

ผลของฟางข้าวต่อการเกิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทน จากนาข้าว

Effect of Rice Straw on Methane Production and Emission from Paddy Fields

ประไพ ชัยโรจน์¹ K.Katoh²
Prapai Chairroj¹ K.Katoh²

ABSTRACT

Effect of rice straw management on CH₄ formation in Bang Khen and Rangsit paddy soils were determined by incubating 0, 0.5 and 1.0% w/w rice straw added soil and prior aerobic incubated 0.5% w/w rice straw added soil under strict anaerobic condition. Methane emission rate from Bang Khen, Rangsit and Roi Et paddy soils with and without rice straw addition in combination with and without growing rice were also evaluated in the pot experiment.

Research results showed that rice straw management was the important factor for CH₄ formation in submerged soil. Rice straw added soil without incubation promoted vigorous CH₄ formation while rice straw added soil with incubation strongly reduced CH₄ formation for 3.8 to 10 folds. Methane emission rate was increased by rice straw application as well. Increasing rate was remarkable at initial period and decreased with time. However, CH₄ emission rate in the later stage of planted pot was higher than that of unplanted pot.

Keywords : methane formation, rice straw management, paddy soils

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาผลของการจัดการฟางข้าวต่อการเกิดก๊าซมีเทนในดินนาชุดบางเขน และชุดรังสิต โดยการบ่มดินที่คลุกด้วยฟางข้าว อัตรา 0, 0.5 และ 1.0% โดยน้ำหนัก แล้วขังน้ำทันที และดินที่คลุกด้วยฟางข้าวอัตรา 0.5% โดยน้ำหนัก ปลดปล่อยทิ้งไว้นานหนึ่งสัปดาห์ แล้วจึงนำมาขังน้ำ ตลอดจนศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการขังน้ำดินนาชุดบางเขน รังสิต และร้อยเอ็ด ที่ใส่หรือไม่ใส่ฟางข้าวร่วมกับการปลูกหรือไม่ปลูกข้าว

ผลการศึกษาแสดงว่าการจัดการฟางข้าวในดินนาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนในดินนา กล่าวคือ การใส่ฟางข้าวแล้วขังน้ำทันที จะทำให้ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นมากกว่าการปล่อยให้ฟางข้าวสลายตัวก่อนระยะหนึ่งแล้วนำมาขังน้ำประมาณ 3.8-10 เท่า สำหรับอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินนาในกระถางทดลองปรากฏว่า การใส่ฟางข้าวทำให้อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะแรก หลังจากขังน้ำและในดินทรายชุดร้อยเอ็ด แต่ก๊าซมีเทนถูกปลดปล่อยออกมาในระยะหลังจะมีอัตราการลดน้อยลงมาก

¹ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กทม.10900

Soil Science Division, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900

² National Institute of Agrobiological Resource, Kannondai, Tsukuba, Japan 305

อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการปลูกข้าวอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในระยะหลังนี้จะยังคงมีอัตราที่สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการปลูกข้าว

คำหลัก : การเกิดก๊าซมีเทน การจัดการฟางข้าว ดินนา

คำนำ

มีเทนเป็นก๊าซที่ทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น การไถกลบฟางข้าวในดินนาแห้ง ทำให้ก๊าซ มีเทนเกิดขึ้นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะแรกหลังจากขังน้ำ (Schutz *et al.*, 1989; Yagi and Minami, 1990; Sass *et al.*, 1991; Cicerone *et al.*, 1992 และ Neue *et al.*, 1993) ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระยะแรกนี้ ส่วนใหญ่จะถูกปลดปล่อยออกจากดินนาในรูปของฟองอากาศ (Wassmann *et al.*, 1995) และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระยะหลังส่วนใหญ่จะถูกปลดปล่อยผ่านทาง aerenchyma ของต้นข้าว (Kludze *et al.*, 1993; Nouchi, 1994) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการจัดการฟางข้าว และการปลูกข้าว ต่อการเกิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินนาชุดบางเขน รั้งสิต และร้อยเอ็ด ในสภาพห้องปฏิบัติการ และในกระถาง

อุปกรณ์และวิธีการ

นำตัวอย่างดินนาชั้นไถพรวน ชุดบางเขน รั้งสิต และร้อยเอ็ด (Table 1) มาผึ่งในที่ร่มจนแห้งแล้วนำไปศึกษาการเกิดก๊าซมีเทน และอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ดังมีรายละเอียดของการทดลองดังต่อไปนี้

1. การศึกษาการเกิดก๊าซมีเทนจากดินที่คลุกด้วยฟางข้าวแล้วขังน้ำทันที : โดยการคลุกดินแห้งที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มม. กับฟางข้าวที่บดเป็นผงในอัตรา 0, 0.5 และ 1.0% โดยน้ำหนัก แล้วบรรจุลงในขวดแก้ว เติมน้ำกลั่นจำนวน 15 มล. ปิดด้วยจุกยาง และแทนที่ออกซิเจนในขวดแก้วด้วยก๊าซไนโตรเจนเพื่อเร่งให้ดินถูกรีดิวซ์เร็วขึ้น ปิดทับจุกยางด้วยฝาอะลูมิเนียมอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซที่เกิดขึ้นในขวดแก้ว นำขวดแก้ว ไปป้อนในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30° ซ. เป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ แล้วดูดก๊าซในช่องว่างเหนือผิวน้ำในขวดแก้วนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ด้วยเครื่อง gas chromatography equipped with flame ionized detector (GC/FID)

2. การเกิดก๊าซมีเทนจากดินที่คลุกด้วยฟางข้าวแล้วบ่มไว้ในสภาพดินไร่ระยะหนึ่งก่อนขังน้ำ : โดยคลุกดินแห้งซึ่งผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มม. กับฟางข้าวที่บดเป็นผงในอัตรา 0.5% โดยน้ำหนัก แล้วบรรจุในขวดแก้ว เติมน้ำกลั่น จำนวน 5 มล.ลงในขวดแก้ว เพื่อให้ดินมีความชื้นเท่ากับ 50% ของความสามารถอุ้มน้ำได้ของดิน แล้วนำดินไปบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30° ซ. เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วจึงนำมาเติมน้ำกลั่นลงไปอีกจำนวน 10 มล. ปิดฝาขวดแก้วด้วยจุกยาง แทนที่ออกซิเจนในขวดแก้วด้วยก๊าซไนโตรเจน แล้วใช้ฝาอะลูมิเนียมปิดทับจุกยางอีกชั้นหนึ่ง นำขวดแก้วไปป้อนในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30° ซ. เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ แล้วจึงดูดก๊าซในช่องว่างเหนือผิวน้ำในขวด นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง GC/FID

3. การศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการทดลองในกระถาง

วางแผนการทดลองแบบ 2x2 factorial in RCB มี 4 ซ้ำ ดังรายละเอียดในแต่ละกรรมวิธีดังต่อไปนี้

- กรรมวิธีที่ 1. ใส่ฟางข้าว 0 กรัม
- กรรมวิธีที่ 2. ใส่ฟางข้าว 44 กรัม
- กรรมวิธีที่ 3. ใส่ฟางข้าว 0 กรัม + ปลูกข้าว
- กรรมวิธีที่ 4. ใส่ฟางข้าว 44 กรัม + ปลูกข้าว

ทุกกรรมวิธีใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 2.22 กรัม ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตอัตรา 0.56 กรัม และ โพแทสเซียมคลอไรด์อัตรา 0.42 กรัม

หลังจากคลุกดินแห้ง 10 กก. ตามส่วนผสมในกรรมวิธีต่างๆ แล้ว บรรจุลงในกระถาง นำกระถางบรรจุดินวางลงในกะบะอะลูมิเนียมสูง 10 ซม. เติมน้ำในกระถางบรรจุดินจนมีระดับน้ำสูงจากผิวดิน 15 ซม. (เติมน้ำและรักษาระดับน้ำไว้ตลอดการทดลอง) และปักดำกล้าข้าวพันธุ์ กข.23 จำนวน 3 ต้น/กระถาง ตามกรรมวิธีที่ 3 และ 4 แล้วเติมน้ำในกะบะอะลูมิเนียมจนเต็ม เก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนโดยนำกล่องพลาสติกวางครอบกระถางปลูกข้าวที่อยู่ภายในกะบะอะลูมิเนียม ด้วยวิธีการของ Yagi and Minami (1990) วัดความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในตัวอย่างก๊าซที่เก็บด้วยเครื่อง GC/FID

Table 1. Some chemical properties of the soils

Soil series	Soil texture	pH(H ₂ O) (1:1)	OM (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	ER-Mn (ppm)	NH ₄ -N (ppm)
Bang Khen	Clay	5.4	3.24	1.4	59	115
Rangsit	Heavy clay	4.6	2.07	2.0	175	27
Roi Et	Sandy loam	4.5	0.84	0.1	37	33

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การทดลองในห้องปฏิบัติการ

1.1 การเกิดก๊าซมีเทนในดินนาที่ขังน้ำทันทีเมื่อนำดินนาชุดต่างๆ ที่ไม่ได้ใส่ฟางข้าวมาขังน้ำ ปรากฏว่า ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นน้อยมากเพียง 0.1-0.8 ppm แต่ถ้าใส่ฟางข้าวลงไปในดิน จะทำให้ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นจำนวนมาก และปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นนี้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟางข้าวที่ใส่และระยะเวลาที่ทำการ

บ่มดิน (Table 2) อย่างไรก็ตาม การเกิดก๊าซมีเทนในดินชุดรังสิตซึ่งเป็นดินกรด และมีปริมาณแมงกานีสในรูปที่ถูกรีดิวส์ได้ง่ายสูงนั้น มีปริมาณค่อนข้างต่ำกว่าและเกิดขึ้นช้ากว่าดินชุดบางเขนยกเว้นที่ใส่ฟางข้าว 1% โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะ 2-3 สัปดาห์แรกของการบ่มดิน ผลการทดลองที่ได้นี้ แสดงว่าเศษซากพืชและปริมาณของเศษซากพืชเป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดก๊าซมีเทนในดินนา

Table 2 Methane production potential of incubative submerged soils

Rice Straw (% w/w)	Incubative time (week)	CH ₄ production potential (ppm)	
		Bang Khen soil	Rangsit soil
0	1	0.8	0.1
	2	0.6	0.2
	3	0.7	0.2
	4	0.7	0.2
	5	0.3	0.1
0.5	1	8	9
	2	70	60
	3	155	50
	4	280	160
	5	245	240
1.0	1	60	70
	2	260	310
	3	510	455
	4	700	605
	5	700	750

1.2 การเกิดก๊าซมีเทนในดินนาที่ได้บ่มไว้แล้ว
 ระยะเวลาหนึ่งในสภาพดินไวก่อนขังน้ำ

การเกิดก๊าซมีเทนจากดินนาที่คลุกฟางข้าวไว้ก่อนขังน้ำ เปรียบเทียบกับดินนาที่คลุกด้วยฟางข้าวแล้วขังน้ำทันที ปรากฏว่า การคลุกดินด้วยฟางข้าวไว้ก่อน 1 สัปดาห์ แล้วขังน้ำทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงมากกว่า 90% (Table 3) เช่นในดินชุดบางเขนที่คลุกด้วยฟางข้าวแล้วขังน้ำทันที ซึ่งวัดปริมาณก๊าซมีเทนได้ 8 ppm แต่ถ้าวัดดินด้วยฟางข้าวไว้ก่อน 1 สัปดาห์แล้วขังน้ำจะวัดปริมาณก๊าซมีเทนได้เพียง 0.45 ppm และผลที่ได้นี้เป็นไปทำนองเดียวกันกับการทดลองในสภาพไวก่อนที่ใช้ไส้คลุมผิวดินไว้ก่อนเป็นเวลา 1 สัปดาห์แล้วไถกลบและขังน้ำทำให้ก๊าซมีเทนถูกปลดปล่อยจากดินนามีอัตรา

ลดลงอย่างมาก (Patcharapreecha *et al.*, 1993) ซึ่งการที่ปล่อยให้เศษซากพืชแห้งมาก่อนการขังน้ำทำให้ส่วนของเศษซากพืชที่จะถูกย่อยสลายได้ง่าย เช่น แป้งและน้ำตาลถูกย่อยสลายไปอย่างรวดเร็ว ส่วนที่เหลือของเศษซากพืชในดินในระยะที่มีน้ำขัง จึงเป็นส่วนที่จะถูกย่อยสลายได้ยาก เช่น cellulose และ hemicellulose (ประไพ ชัยโรจน์ และคณะ, 2534) จึงทำให้ก๊าซมีเทนที่จะเกิดขึ้นมีปริมาณลดลง และมีผลทำให้ก๊าซมีเทนที่จะถูกปลดปล่อยจากนาข้าวลดลงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ Neue and Sass (1994) ได้รายงานไว้ว่า ในดินที่ใส่ฟางข้าวจะมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นมากกว่าในดินนาใส่ปุ๋ยหมัก เนื่องจากอินทรีย์วัตถุที่จะถูกย่อยสลายได้ง่ายในปุ๋ยหมักมีน้อย เพราะส่วนใหญ่ได้ถูกย่อยสลายไปแล้วในระหว่างการหมักปุ๋ย

Table 3. Methane production potential of 0.5% w/w rice straw mixing soil incubated under anaerobic and aerobic-anaerobic conditions

Incubative condition	CH ₄ production potential (ppm)	
	Bang Khen soil	Rangsit soil
Anaerobe	8.0	9.0
Aerobe-anaerobe	0.45	0.3

2. อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการทดลองในกระถาง

2.1 ผลของฟางข้าวต่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

การใส่ฟางข้าวทำให้อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มมากขึ้นประมาณ 3.8-10 เท่า กล่าวคือในดินที่ไม่ใส่ฟางข้าวจะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพียง 0.01-0.36 กรัม/ม²/วัน แต่ถ้าใส่ฟางข้าวจะเพิ่มมากขึ้นเป็น 0.42-2.27 กรัม/ม²/วัน (Table 4) Yagi and Minami (1990) และ Kimura and Minami (1995) ได้รายงานไว้เช่นเดียวกับผลการทดลองนี้ว่า การใส่ฟางข้าวทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีอัตราเพิ่มขึ้น

2.2 ผลของการปลูกข้าวต่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

ในดินที่มีการปลูกข้าว อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในระยะหลังจากปักดำได้ประมาณ 7 สัปดาห์ จะมีอัตราสูงกว่าในดินที่ไม่มีการปลูกข้าว โดย

เฉพาะอย่างยิ่ง ในระยะที่ข้าวมีช่อดอก (รูปที่ 1, 2 และ 3) เนื่องจากในดินที่มีการปลูกข้าวจะได้อินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจากสารอินทรีย์ที่ถูกขับออกมาจากรากข้าวและส่วนของรากข้าวที่เน่าเปื่อย (Schutz *et al.*, 1989) และมีรายงานว่าสารอินทรีย์จากรากข้าวจะมีปริมาณสูงสุดในระยะที่ข้าวมีช่อดอก (Kludz *et al.*, 1995)

การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินชุดร้อยเอ็ด ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบจะมีอัตราสูงและปลดปล่อยได้รวดเร็วกว่าดินชุดบางเขน และดินชุดรังสิต ซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียด เนื่องจากช่องว่างในดินเนื้อหยาบไม่สามารถเก็บกักก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (entrapped methane) ไว้ได้มากเท่ากับดินเนื้อละเอียด (Wang *et al.*, 1993) จึงทำให้ก๊าซมีเทนถูกปลดปล่อยออกมาจากนาข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปของฟองอากาศ (Neue *et al.*, 1993) ดังเช่น การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินชุดร้อยเอ็ดที่ใส่ฟางข้าวและปลูกข้าว มีอัตราเฉลี่ยเท่ากับ 2.09 กรัม/ม²/วัน ตามลำดับ (Table 4)

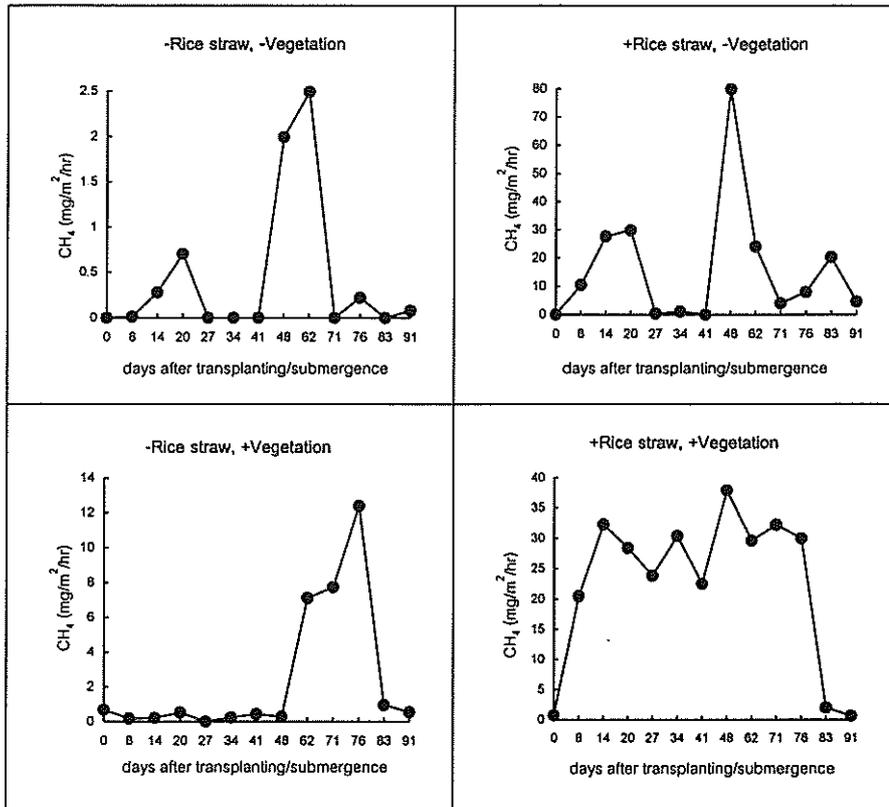


Fig.1 Methane emission rate from Bang Khen submerged soil under pot experiment

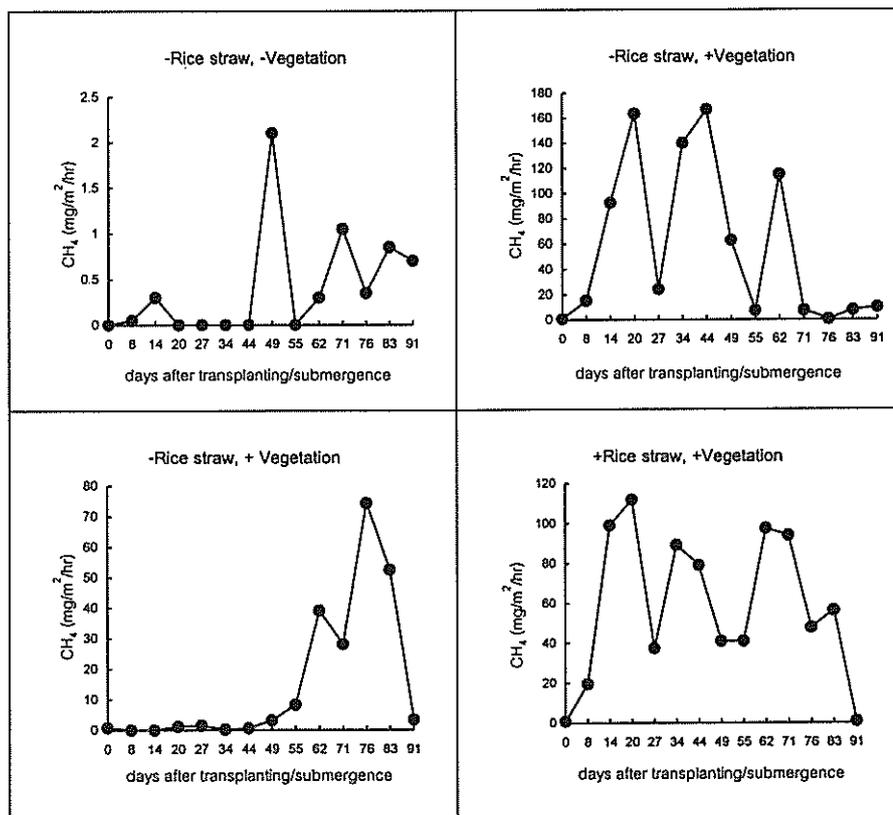


Fig. 2 Methane emission rate from Rangsit submerged soil under pot experiment

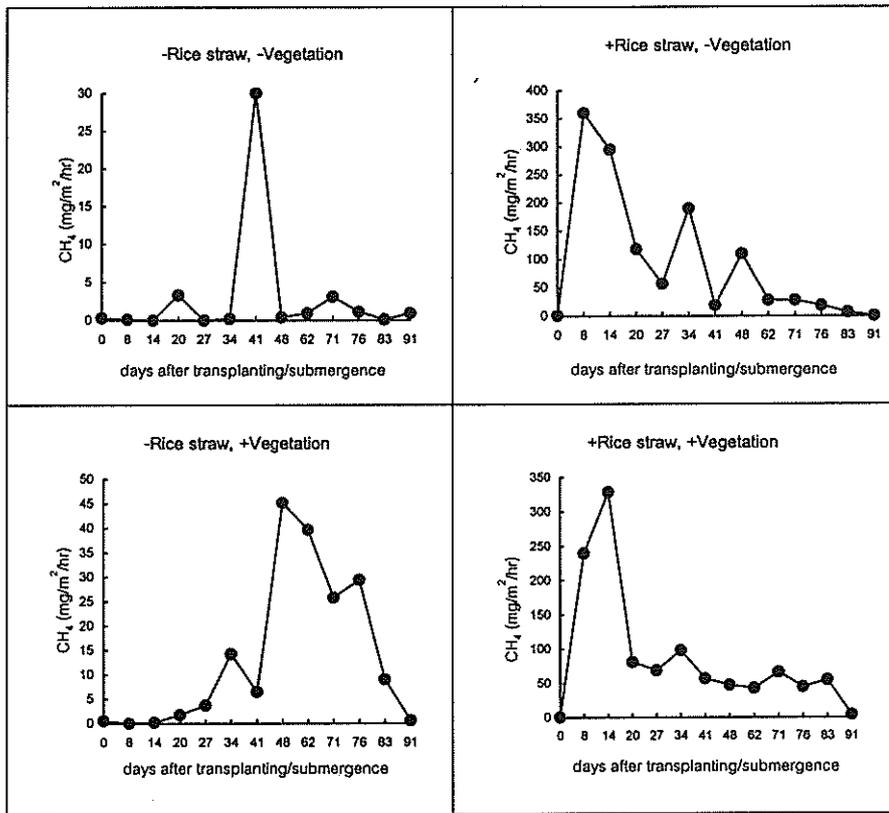


Fig 3. Methane emission rate from Roi Et submerged soil under pot experiment

Table 4. Methane emission rate in average from submerged soils under pot experiment.

Treatment	Methane emission rate in average (mg/m ² /hr)		
	Bang Khen soil	Rangsit soil	Roi Et
-RS	0.01 c	0.01 c	0.09 b
-RS +Vegetation	0.06 c	0.36 b	0.35 b
RS	0.42 b	1.38 a	2.27 a
RS+Vegetation	0.57 a	1.40 a	2.09 a
C.V. (%)	11.00	1.56	15.08

In column, means followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยการเกิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว พอดีสรุปประเด็นสำคัญ ได้ดังต่อไปนี้

1. การใส่ฟางข้าวในดินแล้วขังน้ำทันที จะทำให้ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นในปริมาณมาก แต่ถ้าปล่อยทิ้งไว้ให้ฟางข้าวสลายตัวในสภาพที่ดินมีความชื้นพอเหมาะระยะหนึ่งก่อน แล้วทำการขังน้ำจะทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงอย่างมาก

2. การปลูกข้าวทำให้ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศของโลก ในอัตราที่ค่อนข้างสูงกว่าจากดินนาแห้งที่ไม่มีปลูกข้าว

3. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศของโลก ในดินนาที่เป็นดินเนื้อหยาบ จะเร็วกว่าและมีอัตราสูงกว่าจากดินนาเนื้อละเอียด

เอกสารอ้างอิง

- ประไพ ชัยโรจน์ บรรหาร แต่งนำ M.Watanabe และวิศิษฐ์ โชติสกุล.2534. ผลของการสลายตัวของตอซังข้าวโพดต่อมวลชีวภาพของดิน. *วารสารดินและปุ๋ย* 13:239-245
- Cicerone, R.J.; C.C. Delwiche ; S.C. Tyler and P.R. Zimmerman. 1992. Methane emissions from California rice paddies with varied treatments. *Global Biogeochem. Cycles* 6 (3): 233-248
- Kimura, M. and K.Minami. 1995. Dynamics of methane in rice fields : Emissions to the atmosphere in Japan and Thailand. Pages 30-45 in: Climate Change and Rice. S.Peng K.T.Ingram, H.U.Neue and L.H. Ziskads. Springer-Verlag, Berlin.
- Kludze, H.K.; R.D. Delaune and W.H.Patrick, Jr. 1993. Aerenchyma formation and CH₄ and oxygen exchange in rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*57:386-391.
- Klude, H.K; H.U.Neue; D. Llenarezas and R.S. Lantin. 1995. Rice root exudation and its impact on methane production. *Soil Sci. Soc. Am. J.*
- Neue, H.U. and R.L. Sass. 1994. Trace gas emissions from rice fields. Pages 119-147. in: Global Atmospheric Biogeochemistry. R.G.Prinn. ed. Environmental Science Research. Plenum Press, New York.
- Neue, H.U.; R.S. Lantin; R. Wassmann; J.B. Aduna; M.C.R.Alberto and M.J.F. Andales. 1993. Methane emission from rice soils of the Philippines.Pages 58-63 in : CH₄ and N₂O Global Emissions and Controls from Rice fields and Other Agricultural and Industrial Sources. K.Minami, A.R.Mosier and R.L.Sass. eds. NIAES, Series 2
- Nouchi, I. 1994. Mechanism of methane transport through rice plants. Pages 87-104 in : CH₄ and N₂O Global Emission and Controls from Rice Fields and Other Agricultural and Industrial Sources. K.Minami; A.R.Mosier and R.L. Sass. eds.NIAES, Series 2
- Patcharapreecha, P.; D.Taja and H.Wada. 1993. Cultivation and utilization of aquatic legumes, especially *Sesbania rostrata*, in northeast Thailand Page. 318-354 in : Reserch Activities of ADRC Contributed to Agricultural Development in Northeast Thailand.
- Sass, R.L; F.M. Fisher and P.A. Harcombe. 1991. Mitigation of methane emission from rice fields : Possible adverse effects of incorporated rice straw. *Global Biogeochem, Cycles.* 6:249-262
- Schutz, H;W. Seiler and R.Conrad. 1989. Processes involved in formation and emission of methane in rice paddies. *Biogeochemistry.* 7: 33-53
- Wang, Z.P.; R.D. Delaune; P.H.Masscheleyn and W.H.Partrick Jr. 1993. Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57 : 382-385
- Wassmann, R; H.U. Neue; R.S. Lantin; M.J.Javellana; R.Diego; V.E.Lignes; H. Hoffmann; H. Papen and H.Rennenberg. 1995. Methane emission from rainfed rice fields. Pages 218-225 in: Fragile Lives in Fragile Ecosystems. International Rice Research Institute. Manila, Philippines.
- Yagi, K. and K.Minami. 1990. Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36 : 599-610
- Yagi, K;P. Chairaj; H.Tsuruta; W.Cholitkul and K. Minami. 1993. Methane emission from rice paddy fields in the central plain of Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.* 40(1) : 29-37.