

## บทนำ

ประเทศไทยส่งออกข้าวเป็นอันดับ 1 ของโลก และคาดว่าจะส่งออกข้าวได้ประมาณ 11 ล้านตัน เนื่องจากไทยมีศักยภาพในการส่งออกข้าวและผู้ส่งออกหลายประเทศประสบภัยธรรมชาติ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) มากกว่าประเทศไทย แนวโน้มในปี 2554/55 ในฤดูนาปีจะมีเนื้อที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.26 แต่ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ลดลงร้อยละ 16.82 และร้อยละ 17.26 ตามลำดับ ส่วนฤดูนาปรัง แนวโน้มในปี 2555 คาดว่าจะปลูกข้าวสูงขึ้นจากปี 2554 เนื่องจากความต้องการข้าวของโลกยังคงสูงมาก ผู้ส่งออกหลายประเทศประสบภัยธรรมชาติมากกว่าประเทศไทย และผู้นำเข้าบางประเทศต้องการนำเข้าเพิ่มขึ้น ประกอบกับนโยบายรับจำนำของภาครัฐที่กำหนดราคารับจำนำในราคาสูงนำตลาด(สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2555)

ประเทศไทยในฐานะผู้ผลิตข้าวรายใหญ่ของโลกควรเล็งเห็นความสำคัญของการฟื้นฟูดินนา ซึ่งเป็นทุนทรัพยากรดิน และควรเล็งเห็นความจำเป็นของการวิจัยเกี่ยวกับการใช้อินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงดินนาเสื่อมโทรมให้สามารถรักษาหรือเพิ่มผลผลิตข้าว อันจะเป็นฐานสำคัญของการสร้างความเข้มแข็งด้านเศรษฐกิจให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าว และสามารถลดการปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวได้

ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ก๊าซมีเทนมีความสำคัญเป็นอันดับสองรองจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) โดยมีศักยภาพทำให้โลกร้อน (global warming potential, GWP) เป็น 23 เท่าของก๊าซ  $\text{CO}_2$  และก๊าซ  $\text{CH}_4$  มีพลังการแผ่รังสี (radiative forcing)  $0.48 \text{ watt m}^{-2}$  (IPCC, 2001) Minamikawa et al. (2005) รายงานว่าทั้งโลกมีการปล่อยก๊าซมีเทนประมาณ  $600 \text{ Tg CH}_4 \text{ yr}^{-1}$  ซึ่งมาจากการปลูกข้าวในนาข้าว 25.4 - 54  $\text{Tg CH}_4 \text{ yr}^{-1}$  (Liou et al., 2003) ทวีปเอเชียมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนประมาณ 57-82  $\text{Tg CH}_4 \text{ yr}^{-1}$  (Bachelet and Neue, 1993) U.S. EPA (2009) รายงานว่าประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 344.2  $\text{Tg CO}_2\text{-e yr}^{-1}$  และปล่อยก๊าซมีเทนประมาณ 28% ของก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยทั้งหมด ซึ่งประมาณ 51% ของก๊าซมีเทนที่ปล่อยทั้งหมดมีแหล่งปล่อยมาจากการทำนา (U.S. EPA, 2009)

เกษตรกรนิยมใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว แต่เกษตรกรอาจจะไม่ทราบว่าปุ๋ยบางชนิดนอกจากจะเพิ่มผลผลิตข้าวได้แล้ว ยังช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศได้อีกด้วย ซึ่งได้แก่ปุ๋ยที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ ธาตุซัลเฟอร์ (S) ในรูปซัลเฟต ( $\text{SO}_4$ ) มีความจำเป็นต่อการสร้างกรดอะมิโน เช่น ซีสทีน (cysteine) ซีสเทอีน (cysteine) และ เมทไทโอนีน (methionine) ถ้าพืชขาด S จะทำให้พืชแคระแกร็น จำนวนต้นลดลง รวงสั้น จำนวนช่อดอกต่อรวงน้อยลง ทำให้การเจริญเติบโตช้าลงประมาณ 1-2 สัปดาห์ (Ali et al., 2008) Ali et al. (2008) พบว่าการใส่ปุ๋ยที่มี

ซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ (ammonium sulfate, elemental S และ gypsum) อัตรา 30 kg S ha<sup>-1</sup> ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 19.86% ในปีที่ 1 และ 18.33% ในปีที่ 2 เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่ซัลเฟต ซึ่งสอดคล้องกับ Minamikawa et al. (2005) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ (ammonium sulfate) ในอัตราค่าที่สุด (45 kg N ha<sup>-1</sup>) ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นถึง 24% เมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยใดๆเลย เช่นเดียวกับ Ro (2011) ซึ่งพบว่า การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตซัลเฟตทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น

พัชรและคณะ (2547)พบว่า ดินที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 15 และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ ให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าดินที่แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย ทั้งนี้เนื่องจากการแย่งสารอาหารกันของจุลินทรีย์กลุ่ม sulfate reducing bacteria (SRB) และ methanogens (Hori et al., 1990; Minamikawa et al., 2005) Ro et al. (2011) ได้ศึกษาผลของอัตราซัลเฟตต่อการผลิตก๊าซ CH<sub>4</sub> โดยทดลองบ่มดินด้วยปุ๋ยซัลเฟตอัตราที่ต่างกันพร้อมทั้งทดลองปลูกข้าวในกระถางด้วย และพบว่า การผลิตก๊าซ CH<sub>4</sub>ลดลงตามอัตราซัลเฟตที่สูงขึ้น

นอกจากนั้นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูก(SME)จากดินนาว่านที่ใส่ SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ในอัตรา 0, 50, 100 และ 210 kg ha<sup>-1</sup> มีค่าอยู่ในช่วง 1,090 – 366kg CH<sub>4</sub>ha<sup>-2</sup> ตลอดฤดูปลูก ค่าGWP ลดลง 2.3 และ 13.3% ในดินที่ได้รับ SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ในอัตรา 50 และ 100 kg ha<sup>-1</sup> การใส่SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็น 210 kg ha<sup>-1</sup>พบว่า GWP ลดลง 66.68% (พัชร และคณะ 2554)

ปัจจุบันองค์ความรู้เกี่ยวกับผลของปุ๋ยที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบต่อผลผลิตข้าวและการปล่อยก๊าซ CH<sub>4</sub> จากนาที่ปลูกข้าวเจ้ามีผู้ศึกษามายาวแล้วแต่ยังขาดข้อมูลและองค์ความรู้ดังกล่าวที่ได้จากพื้นที่ปลูกข้าวเหนียว ซึ่งประชาชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการบริโภคข้าวเหนียวมากกว่าข้าวเจ้า จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเพื่อให้ได้องค์ความรู้นี้ และสามารถแนะนำแนวทางการปฏิบัติเพื่อให้ได้ผลผลิตข้าวสูงที่สุดในขณะที่เดียวกันสามารถลดการปล่อยก๊าซ CH<sub>4</sub> ได้ด้วย

### วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) สามารถรักษาหรือเพิ่มผลผลิตข้าวโดยการจัดการดินนาและอินทรีย์วัตถุ
- 2) พื้นฟูดินนาเสื่อมให้มีความอุดมสมบูรณ์ดีขึ้น
- 3) ได้เทคโนโลยีการลดก๊าซมีเทนโดยการจัดการดินนาและอินทรีย์วัตถุ

## วิธีการวิจัย

### พื้นที่ทดลอง

ทำการทดลองในฤดูนาปรัง ระหว่างเดือนมกราคม - พฤษภาคม พ.ศ. 2555 ในนาข้าวเกษตรกรในเขตชลประทานหนองหวาย บ้านหนองคำตำบลโนนท่อน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ปริมาณตอซังก่อนการทดลองเฉลี่ย  $525 \text{ kg ra}^{-1}$  ทั้งนี้คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินนา ก่อนทดลอง

| Parameters                                         | Value      |
|----------------------------------------------------|------------|
| Soil Texture                                       | Silty Clay |
| Sand (%)                                           | 6.00       |
| Silt (%)                                           | 47         |
| Clay (%)                                           | 47         |
| Bulk density ( $\text{g cm}^{-3}$ )                | 1.40       |
| pH (1:1)                                           | 5.14       |
| EC (1:5, $\text{dS m}^{-1}$ )                      | 0.04       |
| Total Nitrogen ( $\text{g kg}^{-1}$ )              | 0.83       |
| Organic carbon ( $\text{g/kg}$ )                   | 10.08      |
| $\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg/kg}$ )                 | 15.40      |
| Available P ( $\text{mg/kg}$ )                     | 3.27       |
| Exchangeable Ca ( $\text{mg kg}^{-1}$ )            | 1239       |
| Exchangeable K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )             | 80         |
| Exchangeable Mg ( $\text{mg kg}^{-1}$ )            | 203        |
| $\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )         | 46         |
| $\text{Fe}^{2+}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )           | 1018       |
| $\text{Mn}^{2+}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )           | 123        |
| Cation Exchange Capacity ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ) | 14         |

### แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) มี 4 ดำรับๆ ละ 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 12 แปลง ปุ๋ยที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบที่ใช้ทดลอง คือ แอมโมเนียมฟอสเฟตซัลเฟตสูตร 16-20-0 (ซัลเฟต 42%) อัตราซัลเฟตของแต่ละดำรับทดลองแสดงในตารางที่ 2

ทุกดำรับได้รับปริมาณ N,  $P_2O_5$  และ  $K_2O$  เท่ากันยกเว้นอัตราซัลเฟต โดยปรับด้วยปุ๋ยโคแอมโมเนียมฟอสเฟตสูตร 18-46-0, ยูเรีย (N 46%), หินฟอสเฟต ( $P_2O_5$  3%) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl,  $K_2O$  60%) สุดท้ายทุกดำรับทดลองได้รับ N,  $P_2O_5$  และ  $K_2O$  เท่ากับ 123, 188 และ 75 kg ha<sup>-1</sup> ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ดำรับทดลองและอัตราซัลเฟตที่ใช้ในงานทดลอง

| ดำรับทดลอง <sup>1/</sup><br>(kg SO <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> ) | อัตราซัลเฟตที่ใช้<br>(kg SO <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> ) |                          | ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต<br>ซัลเฟต<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                    | ครั้งที่ 1 <sup>2/</sup>                                    | ครั้งที่ 2 <sup>3/</sup> |                                                          |
| 1) ควบคุม                                                          | 0                                                           | 0                        | 0                                                        |
| 2) 100                                                             | 25                                                          | 75                       | 238                                                      |
| 3) 200                                                             | 50                                                          | 150                      | 476                                                      |
| 4) 300                                                             | 75                                                          | 225                      | 714                                                      |

<sup>1/</sup>ทุกดำรับมีการไถกลบตอซังในระหว่างการเตรียมดิน<sup>2/</sup>ข้าวอายุ 0 วัน (วันปลูก)<sup>3/</sup>ข้าวอายุ 51 วัน

### การขึ้นรูปแปลง ติดตั้งสะพานและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซ

ก่อนทดลองมีการไถกลบตอซังทิ้งไว้ในดิน 2 สัปดาห์ ซึ่งมีตอซังเหลืออยู่ในดิน 525 kg ra<sup>-1</sup> หลังจากนั้นได้ทำเทือก ขึ้นรูปแปลงย่อยขนาด 4 x 4 m จำนวน 12 แปลงทำสะพานไม้ยื่นเข้าไปในแปลงนาทุกแปลงฝั่งฐานกล่อง (base module) ลงในดินให้ขอบบนของฐานเสมอผิวดินที่ปลายสะพาน โดยจะติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซในขณะที่มีการทำเทือกทั้งนี้เพื่อง่ายต่อการปรับระดับของฐานกล่อง ซึ่งฐานกล่องสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซนี้จะติดตั้งอยู่ในดินตลอดการทดลอง

### การปลูก ใส่ปุ๋ย และการดูแลรักษา

ปลูกข้าวพันธุ์สุกกลนครด้วยวิธีการหว่านน้ำตม (หว่านข้าวออก) ในอัตรา 20kg ra<sup>-1</sup> ไม่มีการขังน้ำในช่วงแรกแต่ดินยังอืดด้วยน้ำ จนกระทั่งข้าวอายุ 9 วันหลังหว่านจึงทน้ำเข้านาเพื่อขังน้ำตลอด

ฤดูปลูกและรักษาระดับน้ำไว้ที่ความสูง 5-10 cm จากผิวดินจนกระทั่ง 1 สัปดาห์ก่อนวันเก็บเกี่ยว ปล่อยให้แห้งโดยการคายระเหย

ใส่ปุ๋ยสองครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่เมื่อวันปลูก (22 มกราคม 2555) โดยใส่ปุ๋ยรองพื้น  $N, P_2O_5$  และ  $K_2O$  ในปริมาณ 38, 81 และ 38  $kg\ ha^{-1}$  ตามลำดับและครั้งที่ 2 เมื่อข้าวอายุ 51 วัน (14 มีนาคม 2555) ใส่ปุ๋ย แต่งหน้า  $N, P_2O_5$  และ  $K_2O$  ในปริมาณ 85, 107 และ 37  $kg\ ha^{-1}$  ตามลำดับรวมปริมาณ  $N, P_2O_5$  และ  $K_2O$  125, 188 และ 75  $kg\ ha^{-1}$  ตามลำดับ ดูแลกำจัดวัชพืชโรค และแมลง

### การเก็บตัวอย่างดิน

การหาความหนาแน่นรวมของดินแยกชั้นส่วนอินทรีย์ในดินนา (>2mm) วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีได้แก่ pH EC ในโตรเจนทั้งหมด คาร์บอนอินทรีย์ ปริมาณแคลเซียม โพแทสเซียมและแมกนีเซียมและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน รวมถึงการเก็บตัวอย่างดินสดเพื่อวิเคราะห์  $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$  และ  $Fe^{2+}$

### การเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนในนาข้าว

เก็บตัวอย่างก๊าซด้วยวิธี closed chamber อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างก๊าซประกอบด้วยกล่องเก็บก๊าซและส่วนที่เป็นฐาน(chamber base) กล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ (gas chamber) ทำด้วยแผ่นอะคริลิกใส (acrylic plate) มีความหนาประมาณ 0.5 cm ขนาดความกว้าง ความยาว และความสูง เท่ากับ 21, 21 และ 100 cm กล่องเก็บตัวอย่างก๊าซด้านบนนี้มีช่องสำหรับเสียบเทอร์โมมิเตอร์ และช่อง septum สำหรับเสียบเข็มฉีดยา (syringe) เพื่อดูดเก็บตัวอย่างก๊าซ ขณะเดียวกันจะติดตั้งพัดลมขนาด 3.5 นิ้วใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เพื่อปรับความเข้มข้นของก๊าซในกล่องให้สม่ำเสมอ เก็บตัวอย่างก๊าซในช่วงเวลา 09.00 - 11.00 น. สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซด้วยกระบอกฉีดยา (syringe) ดูดก๊าซออกจากกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซปริมาตร 10 มิลลิเมตร ทุก 10 นาทีเป็นเวลา 20 นาที (0, 10, และ 20 นาที) ขณะเดียวกันทำการวัดอุณหภูมิภายใน gas chamber และวัดระดับความสูงของน้ำใน gas chamber และความสูงของต้นข้าว นำตัวอย่างก๊าซที่เก็บได้ในช่วงเช้าไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซมีเทนโดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC) ซึ่งต้องวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนให้เสร็จภายใน 6 ชั่วโมงหลังจากเก็บตัวอย่าง (พัชร และคณะ, 2545)

### การเก็บเกี่ยวข้าวและตอซัง

เก็บเกี่ยวตัวอย่างผลผลิตข้าวในพื้นที่ 1x1 เมตร ทำ 2 ซ้ำต่อแปลงทดลอง นำรวงและตอซังมาผึ่งในร่มจนแห้ง สุ่มแยกเมล็ดข้าวออกมา 30 รวงเพื่อนับจำนวนเมล็ดดีต่อรวง หลังจากนั้นทำการ

นวดเพื่อแยกเมล็ดข้าวออกจากรวงข้าวอย่างระมัดระวังด้วยมือแล้วนำไปปาดแยกเมล็ดดีและเมล็ดลีบ พร้อมทั้งวัดความชื้นของเมล็ดดี จากนั้นชั่งน้ำหนักข้าว (เมล็ดดี) ทั้งหมด พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักเมล็ดลีบด้วยเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การเติมเต็มเมล็ดซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด (รวมเมล็ดลีบด้วย) จากนั้นคำนวณผลผลิตที่ความชื้น 14% ในหน่วยตันต่อเฮกตาร์ ( $t\ ha^{-1}$ ) และสูมนับเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ด เพื่อชั่งหาน้ำหนักข้าว 1,000 เมล็ด นำฟางข้าวไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 2 วัน แล้วนำออกมาชั่งหาน้ำหนักแห้ง จากนั้น พร้อมทั้งคำนวณหาดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดและน้ำหนักส่วนที่อยู่เหนือดินทั้งหมด (น้ำหนักเมล็ด ฟางข้าว และตอซัง)

### การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกและศักยภาพในการทำให้โลกร้อน

การคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซ  $CH_4$  ( $CH_4$  emission rate) โดยใช้โปรแกรม Microsoft excel คำนวณความชัน (slope) ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซ  $CH_4$  ที่เก็บเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0, 10, และ 20 นาติโดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (linear regression) ความชันที่ได้นำมาคำนวณอัตราการปลดปล่อยก๊าซ  $CH_4$  ( $CH_4$  emission rate) ปรับด้วยปริมาตรของที่ว่างchamber และอุณหภูมิภายใน ทำให้เป็นหน่วยของ  $mg\ CH_4\ m^{-2}\ d^{-1}$  คำนวณผลรวม (integrate) ของปริมาณการปล่อยก๊าซ  $CH_4$  ในแต่ละช่วงเวลาตลอดฤดูปลูก (seasonal methane emission, SME,  $mg\ CH_4\ m^{-2}$ ) จากนั้นคำนวณไปเป็นศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) (หน่วยเป็น  $kg\ CO_2\ -em^{-2}$  และ  $kg\ C\ -em^{-2}$ ) โดยใช้ค่า GWP ของก๊าซมีเทน 23 (IPCC, 2001)

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) โดยใช้แผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ารับการทดลองโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรม Statistix8

### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษาในแปลงทดลองที่มีการไถกลบตอซึ่งร่วมกับซัลเฟตอัตราต่างๆต่อผลผลิตข้าวพันธุ์สกลนครและองค์ประกอบของผลผลิตต่อการฟื้นฟูดินนาเสื่อม โดยดูที่ความอุดมสมบูรณ์ของดินและให้ได้เทคโนโลยีการลดก๊าซมีเทน โดยการจัดการดินนาและอินทรีย์วัตถุ เสนอผลการทดลองดังนี้

#### อิทธิพลของอัตราซัลเฟตต่อผลผลิตข้าวพันธุ์สกลนครและองค์ประกอบของผลผลิต

ตารางที่ 3 อิทธิพลของอัตราซัลเฟตต่อผลผลิตข้าวพันธุ์สกลนครและองค์ประกอบของผลผลิต

| SO <sub>4</sub> <sup>1/</sup><br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | ผลผลิตข้าว                      |              |                               | การเติม<br>เต็มเมล็ด<br>(%) | น้ำหนักแห้ง<br>ฟางข้าว<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | ดัชนีเก็บ<br>เกี่ยว<br>(HI) |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                         | จำนวน                           | น้ำหนัก 1000 | ผลผลิต                        |                             |                                                 |                             |
|                                                         | เมล็ดดี<br>ต่อรวง <sup>2/</sup> | เมล็ด<br>(g) | ข้าว<br>(t ha <sup>-1</sup> ) |                             |                                                 |                             |
| 0                                                       | 17 b <sup>3/</sup>              | 27.79        | 1.92 b                        | 71.57 c                     | 3.08 b                                          | 0.38 b                      |
| 100                                                     | 54 a                            | 28.92        | 8.25 a                        | 91.67 a                     | 9.44 a                                          | 0.47 a                      |
| 200                                                     | 58 a                            | 29.20        | 8.41 a                        | 91.47 ab                    | 8.92 a                                          | 0.48 a                      |
| 300                                                     | 70 a                            | 29.75        | 7.71 a                        | 86.55 b                     | 9.29 a                                          | 0.45 a                      |
| <b>F-test</b>                                           | **                              | ns           | **                            | **                          | **                                              | *                           |
| <b>CV (%)</b>                                           | 19                              | 3            | 20                            | 3                           | 5                                               | 6                           |

<sup>1/</sup>แอมโมเนียมฟอสเฟตซัลเฟต (16-20-0, ซัลเฟต 42%), <sup>2/</sup> n = 30, <sup>3/</sup>ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงค่าที่ไม่ต่างกันทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ารับการทดลองโดยวิธี Least Significant Difference (LSD), \* ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ), \*\* ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.01$ ), ns: ไม่ต่างกันทางสถิติ

จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตซัลเฟตทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วง 7.71 - 8.41 t ha<sup>-1</sup> ในขณะที่ดำรับที่ไม่ได้รับปุ๋ยให้ผลผลิตข้าวเพียง 1.9 t ha<sup>-1</sup> ซึ่งเห็นว่าผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า จำนวนเมล็ดต่อรวงเพิ่มขึ้นตามอัตราซัลเฟตที่เพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยซัลเฟตให้จำนวนเมล็ดต่อรวง 54-70 เมล็ด ในขณะที่ดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีจำนวนเมล็ดต่อรวงเพียง 17 เมล็ด ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่ปุ๋ยซัลเฟตทำให้น้ำหนัก 1000 เมล็ดเพิ่มขึ้นและอยู่ในช่วง 28.92 - 29.75 กรัม ในขณะที่ดำรับที่ไม่ได้รับปุ๋ยมีน้ำหนัก 1000 เมล็ดเพียง 27.79 กรัม แต่ไม่ต่างกันทางสถิติ การใส่ปุ๋ยซัลเฟตทำให้เปอร์เซ็นต์การเติมเต็มเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นและอยู่ในช่วง 86.55 – 91.67 % ในขณะที่ดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีเปอร์เซ็นต์การเติมเต็มเมล็ดเพียง 71.57 % จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และการเติม

เต็มเมล็ดทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการใส่ปุ๋ยซัลเฟตยังมีผลทำให้น้ำหนักแห้งฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งด้วย ซึ่งเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 8.92 -9.44 t ha<sup>-1</sup> ในขณะที่ดำรับที่ไม่ได้รับปุ๋ยมีน้ำหนักแห้งฟางข้าวเพียง 3.08 t ha<sup>-1</sup> เช่นเดียวกับดัชนีเก็บเกี่ยว การใส่ปุ๋ยซัลเฟตทำให้ข้าวพันธุ์สกลนครมีดัชนีเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย

ซัลเฟอร์ (S) ซึ่งพืชใช้ในรูปของซัลเฟต (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) เป็นธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตข้าวถ้าพืชขาด S จะทำให้พืชแคระแกร็น จำนวนต้นสมบูรณ์ลดลง รวงสั้น จำนวนช่อดอกต่อรวงน้อยลง ทำให้การเจริญเติบโตช้าลงประมาณ 1-2 สัปดาห์ (Ali et al., 2008) Chaturvedi (2005) พบว่า ผลผลิตข้าว องค์ประกอบของผลผลิต และปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ (ammonium sulphate nitrate และ Super Net) ในทำนองเดียวกัน Ali et al. (2008) พบว่าการใส่ปุ๋ยที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ (ammonium sulfate, elemental S และ gypsum) อัตรา 30 kg S ha<sup>-1</sup> ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 19.86% ในปีที่ 1 และ 18.33% ในปีที่ 2 เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่ซัลเฟต ซึ่งสอดคล้องกับ Minamikawa et al. (2005) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ (ammonium sulfate) ในอัตราต่ำที่สุด (45 kg N ha<sup>-1</sup>) ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นถึง 24% เมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยใดๆ เลย เช่นเดียวกับ Ro (2011) ซึ่งพบว่า การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตซัลเฟตทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น Haneklaus et al. (2007) ให้เหตุผลว่า S เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนบางชนิดซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดโครงสร้าง (structure and conformation) และการทำหน้าที่ (function) ของโปรตีนและเอนไซม์ในเนื้อเยื่อเจริญของพืช (vegetative plant tissue) ส่งผลต้นข้าวมีจำนวนต้นตอต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และจำนวนช่อดอกต่อรวงเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันขนาดของใบข้าวก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งขนาดของใบมีความสำคัญในการสังเคราะห์แสงเพื่อให้ได้แป้งซึ่งจะถูกลำเลียงไปยังเมล็ดต่อไป

งานทดลองนี้มีการแบ่งใส่ปุ๋ยสองครั้ง ครั้งแรกใส่เมื่อวันปลูกซึ่งเป็นการใส่ปุ๋ยรองพื้น (1/4 ของปุ๋ยที่ใส่ทั้งหมด) ให้กับต้นกล้าข้าว และครั้งที่สองเมื่อข้าวอายุ 52 วันหลังหว่านซึ่งเป็นการใส่ปุ๋ยแต่งหน้า (3/4 ของปุ๋ยที่ใส่ทั้งหมด) ระยะแตกกอ (ภาพที่ 2.1) ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 มากกว่าครั้งที่ 1 เนื่องจากต้นข้าวในระยะแตกกอดต้องการธาตุอาหารปริมาณมากเพื่อนำไปใช้ในการแบ่งเซลล์ (cell division) การยืดยาวของเซลล์ (cell elongation) ตลอดจนการพัฒนาการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น เพื่อให้ได้จำนวนต้นหรือหน่อ (tiller) มากที่สุด และทำให้ได้รับผลผลิตข้าวสูงตามไปด้วย นอกจากนั้น การแบ่งใส่ปุ๋ยสองครั้งจะช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหาร โดยการระเหยไปในบรรยากาศหรือการไหลซึมลึกของน้ำและธาตุบางส่วนถูกดูดยึดไว้ที่อนุภาคดิน

## อิทธิพลของอัตราชลประทานต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินนา

### pH และ EC ในสารละลายดิน

เมื่อมีการขังน้ำในนาข้าวคุณสมบัติของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม หลังจากขังน้ำจะทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากค่าเริ่มต้น (5.1) อยู่ในช่วง 5.5 – 5.9 (ภาพที่ 1 a) จะเห็นว่า pH ของดินกรดจะเพิ่มขึ้นหลังขังน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับ pH เริ่มต้น อินทรีย์วัตถุในดิน และระยะเวลาของการขังน้ำด้วย และไม่ต่างกันในแต่ละตำรับทดลอง หลังการขังน้ำ pH ในดินจะเข้าใกล้ความเป็นกลาง

เช่นเดียวกับ EC (ภาพที่ 1 b) เมื่อมีการขังน้ำ จะเห็นว่า EC ตลอดฤดูปลูกเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.068 - 0.085 dS m<sup>-1</sup> เนื่องจากหลังจากขังน้ำปริมาณแคตไอออนและแอนไอออนในสารละลายมีมากขึ้น แต่ค่า EC เท่านั้นเป็นความเข้มข้นระดับปกติไม่เป็นพิษต่อต้นข้าว ซึ่งค่า EC ที่เป็นพิษต่อต้นข้าวจะมากกว่า 4 mmhcm<sup>-1</sup> (4 dS m<sup>-1</sup>) (Yoshida, 1981)

### ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ภาพที่ 1 c ก่อนทดลองฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะมีปริมาณ 3.27 mg kg<sup>-1</sup> ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจากขังน้ำ ซึ่งเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.46 - 20.69 mg kg<sup>-1</sup> ในระยะต้นกล้าจะมีปริมาณฟอสฟอรัสต่างกันอย่างน้อยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบในแต่ละตำรับทดลอง ตำรับที่ไม่ใส่ SO<sub>4</sub> มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำที่สุดเนื่องจากไม่ได้รับธาตุปุ๋ยใดๆเลย แต่มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเนื่องจากเมื่อดินถูกน้ำขังฟอสฟอรัสจะเป็นประโยชน์มากขึ้น ฟอสฟอรัสบางส่วนที่ถูกดูดซับโดยอนุภาคดินเหนียวและออกไซด์ของเหล็ก เมื่อมีการขังน้ำฟอสฟอรัสละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินเพิ่มมากขึ้นและตำรับที่ใส่ 300 kg SO<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> มีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด เช่นเดียวกับในระยะแตกกอตำรับที่ไม่ได้รับปุ๋ยใดๆเลยมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำที่สุด สังเกตเห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสในตำรับที่ได้รับปุ๋ยซัลเฟต (APS) ในระยะแตกกอจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากระยะต้นกล้ามาก เนื่องจากได้รับปุ๋ยแต่งหน้าก่อนเก็บตัวอย่างดิน 6 วัน จึงทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงเช่นนี้ หลังจากนั้นฟอสฟอรัสมีปริมาณลดลงในระยะออกดอกเนื่องจากพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และจะลดลงมากในระยะเก็บเกี่ยวเนื่องจากในระยะนี้มีการปล่อยให้น้ำในนาข้าวแห้งโดยการคายระเหยไปเองตามธรรมชาติ ทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงอยู่ในอนุภาคดินเหนียว

### โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ปริมาณธาตุอาหารที่วัดได้จะเป็นปริมาณที่เหลือจากที่พืชนำไปใช้แล้วยังคงเหลืออยู่ในดิน ซึ่งบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ที่อนุภาคดิน ภาพที่ 1 d, e, f แสดงค่า K, Ca, Mg อยู่ในช่วง 59-107 mg K kg<sup>-1</sup>, 965-1558 mg Ca kg<sup>-1</sup> และ 142-196 mg Mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จะมี

ปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจากขังน้ำเนื่องจากการขังน้ำทำให้โพแทสเซียมละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินเพิ่มขึ้น และได้รับจากปุ๋ย KCl ที่ใส่ลงไป หลังจากนั้นโพแทสเซียมจะลดลงในระยะแตกกอระยะออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว ส่วนแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตลอดการทดลองจะมีปริมาณลดลงจากก่อนทดลอง (ภาพที่ 1 e, f) เนื่องจากพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ธาตุเหล่านี้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์อาจจะเกิดการสูญเสียไปจากดินได้ง่าย

### ไนโตรเจนทั้งหมดและแอมโมเนียมในดิน

ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (ภาพที่ 2 a) ที่วิเคราะห์จากดินแห้งจะมีปริมาณลดลงจากก่อนทดลอง ( $0.83 \text{ g kg}^{-1}$ ) ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง  $0.51 - 0.70 \text{ g kg}^{-1}$  ไนโตรเจนลดลงเนื่องจากพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และสูญเสียไปในรูปของก๊าซ ส่วนแอมโมเนียมในดิน (ภาพที่ 2 b) ที่วิเคราะห์จากดินสด จะพบว่า หลังจากขังน้ำจะพบว่าปริมาณแอมโมเนียมของตำรับ 100, 200 และ  $300 \text{ kg SO}_4 \text{ ha}^{-1}$  ในระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ และระยะออกดอกเพิ่มขึ้นจากก่อนทดลอง ( $15.40 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ซึ่งเพิ่มขึ้นในช่วง  $15.50 - 34.73 \text{ mg kg}^{-1}$  เนื่องจากได้รับจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปในแต่ละตำรับ และดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์จะทำให้ไนโตรเจนเป็นประโยชน์ในรูปแอมโมเนียม (Zhang and Scherer, 2002) ความแตกต่างของปริมาณแอมโมเนียมในแต่ละตำรับทดลองจะไม่ต่างกันในระยะต้นกล้าแต่จะเห็นความแตกต่างชัดเจนในระยะแตกกอและระยะออกดอกจะเห็นว่าตำรับที่ได้รับปุ๋ยจะมีปริมาณแอมโมเนียมสูงกว่าตำรับที่ไม่ได้รับปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ ในระยะแตกกอจะมีปริมาณแอมโมเนียมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระยะอื่น เนื่องจากการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าก่อนเก็บตัวอย่างดินในระยะนี้เพียง 6 วันในระยะเก็บเกี่ยวจะปริมาณแอมโมเนียมเหลืออยู่ในดินประมาณ  $6.18 - 6.77 \text{ mg kg}^{-1}$  แอมโมเนียม ลดลงจนมีปริมาณต่ำเช่นนี้เนื่องจากอาจจะเกิดการสูญเสียแอมโมเนียมไปโดยการที่พืชนำไปใช้ ในรูปก๊าซ  $\text{N}_2\text{O}$  และสูญเสียไปกับน้ำชะ

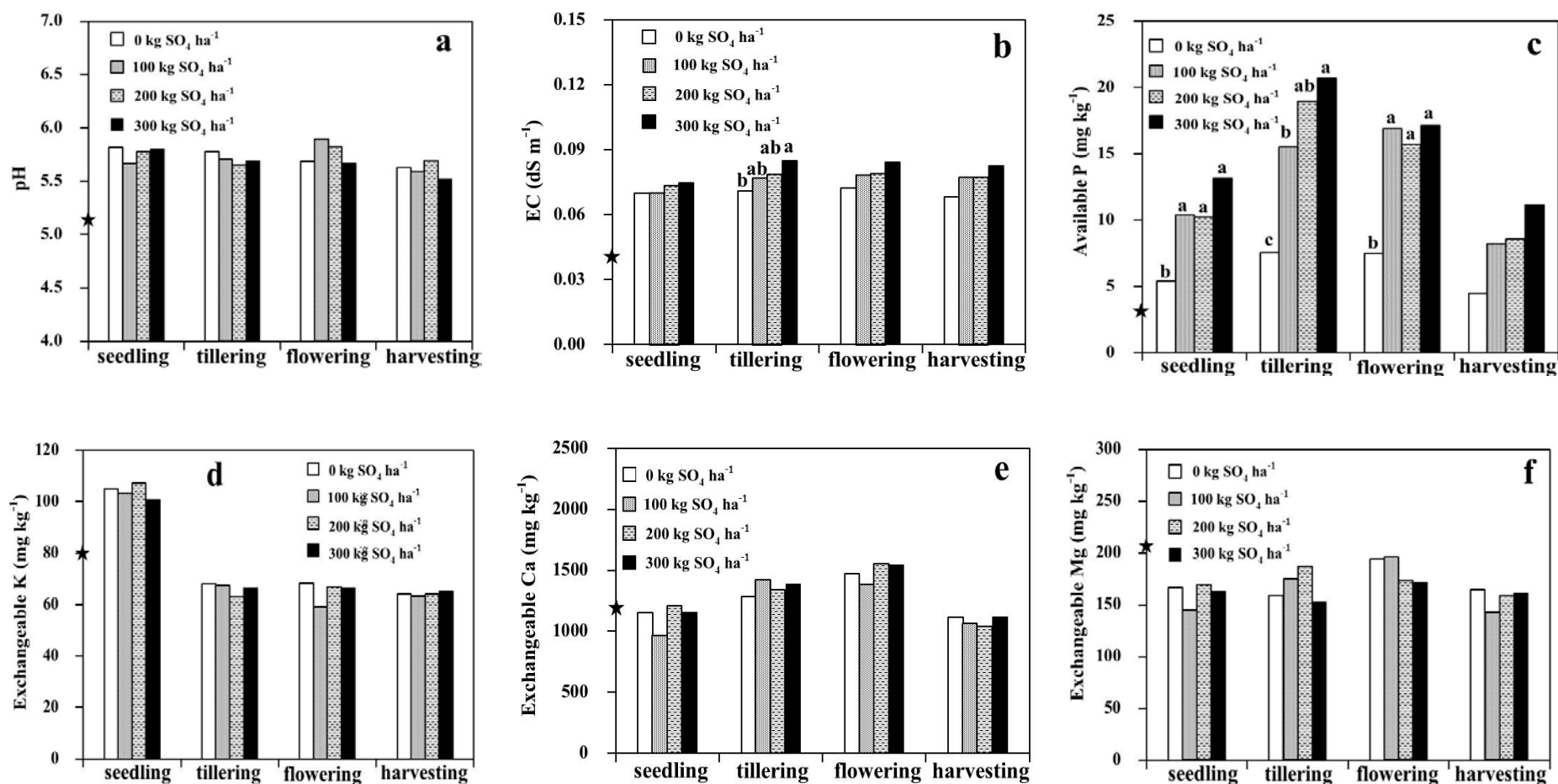
### ซัลเฟตในดิน

ซัลเฟตของตำรับที่ใส่ปุ๋ยในระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ และระยะออกดอกเพิ่มขึ้นจากก่อนทดลอง ( $45.88 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (ภาพที่ 2 c) ซึ่งเพิ่มขึ้นตามอัตราซัลเฟตที่ใส่ลงไปในแต่ละตำรับทดลอง และทั้งการทดลองเพิ่มขึ้นในช่วง  $47.30 - 85.44 \text{ mg kg}^{-1}$  ในระยะต้นกล้าและแตกกอจะพบความแตกต่างของปริมาณซัลเฟตในดินแต่ละตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นตามอัตราซัลเฟตที่ใส่ ในระยะแตกกอจะมีปริมาณซัลเฟตสูงกว่าระยะต้นกล้าเนื่องจากใส่ปุ๋ยรองพื้นก่อนเก็บตัวอย่างดินเพียง 6 วัน จึงพบปริมาณซัลเฟตสูงเช่นนี้ หลังจากนั้นซัลเฟตจะลดลงในระยะออกดอกและระยะเก็บเกี่ยว ในระยะเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณซัลเฟตเหลืออยู่เพียง  $30.49 -$

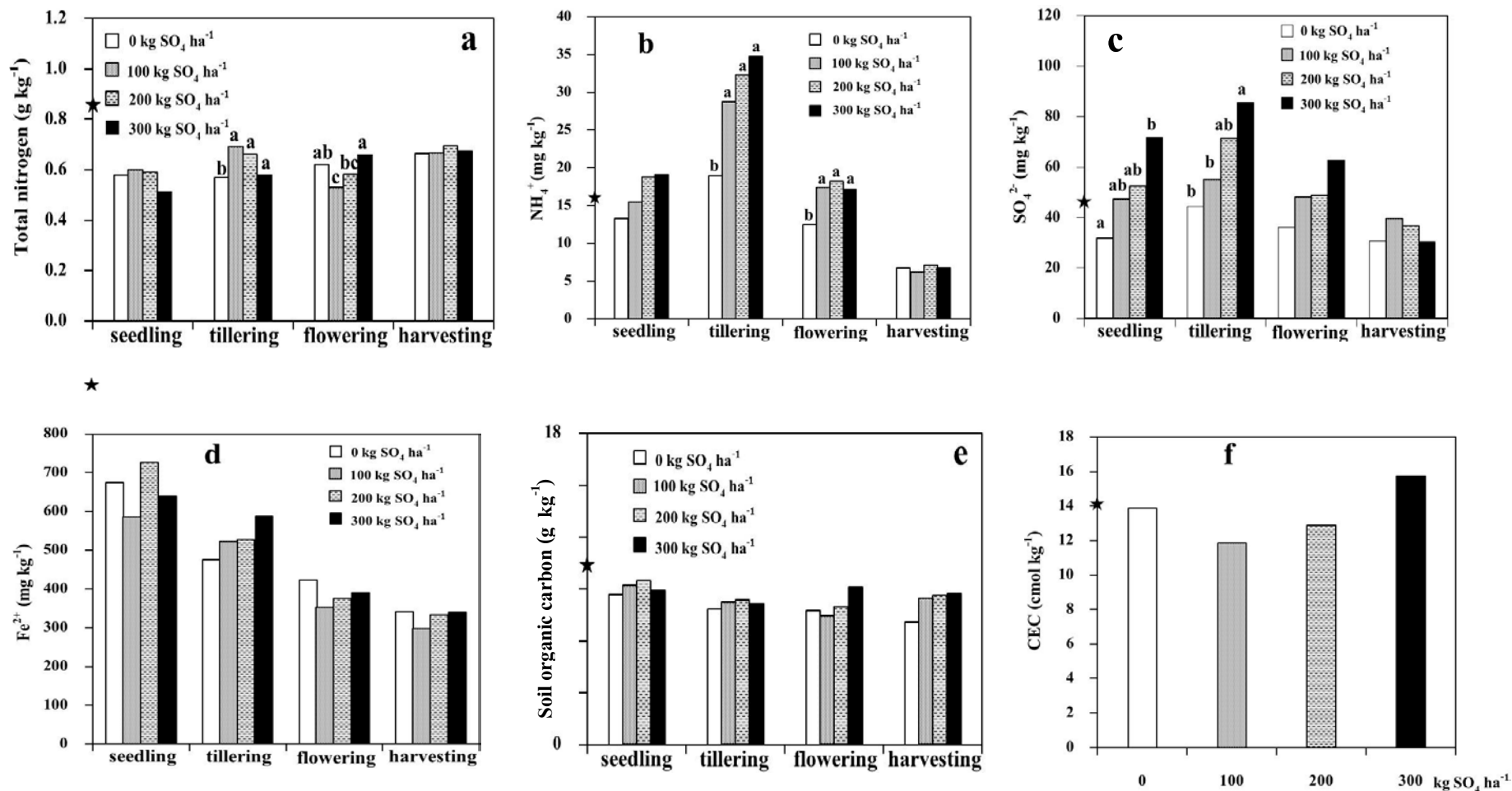
39.69 mg kg<sup>-1</sup> ซัลเฟตลดลงจนมีปริมาณต่ำเช่นนี้เนื่องจากต้นข้าวนำไปใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนั้นยังมีการสูญเสียในรูปของก๊าซ H<sub>2</sub>S แล้วปล่อยออกสู่บรรยากาศในรูป หรือ ถูกชะออกจากดินจนพื้นเขตรากพืชเนื่องจากซัลเฟตเป็นธาตุอาหารที่มีประจุลบซึ่งสามารถถูกชะออกไปจากดินได้ง่าย

### เฟอร์รัสในดิน

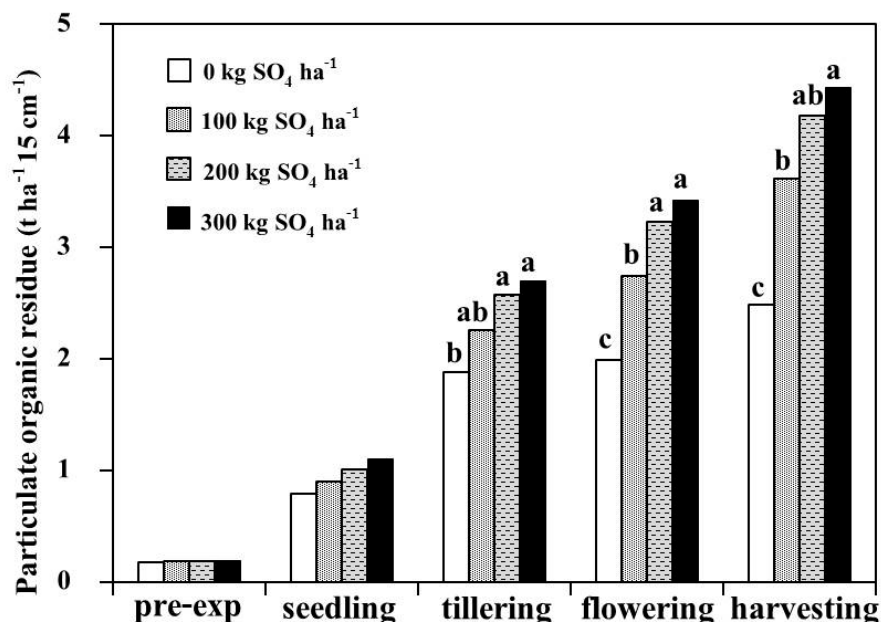
หลังจากขังน้ำปริมาณเฟอร์รัส (Fe<sup>2+</sup>) ลดลงจากก่อนทดลอง (1,018 mg kg<sup>-1</sup> ซึ่งวัดในดินสภาพ strong reductive ที่แช่น้ำนาน 28 วัน) ซึ่งลดลงอยู่ในช่วง 299 – 726 mg kg<sup>-1</sup> ตลอดการเจริญเติบโตของข้าว (ภาพที่ 2 d) อาจจะเนื่องจากพืชดูดใช้ในการเจริญเติบโตจึงพบปริมาณเฟอร์รัสลดลงตามอายุการเจริญเติบโตของข้าว และ เฟอร์รัสอาจถูกออกซิไดส์บริเวณ oxidized layers ในดิน (Ponnamperuma, 1972) แต่เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละคำรับทดลองพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าปริมาณซัลเฟตที่ต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟอร์รัส เมื่อเปรียบเทียบตามระยะเวลาในการขังน้ำจะเห็นว่าเฟอร์รัสจะมีปริมาณลดลงตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว และมีปริมาณต่ำที่สุดที่ระยะเก็บเกี่ยวเมื่อต้นข้าวมีการเจริญเติบโตขึ้นจะมีการพัฒนาขนาดของลำต้นและขนาดของช่องว่างในเซลล์ทำให้ลำเลียงก๊าซ O<sub>2</sub> ไปสู่รากได้มากขึ้น ทำให้บริเวณรากข้าวมีก๊าซ O<sub>2</sub> มากและเกิดการออกซิไดส์ของเฟอร์รัส (Ponnamperuma, 1972) ทำให้เฟอร์รัสมีปริมาณลดลง



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินนาที่ปลูกข้าวได้แก่ ความเป็นกรดด่างของดิน (a), การนำไฟฟ้า (b), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (c), โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (d), แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (e), แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (f), seedling คือ ระยะต้นกล้า, tillering คือ ระยะแตกกอ, flowering คือ ระยะออกดอก และ harvesting คือ ระยะเก็บเกี่ยว, คือ ค่าก่อนการทดลอง



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินนาที่ปลูกข้าวได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (a), แอมโมเนียม (b), ซัลเฟต (c), เฟอรัส (d), คาร์บอนอินทรีย์ (e), ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (f), seedling คือ ระยะต้นกล้า, tillering คือ ระยะแตกกอ, flowering คือ ระยะออกดอก และ harvesting คือ ระยะเก็บเกี่ยว, ★ คือ ค่าก่อนทดลอง, กรณิเฟอรัส ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ค่าก่อนทดลองได้จากการบ่มดินนาน 28 วันในสภาพรีดิวัช



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงซากอินทรีย์ที่เป็นชั้นตลอดอายุการเจริญเติบโตของข้าว

### อินทรีย์คาร์บอนในดินและซากอินทรีย์ที่เป็นจีน

เมื่อมีการขังน้ำปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินลดลงจากก่อนทดลอง (10.08 g kg<sup>-1</sup>) (ภาพที่ 2 e) ลดลงอยู่ในช่วง 7.10 - 9.43 g kg<sup>-1</sup> เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละตำรับทดลองพบว่าไม่ต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าปริมาณซัลเฟตไม่มีผลต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน ซึ่งอาจจะอธิบายได้ว่า ในสภาพที่ขาด O<sub>2</sub> จะเกิดการย่อยสลายซากอินทรีย์ได้ต่ำ และจะเป็นการย่อยสลายในกระบวนการหมักทำให้ได้กรดอินทรีย์ เมื่ออินทรีย์วัตถุเหล่านี้เกิดการสลายตัวจะเกิดการเน่าเปื่อยเพียงบางส่วน และจะทำให้เกิดการสร้างก๊าซ CH<sub>4</sub>NH<sub>3</sub>N<sub>2</sub>OH<sub>2</sub>SCO<sub>2</sub> แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ และซากอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก (Thenabadu, 1967)

จากภาพที่ 3 จะเห็นว่า POR ก่อนทดลอง (pre-exp) มีปริมาณน้อยมาก (0.18-0.19 t ha<sup>-1</sup> 15 cm<sup>-1</sup>) เนื่องจากการไถกลบตอซังและเศษซากรากข้าวในฤดูการทำนาที่ผ่านมา ระยะต้นกล้ามีปริมาณ POR เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.79-1.10 t ha<sup>-1</sup> 15 cm<sup>-1</sup> เนื่องจากต้นข้าวกำลังเจริญเติบโตและมีการพัฒนารากข้าวบ้างเล็กน้อย แต่ในระยะแตกกอระยะออกดอก และระยะเก็บเกี่ยวรากข้าวมีการพัฒนามากขึ้น ทำให้มีปริมาณ POR เพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละตำรับทดลองของระยะแตกกอจะเห็นว่าการใส่ปุ๋ยซัลเฟตทำให้ POR เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าประมาณ 1.88-2.7 t ha<sup>-1</sup> 15 cm<sup>-1</sup> และ POR เพิ่มขึ้นตามอัตราซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับระยะออกดอกและระยะเก็บเกี่ยว พบว่าการใส่ปุ๋ยซัลเฟตทำให้ POR เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเพิ่มขึ้นตามอัตราซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมีค่าประมาณ 1.99-3.42 t ha<sup>-1</sup> 15 cm<sup>-1</sup> ในระยะออกดอกและ 2.84-4.43 t ha<sup>-1</sup> 15 cm<sup>-1</sup> ในระยะเก็บเกี่ยวแสดงให้เห็นว่าซัลเฟตมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของต้นข้าวตลอดจนรากข้าวส่งเสริมให้ดินมีการสะสม POR ในฤดูปลูก

## อิทธิพลของอัตราซัลเฟตต่อปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก(SME) และศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP)

จากตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซ  $\text{CH}_4$  ตลอดฤดูปลูกจากดินที่ได้รับอัตราซัลเฟต 0 - 300  $\text{kg ha}^{-1}$  อยู่ในช่วง 84.8 - 119.9  $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$  ในทำนองเดียวกันศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนอยู่ในช่วง 1,950.4 - 2,756.6  $\text{kg CO}_2\text{-e ha}^{-1}$  แต่ทั้งหมดที่กล่าวนี้มีค่าต่ำและไม่ต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับ เนื่องจากก่อนทดลองมีปริมาณตอซังเหลืออยู่ในดินต่ำ ( $3.28 \text{ t ha}^{-1}$ ) และเกิดกระบวนการย่อยสลายซากตอซังหลังไถกลบก่อนทดลอง 2 สัปดาห์ ดังนั้นจึงปล่อยก๊าซ  $\text{CH}_4$  ต่ำ และนอกจากนั้นดินทดลองเป็นดินเหนียวโดยธรรมชาติจะมีการปล่อยก๊าซ  $\text{CH}_4$  ต่ำกว่าดินร่วน ผลการทดลองในนาดินร่วนก่อนหน้านี้นี้พบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูก(SME)ในนาที่ใส่  $\text{SO}_4^{2-}$  ในอัตรา 0, 50, 100 และ 210  $\text{kg ha}^{-1}$  มีค่าอยู่ในช่วง 1,090 – 366  $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$  ตลอดฤดูปลูก (จะเห็นว่ามีค่าสูงกว่าของนาดินเหนียวที่แสดงในตารางที่ 4) ค่า GWP ลดลง 2.3 และ 13.3% ในดินที่ได้รับ  $\text{SO}_4^{2-}$  ในอัตรา 50 และ 100  $\text{kg ha}^{-1}$  การใส่  $\text{SO}_4^{2-}$  ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็น 210  $\text{kg ha}^{-1}$  พบว่า GWP ลดลง 66.68% (พัชร และคณะ 2554) อาจกล่าวการใช้  $\text{SO}_4^{2-}$  เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดก๊าซมีเทนจะให้ประสิทธิภาพดีในนาดินร่วน

ดินเหนียวชนิด 2:1 จะมีความเหนียวและอ่อนตัว (plasticity) ซึ่งสามารถเกาะยึดกันได้ระหว่างอนุภาคของดินเหนียว (cohesion) ดินเหนียวมีคุณสมบัติในการขยายตัว (swelling) เมื่อเปียก และหดตัว (shrinking) เมื่อแห้ง ดินเหนียวชนิด 2:1 เช่น montmorillonite มีหลิประหว่างฟลิก 10 อังสตรอม เมื่อน้ำเข้าไปอยู่ในหลิ (inter layer) มากขึ้นจะทำให้หลิประหว่างแผ่นฟลิกอัดแน่นขึ้นถึง 50 อังสตรอม นอกจากนี้ดินเหนียวชนิดนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมากประมาณ 700-840  $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$  (รวมพื้นที่หลิของฟลิกด้วย) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ดินเหนียวชนิดนี้สามารถดูดซับน้ำเข้ามาในหลิได้มาก (Goldman et al., 1990) ก๊าซ  $\text{CH}_4$  ซึ่งละลายอยู่ในน้ำมีขนาดโมเลกุลเล็ก 3.8 อังสตรอม (James and Mark, 2003) จะถูกดักไว้ในหลิประหว่างแผ่นฟลิกด้วยทำให้ไม่สามารถหลุดออกสู่บรรยากาศ จนกระทั่งเมื่อน้ำในหลิของดินเหนียวระเหยออกไป ก๊าซ  $\text{CH}_4$  ก็จะสัมผัสกับอากาศ เกิดกระบวนการ methane oxidation ดังนั้นดินเหนียวจึงมีปริมาณก๊าซ  $\text{CH}_4$  ออกสู่บรรยากาศต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพของ  $\text{SO}_4^{2-}$  ต่อการลดก๊าซมีเทนไม่ชัดเจนหรือมีประสิทธิภาพต่ำในนาดินเหนียวนั่นเอง

พัชร และคณะ (2554) ได้ทำการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในนาดินร่วนที่มีการใส่ปุ๋ยซัลเฟตในอัตราที่ต่างกัน พบว่า การปล่อยก๊าซ  $\text{CH}_4$  ลดลงตามอัตราซัลเฟตที่สูงขึ้น การใส่ซัลเฟต อัตรา 210  $\text{kg ha}^{-1}$  สามารถลดการปล่อยก๊าซ  $\text{CH}_4$  ได้ถึง 67% เช่นเดียวกับการทดลองปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในดินที่มีการเติมสารประกอบซัลเฟอร์จะมีปล่อยก๊าซ  $\text{CH}_4$  ลดลงร้อยละ 29-65 เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่เติมสารประกอบซัลเฟอร์ (รัตติยา, 2544) Ro et al. (2011) ได้ศึกษาผลของอัตราซัลเฟตต่อการผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  โดยทดลองบ่มดินด้วยปุ๋ยซัลเฟตอัตราที่ต่างกันพร้อมทั้งทดลองปลูกข้าวในกระถางด้วย และพบว่า การผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  ลดลงตามอัตราซัลเฟตที่สูงขึ้น ซึ่งนักวิจัยได้ให้เหตุผลที่เหมือนกันว่ามีการแข่งขันกันระหว่างจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

ตารางที่ 4 อิทธิพลของอัตราส่วนผสมต่อผลรวมการปล่อยก๊าซ CH<sub>4</sub> ตลอดฤดูปลูก (SME) และศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP)

| SO <sub>4</sub> <sup>1/</sup><br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | SME <sup>4/</sup><br>(kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> ) |                  | GWP as CO <sub>2</sub> -e <sup>5/</sup><br>(kg CO <sub>2</sub> -e ha <sup>-1</sup> ) |       | GWP as C-e <sup>6/</sup><br>(kg C-e ha <sup>-1</sup> ) |       |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------|-------|
|                                                         | Aver. <sup>2/</sup>                                         | SE <sup>3/</sup> | Aver.                                                                                | SE    | Aver.                                                  | SE    |
|                                                         |                                                             |                  |                                                                                      |       |                                                        |       |
| 0                                                       | 100.6                                                       | 23.70            | 2314                                                                                 | 544.6 | 631.0                                                  | 148.5 |
| 100                                                     | 119.9                                                       | 21.60            | 2757                                                                                 | 496.5 | 751.8                                                  | 135.4 |
| 200                                                     | 100.6                                                       | 14.90            | 2313                                                                                 | 342.7 | 630.8                                                  | 93.45 |
| 300                                                     | 84.80                                                       | 12.50            | 1950                                                                                 | 288.4 | 531.9                                                  | 78.66 |
| <b>F-test</b>                                           | ns                                                          |                  |                                                                                      |       |                                                        |       |
| <b>CV (%)</b>                                           | 32                                                          |                  |                                                                                      |       |                                                        |       |

<sup>1/</sup>แอมโมเนียมฟอสเฟตซัลเฟต (16-20-0, ซัลเฟต 42%), <sup>2/</sup>ค่าเฉลี่ย (n=3), <sup>3/</sup>ค่าความแปรปรวนมาตรฐาน (standard error, SE), <sup>4/</sup>ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก (seasonal methane emission, SME), <sup>5/</sup>ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (global warming potential, GWP) ในฐานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, <sup>6/</sup>ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (global warming potential, GWP) ในฐานของธาตุคาร์บอน, ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variance) และ ns: ไม่ต่างกันทางสถิติ

### สรุปและข้อเสนอแนะ

การไถกลบฟางข้าวร่วมกับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตซัลเฟตอัตรา 100-300 kg SO<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> ให้ผลผลิตข้าว 7.71 - 8.41 t ha<sup>-1</sup> เพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า เมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยใดๆเลย ในประเด็นของการประยุกต์ใช้ผลการทดลอง การใส่ปุ๋ยซัลเฟตอัตรา 100 kg SO<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> ให้ผลผลิตข้าวสูงใกล้เคียงกับซัลเฟตอัตราสูง

หลังจากขังน้ำ pH ของดินจะมีค่าจะเข้าใกล้ pH กลาง และ EC ของดินสูงขึ้นเล็กน้อย ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจากขังน้ำ แต่จะลดลงตามอายุการเจริญเติบโตของข้าว เนื่องจากพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และบางส่วนถูกชะออกไปจากดินเนื่องจากเป็นธาตุอาหารประจุลบ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมจะเพิ่มขึ้นหลังจากขังน้ำและจะมีปริมาณลดลงตามอายุการเจริญเติบโตของข้าว เช่นเดียวกับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินและแอมโมเนียมจะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยลงไปในดิน และจะลดปริมาณลงตามการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งอาจจะสูญเสียไปจากดินโดยพืชนำไปใช้ สูญเสียในรูปก๊าซ หรือถูกชะออกไปจากอนุภาคดิน ปริมาณซัลเฟตจะมีปริมาณมากหลังจากใส่ปุ๋ย แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป ซัลเฟตจะลดลงจากดินโดยพืชนำไปใช้ สูญเสียในรูปก๊าซ ซัลเฟตจะถูกชะออกไปจากอนุภาคดินได้ง่ายเนื่องจากเป็นธาตุอาหารประจุลบปริมาณเฟอร์รัส (Fe<sup>2+</sup>) สูงขึ้นหลังขังน้ำเนื่องจากดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์อย่างรุนแรง (สูงที่สุดในระยะต้นกล้า) การใส่ปุ๋ยซัลเฟตทำให้สารอินทรีย์ที่เป็นชั้น(POR) เพิ่มขึ้นจากที่ไม่ใส่ปุ๋ยและเพิ่มขึ้นตามอัตราซัลเฟตที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าซัลเฟตมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของต้นข้าวรวมทั้งรากข้าว แต่ไม่เห็นความแตกต่างของอัตราซัลเฟตต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (<2 มม.) ในส่วนของประสิทธิภาพของซัลเฟตต่อการลดก๊าซมีเทนพบว่ามีประสิทธิภาพต่ำในนาดินเหนียว แต่จะมีประสิทธิภาพดีในนาดินร่วนขอเสนอแนะควรทำการทดลองซ้ำในนาดินเหนียวและในนาดินร่วนในฤดูปลูกปีเดียวกันเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเพาะตรงกับชนิดของเนื้อดิน

### เอกสารอ้างอิง

- พัชริ แสนจันทร์โสภณฤทธิ์ โรพฤทธา หล้าวงษา และดวงสมร ตูลาพิทักษ์. 2554. ผลของปุ๋ยที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบต่อปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากดินที่ปลูกข้าวและศักยภาพในการทำให้โลกร้อน. ครั้งที่ 2 วันที่ 11-13 พฤษภาคม 2554. เอกสารการประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 135-143.
- \_\_\_\_\_, วุฒิชัย จันทรสมบัติ และชนะ ศรีสมภาร. 2547. การเพิ่มผลผลิตข้าวนาหว่านน้ำตามภายใต้การจัดการน้ำและปุ๋ยเคมีเพื่อลดก๊าซมีเทน และเปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ. วารสารสงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์. 26(6): 795 – 806.
- \_\_\_\_\_, ดวงสมร ตูลาพิทักษ์ เทพฤทธิ์ ตูลาพิทักษ์ และศุภชัย ตั้งชูพงศ์. 2545. ปริมาณการปล่อย  $\text{CH}_4$  จากนาข้าวเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- รัตติยา จันทรแก้วแร่. 2544. อิทธิพลของซัลเฟอร์ที่มีต่อการเจริญเติบโตและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญแนวโน้มปี 2555. สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตรสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Ali, R., M.J. Khan, and R.A. Khattak. 2008. Response of rice to different sources of sulfur (S) at a various levels and its residual effect on wheat in rice-wheat cropping system. *Soil & Environ* 27(1): 131-137.
- Bachelet D. and H.U. Neue. 1993. Methane emission from wetland rice areas of Asia. *Chemosphere* 26: 219-237.
- Chaturvedi, I. 2005. Effect of nitrogen fertilizers on growth, yield and quality of hybrid rice (*Oryza Sativa*). *Journal of Central European Agriculture* 6(4): 611-618.
- Goldman, L.J., L.I. Greenfield, A.S. Damle, G.L. Kingsbury, C.M. Norheim and R.S. Truesdale. 1990. Clay liners for waste management facilities. NUS Corporation Gaithersburg, Maryland and Research Triangle Institute Research Triangle Park, North Carolina. (cited 8 May 2012) Available from: URL: <http://www.groundwaterresearch.com.au/reference/clayLiners/clay%20liners.htm>
- Haneklaus S., Bloem E., Schnug E., De Kok L.J. and Stulen I. 2007. Sulfur. In: *Handbook of Plant Nutrition* (eds. Barker A.V. and Pilbeam D.J.). Taylor and Francis Group, Boca Raton. pp. 183-238.

- Hori, K., K. Inubushi, S. Matsumoto, and H. Wada. 1990. Methane formation in the submerged paddy soil as viewed from the angle of sequential occurrence of reduction and organic matter decomposition. *In* Transaction of 14<sup>th</sup> International Congress of Soil Science. Commission II. 12 – 18 August 1990. Kyoto, Japan (2): 255 – 260.
- James, W. and S. Mark. 2003. Production of Pipeline Quality Natural Gas with the Molecular Gate® CO<sub>2</sub> Removal Process. SPE/EPA/DOE Exploration and Production Environmental Conference, 10-12 March 2003, San Antonio, Texas. (cited 8 May 2012). Available from: URL: <http://www.onepetro.org/mslib/servlet/onepetropreview?id=00080602>
- Liou, R.M., S.N. Huang, and C.W. Lin. 2003. Methane emission from fields with differences in nitrogen fertilizers and rice varieties in Taiwan paddy soils. *Chemosphere* 50: 237-246.
- Minamikawa, K., N. Sakai, and H. Hayashi. 2005. The effects of ammonium sulfate application on methane emission and soil carbon content of a paddy field in Japan. *ELSEVIER: Agriculture, Ecosystem and Environment* 107: 371-379.
- Ponnamperuma, F.N. 1972. The Chemistry of Submerged Soils. *Adv. Agron.* 24: 29-96.
- Ro, S. 2011. Effect of Sulfate-Containing Fertilizer on Rice Yield and Methane Emission from Irrigated Paddy Soil. M. S. thesis: KhonKaen University, KhonKaen. Thailand.
- \_\_\_\_\_, P. Seanjan, T. Tulaphitak, and K. Inubushi. 2011. Sulfate content influencing methane production and emission from incubated soil and rice-planted soil in Northeast Thailand, *Soil Science and Plant Nutrition* 57: 833-842.
- Thenabadu, M.W. 1967. Chemistry of rice soils and principles of fertilizer use. Division of Agricultural Chemistry, Central Agricultural Research Institute Peradeniya.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2009. Resource assessment report for livestock and agro-industrial wastes-Thailand. Methane to market program, prepared by Eastern Research Group and PA Consulting Group on September 14, 2009.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. The International Rice Research Institute: Los Banos. Laguna. Philippines.
- Zhang, Y. S., and H. W. Scherer. 2002. Mechanisms of fixation and release of ammonium in paddy soils after flooding. III. Effect of the oxidation state of octahedral Fe on ammonium fixation in paddy soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165 (in press).