ผลของพันธุ์ข้าวและชนิดของปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

Effect of Rice Varieties and Type of Fertilizer on Methane Emission From Paddy Fields

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช [1,2]* และ นิตยา รื่นสุข [3]

[1] สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย

[3] ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี

Pantawat Sampanpanish [1,2]* and Nittaya Ruensuk [3]

[1] Environmental Research Institute, Chulalongkorn University.

[2] National Center of Excellence for Environmental and Hazardous Waste Management, Chulalongkorn University.

[3] Pathum thani Rice Research Center

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของพันธุ์ข้าวและชนิดของปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ณ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี ประกอบด้วยพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ได้แก่ สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 80 (กข31) โดยมีชนิดของปุ๋ย 3 ชนิด แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ชุดควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยใดๆ 2) ชุดที่มีการใส่ปุ๋ยคอก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ 3) ชุดที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และ 4) ชุดที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 16-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 46-0-0 อัตรา 16 กิโลกรัมต่อไร่ ทำแปลงทดลองปลูกข้าวทั้งหมด 8 แปลงทดลอง เก็บตัวอย่างอากาศแปลงทดลองจุดละ 3 ซ้ำ โดยใช้ตู้ครอบต้นข้าวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ระยะก่อนการเพาะปลูก (0 วัน) ระยะต้นกล้า (30 วัน) ระยะแตกกอ (60 วัน) ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง (90 วัน) และระยะก่อนการเก็บเกี่ยว (120 วัน) ซึ่งจัดเก็บก๊าซโดยใช้ถุงเก็บก๊าซ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ผลการทดลอง พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.79±0.98 มก./ตร.ม./วัน ขณะที่พันธุ์ข้าวปทุมธานี 80 ที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และปุ๋ยเคมี มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ย 0.57±0.36 และ 0.53±0.62 มก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ และพบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากที่สุดในระยะข้าวแตกกอ และจากการศึกษายัง พบว่า พันธุ์ข้าวและชนิดของปุ๋ยมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับผลผลิตข้าวที่ได้แล้ว พบว่า ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เหมาะสมต่อการแนะนำและส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปเพาะปลูก เนื่องจากมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำ อีกทั้งยังเป็นปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งไม่ส่งผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 พันธุ์ข้าวปทุมธานี 80 ก๊าซมีเทน

***Corresponding author.** E-mail: pantawat.s@chula.ac.th

Abstract

The effect rice variety and type of fertilizer on methane emission from paddy fields was studied at Pathum Thani Rice Research Center, Pathum Thani Province, Thailand. Two rice varieties were used, Suphanburi 1 and Pathumthani 80 and 4 methods of fertilizer application, i.e. 1) control, without added fertilizer, 2) organic fertilizer (cow manure) at 1,000 kg/rai, 3) organic fertilizer pellets at 50 kg/rai, 4) chemical fertilizer formula 16-20-0 at a rate of 30 kg/rai and 46-0-0 at a rate of 16 kg/rai. There were altogether 8 field plots and 3 air samplings were collected and analyzed. Chambers per plot were distributed and tested during the following stages: before planting the rice (0 day), seedling stage (30 days), vegetative stages (60 days), panicle-formation stage (90 days), and maturation stage (120 days). Air from each set was collected into sampling bags and analyzed to determine the amount of methane using gas chromatography. The study showed that Suphanburi 1 rice with chemical fertilizer emitted the highest quantity of methane at 1.79±0.98 mg/m^2/day. We found the emission of methane was lowest in the set of Pathumthani 80 with both organic fertilizer pellets and chemical fertilizer with emission at the average rate of 0.57±0.36 and 0.53±0.62 mg/m^2/day, respectively. The emission of methane was highest in the vegetative stages (60 days). The study showed that the two rice varieties and type of fertilizer produced different effects on methane emission. Therefore, it is concluded that Pathumthani 80 rice and the addition of organic fertilizer pellets could help reduce greenhouse gas emissions from rice farming.

Keywords : organic fertilizer, chemical fertilizer, Suphanburi 1 rice variety, Pathumthani 80 rice variety, methane

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกได้ให้ความสำคัญกับปัญหาโลกร้อนมากขึ้น โดยเฉพาะสาเหตุที่มาจากภาคเกษตรกรรมอย่างกิจกรรมการทำนาที่มีน้ำขังส่งผลให้เกิดสภาวะขาดออกซิเจน เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยไม่ใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogenic Bacteria จึงมีการผลิตก๊าซมีเทน และปลดปล่อยสู่บรรยากาศ (Civil and Environmental Engineering, 2009) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาโลกร้อน โดยค่า Global Warming Potential (GWP) ของก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 21 เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ (UNFCCC, 2012) ด้วยเหตุนี้การเพาะปลูกข้าว จึงมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ซึ่งปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยอยู่ที่ 51.88 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งเป็นอันดับสองรองจากภาคพลังงาน (สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, 2553) และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีพื้นที่ทำนาเป็นจำนวนมาก ทั้งยังมีการส่งออกข้าวเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ปัญหาเรื่องการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว จึงอาจส่งผลกระทบการต่อการส่งออกข้าวไทย หรือกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ และการประกอบอาชีพของชาวนาตามมาได้ อย่างไรก็ตามพบว่า ลักษณะการทำนาแบบนาสวนซึ่งเป็นรูปแบบที่เกษตรกรนิยมใช้ มักส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าการทำนาแบบนาเมือง และนาไร่ อีกทั้งการทำนาในรูปแบบนาดำก็ยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่านาหว่าน (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541) นอกจากนี้ลักษณะทางกายภาพของดินที่มีลักษณะหยาบ อินทรียวัตถุสูง ค่าความเป็นกรด-ด่างมีความเป็นกลาง ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้นเช่นกัน (นิวัต เจริญศิลป์ และคณะ, 2542) รวมทั้งพันธุ์ข้าวก็ยังส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่ต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสรีรวิทยาของช่องอากาศภายในลำต้น (Kludze *et al*., 2007) ดังจะเห็นได้ว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากกิจกรรมการทำนาข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย ดังนั้นการจัดการกิจกรรมของการทำนาเพื่อช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนให้น้อยที่สุด จึงเป็นแนวทางที่นำไปสู่การแก้ปัญหาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว ทั้งยังเป็นการส่งเสริมและพัฒนาให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นการทำให้คุณภาพสิ่งแวดล้อมดีขึ้นและยั่งยืน การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาพันธุ์ข้าวและปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก และช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในพื้นที่แปลงนา

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การเตรียมการทดลอง

การเตรียมพื้นที่

เตรียมแปลงทดลองขนาด 10×12 ตารางเมตร จำนวน 8 แปลง ไถพรวนดินที่ความลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร และควบคุมระดับน้ำในแปลงนาทดลองให้สูงประมาณ 5-10 เซนติเมตร ตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนถึงระยะข้าวออกรวงเต็มที่จึงปล่อยน้ำออก

การเตรียมพันธุ์ข้าว

นำพันธุ์ข้าวจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) จากกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่มีอัตราการงอกมากกว่า 80% นำเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มาแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบ่มด้วยกระสอบป่านเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อเมล็ดพันธุ์ข้าวเริ่มงอก นำไปหว่านในแปลงถอนกล้า และปักดำเมื่อต้นกล้ามีอายุ 28 วันหลังปลูก

การเตรียมปุ๋ย

ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และปุ๋ยเคมี โดยมีรายละเอียดของการแบ่งใส่ดังนี้ (กรมการข้าว, 2555)

1) ปุ๋ยคอก (มูลวัว) อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งแรกช่วงเตรียมแปลง อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่สองช่วงข้าวอยู่ในระยะแตกกอ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่สามขณะข้าวอยู่ในระยะตั้งท้องหรือออกดอก อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่

2) ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งแรกช่วงเตรียมแปลง 20 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่สองช่วงข้าวอยู่ในระยะแตกกอ อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่สามข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง 10 กิโลกรัมต่อไร่

3) ปุ๋ยเคมี มีการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง ครั้งแรกในระยะกล้าใช้สูตร 16-20-0 โดยใส่ 30 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่สองใช้สูตร 46-0-0 ใส่ในระยะแตกกอในอัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่สามใช้สูตร 46-0-0 ใส่ช่วงข้าวตั้งท้องในอัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่

2. การบันทึกข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และอากาศที่การเจริญเติบโตของข้าว 5 ระยะ ได้แก่ 1) ก่อนการเพาะปลูก 2) ระยะต้นกล้า 3) ระยะแตกกอ 4) ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง และ 5) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีรายละเอียดของการเก็บตัวอย่าง ดังนี้

1) สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลอง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินแต่ละแปลงประมาณ 5 จุด แล้วนำแต่ละจุดมารวมกันเป็นตัวอย่างดินรวม (Composite samples) วิเคราะห์

สมบัติของดินในช่วงก่อนการทดลอง ได้แก่ เนื้อดิน ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ค่าการนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล สังกะสี สารหนู ซิลีเนียม และปรอท สำหรับการเก็บตัวอย่างดิน ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยวนั้นได้นำดินตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และออกซิเดชัน-รีดักชัน

2) คุณภาพน้ำ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 5 ระยะ ดังนี้ ก่อนการเพาะปลูก ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยว เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน-รีดักชัน

3) ปริมาณก๊าซมีเทน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 5 ระยะ ดังนี้ ก่อนการเพาะปลูก ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยว ได้ใช้ตู้ครอบขนาด 0.6×0.6×0.8 เมตร หรือ 0.29 ลูกบาศก์เมตร ครอบลงในแปลงนาทดลองจำนวน 8 แปลงๆ ละ 3 จุด แบบกระจาย โดยครอบในช่วงเวลา 9.00-11.00 น. แล้วเก็บอากาศจุดละ 3 ซ้ำ เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography; GC) แล้วคำนวณค่าฟลักซ์โดยใช้ความเข้มข้นของก๊าซเมื่อเวลาเปลี่ยนไปในกล่อง ดังสมการต่อไปนี้ (Singh *et al*., 1998)

$$[F] = \frac{BV_{STD} \times dC \times MW \times 1{,}000 \times 60}{10^4 \times 22{,}400 \times A \times dt} \quad (1)$$

$$[BV_{STD}] = \frac{BV \times B.P. \times 273}{(273+T) \times 760} \quad (2)$$

โดยที่

F = ค่าฟลักซ์ของก๊าซแต่ละชนิด (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

BV_{STD} = ปริมาตรภายในกล่องพลาสติกส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำที่ท่วมขัง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

B.P. = ความดันบรรยากาศในขณะนั้น (มิลลิเมตรปรอท)

MW = มวลโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิด

T = อุณหภูมิของอากาศที่อยู่ในกล่อง (องศาเซลเซียส)

A = พื้นที่หน้าตัดของกล่อง (ตารางเมตร)

dC = ผลต่างของความเข้มข้นก๊าซแต่ละชนิดที่เวลาศูนย์และเวลา t (นาที)

dt = ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติ ใช้ค่า Standard error จากการสุ่มเก็บตัวอย่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทน จำนวน 3 ซ้ำ ส่วนผลผลิตข้าวเป็นค่าผลผลิตจากแปลงทดลองเดียว

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. สมบัติของดินทดลอง

ก่อนการเพาะปลูก

จากการศึกษาสมบัติของดินเบื้องต้น พบว่า ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว (Clay) มีการปนเปื้อนโลหะหนัก ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเท่ากับ 5 ค่าการนำไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 444.7 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรนอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชั่น-รีดักชั่น มีค่าเท่ากับ 285.1 มิลลิโวลต์

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะหนักในดินระยะก่อนเตรียมแปลงปลูกข้าว

ชนิดของโลหะหนัก	ชนิดของโลหะหนัก (ppm)									
	Cd	Cr	CU	Pb	Mn	Ni	Zn	As	Se	Hg
ค่ามาตรฐาน	37	300	N/A	400	1,800	1,600	N/A	3.9	390	23
ค่าปริมาณโลหะหนัก	<0.10	84.3	14.2	30.14	95.1	29.22	47.4	2.528	<0.10	<0.10

ระยะข้าวเจริญเติบโต

การทดลองในครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติดินในระยะของการเพาะปลูกหรือในระยะการเจริญเติบโตของข้าว 4 ระยะ ได้แก่ ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยว โดยสามารถแสดงผลของคุณสมบัติดินในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวได้ดังตารางที่ 2 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.27 - 7.08 ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่เป็นกรด แต่ในระยะกล้าค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีการเติมน้ำเข้าสู่แปลงเพื่อรักษาระดับน้ำ ทั้งนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการปลดปล่อยมีเทนอยู่ในช่วง 6.7 - 7.1 (Wang *et al*., 1993) โดยปกตินั้นสภาพความเป็นกรดจะเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทน ซึ่งส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งสารพวกอะซิติก (Civil and Environmental Engineering, 2009) ค่าการนำไฟฟ้า พบว่าอยู่ในช่วง 180 – 849 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชั่น-รีดักชั่น พบว่า อยู่ระหว่าง -184.7 – 413.6 มิลลิโวลต์ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวในระยะแตกกอเป็นระยะข้าวที่มีความต้องการธาตุอาหารสูงจึงทำให้มีการดูดดึงธาตุอาหารที่แตกตัวเป็นไอออนไปใช้ ประกอบกับเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในสภาวะขาดออกซิเจน ซึ่งอาจทำให้การนำไฟฟ้ามีค่าสูง และค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชั่น-รีดักชั่นต่ำ

2. คุณสมบัติของน้ำ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำ (ดังตารางที่ 3) เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติในแต่ละแปลงนาทดลอง ตลอด 5 ระยะของการทดลอง ได้แก่ ระยะก่อนการเพาะปลูก ระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยว โดยสามารถแสดงผลของคุณสมบัติของน้ำได้ดังตารางที่ 2 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจากระยะก่อนการเพาะปลูก ซึ่งมีค่า 3.82 นั้นเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในระหว่าง 5.65 – 8.21 อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของน้ำในการเพาะปลูกอยู่ในช่วง 6 – 8 (Alexander, 1977; สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549) สำหรับค่าการนำไฟฟ้าในน้ำระยะก่อนการเพาะปลูก เท่ากับ 1,874 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ระยะที่มีการเพาะปลูกมีค่าการนำไฟฟ้า 223 – 2,480 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร โดยเฉพาะข้าวในระยะแตกกอจะมีการใส่ปุ๋ยและเติมน้ำเข้าสู่แปลงทดลอง จึงเป็นสาเหตุทำให้มีการแตกตัวเป็นไอออนจากแร่ธาตุเพิ่มสูงขึ้น (เกริก ปิ่นตระกูล, 2550) มีผลให้ข้าวในระยะแตกกอมีค่าการนำไฟฟ้าสูง ส่วนค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชั่น-รีดักชั่น พบว่า มีค่าระหว่าง 149.3 – 362.3 มิลลิโวลต์ แสดงให้เห็นได้ว่าในน้ำมีปริมาณก๊าซออกซิเจนสูง ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีค่าสูง โดยค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำตลอดช่วงของการเพาะปลูกมีค่าระหว่าง 1.3 – 12.1 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าระหว่าง 2.4 – 44 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำมีปริมาณสารอินทรีย์สูง อันเกิดจากเศษอินทรีย์จากต้นข้าว พืชน้ำ และสัตว์น้ำขนาดเล็ก ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่ใช้ในแต่ละทรีตเมนต์ ได้รับน้ำที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของปุ๋ย โดยปุ๋ยคอก พบว่า มีปริมาณสารอินทรีย์มากที่สุด รองลงมา คือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และปุ๋ยเคมีน้อยที่สุด

3. ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อย

จากการตรวจสอบปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยจากข้าวและชนิดของปุ๋ยที่แตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (ดังตารางที่ 4) พบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการปลูกข้าวสุพรรณบุรี 1 และใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณการปลดปล่อยออกมาสูงที่สุด คือ 1.79±0.98 มก./ตร.ม./วัน รองลงมาคือ การปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ใส่ปุ๋ยคอก การปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ใส่ปุ๋ยคอก การปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด การปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ไม่ใส่ปุ๋ยใดๆ การปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ไม่ใส่ปุ๋ยใดๆ การปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 1.35±0.31, 1.33±0.90, 1.28±1.22, 1.20±1.06, 1.01±0.31, 0.57±0.36 และ 0.53±0.62 มก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 19.76, 14.90, 14.64, 14.14, 13.26, 11.11, 6.32 และ 5.88 ของอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยจากแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า ข้าวในระยะแตกกอมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด ดังภาพที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากในระยะแตกกอเป็นระยะที่ข้าวมีการเจริญเติบโต จึงมีการสร้างพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของต้น ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสูง ส่งผลต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Satpathy *et al*. (1997) พบว่าข้าวในระยะแตกกอนั้นมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดเช่นกัน ซึ่งมีความเกี่ยวเนื่องกับปัจจัยด้านอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน และค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Kazuyuki & Katsuyuki, 2012) โดยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะมีผลโดยตรงกับค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำจะเกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวกภายในดิน อันเกิดมาจากการย่อยสลาย

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของดินที่ระยะการเจริญเติบโตของข้าวแตกต่างกัน

ทรีตเมนต์	คุณสมบัติทางเคมีของดิน			ทรีตเมนต์	คุณสมบัติทางเคมีของดิน		
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/CM)	ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (MV)		ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/CM)	ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (MV)
ระยะกล้า				ระยะกล้า			
Sp.C	5.54	413	87.9	Pt.C	5.23	314	237.9
Sp.1	5.17	469	367	Pt.1	4.82	301	281.6
Sp.2	6.49	381	204	Pt.2	5.78	259	121.7
Sp.3	4.27	849	409.1	Pt.3	4.53	307.3	267.2
ระยะแตกกอ				ระยะแตกกอ			
Sp.C	6.47	265	-41.5	Pt.C	4.97	413.6	229.5
Sp.1	7.08	353	-184.7	Pt.1	4.84	382.6	236.1
Sp.2	6.85	323	-71.9	Pt.2	5.56	191.2	202.6
Sp.3	7.08	849	-151.8	Pt.3	4.54	292.6	324
ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง				ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง			
Sp.C	4.81	478	285	Pt.C	4.73	267	319
Sp.1	5.39	285	165	Pt.1	5.29	322.2	320
Sp.2	4.84	370	228	Pt.2	6.61	180.5	165.7
Sp.3	5.87	253	199	Pt.3	4.24	344	394.6
ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว				ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว			
Sp.C	5.67	213	124	Pt.C	5.01	340	338.8
Sp.1	6.14	202	155	Pt.1	6.27	332.5	85.1
Sp.2	5.29	282	100	Pt.2	6.25	385	169.1
Sp.3	6.26	265	110	Pt.3	4.59	275.9	359.2

หมายเหตุ :

SP.C = ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ไม่มีการใส่ปุ๋ย
SP.1 = ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
SP.2 = ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยคอก
SP.3 = ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยเคมี
PT.C = ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ไม่มีการใส่ปุ๋ย
PT.1 = ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
PT.2 = ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยคอก
PT.3 = ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยเคมี

สารอินทรีย์ของแบคทีเรียในสภาวะที่มีอากาศที่จะสามารถย่อยสลายได้กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน (Civil and Environmental Engineering, 2009) โดยสารอินทรีย์ดังกล่าวมาจากปุ๋ยคอก ทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดดังผลจากการศึกษาในตารางที่ 1 นอกจากนี้รูปแบบของการทำนาที่มีการไถพรวนนั้นยังส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (Daming *et al*., 2011) ทั้งนี้เนื่องจากการไถพรวนจะทำให้ความหนาแน่นของดินซึ่งกักเก็บก๊าซไว้ร่วนซุยขึ้น จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซสู่บรรยากาศเพิ่มขึ้น (Shahrear *et al*., 2009)

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตของข้าวแตกต่างกัน

ทรีตเมนต์	คุณสมบัติทางเคมีของน้ำ				
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (mV)	ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	ปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (mg/l)
ระยะก่อนการเพาะปลูก					
	3.82	1,874	421.7	6.3	2.4
ระยะกล้า					
Sp.C	7.39	860	150.1	5.67	4.3
Sp.1	7.09	890	190.3	5.14	5.2
Sp.2	6.59	1,100	176	5.61	5.6
Sp.3	6.53	1,430	180.4	6.59	4.7
ระยะแตกกอ					
Sp.C	6.69	542	198.7	7.76	5.9
Sp.1	7.19	545	217	6.91	6.4
Sp.2	8.21	568	174.2	12.1	14
Sp.3	6.42	631	229.9	2.05	21
ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง					
Sp.C	7.53	636	155.4	3.14	30
Sp.1	6.84	610	167.4	3.01	44
Sp.2	7.07	633	149.3	6.23	24
Sp.3	7.04	591	154.7	5.13	39
ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว					
Sp.C	6.66	223	172.1	4.43	12
Sp.1	6.56	230	175.7	4.52	13
Sp.2	6.34	314	223.1	5.87	12
Sp.3	6.5	226	220.6	5.05	13
ระยะกล้า					
Pt.C	4.07	2,330	315.1	7.59	3.7
Pt.1	3.95	2,480	362.3	6.55	5.9
Pt.2	6.59	920	264.9	11.33	5.8
Pt.3	5.65	1,100	214.4	9.3	5.3

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตของข้าวแตกต่างกัน (ต่อ)

ทรีตเมนต์	คุณสมบัติทางเคมีของน้ำ				
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (mV)	ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	ปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (mg/l)
ระยะแตกกอ					
Pt.C	6.06	570	256.2	3.49	6.8
Pt.1	6.06	690	241.9	3.93	7.7
Pt.2	6.38	490	191.4	4.01	4.6
Pt.3	3.76	1,720	354.2	6.06	5.4
ระยะออกดอกหรือตั้งท้อง					
Pt.C	6.07	890	282.4	1.8	2.2
Pt.1	5.66	990	262	1.3	2.5
Pt.2	5.57	1,070	278.1	4.1	3.8
Pt.3	6.19	610	253.9	3.35	7.3
ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว					
Pt.C	5.95	690	190	1.51	2.4
Pt.1	6.13	640	250	2.34	2.8
Pt.2	6.31	770	213.4	2.32	3.2
Pt.3	6.04	630	215.5	3.99	4.4

หมายเหตุ:

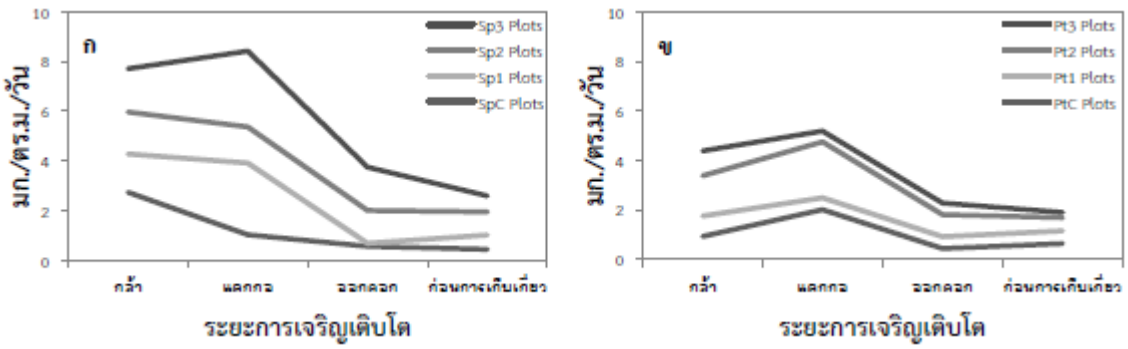
SP.C = ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ไม่มีการใส่ปุ๋ย
SP.1 = ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
SP.2 = ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยคอก
SP.3 = ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยเคมี
PT.C = ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ไม่มีการใส่ปุ๋ย
PT.1 = ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
PT.2 = ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยคอก
PT.3 = ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยเคมี

4. ผลผลิตข้าว

จากการปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 80 โดยมีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน พบว่า ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตสูงสุด คือ 990 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ไม่มีการใส่ปุ๋ยใดๆ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยคอก ข้าวพันธุ์ปสุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ข้าวพันธุ์ปสุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยเคมี ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยคอก ข้าวพันธุ์ปสุพรรณบุรี 1 ไม่มีการใส่ปุ๋ยใดๆ ให้ผลผลิตเท่ากับ 895, 769, 754, 575, 535, 433 และ 320 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 5) อย่างไรก็ตามแม้ว่าพันธุ์ข้าวที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีจะให้ผลผลิตที่สูง แต่การใส่ปุ๋ยเคมีมักส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะคุณภาพดินและน้ำ ตลอดจนอาจเกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของตัวเกษตรกรเอง ดังนั้นการเลือกใช้เกษตรอินทรีย์จึงเป็นแนวทางเลือกของการทำนาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด แม้จะพบว่า การทำนาอินทรีย์ให้ผลผลิตข้าวที่ต่ำกว่าในระยะแรก แต่ในระยะยาวการทำนาอินทรีย์จะให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ตารางที่ 4 ผลของพันธุ์ข้าวและชนิดปุ๋ยที่มีต่อปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อย

ทรีตเมนต์	อัตราการปลดปล่อยก๊าซ	
	มก./ตร.ม./วัน	เปอร์เซ็นต์
ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ไม่มีการใส่ปุ๋ย	1.20±1.06	13.26
ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	1.28±1.22	14.14
ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยคอก	1.35±0.31	14.90
ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยเคมี	1.79±0.98	19.76
ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ไม่มีการใส่ปุ๋ย	1.01±0.31	11.11
ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	0.57±0.36	6.32
ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยคอก	1.33±0.90	14.64
ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยเคมี	0.53±0.62	5.88



ภาพที่ 1 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว
ก. ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ ข. ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ตารางที่ 5 ผลของพันธุ์ข้าวและชนิดปุ๋ยที่มีต่อผลผลิตข้าว

ทรีตเมนต์	ผลผลิต (กก./ไร่)
ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ไม่มีการใส่ปุ๋ย	320
ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	575
ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยคอก	433
ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการใส่ปุ๋ยเคมี	535
ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ไม่มีการใส่ปุ๋ย	895
ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	769
ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยคอก	754
ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีการใส่ปุ๋ยเคมี	990

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า พันธุ์ข้าวและชนิดปุ๋ยที่นำมาใช้ในการทดลองมีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เป็นวิธีที่สามารถลดปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยออกมาได้ต่ำกว่าการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และสุพรรณบุรี 1 ที่มีการใส่ปุ๋ยชนิดอื่น ทั้งนี้ควรจะพิจารณาในแง่ของผลผลิตสมบัติทางเคมี คุณภาพน้ำมาประกอบด้วย เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเกิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทนเช่นกัน ดังนั้นควรมีการส่งเสริมและสนับสนุนกิจกรรมการทำนาโดยให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์โดยเฉพาะปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เพราะมีรูปแบบวิธีการใช้ที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และเป็นวิธีการใช้ที่เหมือนกับการใช้ปุ๋ยเคมี โดยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจะให้ธาตุอาหารแก่พืชในลักษณะเดียวกับการใช้ปุ๋ยคอก เพื่อเป็นการช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในระยะยาว และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์นั้นจะช่วยส่งเสริมให้คุณภาพดินและน้ำดีขึ้น ส่งผลต่อวัฏจักรการทำงานของสิ่งมีชีวิตในดินที่สำคัญและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี (สบว.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่แปลงนาทดลอง ขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย และกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2548). *โครงการทดสอบเกณฑ์ปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับทำนา*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมการข้าว. (2555). *องค์ความรู้เรื่องข้าว*. กรมการข้าว. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.brrd.in.th/rkb/management/index.php-file=content.php&id=25.htm

เกริก ปิ่นตระกูล. (2550). *ผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิวัต เจริญศิลป์ พิสิฐ พรหมนารท และ ประโยชน์ เจริญธรรม. (2542). โครงการวิจัยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. *ข้าวและธัญพืชเมืองหนาว*. สถาบันวิจัยข้าว. กรมวิชาการเกษตร.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2547). *กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. ราชกิจจานุเบกษา*. เล่มที่ 121 ตอนพิเศษ 119 ง. ฉบับที่ 25 หน้า 170.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. (2549). จุลชีววิทยาทางดิน. โอเดียนสโตร์; กรุงเทพฯ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย. (2553). ประเด็นท้าทาย ข้อเสนอเชิงนโยบายและการเจรจาของไทย เรื่อง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก. *ชุดโครงการพัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ความตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อมและยุทธศาสตร์ลดโลกร้อน*. สถาบันธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม. พฤศจิกายน 2553.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. (2541). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมโลกจาก๊าซเรือนกระจกต่อการทำนา. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

Alexander, M. (1977). *Introduction to Soil Microbiology*, 2nd edn., John Wiley & Sons, Inc., New York.

Civil and Environmental Engineering. (2009). *Comprehensive Investigation of Factors Enhancing Microbiabed Methane* [Online]. Available from: http://ese.mines.edu/research_projects/biogenic_methane.html [August 2012]

Daming, L., Manqiang, L., Yanhong, C., Dong, W., Jiangtao, Q., Jiaguo, J., Huixin, L. & Feng, H. (2011). Methane emissions from double-rice cropping system under conventional and no tillage in southeast China. *Soil & Tillage Research 113*, 77–81.

Kazuyuki, Y. & Katsuyuki, M. (2012). Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Science and Plant Nutrition 36*(4), 599-610.

Kludze, H.K.; DeLaune, R.D. & Patrick, W.H. Jr. (2007). Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. *Soil Science Society of America Journal*, *57*(2), 386-391.

Satpathy, S.N., Rath, A.K., Ramakrishnan, B., Rao, V.R., Adhya, T.K. & Sethunathan, N. (1997). Diurnal variation in methane efflux at different growth stages of tropical rice. *Plant and Soil 195*, 267-271.

Shahrear, A., Chengfang, L., Guangzhao, D., Ming, Z., Jinping, W., Shenggang, P. & Cougui, C. (2009). Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different rice tillage systems in central China. *Soil & Tillage Research 106*, 54–61.

Singh, J.S., Raghubanshi, A.S., Reddy, V.S., Singh, S. & Kashyap, A.K. (1998). Methane flux from Irrigated paddy and dry land rice fields, and from seasonally dry tropical forest and Savanna soilsof India. *Biochem. 30*(2), 135-139.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2012). Global Warming Potential. [Online]. Available from: http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php [August 2012]

Wang, Z.P., Delaune, R.D., Masscheleyn, P.B., Patrick Jr. & W.H. (1993). Soil redox and pH effects on methaneproduction in a flooded rice soils. *Soil Science Society of American Journal 57*, 382-385.