิเคราะห์ผล การทดลองทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MSAT เปรียบเทียบผลทดลองโดยวิธี DMRT จำนวนต้นทุน-กำไรการผลิต และผลตอบแทนการลงทุน

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. ผลผลิตข้าว

ผลผลิตข้าวในแปลงซึ่งน้ำตลอดฤดูปลูกและแปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงจะให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงซึ่งน้ำตลอดฤดูปลูก แปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงและแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงที่สุดประมาณ 912 กก/ไร่ (Table 2) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีอิทธิพลต่อผลผลิตข้าวในแปลงจัดการ

น้ำทั้ง 2 แบบ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และปุ๋ยยูเรียให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น จากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ย 637 กก/ไร่ และการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และปุ๋ยยูเรียอัตราสูง ให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าอัตราต่ำ โดยที่ การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 30 กก/ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 864 กก/ไร่ ซึ่งสูงกว่าที่อัตรา 15 กก/ไร่ ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 737 กก/ไร่ นอกจากนั้น การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรียอัตรา 14 กก/ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 864 กก/ไร่ ซึ่งสูงกว่าที่อัตรา 7 กก/ไร่ ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 681 กก/ไร่ จะเห็นว่าการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าด้วยปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูง (ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ และปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่) ซึ่งมีแอมโมเนียมเป็นสารอาหารสำคัญที่ต้นข้าวต้องการจะ ให้ผลผลิตสูงกว่าอัตราต่ำ (ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 15 กก/ไร่ และปุ๋ยยูเรีย 7 กก/ไร่) ขณะเดียวกัน กรณีของการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต นอกจากจะได้แอมโมเนียมแล้ว ยังได้ซัลเฟตซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็น ต่อต้นข้าวและเมล็ด จึงให้ผลผลิตสูงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม หากพบว่าดำรับได้ให้ผลผลิตข้าวสูง แต่ปล่อยก๊าซมีเทนต่ำ ดำรับนั้นควรเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม

จาก Table 2 ผลผลิตข้าวในแปลงซึ่งน้ำตลอดฤดูปลูกและแปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงให้ผลผลิตเฉลี่ย 725 และ 789 กก/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผลผลิตข้าวใน

**Table 2. Rice yields, cv. Chai Nat 1, obtained from different water and fertilizer managements in irrigated second rice cropping, 2003.**

Treatment <sup>1/</sup>	Topdressing		Rice Yield (kg rai <sup>-1</sup> ) <sup>3/</sup>		
	Fertilizer (kg rai <sup>-1</sup> )	Rate flooding	Continuous aeration	Intermittent	Average
F1	-	-	630	645	637 <sup>c</sup>
F2	AS <sup>2/</sup>	15	694	780	737 <sup>b</sup>
F3	AS	30	855	874	864 <sup>a</sup>
F4	Urea	7	629	733	681 <sup>bc</sup>
F5	Urea	14	815	912	864 <sup>a</sup>
Average	-	-	725a	789a	-

CV= 9.7%

<sup>1/</sup>All plots received basal fertilizer, 16-16-8 at the rate of 20 kg rai<sup>-1</sup>.

<sup>2/</sup>AS is ammonium sulfate.

<sup>3/</sup>In column and row, averages followed by a common letter are not significantly different at 95% level by DMRT, respectively.

ฤดูนาปรังปีเดียวกันของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและของ  
ทั้งประเทศ โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 466 และ 672 กก./ไร่  
ตามลำดับ (สำนักงานสถิติการเกษตร, 2546)

2. อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก

2.1 แปลงขังน้ำตลอดฤดูปลูก

แปลงขังน้ำตลอดฤดูปลูกจะมีระดับน้ำสูง 0.5-  
10 ซม โดยเริ่มจากเมื่อข้าวอายุ 11 วันจนถึง 91 วันหลัง

หว่าน หลังจากนั้นมีการระบายน้ำออกก่อนการเก็บเกี่ยว  
7 วัน (Figure 1(a)) ลักษณะการปล่อยก๊าซมีเทนตลอด  
ฤดูปลูกทั้ง 5 แปลง ช่วงแรก 0-11 วันหลังหว่านอัตรา  
การปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าต่ำในทุกแปลง เนื่องจากดินอยู่ใน  
สภาพกึ่งขาดออกซิเจน (semi-anaerobic) แต่หลังจาก  
ทดน้ำเข้าเมื่อข้าวอายุ 11 วันหลังหว่าน พบว่ามีอัตราการ  
ปล่อยก๊าซมีเทนกว้างอยู่ในช่วง 14.44-212.48 มก CH<sub>4</sub>/  
ตร.เมตร/วัน นั่นคือ ในช่วงแรก 0-28 วันหลังหว่าน

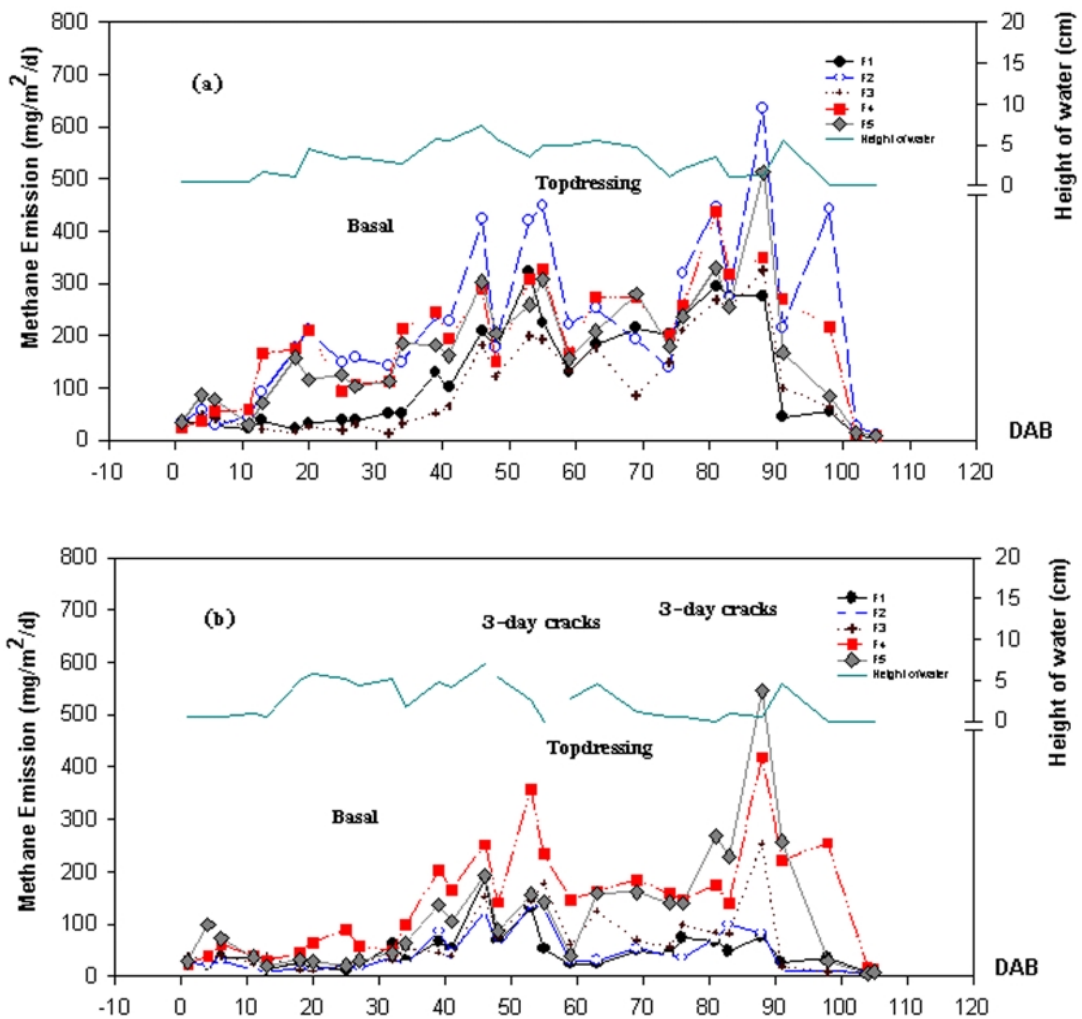


Figure 1. Seasonal methane emission from second rice in 2003, (a) continuous flooding, (b) intermittent drainage. All plots received 16-16-8 fertilizer at 20 kg rai<sup>-1</sup> as a basal application. F1 received no top-dressing fertilizer; F2 and F3 received AS, 15 and 30 kg rai<sup>-1</sup> as top-dressing fertilizer, respectively; F4 and F5 received urea, 7 and 14 kg rai<sup>-1</sup> as top-dressing fertilizer, respectively.

สามารถกล่าวได้ว่าเป็นอิทธิพลของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและสภาพน้ำในนา ซึ่งหลังการทำเทือกเสร็จ ปริมาณสารคาร์บอนที่แปรปรวนง่าย (RMC) ในแต่ละแปลงแปรผันค่อนข้างสูง ทำให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนมีค่ากว้าง

หลังจากทดน้ำเข้าแปลงและใส่ปุ๋ยรองพื้น 16-16-8 อัตรา 20 กก/ไร่ (ข้าวอายุ 28 วันหลังหว่าน) อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกแปลงอย่างชัดเจนอยู่ในช่วง 193.49-448.01 กรัม  $\text{CH}_4$ /ตร.เมตร/วัน ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ระยะนี้อิทธิพลของปุ๋ยรองพื้นทำให้ต้นข้าวเติบโตและแข็งแรงขึ้น และต้นข้าวมีบทบาทต่อกลไกการเกิดและปล่อยก๊าซมีเทนจากดินนา จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งหลังจากใส่ปุ๋ยแต่งหน้า (ข้าวอายุ 59 วันหลังหว่าน) แล้ว อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งอยู่ในช่วง 100.05-634.33 มก  $\text{CH}_4$ /ตร.เมตร/วัน ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวอยู่ในระยะออกดอกและสร้างรวง โดยพบว่าแปลงที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าทุกแปลงตลอดฤดูปลูก และแปลงที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรียทั้ง 2 อัตรา มีการปล่อยก๊าซมีเทนปานกลาง หลังจากนั้นทุกแปลงจะมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนลดลงเมื่อมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต (Figure 1(a))

บทบาทของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว สามารถอธิบายได้ดังนี้ 1) การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตจะมีผลไปเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าว ทำให้บริเวณรากข้าวมีสารอินทรีย์คาร์บอนที่เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จึงส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน (methanogens) ให้สูงขึ้น 2) เนื่องจากมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) มีขนาดโครงสร้างที่ใกล้เคียงกัน ทำให้แอมโมเนียสามารถแทนที่มีเทนในเอนไซม์ methane monooxygenase ได้ ดังนั้นก๊าซมีเทนส่วนที่เหลือจึงถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ 3) แอมโมเนียมจากปุ๋ยที่ใส่เข้าไปจะมีผลเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ก๊าซมีเทนในการดำรงชีพ (methanotrophs) ก๊าซมีเทนจึงถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ก๊าซมีเทนที่ปล่อยสู่บรรยากาศลดลง (Joshua, 2000) ซึ่งผลที่วัดได้จากการทดลองเป็นสมดุลของกระบวนการเพิ่มและลดก๊าซมีเทนที่ได้จากกลไกทั้ง 3 ข้างต้น

ส่วนบทบาทของปุ๋ยที่มีซัลเฟลเป็นองค์ประกอบ

นั้น โดยมากมักพบว่าซัลเฟตนั้นลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว แต่จากผลการทดลองนี้พบว่าหากใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (AS) ในอัตราต่ำ 15 กก/ไร่ จะส่งเสริมการปล่อยก๊าซมีเทนในนาขังน้ำ แต่ถ้าใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตราสูงขึ้นถึง 30 กก/ไร่ จะลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การมีปริมาณซัลเฟตในปริมาณที่มากพอจะส่งเสริมกลไกการลดก๊าซมีเทน โดยที่ปุ๋ยที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบจะไปส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่ม sulfate reducing bacteria ซึ่งทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน (methanogens) ลดลงเนื่องจากถูกแย่งสารอาหารคาร์บอน และเมื่อซัลเฟตถูกรีดิวซ์จะปล่อย  $\text{H}_2\text{S}$  ซึ่งมีผลไปยับยั้งกิจกรรมของ methanogens (Takai, 1969; Hori *et al.*, 1990; Le Mer and Roger, 2001) ดังนั้นปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 30 กก/ไร่ จึงลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้สูงกว่าอัตรา 15 กก/ไร่

## 2.2 แปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วง

แปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงมีระดับน้ำสูง 0-10 ซม. และมีการจัดการให้น้ำแห้งจนผิวดินแตก 3 วัน เมื่อข้าวอายุ 55 และ 81 วันหลังหว่าน และมีการระบายน้ำออกก่อนการเก็บเกี่ยว 7 วัน (Figure 1(b)) ซึ่งในลักษณะการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก พบว่าในช่วงแรก 0-11 วันหลังหว่าน มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในระดับต่ำ อยู่ในช่วง 10.36-98.08 มก  $\text{CH}_4$ /ตร.เมตร/วัน เพราะดินอยู่ในสภาพกึ่งขาดออกซิเจน (semi-anaerobic) เมื่อทดน้ำเข้าแปลงเมื่อข้าวอายุ 11 วันหลังหว่าน และใส่ปุ๋ยรองพื้น 16-16-8 อัตรา 20 กก/ไร่ (ข้าวอายุ 28 วันหลังหว่าน) อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 356.33 มก  $\text{CH}_4$ /ตร.เมตร/วัน ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของปุ๋ยรองพื้นทำให้ต้นข้าวมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีผลต่อกลไกการเกิดและปล่อยก๊าซมีเทนจากดินนา (Sass *et al.*, 1990; Saenjan *et al.*, 2000) เมื่อจัดการน้ำให้แห้งจนผิวดินแตก 3 วัน (ข้าวอายุ 55 วันหลังหว่าน) อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในทุกแปลงจะลดลง และเมื่อทดน้ำเข้าแปลงและใส่ปุ๋ยแต่งหน้า (ข้าวอายุ 59 วันหลังหว่าน) อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจะค่อนข้างสูงคงที่ โดยเฉพาะในแปลงที่ใส่ปุ๋ยยูเรีย 7 และ 14 กก/ไร่ โดยอัตราการปล่อยอยู่ในช่วง

160.8-169.54 มก CH<sub>4</sub>/ตร.เมตร/วัน เนื่องจากน้ำในแปลงนามีน้อยและจะเพิ่มขึ้นในระยะข้าวสร้างรวงอ่อนและออกดอกโดยมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้นอยู่ในช่วง 419.04-545.35 มิลลิกรัมมีเทนต่อตารางเมตรต่อวัน ขณะที่แปลงที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 15 และ 30 กก/ไร่ มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าแปลงที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรียอย่างชัดเจนตลอดฤดูปลูก จากนั้นอัตราการปล่อยจะลดลงอย่างรวดเร็วในทุกแปลง เนื่องจากระบายน้ำออกจากแปลงนาเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต (Figure 1 (b))

ในการทดลองนี้ แปลงที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 15 และ 30 กก/ไร่ ให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าแปลงที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย ทั้งนี้เพราะซัลเฟตจะไปส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม sulfate reducing bacteria และลดกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่ม methanogens ลง (Takai, 1969; Saenjan and Wada, 1990) ขณะเดียวกัน การจัดการน้ำโดยการปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงนั้น เมื่อมีแอมโมเนียม (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) จากปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตในดินแห้ง แอมโมเนียมจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรต์ (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) และไนเตรต (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) โดยกระบวนการ nitrification และเมื่อมีการขังน้ำในแปลงนา ไนเตรตในดินจะถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) โดยกระบวนการ denitrification นั่นคือ ดินนาที่ถูกจัด

การให้แห้งสลับเปียก และขณะเดียวกัน ได้รับปุ๋ยไนโตรเจน จะมีการส่งเสริมให้เกิดและปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่งที่มีค่า GWP (Global Warming Potential) เท่ากับ 310 สูงกว่าของก๊าซมีเทน ซึ่งมีค่า GWP เพียง 21 (Bruce, 2003)

### 3. ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูก (Total Methane Emission, TME)

ในแปลงขังน้ำตลอดฤดูปลูกมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดอยู่ในช่วง 11.17-30.09 กรัม CH<sub>4</sub>/ตร.เมตร ซึ่งแตกต่างจากแปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดอยู่ในช่วง 4.92-15.04 กรัม CH<sub>4</sub>/ตร.เมตร อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดจากแปลงขังน้ำของการทดลองนี้ (เฉลี่ย 19.6 กรัม CH<sub>4</sub>/ตร.เมตร) คล้ายกับผลการศึกษาของพัชรี และคณะ (2545) ที่พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดในนาขังน้ำในฤดูนาปี 2543 และ 2544 มีปริมาณเท่ากับ 19.21 และ 22.80 กรัม CH<sub>4</sub>/ตร.เมตร ในการทดลองนี้ ปุ๋ยไนโตรเจนทั้ง 5 ดำริบ ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) สำหรับการจัดการน้ำร่วมกับชนิดและอัตราปุ๋ยไนโตรเจน พบว่าในแปลงขังน้ำตลอดฤดูปลูกที่ไม่ใส่ปุ๋ยแต่งหน้า มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด

Table 3. Total methane emission (TME) from irrigated second rice cropping, 2003.

Treatment <sup>1/</sup>	Topdressing		TME (gCH <sub>4</sub> m <sup>-2</sup> ) <sup>3/</sup>		
	Fertilizer (kg rai <sup>-1</sup> )	Rate flooding	Continuous drainage	Intermittent	Average
F1	-	-	13.05 <sup>bcd</sup>	5.03 <sup>d</sup>	9.04 <sup>b</sup>
F2	AS <sup>2/</sup>	15	30.09 <sup>a</sup>	4.92 <sup>d</sup>	17.51 <sup>a</sup>
F3	AS	30	11.17 <sup>cd</sup>	6.78 <sup>d</sup>	8.98 <sup>b</sup>
F4	Urea	7	24.13 <sup>ab</sup>	15.04 <sup>bcd</sup>	19.58 <sup>a</sup>
F5	Urea	14	19.57 <sup>abc</sup>	12.61 <sup>bcd</sup>	16.09 <sup>ab</sup>
Average	-	-	19.60 <sup>a</sup>	8.88 <sup>b</sup>	-

CV =32.2%

<sup>1/</sup>All plots received basal fertilizer 16-16-8 at the rate of 20 kg rai<sup>-1</sup>.

<sup>2/</sup>AS is ammonium sulfate.

<sup>3/</sup>In column and row, averages followed by a common letter are not significantly different at 99% level by DMRT, respectively.



13.05 กรัม  $\text{CH}_4$ /ตร.เมตร ส่วนการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตราสูงมีผลไปลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดดังนี้ การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 15 กก/ไร่ ให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด 30.09 กก/ไร่ ทั้งนี้เพราะแปลงนี้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่าแปลงอื่น อันเกิดจากความไม่สม่ำเสมอในการเคลี่ยอินทรีย์วัตถุในระหว่างการไถคราดเตรียมดิน ซึ่งพบว่าหลังช่วงน้ำ (เมื่อข้าวอายุ 12 วันหลังหว่าน) อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเริ่มสูงกว่าทุกแปลงตั้งแต่ก่อนใส่ปุ๋ยแต่งหน้าด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต (Figure 1(a)) เป็นเหตุทำให้ค่าปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด (TME) สูงกว่าทุกแปลงในการทดลองและเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็น 30 กก/ไร่ ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดลดลงเป็น 11.17 กรัม  $\text{CH}_4$ /ตร.เมตร ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ในแปลงชั่งน้ำตลอดฤดูปลูกที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 7 กก/ไร่ พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดสูงกว่าแปลงที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ โดยปล่อยก๊าซมีเทน 24.13 และ 19.57 กรัม  $\text{CH}_4$ /ตร.เมตรตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับแปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทั้ง 5 ดำรับทดลองมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรีย

(Table 3) ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ในประเด็นของการลดการปล่อยก๊าซมีเทน การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตจะบรรลุลักษณะประสิทธิผลดีกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรีย

#### 4. ปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต (Methane Emission Per Unit Grain, MPG)

ในแปลงชั่งน้ำตลอดฤดูปลูก มีปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตอยู่ในช่วง 20.37-68.76 กรัม  $\text{CH}_4$ /กก ผลผลิต ซึ่งแตกต่างจากแปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงอยู่ในช่วง 9.99-32.72 กรัม  $\text{CH}_4$ /กก ผลผลิต อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตจากแปลงชั่งน้ำของการทดลองนี้ (เฉลี่ย 44.60 กรัม  $\text{CH}_4$ /กก ผลผลิต) ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของพัชรี และคณะ (2545) ที่พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตในนาชั่งน้ำในฤดูนาปรังปี 2543 เท่ากับ 47.87 กรัม  $\text{CH}_4$ /กก ผลผลิต ปุ๋ยไนโตรเจนทั้ง 5 ดำรับ ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) ในแปลงชั่งน้ำตลอดฤดูปลูกที่ไม่ใส่ปุ๋ยแต่งหน้า มีปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต 33.22 กรัม  $\text{CH}_4$ /กก ผลผลิต การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตราสูงมีผลไปลดปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต โดยที่การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 15 กก/ไร่ ให้ปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต 68.76 กรัม  $\text{CH}_4$ / กก ผลผลิต

**Table 4. Methane emission per unit grain (MPG) from irrigated second rice cropping, 2003.**

Treatment <sup>1/</sup>	Topdressing		MPG (gCH <sub>4</sub> kg <sup>-1</sup> grain) <sup>3/</sup>		
	Fertilizer (kg rai <sup>-1</sup> )	Rate flooding	Continuous drainage	Intermittent	Average
F1	-	-	33.22bc	12.46c	22.84c
F2	AS <sup>2/</sup>	15	68.76a	9.99c	39.37ab
F3	AS	0	20.37bc	12.53c	16.45c
F4	Urea	7	61.80a	32.72bc	47.26a
F5	Urea	14	38.85b	21.98bc	30.41bc
Average	-	-	44.59a	17.95b	-

CV =30.0%

<sup>1/</sup>All plots received basal fertilizer 16-16-8, 20 kg rai<sup>-1</sup>.

<sup>2/</sup>AS is ammonium sulfate.

<sup>3/</sup>In column and row, averages followed by a common letter are not significantly different at 99% level by DMRT, respectively.

หากเพิ่มอัตราปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็น 30 กก/ไร่ จะมีปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตลดลงเป็น 20.37 กรัม  $\text{CH}_4/\text{กก}$  ผลผลิตซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ นอกจากนั้น ในแปลงซึ่งน้ำตลอดฤดูปลูกที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 7 กก/ไร่ พบว่ามีปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตสูงกว่าแปลงที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ โดยมีปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต 61.80 และ 38.85 กรัม  $\text{CH}_4/\text{กก}$  ผลผลิต ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ นั่นคือ เมื่อพิจารณาค่าของปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าวแล้ว พบว่าการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 30 กก/ไร่ หรือยูเรีย 14 กก/ไร่ จะเพิ่มประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงขึ้น แต่แอมโมเนียมซัลเฟตจะมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ดีกว่ายูเรีย สำหรับแปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงร่วมกับการใส่ปุ๋ยในโตรเจนทั้ง 5 ดำรับทดลอง มีปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าและแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตมีปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตต่ำกว่าการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย (Table 4) ดังเหตุผลที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น จากผลการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่าแปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงร่วมกับการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยในโตรเจนทุกดำรับทดลอง มีปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตต่ำกว่าแปลงที่ซึ่งน้ำตลอดฤดูปลูก

### 5. ต้นทุนและผลกำไรที่ได้รับ

เมื่อนำผลผลิตที่ได้จากแต่ละดำรับมาคำนวณต้นทุนและผลกำไรที่ได้รับ พบว่าการใส่ปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ ร่วมกับการปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงสามารถให้กำไรสูงสุด 1,920 บาท/ไร่ ได้ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 2.11 รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ ซึ่งสามารถให้กำไร 1,727 บาท/ไร่ ได้ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 1.98 (Table 5) โดยทั้ง 2 แปลงมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ จะมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ (Table 3) ดังนั้นการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ และปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ ร่วมกับการจัดการน้ำโดยการปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงน่าจะเป็นตัวเลือก

2 อันดับแรกของการทดลองนี้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรและให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุด

### สรุป

จากการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับการจัดการน้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และศึกษาการลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว พบว่าการจัดการน้ำทั้ง 2 แบบให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าแปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงซึ่งน้ำตลอดฤดูปลูก ขณะเดียวกัน แปลงที่ปล่อยให้น้ำแห้งบางช่วงมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าแปลงซึ่งน้ำตลอดฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่ด้านการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยในโตรเจน พบว่ามีผลทำให้ทั้งผลผลิตข้าว และปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยในโตรเจนในอัตราสูง (ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ และยูเรีย 14 กก/ไร่) มีผลไปเพิ่มผลผลิตข้าวและลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้มากกว่าการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยในโตรเจนในอัตราต่ำ (ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 15 กก/ไร่ และยูเรีย 7 กก/ไร่) โดยที่การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด 912 กก/ไร่ รองลงมาคือ การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ 874 กก/ไร่ แต่การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูก (Total Methane Emission, TME) และปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต (Methane Emission Per Unit Grain, MPG) ต่ำกว่าการแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 14 กก/ไร่ อย่างไรก็ตาม การแต่งหน้าด้วยยูเรีย 14 กก/ไร่ ให้กำไรสูงสุด 1,920 บาท/ไร่ ได้ผลตอบแทนการลงทุน 2.11 รองลงมาคือ การแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ ให้กำไร 1,727 บาท/ไร่ ได้ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 1.98 ในการเพิ่มผลผลิตข้าว ในขณะเดียวกัน ลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ควรมีการใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-16-8 อัตรา 20 กก/ไร่ และแต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 30 กก/ไร่ หรือยูเรีย 14 กก/ไร่ ร่วมกับการจัดการน้ำในนา โดยการปล่อยให้น้ำแห้งจนผิวดินแตก 3 วัน 2 ระยะ คือ ระยะข้าวแตกกอสูงสุด (ข้าวอายุ 55 วันหลังหว่าน) และ

**Table 5. Cost, income, benefit and income per cost for cv. Chai Nat 1 rice production in irrigated second rice cropping, 2003.**

Expenses (baht rai <sup>-1</sup> )	Continuous flooding					Intermittent drainage				
	F1 <sup>1/</sup>	F2 <sup>1/</sup>	F3 <sup>1/</sup>	F4 <sup>1/</sup>	F5 <sup>1/</sup>	F1 <sup>1/</sup>	F2 <sup>1/</sup>	F3 <sup>1/</sup>	F4 <sup>1/</sup>	F5 <sup>1/</sup>
1) Labour										
- Land preparation	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340
- Broadcast	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
- Harvest, transport	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
2) Materials										
- Seed	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
- Fertilizer <sup>2/</sup>	140	215	290	196	252	140	215	290	196	252
- Pesticide	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
- Tool	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3) Social	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
Cost <sup>3/</sup>	1,617	1,692	1,767	1,673	1,729	1,617	1,692	1,767	1,673	1,729
Yield (kg rai <sup>-1</sup> )	630	694	855	629	815	645	780	874	733	912
Price (baht kg <sup>-1</sup> )	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Income <sup>4/</sup>	2,520	2,776	3,421	2,516	3,262	2,579	3,122	3,494	2,932	3,649
Benefit <sup>5/</sup>	903	1,083	1,654	843	1,533	962	1,430	1,727	1,253	1,920
Income per cost <sup>6/</sup>	1.56	1.64	1.94	1.50	1.89	1.59	1.85	1.98	1.75	2.11

<sup>1/</sup>All plots received fertilizer, 16-16-8, 20 kg rai<sup>-1</sup> as basal application. F<sub>1</sub> received no topdressing fertilizer F<sub>2</sub> and F<sub>3</sub> received AS, 15 and 30 kg rai<sup>-1</sup> as topdressing fertilizer; F<sub>4</sub> and F<sub>5</sub> received urea 7 and 14 kg rai<sup>-1</sup> as topdressing fertilizer.

<sup>2/</sup>Fertilizer price: 16-16-8, ammoniums sulfate and urea was 7, 5 and 8 baht kg<sup>-1</sup>, respectively.

<sup>3/</sup>Total cost: labour + materials + social cost.

<sup>4/</sup>Income: yield \* price

<sup>5/</sup>Benefit: income - cost

<sup>6/</sup>Income per unit cost (IPC): income/cost

ระยะข้าวออกดอก (ข้าวอายุ 81 วันหลังหว่าน) จะสามารถให้ทั้งผลผลิตข้าวและผลตอบแทนที่สูงและมีการปล่อยก๊าซมีเทนต่ำ

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนงานวิจัยนี้ด้วยทุนอุดหนุนทั่วไป ปีงบประมาณ 2546

### เอกสารอ้างอิง

กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าว. 2543. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าว. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พัชรี แสนจันทร์, ดวงสมร ตูลาพิทักษ์, เทพฤทธิ์ ตูลาพิทักษ์ และ ศุภชัย ตั้งชูพงศ์. 2545. ปริมาณการปลดปล่อย CH<sub>4</sub> จากนาข้าวเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ประไพ ชัยโรจน์. 2538. แหล่งที่มาของก๊าซมีเทนในบรรยากาศโลก. วารสารดินและปุ๋ย 17: 164-167.

สำนักงานสถิติการเกษตร. 2546. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีการเพาะปลูก 2544/45. (18 กรกฎาคม 2546) Available: <http://oae.go.th/statistic/yearbook/2001-02/.html>

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2543. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

- Bollag J.M. and Czlonkowski, S.T. 1973. Inhibition of methane formation in soil by various nitrogen containing compounds. *Soil Biological & Biochemistry* 5: 673-678.
- Bruce, A. McCarl, 2003. Curbing Greenhouse Gases: Agriculture's Role. Available from: URL: <http://ageco.tamu.edu/faculty/mccarl/papers/728>. Pdf.
- Conard, R. 1993. Mechanism controlling methane emission from wetland rice soil, pp.137-335. In R.S. Oremland (ed.), *Biogeochemistry of Global Change: Radiative Trace Gases*. Chapman and Hall, New York.
- Hori, K., Inubushi, K., Matsumoto, S. and Wada, H. 1990. Methane formation in the submerged paddy soil as viewed from the angle of sequential occurrence of reduction reaction and organic matter decomposition, pp. 255-260. In *Transaction of 14<sup>th</sup> International Congress of Soil Science*. Volume II, Commission II. 12-18 August 1990. Kyoto, Japan.
- IPCC. 1996. *Climate change 1995*. In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Ross, R.H. (eds.), *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific Technical Report Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Joshua, S. 2000. Rice, microbes and methane. *Nature* 403: 375-377.
- Le Mer, J. and Roger, P. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soil: A review *Eur. J. Soil Biol.* 37: 25-50.
- Saenjan, P., Tulaphitak, D., Tulaphitak, T., Tangchupong, S. and Jearakongman, S. 2000. Methane emission from Farmers' Irrigated Paddy fields in Khon Kaen, p. 81-97. In: *Proceedings of Annual Agricultural Seminar for Year 2000*, 24-25 January 2000, Faculty of Agriculture, Khon Kean University, Khon Kean. ISBN 974-676-999-5
- Saenjan, P., Tulaphitak, D., Tulaphitak, T., Tangchupong, S. and Jearakongman, S. 2001. Methane emission from Thai Farmers' Paddy fields in Khon Kaen, p. 1-22. In: *Proceedings of Annual Agricultural Seminar for Year 2001*, 26-27 January 2001, Faculty of Agriculture, Khon Kean University, Khon Kean. ISBN 974-654-088-2
- Saenjan, P., Tulaphitak, D., Tulaphitak, T., Tangchupong, S. and Jearakongman, S. 2002. Methane Emission from Farmers, Paddy Fields as a Basis for Appropriate Mitigation Technologies. 17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, 14-21 August 2002. Bangkok Thailand (0273.pdf).
- Saenjan, P. and Wada, H. 1990. Effects of salts on methane formation and sulfate reduction in submerged soil, pp. 244-248. In *Transaction of 14<sup>th</sup> International Congress of Soils Science*. Volume II, commission II. 12-18 August 1990. Kyoto, Japan.
- Sass, R.L., Fisher, F. M., Harcombe, P.A. and Turner, F.T. 1990. Methane production and emission in Texas rice field. *Global Biogeochemistry Cycle* 4: 47-68.
- Takai, Y. 1969. The Mechanism of Reduction in Paddy Soil. *Japan Agricultural Research Quarterly*. The Agricultural, Forest and Fisheries Research Council, the Ministry of Agriculture and Forest, Japan.
- Yang, S.S., and Chang, H.L. 1999. Duration of methane emission from paddy fields at different growth stages of rice cultivation in Taiwan. *Agriculture Ecosystem & Environment* 76: 75-84.