



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

ปริมาณการปลดปล่อย CH_4 จากนาข้าวเกษตรกร

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โดย

พัชรีย์ แสนจันทร์

ดวงสมร ตูลาพิทักษ์

เทพฤทธิ ตูลาพิทักษ์

ศุภชัย ตั้งชูพงศ์

30 มกราคม 2545

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

ปริมาณการปลดปล่อย CH_4 จากนาข้าวเกษตรกร

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

คณะผู้วิจัย

สังกัด

รศ.ดร. พัทรี แสนจันทร์

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นางดวงสมร ดุลาพิทักษ์

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร. เทพฤทธิ์ ดุลาพิทักษ์

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นาย ศุภชัย ตั้งชูพงศ์

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ชุดโครงการ Climate Change

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ชั้น 14 อาคาร เอสเอ็มที อาคาร

เลขที่ 979/17-21 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน

เขตปทุมธานี กรุงเทพฯ 10400

โทร. 298-0455 โทรสาร 298-0476

Home page : <http://www.trf.or.th>

E-mail : trf-info@trf.or.th



สารบัญ

สารบัญตาราง	a
สารบัญภาพ	b
สัญลักษณ์และหน่วย	c
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	1-5
บทคัดย่อ	i
Abstract	iii
คำนำ	v
บทนำ	1
วิธีการวิจัย	2
ดินทดลอง	2
ฤดูปลูกและดำรับทดลอง	2
การเก็บตัวอย่างก๊าซ	3
การวิเคราะห์ก๊าซมีเทน	3
การเสนอข้อมูลก๊าซมีเทน	3
การเก็บข้อมูลการจัดการนา	4
การเก็บข้อมูลข้าว	4
ผลการทดลอง	5
1. ผลการวัด CH ₄ emission ในนาปีชลประทาน 1999	5
2. ผลการวัด CH ₄ emission จากนาปีชลประทาน 2000	6
3. ผลการวัด CH ₄ emission จากนาปีน้ำฝน 2000	7
4. ผลการวัด CH ₄ emission จากนาปี 2001	8
5. ผลการวัด CH ₄ emission จากนาปีน้ำฝน 2001	9
6. ปริมาณมีเทนทั้งหมด(Total CH ₄ emission, TME) (Table 4)	10
7. ผลผลิตข้าว(Grain yield)และปริมาณมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าว (MPG)	11
8. ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าว (Grain yield) กับปริมาณมีเทนทั้งหมด (TME) และปริมาณมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าว (MPG)	12
9. เทคโนโลยีที่มีอิทธิพลให้ผลผลิตข้าวสูงและปริมาณมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าวต่ำ	12
10. น้ำหนักแห้งต้นข้าวและราก	14
วิจารณ์	15
อิทธิพลของฤดูปลูกต่อการปล่อยมีเทน	15
อิทธิพลของสารอินทรีย์ต่อการปล่อยมีเทน	15
อิทธิพลของปุ๋ยเคมีต่อการปล่อยมีเทน	17
อิทธิพลของน้ำในนาและวิธีการทำนาต่อการปล่อยมีเทน	18

อิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อการปล่อยมีเทน	19
แนวทางการลดมีเทน	20
สรุป	22
เอกสารอ้างอิง	23
รายงานการสัมมนาวิชาการเกษตรประจำปี 2543	81-97
การสัมมนาวิชาการเกษตรประจำปี 2544	1-22
มข.วิจัย	8-10
Accepted full paper for oral presentation (paper no. 273) at 17 th WCSS	1-10

สารบัญตาราง

Table 1.1	Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (major rice, 1999)	26
Table 1.2	Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (irrigated second rice, 2000)	27
Table 1.3	Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (rainfed rice, 2000)	28
Table 1.4	Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (second rice, 2001).	29
Table 1.5	Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (rainfed rice, 2001).	30
Table 2	Rice growing seasons and representative treatments	31
Table 3.1	Cultivation practices and calendar for Ratchaburi-soil plots at Ban Don Do (major rice,1999).	32
Table 3.2	Cultivation practices and calendar for Roi-et-soil plots at Ban Kok Sai (major rice,1999)	33
Table 3.3	Cultivation practices and calendar for Ratchaburi-soil plots at Ban Don Do (second rice, 2000)	34
Table 3.4	Cultivation practices and calendar for Roi-et-soil plots at Ban Nong Ka (second rice, 2000)	35
Table 3.5	Cultivation practices and calendar for Roi-et-soil plots at Ban Na Ngam (second rice, 2000)	36
Table 3.6	Cultivation practices and calendar for Ratchaburi-soil plots at Ban Nong Pho (rainfed rice, 2000)	37
Table 3.7	Cultivation practices and calendar for Roi-et-soil plots at Ban Nong Nam Giang (rainfed rice, 2000)	38
Table 3.8	Cultivation practices and calendar for Roi-et-soil plots at Ban Kud Kwang (rainfed rice, 2000)	39
Table 3.9	Cultivation practices and calendar for Ratchaburi-soil plots at Ban Song Puay (second rice, 2001).	40
Table 3.10	Cultivation practices and calendar for Roi-et-soil plots at Ban Nong Ka (second rice, 2001).	41
Table 3.11	Cultivation practices and calendar for Roi-et- soil plots at Ban Na Ngam (second rice, 2001).	42
Table 3.12	Cultivation practices and calendar for saline-soil plots at Ban Toom (rainfed rice, 2001).	43
Table 3.13	Cultivation practices and calendar for saline-soil plots at Ban Kham Pia (rainfed rice, 2001).	44
Table 3.14	Cultivation practices and calendar for Roi-et – soil plots at Ban Nong Nam Giang (rainfed rice, 2001).	45
Table 4	Average and total methane emission from farmers' paddy fields with different variations in soils, cultivations and varieties (5 seasons).	46
Table 5	Methane emission per unit grain yield (MPG) obtained from farmers' paddy fields (5 seasons).	49
Table 6	Grain yields, dried plants and roots at harvest (5 seasons, 1999-2001).	51

สารบัญภาพ

Figure 1 Seasonal variations of methane emission rate from major – rice continuously flooded paddy fields on Ratchaburi soil in 1999.	53
Figure 2 Seasonal variations of methane emission rate from major- rice intermittently flooded paddy fields on Roiet soil in 1999.	54
Figure 3 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Ratchaburi soil in 2000.	55
Figure 4 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Roiet soil in 2000.	56
Figure 5 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Roiet soil in 2000.	57
Figure 6 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed paddy fields on Ratchaburi soil in 2000.	58
Figure 7 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed paddy fields on Roiet soil in 2000.	59
Figure 8 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed paddy fields on Roiet soil in 2000.	60
Figure 9 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Ratchaburi soil in 2001.	61
Figure 10 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Roiet soil in 2001.	62
Figure 11 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Roiet soil in 2001.	63
Figure 12 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed saline paddy fields at Ban Toom in 2001.	64
Figure 13 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed saline paddy fields at Ban kham Pia in 2001.	65
Figure 14 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed paddy fields on Roiet soil in 2001.	66

สัญลักษณ์ และ หน่วย

สัญลักษณ์

C	carbon
CH ₄	methane
CO ₂	carbon dioxide
FAO	Food and Agriculture Organization
GWP	global warming potential
HFC	hydrofluorocarbon
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MPG	methane emission per unit grain yield
n	number of experiment, data etc.
N	nitrogen
N ₂ O	nitrous oxide
PFC	perfluorocarbon
RMC	Readily mineralizable carbon
r	correlation coefficient
R ²	Coefficient of determination
SOC	soil organic carbon
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
TME	total methane emission

หน่วย

d	day
g	gram = 10 ³ mg
Gg	gigagram (10 ⁹ g) = thousand ton
h, hr	hour
ha	hectare = 6.25 rai = 10 ⁴ m ²
kg	kilogram = 10 ³ g
Mg	megagram (10 ⁶ g) = (metric) ton
rai	1,600 m ²
Tg	teragram (10 ¹² g) = million ton
t	metric ton = 10 ³ g

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการ " ปริมาณการปลดปล่อย CH₄ จากนาข้าวเกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ "

1. ความสำคัญและขนาดของปัญหา

ก๊าซเรือนกระจก (CO₂, CH₄, N₂O และอื่นๆ) มีลักษณะสมบัติของอายุและการแผ่รังสีที่สามารถทำให้โลกเกิดความอบอุ่นซึ่งก่อให้เกิดปัญหาและส่งผลกระทบต่อโลก ได้แก่ การเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก (Global Climate Change) หรือภาวะโลกร้อนขึ้น (Global warming) หรือปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effects) ซึ่งในโครงการนี้ได้พยายามศึกษาติดตามตรวจสอบและให้ได้มาซึ่งปริมาณก๊าซจากนาข้าวซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดหนึ่งของก๊าซเรือนกระจกดังกล่าว ส่วนจากภาคกิจกรรมอื่นๆ ได้แก่ การตัดไม้ทำลายป่า, การขนส่ง, โรงไฟฟ้า และการใช้มวลชีวภาพจากป่าไม้ก็ปล่อยออกก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมากเช่นกัน

นอกจากก๊าซเรือนกระจกตัวหลักแล้วยังมีก๊าซที่เกิดจากอุตสาหกรรมและมีลักษณะสมบัติที่ก่อให้เกิดความอบอุ่นแก่โลก ได้แก่ คลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (chlorofluorocarbons, CFC) ไฮโดรฟลูโอโรคาร์บอน (hydrochlorofluorocarbons, HCFCs), ไฮโดรฟลูโอโรคาร์บอน (hydrofluorocarbons, HFCs) และ เพอร์ฟลูโอคาร์บอน (perfluorinated carbon, PFCS) ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลก๊าซจากอุตสาหกรรมดังกล่าว

บทบาทของก๊าซเรือนกระจกได้ส่งผลกระทบต่อโลกอย่างมาก สามารถกล่าวได้ดังนี้

- อุณหภูมิของโลกจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 °C ภายในปี พ.ศ. 2643 (ค.ศ.2100)
- ระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้นประมาณ 50 เซนติเมตร ภายในปี พ.ศ. 2643
- ผลกระทบต่อเนื่องจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหลากหลายทางพันธุกรรมของพืชและสัตว์
- ประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทยจะได้รับผลกระทบดังกล่าวมากกว่าประเทศที่พัฒนาแล้ว

2. ปัจจัยที่โครงการนี้เสนอและเกี่ยวข้อง

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่นาประมาณ 37.9 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 65.8 ของพื้นที่ถือครองเพื่อการเกษตร จำแนกเป็นพื้นที่ที่อยู่ภายใต้ระบบชลประทาน 4.8 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 12.6 ของพื้นที่นาทั้งหมดของภาคนี้ ซึ่งสามารถทำนาได้ปีละ 2 ครั้ง (นาปีและนาปรัง) ส่วนพื้นที่น่าน้ำฝนมี 33.1 ล้านไร่ บางส่วนเป็นดินเค็มแบบ slightly salt affected soil 12.6 ล้านไร่ ซึ่งทำแต่นาปี

พื้นที่นาชลประทานถูกจัดความชื้นให้เป็นแบบ Continuous flooding ส่วนพื้นที่น่าน้ำฝนถูกจัดสภาพความชื้นให้เป็นแบบ Intermittent flooding ไม่ว่าจะเป็นนาชลประทานหรือน่าน้ำฝนมักจะมีที่ตั้งทางกายภาพ (physiographic position) แบบ Low terrace ซึ่งจำเป็นต้องนำมาเป็นปัจจัยหลักหนึ่งในการศึกษาค้นคว้า

เกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่มีการทำนา 2 แบบคือนาดำและนาหว่านน้ำตม ส่วนพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกข้าวเหนียวไว้กินและปลูกข้าวเจ้าไว้ขาย

และด้วยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) มีความประสงค์จะเน้นส่วนหนึ่งของการงานไปที่การให้ได้มาซึ่งข้อมูลเบื้องต้น (inventory) ของการปลดปล่อยก๊าซ CH₄ ของประเทศ แม้ว่าเดิมทีจะมีนักวิจัยบางกลุ่มได้ทำการทดลองวัดก๊าซบ้างแล้วแต่ยังได้ข้อมูลที่กระจัดกระจายไม่ครอบคลุมปัจจัยดังต่อไปนี้ สภาพทางกายภาพของพื้นที่นา ความชื้นหรือการมีน้ำขัง การเขตกรรม การจัดการเรื่องดิน-น้ำ-ปุ๋ย วิธีการทำนา การดูแลรักษาและพันธุ์ข้าวที่ปลูก ในทางปฏิบัตินั้นเมื่อมีปัจจัยต่างๆมากมายเช่นนี้ถ้ามีการกระจายตำแหน่งในการติด

ตามวัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้ได้จำนวนตำแหน่งที่มากที่สุดก็จะได้ข้อมูลที่ดี และถ้าเป็นตำแหน่งจากแปลงนาเกษตรกรหลายๆแห่งก็จะเป็นตัวแทนของข้อมูลที่ดีได้มากขึ้น จึงได้ออกแบบตัวรับทดลองให้ครอบคลุมปัจจัยต่างๆข้างต้นและทำในพื้นที่เกษตรกรทั้งหมด

3. วัตถุประสงค์โครงการ

1. ติดตามวัดปริมาณการปลดปล่อย CH_4 จากนาข้าวเกษตรกรบนชุดดินที่ต่างกันที่มีวิธีการปลูกต่างกับข้าวเหนียวและข้าวเจ้าในพื้นที่นาชลประทานและน่าน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2. หาแนวทางลดผลกระทบของ CH_4 จากนาข้าว (mitigation study) โดยใช้การเกษตรกรรมที่เกษตรกรปฏิบัติ

4. ปัจจัยและเงื่อนไขในการวิจัย

1. สภาพทางกายภาพของพื้นที่นา (physiographic position) : ทำการศึกษาในสภาพที่เป็น
 - 1) Lowland soils ซึ่งตำแหน่งนี้มักจะเป็นดินเหนียว ใช้ชุดดินราชบุรี (Rb)
 - 2) Low terrace ซึ่งตำแหน่งนี้มักจะเป็นดินร่วน ใช้ชุดดินร้อยเอ็ด (Re) และ
 - 3) นาดินเค็ม ใช้ชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม (Re, saline phase)
2. วิธีทำนา : ใช้วิธีทำนาที่นิยมทำกันในภาคนี้ได้แก่ 1) นาดำ และ 2) นาหว่านน้ำตาม
3. พันธุ์ข้าว : ใช้พันธุ์ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าที่เกษตรกรส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูกดังนี้ ในนาปี 1) ข้าวเหนียว กข 6 และ 2) ข้าวหอมมะลิ 105 ส่วนในนาปรังชลประทาน 1) ข้าวเหนียว กข 10 และ 2) ข้าวเจ้าชัยนาท 1
4. สภาพความชื้นหรือการมีน้ำขัง : จะทำการศึกษาในพื้นที่นาเกษตรกรที่อยู่ในเขตชลประทานเป็นตัวแทนสภาพความชื้นแบบ 1) Continuous flooding และน่านอกเขตชลประทานหรือน่าน้ำฝนเป็นตัวแทนสภาพความชื้นแบบ 2) Intermittent flooding
5. ฤดูทำนา : เนื่องจากในพื้นที่ชลประทานเกษตรกรมักทำนา 2 ครั้ง คือทำทั้ง 1) นาปี และ 2) นาปรัง ส่วนในพื้นที่น่าน้ำฝนทำได้แต่นาปีเท่านั้น
6. สถานที่ : ศึกษาในที่นาเกษตรกรในจังหวัดขอนแก่น
7. การเกษตรกรรม : การเตรียมดินโดยการไถกลบหน้าดิน หมักฟาง ปลูก การจัดการดิน-น้ำ-ปุ๋ย การดูแลรักษาเหล่านี้เป็นไปตามที่เกษตรกรปฏิบัติ
8. การเก็บข้อมูล
 1. วัดก๊าซเรือนกระจก : วัดปริมาณ CH_4 ในแต่ละตำบลอย่างสม่ำเสมอ
 2. บันทึก : การเตรียมดิน การขังน้ำ การระบายน้ำ การจัดการดิน-น้ำ-ปุ๋ยและการดูแลรักษาทุกขั้นตอนที่เกษตรกรปฏิบัติโดยละเอียด

5. ผลการวิจัยปริมาณมีเทนทั้งหมดที่ปล่อยออกจากนา 5 ฤดู

ในฤดูนาปีชลประทาน 1999 ดินราชบุรีปล่อยปริมาณมีเทนทั้งหมด (total methane emission, TME) $6.73 - 16.78 \text{ g m}^{-2}$ มีค่าเฉลี่ยต่ำ 10.19 g m^{-2} ส่วนในดินร้อยเอ็ดปีเดียวกันปล่อย TME อยู่ในช่วง $24.54 - 86.89 \text{ g m}^{-2}$ มีค่าเฉลี่ย 45.95 g m^{-2} ซึ่งมากกว่าของดินราชบุรี 4.5 เท่า เนื่องจากเกษตรกรไถกลบฟางสด 18 ต้นต่อไร่ นาหว่าน กข 6 เมื่อเทียบกับนาดาลด TME ของดินร้อยเอ็ดที่ได้รับการไถกลบฟางในปริมาณสูงลงได้

58.97 % ในขณะที่นาหว่านข้าวดอกมะลิ 105 เมื่อเทียบกับนาดำข้าวดอกมะลิ 105 ลด TME ลง 33.10% การเกิด aeration 2 ช่วงช่วยลด TME ลง 57.75 % เมื่อเทียบกับ aeration 1 ช่วง

ฤดูนาปีงชลประทาน 2000 ในดินนาข้าวปรึปล่อย TME 6.20 – 29.18 g m⁻² เมื่อจำนวนวันที่ซึ่งน้ำลดลงจาก 92 วัน เป็น 70 วัน จะลด TME ลง 58.4 % พบว่าชัยนาท 1 ปล่อย CH₄ ได้น้อยกว่า กษ 10 ส่วนในดินร่อยขีดในฤดูเดียวกันปล่อย TME 10.01 - 24.34 g m⁻²

ในฤดูนาปีน้ำฝน 2000 ดินนาข้าวปรึถูกน้ำท่วมแต่ปล่อย TME 8.96 – 14.72 g m⁻² ส่วนในดินนา ร่อยขีดปล่อย TME 27.1 – 41.94 g m⁻² อิทธิพลของการไถกลบวัชพืชต่อ TME สูงถึง 71.56 % ในนาดำ กษ 6 และ 68.70 % ในนาดำข้าวดอกมะลิ 105

ฤดูนาปีง 2001 ในดินนาข้าวปรึปล่อย TME 9.33 - 15.70 g m⁻² ในขณะที่ในดินร่อยขีดปล่อย TME 15.27 - 22.80 g m⁻²

ในฤดูนาปีน้ำฝน 2001 ในดินร่อยขีดที่เป็นดินเค็ม (saline soil) ปล่อย TME 18.98 – 32.36 g m⁻² และ ดินร่อยขีดที่ไม่เค็ม (non-saline soil) ปล่อย TME 26.28 g m⁻²

ผลผลิตข้าวจากดินนาข้าวปรึอยู่ในช่วง 387 – 819 kg rai⁻¹ (2.42 - 5.12 t ha⁻¹) สูงกว่าของดินนา ร่อยขีดซึ่งอยู่ในช่วง 256 - 733 kg rai⁻¹ (1.60 - 4.58 t ha⁻¹) นาหว่านมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงขึ้นในขณะที่ปล่อย CH₄ ต่อกหน่วยผลผลิตข้าวได้ต่ำกว่าของนาดำ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตดีแต่ปล่อย CH₄ ต่ำเรียงจากดีไปหาดีน้อย กว่า คือ ชัยนาท 1 กษ 10 ข้าวดอกมะลิ 105 และ กษ 6 ซึ่ง 2 พันธุ์หลังไม่ต่างกันมาก

6. แนวทางการลดมีเทนจากนาข้าวโดยคงไว้ซึ่งผลผลิตที่ดี

- 6.1 การจัดการเพื่อลดมีเทนจากนาข้าวโดยคงไว้ซึ่งผลผลิตที่ดีนั้นควรเน้นทำในพื้นที่ชลประทานที่สามารถควบคุม น้ำเข้า-ออกได้ ไม่ควรใช้แนวทางนี้กับน่าน้ำฝนเพราะน้ำเป็นปัจจัยจำกัดซึ่งต้องรักษาน้ำไว้ให้ต้นข้าว นานที่สุด และในน่าน้ำฝนในพื้นที่ดินปกติ(ที่ไม่ใช่ดินเค็ม)จะทำนาหว่านหรือนาดำก็ได้แล้วแต่สภาพพื้นที่ และความพร้อมของเกษตรกร แต่ในพื้นที่ดินเค็มควรทำนาดำเท่านั้นเพื่อลดความเสี่ยงจากความเค็มต่อต้นกล้า
- 6.2 ไม่ควรทำน่าน้ำขัง(continuously flooded)อย่างทั่วถึงในพื้นทีชลประทานนิยม แต่ควรปล่อยให้ต้นข้าวใช้น้ำขังจนดินแห้ง(ด้วยกระบวนการคายระเหย[evapotranspiration]) ทั้งนี้ความชื้นในดินยังคงมีพอ สำหรับการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยที่สามารถสังเกตได้คือในนาดินเหนียวให้เห็นผิวดินแตกได้ 2-3 วัน ในขณะที่ในนาดินร่วนปล่อยให้ผิวดินแตกได้นาน 4-5 วัน แล้วจึงขังน้ำ(reflood) วิธีนี้เกษตรกรยอมรับได้ เพราะไม่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำออก ในขณะเดียวกันวิธีนี้สามารถลดจำนวนครั้งและค่าใช้จ่าย(น้ำมัน และแรงงาน)ในการทดน้ำเข้านา ผลของการควบคุมน้ำชลประทานเช่นนี้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำชลประทานอย่างมาก ในขณะเดียวกันสามารถใช้น้ำเพื่อกิจกรรมอื่นได้
- 6.3 ลดพื้นที่ปลูกข้าวนาปีงชลประทานโดยการปลูกพืชเศรษฐกิจที่ให้มูลค่ามากกว่าข้าว เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ไม้ดอกไม้ประดับ ผัก และพืชอายุสั้นอื่นๆ โดยลดสภาพดินน้ำขังลง แต่ต้องแน่ใจว่าผลผลิตของข้าวนาปีเพียงพอหรือเหลือจากการบริโภคในครัวเรือน ปริมาณน้ำที่ลดลงสามารถเอาไปใช้ในกิจกรรมอื่นได้ และ ช่วยลดปัญหาดินเสื่อมโทรมอันเนื่องมาจากการทำนาข้าวหลายปีบนพื้นที่เดิม

- 6.4 การเริ่มปลูกข้าวไม่ว่าในนาดำหรือนาหว่านไม่ควรปลูกข้าวเร็วเกินไป ถ้าอายุข้าวนานปริมาณมีเทนทั้งหมดจะมากตามและไม่ทำให้ผลผลิตข้าวสูงตามทุกกรณี
 - 6.5 ไม่ควรเผาตอซังเพราะเป็นการทำลายธาตุอาหารพืช สร้างมลภาวะในอากาศ และปล่อยก๊าซเรือนกระจก การไถกลบอินทรีย์วัตถุและใส่ปุ๋ยเคมีจำเป็นมากต่อการรักษาธาตุอาหารให้แก่ต้นข้าว
 - 6.6 อาจใช้สารสกัดการเกิดมีเทนซึ่งอยู่ในรูปปุ๋ย เช่น ammonium sulfate, gypsum, และ calcium carbide เป็นต้น
 - 6.7 มีแนวโน้มว่าข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ปล่อยมีเทนน้อยกว่า กข 10 ควรส่งเสริมให้ปลูกข้าวชัยนาท 1 ในฤดูนาปรัง (หากไม่ปลูกพืชเศรษฐกิจอื่น)
7. ตัวอย่างการจัดการดิน-น้ำ-ปุ๋ย เพื่อลดมีเทนจากนาข้าวแต่รักษามลผลิตข้าว(ขึ้นหน้าใหม่)

7. ตัวอย่างการจัดการดิน-น้ำ-ปุ๋ย เพื่อลดมีเทนจากนาข้าวแต่รักษามลพิษ

ตารางแสดงตัวอย่างการจัดการดิน – น้ำ - ปุ๋ย เพื่อลด CH_4 จากนาข้าวแต่รักษามลพิษ

ระยะการเจริญเติบโต ของข้าว	นาชลประทาน		น่าน้ำฝน
	ดินเหนียว	ดินร่วน	ดินเค็ม
ก่อนเตรียมดิน ↓ เตรียมดิน	ไถกลบวัชพืชและตอซัง ทิ้งไว้ 2 สัปดาห์	ไถกลบวัชพืชและตอซัง ทิ้งไว้ 2 สัปดาห์	ไถกลบวัชพืชและตอซัง ทิ้งไว้ 2 สัปดาห์
↓ ปลูก	เตรียมดิน	เตรียมดิน	เตรียมดิน
↓ ระยะตั้งตัว	นาหว่าน	นาหว่าน	นาดำ
	15-20 วันหลังหว่าน ใส่ปุ๋ยรองพื้น	15-20 วันหลังหว่าน ใส่ปุ๋ยรองพื้น	5-7 วันหลังดำ ใส่ปุ๋ยรองพื้น
ระยะแตกกอ ↓ Evapotranspire ↓ Refflood	Multiple aeration เห็น ผิวดินแตก 2-3 วัน Refflood และ แบ่งใส่ ปุ๋ยแต่งหน้า	Multiple aeration เห็น ผิวดินแตก 4-5 วัน Refflood และ แบ่งใส่ ปุ๋ยแต่งหน้า	ขังน้ำฝนให้มากที่สุด และ แบ่งใส่ ปุ๋ยแต่งหน้า
↓ ระยะตั้งท้อง	น้ำขัง	น้ำขัง	น้ำขัง
↓ ระยะแบ่งแฉ่ง	ระบายน้ำ ดินแห้ง 14 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว	ระบายน้ำ ดินแห้ง 7 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว	ระบายน้ำ ดินแห้ง 7 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว
↓ เก็บเกี่ยว	ดินแห้ง	ดินแห้ง	ดินแห้ง

ตารางแสดงการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีเพื่อลด CH_4 จากนาข้าวแต่รักษามลพิษ

เนื้อดิน	วิธีการปลูก	จัดการอินทรีย์วัตถุ ^{1/}	ปุ๋ยรองพื้น ^{2/}	ปุ๋ยแต่งหน้า ^{3/}
ดินเหนียว	นาหว่านนํ้าตม	ไถกลบฟางข้าว, ตอซัง, วัชพืชสด	16-20-0 อัตรา 15-20 kg rai ⁻¹	Urea, AS, GS 20 - 30 kg rai ⁻¹
ดินร่วน	นาหว่านนํ้าตม	ไถกลบฟางข้าว, ตอซัง, วัชพืชสด	16-16- 8 อัตรา 15-20 kg rai ⁻¹	Urea, AS, GS 20 - 30 kg rai ⁻¹
ดินเค็ม	นาดำ	ปุ๋ยคอก (ขี้วัว) 500-1,000 kg rai ⁻¹	16-16-8 อัตรา 15-20 kg rai ⁻¹	Urea, AS, GS 20 - 30 kg rai ⁻¹

หมายเหตุ: ^{1/} การใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยคอกควรใส่และไถกลบในสภาพดินขึ้น 2 สัปดาห์ก่อนเตรียมดิน

^{2/} การใส่ปุ๋ยรองพื้นควรใส่ช่วง 15-20วันหลังหว่านหรือ 7 วันหลังดำนา

^{3/} AS หมายถึง ammonium sulfate, GS หมายถึง gypsum การใส่ปุ๋ยแต่งหน้าควรใส่ช่วงข้าวแตก
กอถึงข้าวตั้งท้อง โดยแบ่งใส่ตามความจำเป็น และการใส่ปุ๋ยรองพื้นและแต่งหน้าควรใส่ในช่วงที่ยัง
มีน้ำขังอยู่ 5 ซม

รหัสโครงการ : 3/14/2542

ชื่อโครงการ : ปริมาณการปลดปล่อย CH_4 จากนาข้าวเกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ชื่อนักวิจัย : พัชร แสนจันทร์¹ ดวงสมร ตูลาพิทักษ์² เทพฤทธิ์ ตูลาพิทักษ์¹ ศุภชัย ตั้งชูพงศ์³

¹ ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ สถานีทดลองข้าวขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น

Email : patsae1@kku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : พฤษภาคม 2542 ถึง มกราคม 2545

ทำการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล CH_4 inventory ที่ได้จากนาเกษตรกรรมและหาแนวทางการลดมีเทนแต่ยังรักษาไว้ซึ่งผลผลิตข้าว โดยติดตามวัด CH_4 จากนาข้าวเกษตรกรรม 5 ฤดูปลูก ในดินราชบุรี (Rb) และดินร่อยเอ็ด (Re) ที่เป็นดินไม่เค็ม (non-saline) และดินเค็ม (saline) กับข้าวเหนียวและข้าวเจ้าที่ปลูกด้วยวิธีปักดำและหว่านน้ำตม ในฤดูนาปีนาชลประทาน 1999 ดินราชบุรีปล่อยปริมาณมีเทนทั้งหมด (TME) อยู่ในช่วง $6.73 - 16.78 \text{ g m}^{-2}$ ส่วนในดินร่อยเอ็ดในปีเดียวกันปล่อย TME อยู่ในช่วง $24.54 - 86.89 \text{ g m}^{-2}$ ซึ่งมากกว่าของดินราชบุรี 4.5 เท่าเนื่องจากเกษตรกรรมไถกลบผักบึงสด 18 t rai^{-1} (112.5 t ha^{-1}) การทำนาหว่าน กข 6 เมื่อเทียบกับนาดำ กข 6 สามารถลด TME ของดินร่อยเอ็ดที่ได้รับการไถกลบผักบึงในปริมาณสูงลงได้ 58.97% ในขณะที่นาหว่านข้าวดอกมะลิ 105 เมื่อเทียบกับนาดำข้าวดอกมะลิ 105 ลด TME ลง 33.10% การเกิด aeration 2 ช่วงช่วยลด TME ลง 57.75 % เมื่อเทียบกับ aeration 1 ช่วง ในฤดูนาปรัง 2000 พบว่าในดินนาราชบุรีมี TME $6.20 - 29.18 \text{ g m}^{-2}$ เมื่อจำนวนวันที่ขังน้ำลดลงจาก 92 วัน เป็น 70 วัน จะลด TME ลง 58.4 % และพบว่าชัยนาท 1 ปล่อย CH_4 ได้น้อยกว่า กข 10 ส่วนในดินร่อยเอ็ดในฤดูเดียวกันปล่อย TME $10.01 - 24.34 \text{ g m}^{-2}$ ในฤดูนาปีน้ำฝน 2000 พบ TME อยู่ในช่วง $8.96 - 14.72 \text{ g m}^{-2}$ จากดินนาราชบุรีที่ถูกน้ำท่วม ส่วนในดินนา ร่อยเอ็ดในฤดูเดียวกัน TME $27.10 - 41.94 \text{ g m}^{-2}$ อิทธิพลของการไถกลบวัชพืชต่อ TME สูงถึง 71.56 % ในนาดำ กข 6 และ 68.70 % ในนาดำข้าวดอกมะลิ 105 ฤดูนาปรัง 2001 ในดินราชบุรีมี TME $9.33 - 15.70 \text{ g m}^{-2}$ ในขณะที่ในดินร่อยเอ็ดมี TME $15.27 - 22.80 \text{ g m}^{-2}$ ในฤดูนาปีน้ำฝน 2001 ในดินร่อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม (saline soil) TME $18.98 - 32.36 \text{ g m}^{-2}$ และดินร่อยเอ็ดที่ไม่เค็ม (non-saline soil) ปล่อย TME 26.28 g m^{-2}

ตลอด 5 ฤดูปลูกผลผลิตข้าวจากดินนาราชบุรีอยู่ในช่วง $387 - 819 \text{ kg rai}^{-1}$ ($2.42 - 5.12 \text{ t ha}^{-1}$) สูงกว่าของดินนา ร่อยเอ็ดซึ่งอยู่ในช่วง $256 - 733 \text{ kg rai}^{-1}$ ($1.60 - 4.58 \text{ t ha}^{-1}$) และพบว่าปริมาณ CH_4 ต่อหน่วยผลผลิตข้าว (MPG) มีค่าอยู่ในช่วง $12.11 - 222.66 \text{ gCH}_4 \text{ kg grain}^{-1}$ ในนาปีชลประทาน 1999 MPG ของดินนาราชบุรีมีค่าต่ำอยู่ในช่วง $17.88 - 56.40 \text{ gCH}_4 \text{ kg grain}^{-1}$ แต่ในดินนา ร่อยเอ็ดให้ MPG สูง $67.84 - 222.66 \text{ gCH}_4 \text{ kg grain}^{-1}$ เนื่องจากไถกลบผักบึงในปริมาณสูง ทุกฤดูปลูกมีแนวโน้มว่านาหว่านมีค่า MPG ต่ำกว่านาดำ ในฤดูนาปีน้ำฝน 2000 และนาปีน้ำฝนดินเค็ม 2001 ซึ่งฝนดีมากให้ MPG

อยู่ในช่วง 89.92 - 138.64 gCH₄ kg grain⁻¹ และ 57.02-167.46 gCH₄ kg grain⁻¹ ตามลำดับ นาหว่านมีแนวโน้มให้ผลผลิตดีขึ้นในขณะที่ปล่อย CH₄ ต่อหน่วยผลผลิตข้าวได้ต่ำกว่าของนาดำ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตดีแต่ปล่อย CH₄ ต่ำเรียงจากดีมากกกว่าไปหาดีน้อยกว่า คือ ชัยนาท 1 กข 10 ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 6 ซึ่ง 2 พันธุ์หลังไม่ต่างกันมาก

ข้อเสนอแนะแนวทางการลด CH₄ จากนาแต่รักษาผลผลิตข้าวไม่ให้ลดลงนั้นได้แนะนำให้ไถกลบวัชพืชสดหรือใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพดินชั้น 2 สัปดาห์ก่อนการเตรียมดิน แนะนำให้ทำนาหว่านในพื้นที่ชลประทานใส่ปุ๋ยรองพื้นด้วย 16-20-0 กับดินเหนียวและ 16-16-8 กับดินร่วนในอัตรา 15-20 kg rai⁻¹ เมื่อกล้าอายุ 15 – 20 วันหลังหว่านหรือ 7 วันหลังปักดำ แล้วแต่งหน้าด้วยปุ๋ย urea, ammonium sulfate หรือ gypsum ในอัตรา 20-30 kg rai⁻¹ ในช่วงข้าวแตกกอถึงข้าวตั้งท้อง การใส่ปุ๋ยเคมีควรแบ่งใส่เมื่อมีน้ำขังในนา 5 ซม ตลอดฤดูปลูกเริ่มจากระยะข้าวตั้งตัวควรดูแลต้นข้าวให้น้ำให้หมดจนผิวดินแตก 3 วันสำหรับดินเหนียวหรือ 4-5 วันสำหรับดินร่วน แล้วจึงรดน้ำให้นาให้ท่วม 5 ซม โดยที่ดูแลข้าวไม่ให้ขาดน้ำในช่วงข้าวตั้งท้องถึงข้าวออกดอก และระบายน้ำออก 14 วันก่อนเก็บเกี่ยวสำหรับนาดินเหนียวหรือ 7 วันก่อนเก็บเกี่ยวสำหรับนาดินร่วน

คำหลัก : มีเทน ข้าว เกษตรกร ลดมีเทน

Project Code : 3/14/2542

Project Title : Methane Emission from Thai Farmers' Paddy Fields in Northeast, Thailand

Investigators : Patcharee Saenjan¹, Duangsamorn Tulaphitak², Thepparit Tulaphitak¹,
and Soupachai Tangchupong³

¹ Department of Land Resources and Environment, Faculty of Agriculture,
Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

² Center of Agricultural Research and Development, Faculty of Agriculture,
Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

³ Khon Kaen Rice Experiment Station, Khon Kaen 40000, Thailand.

Email : patsae1@kku.ac.th

Project duration : May 1999 to January 2001

In order to obtain CH₄ inventory and identify potential mitigation measures while sustaining high yield. Methane emission rates were directly measured from farmers' paddy fields in 5 growing seasons with variation in soil: Ratchaburi (Rb) and Roiet (Re) soil series (non-saline and saline), rice varieties: glutinous and indica rice, and cultivation methods: transplanting and broadcasting. In irrigated major rice 1999, total CH₄ emission (TME) ranged from 6.73 – 16.78 g m⁻², while TME from Re soil ranged from 24.54 – 86.89 g m⁻². This was 4.5 times higher than from Rb soils due to incorporation of 18 t rai⁻¹ (112.5 t ha⁻¹) fresh *Impomoea aquatica*. Broadcasted rice reduced TME over transplanted rice 58.97 % and 33.10 % for RD 6 and KDML 105, respectively. Twice aeration abated TME 57.75 % compared with single aeration. In second rice 2000, TME in Rb soils were 6.20- 29.18 g m⁻². Lesser number of submerged days from 92 to 72 days decreased TME by 58.4 %. CNT 1 emitted lesser CH₄ than RD 10. For Re soil in the same season, TME ranged from 10.01 – 24.34 g m⁻². Rainfed rice 2000 was overflooded in Rb soils, produced TME 8.96 – 14.72 g m⁻², whereas in Re soil TME ranged from 27.1 – 41.94 g m⁻². Influence of incorporated weeds in rainfed rice soils increased TME by 71.56 % and 68.70 % for RD 10 and KDML 105, respectively. In second rice 2001, TME ranged from 9.33-15.70 g m⁻² while TME from Re soils ranged from 15.27 - 22.80 g m⁻². In rainfed rice 2001, saline soils contributed TME 18.98-32.36 g m⁻² while Re soil (non-saline) contributed TME 26.28 g m⁻².

Grain yields from 5 rice growing seasons obtained from Rb soils were 387 – 819 kg rai⁻¹ (2.42 - 5.12 t ha⁻¹) and higher than from Re soils which provided 256 – 733 kg rai⁻¹ (1.60 – 4.58 t ha⁻¹) and CH₄ emission per unit grain yield (MPG) resulted in 12.11 – 222.6 gCH₄ kg⁻¹ grain. In irrigated rice 1999, MPG from Rb soils were very low 17.88 – 56.40 gCH₄ kg⁻¹

¹ grain while from Re soils were very high 67.84 – 222.66 gCH₄ kg⁻¹ grain due to farmers incorporated high amount of *Impomoea aquatica*. This research resulted in lower MPG from broadcasted rice than transplanted rice. In rainfed rice 2000 for Re soils and 2001 for saline soils MPG were 89.92 – 138.64 gCH₄ kg⁻¹ grain and 57.02 – 167.46 gCH₄ kg⁻¹ grain, respectively. Broadcasted rice showed potential to produce higher grain yield while emitted lesser MPG when compared to transplanted rice. Potential of cultivars to mitigate CH₄ with sustainable grain yield was decreased in this order: CNT 1, RD 10, KDML 105 and RD 6. The two latters were not different.

Strategy to mitigate CH₄ emission from rice fields and to maintain sustainable rice yield was introduced. Green manure and organic matter should be incorporated into soil under aerobic condition 2 weeks prior to land preparation. In irrigated area, broadcasted rice should be cultivated. Combined fertilizer 16-20-0, 5-20 kg rai⁻¹ is recommended for fine-textured soils and 16-16-8, 5-20 kg rai⁻¹ for medium-textured soils at 15-20 days after broadcasting or 7 days after transplanting. Urea, ammonium sulfate or gypsum as top dressing fertilizers are advised to apply during tillering and panicle initiation period when flooded water is approximately 5 cm. Multiple aerations can be done by leaving paddy fields to evapotranspire until the surface soil cracks for 3 days in clayey soils or 4 – 5 days in loamy soils, then reflood to 5 cm again. From panicle initiation to flowering stage, paddy soil should be maintained flooded. Drainage 14 days and 7 days before harvest are recommended for clayey soils and loamy soils, respectively.

Keywords : methane, rice, farmer, mitigation

คำนำ

ชุดโครงการวิจัยด้าน Climate Change มีเป้าหมายเพื่อจัดทำข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการปล่อยออกก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งกำเนิดและขยายพื้นที่รองรับ ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บของก๊าซเรือนกระจก ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มาตรการในการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งดำเนิน โดยแยกการศึกษาตามภาคเศรษฐกิจต่างๆ ในรายงานการวิจัยเล่มนี้ได้เน้นการศึกษาและวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลปริมาณการปล่อยออกจากภาคเกษตรได้แก่นาข้าว ซึ่งปริมาณที่ปล่อยออกเป็นอันดับหนึ่งอันเนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวจำนวนมาก คณะวิจัยพยายามให้ได้มาซึ่งตัวแทนข้อมูลเบื้องต้น(inventory)ของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว เกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงได้ศึกษาภายใต้ข้อกำหนดของปัจจัยหลักต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการปลูกข้าวของเกษตรกร ให้ครอบคลุมปัจจัยด้านสภาพพื้นที่นาทางกายภาพ สภาพน้ำและความชื้นในนาข้าว วิธีการปลูกข้าว การจัดการเรื่องดิน-น้ำ-ปุ๋ย การดูแลรักษาและพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูก เหล่านี้ตามเงื่อนไขการปฏิบัติจัดการของเกษตรกร จากการศึกษาพบว่าปัจจัยต่างๆ ข้างต้นมีทั้งส่งเสริมและจำกัดการปล่อยออกก๊าซมีเทน จึงเป็นที่มาของข้อเสนอแนะเพื่อลดการปล่อยมีเทน แต่คงไว้ซึ่งผลผลิตข้าวที่มั่นคงที่ได้จากข้อจำกัดและเงื่อนไขของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว

คณะวิจัยใคร่ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและครุภัณฑ์ โดยเฉพาะฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ, รศ.สุชาติา ชินะจิตร และหน่วยประสานงาน สกว-มช, รศ.ดร.วินิต ชินสุวรรณ ที่เป็นสื่อกลางประสานงานและอำนวยความสะดวกในการบริหารจัดการ โครงการอย่างมีประสิทธิภาพมาตลอด ขอขอบคุณ รศ. ดร. พิมพันธ์ เจริญสวัสดิพงศ์ ที่ช่วยแนะนำเทคนิคการเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์มีเทนและการวิเคราะห์ข้อมูล

หวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานวิจัยฉบับนี้สามารถก่อประโยชน์ต่อประเทศชาติ ประชาชนนักวิจัย และผู้อ่าน หากมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมยินดีรับฟัง

พัชรี แสงจันทร์

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก (climate change) ซึ่งกำลังเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ส่งผลให้โลกร้อนขึ้น (global warming) ถูกคาดการณ์ว่าจะส่งผลกระทบต่อธรรมชาติ ระบบนิเวศ มนุษย์ และสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม ภาคเกษตรกรรมของโลกซึ่งเกี่ยวข้องกับคนจนโดยตรงก็จะถูกผลกระทบไปด้วย (FAO, 1997)

ในปัจจุบันประชาคมโลกได้ให้ความสนใจกับก๊าซมีเทน (methane, CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญรองจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide, CO_2) (IPCC, 1992) มากกว่า 90 % ของพื้นที่ปลูกข้าวของโลกอยู่ในทวีปเอเชีย ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ออกส่วนใหญ่วัสดุปลูกข้าวในพื้นที่ชลประทาน เฉพาะในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ปลูกข้าวในพื้นที่ชลประทานถึง 40 % (IRRI, 1991) หรือ 26 % ของพื้นที่ปลูกข้าวทั่วโลก (FAO, 1994) ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวเป็นอันดับสองรองจากอินโดนีเซีย

การศึกษาการปล่อย CH_4 จากนาข้าวในประเทศไทยทำกันแล้วในสถานีทดลองข้าวในเกือบทุกภาคทั่วประเทศ (นิวัติและคณะ, 2542; Yagi et al., 1994; Jernsawatdipong et al., 1994; Katoh et al., 1999 a and b) ปริมาณ CH_4 ทั้งหมดที่ปล่อยออกตลอดฤดูปลูกจากดินนา fresh water alluvial อยู่ในช่วง 4 ถึง 59 gC m^{-2} จากดินนาเปรี้ยว (acid sulfate paddy fields) อยู่ในช่วง 0.6 ถึง 17 gC m^{-2} และจากดินนาลุ่ม (low humic gley paddy fields) อยู่ในช่วง 21 ถึง 35 gC m^{-2} (Jernsawatdipong et al., 1994) ในขณะที่นาข้าวขึ้นน้ำปล่อย CH_4 10 gC m^{-2} (นิวัติและคณะ, 2542)

มาตรการในการลดการปล่อย CH_4 จากนาข้าว ได้แก่ การจัดการน้ำ อินทรีย์วัตถุ และปุ๋ย (Buendia et al., 1996; Corton et al., 2000; Sass et al., 1992 และ Wang et al., 1996) เทคโนโลยีที่จะใช้ควบคุมเพื่อลดการปล่อย CH_4 จากนาข้าวต้องไม่กระทบต่อผลผลิตข้าว (Buendia et al., 1996) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (organic manure) ร่วมกับการระบายน้ำออกในบางช่วงเป็นมาตรการที่เป็นไปได้ (feasible strategy) ในการลด CH_4 แต่สามารถรักษาสผลผลิตข้าวได้ (Wang et al., 1996) มาตรการในการลด CH_4 ต้องทำควบคู่กับการเพิ่มผลผลิตข้าวต่อหน่วยพื้นที่ด้วย (Corton et al., 2000)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือติดตามวัดปริมาณการปลดปล่อย CH_4 จากนาข้าวเกษตรกรรมบนดินที่ต่างกันที่มีวิธีการปลูกต่างกับข้าวเหนียวและข้าวเจ้าในพื้นที่นาชลประทานและน่าน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและหาแนวทางลดการปล่อย CH_4 จากนาข้าวโดยใช้เทคโนโลยีเกษตรกร

วิธีการวิจัย

การทดลองในนาเกษตรกร

ดินทดลอง

การวิจัยเป็นการให้ได้มาซึ่งตัวเลข CH_4 emission inventory จากนาข้าวเกษตรกรที่ทำนาบนดินชนิดต่าง ๆ เพื่อเป็นตัวแทนของนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงได้กำหนดตำแหน่ง (location) ให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่นาลุ่ม (flood plain) (Hydromorphic Alluvial soil) ซึ่งเป็นตัวแทนดินนาเนื้อละเอียด (fine-texture) โดยที่ชุดดินราชบุรี (Ratchaburi series) ถูกเลือกทำการทดลองวัด CH_4 ดินนาราชบุรีมีเนื้อที่ 0.17 ล้านเฮกตาร์ สามารถใช้เป็นตัวแทนนาลุ่มของภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีทั้งหมด 0.90 ล้านเฮกตาร์ (ชุดดินราชบุรี, ชุดดินพิมาย, ชุดดินศรีสงคราม และ Alluvial complex) ในขณะที่พื้นที่นาส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีกำเนิดบนลานตะพักขั้นต่ำ (low terrace) (Low Humic Grey soil) ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินปานกลาง (medium - texture) ในการทดลองนี้ได้เลือกดินนาร้อยเอ็ดซึ่งมีพื้นที่ 3.51 ล้านเฮกตาร์ สามารถใช้เป็นตัวแทนนาส่วนใหญ่ที่เป็นชุดดินร้อยเอ็ด ชุดดินท่าตูม และชุดดินเรณู ซึ่งมีพื้นที่รวม 3.84 ล้านเฮกตาร์ ส่วนดินนาเค็มที่เกษตรกรปลูกข้าวโดยปกติจะพบคราบเกลือ (salt patches) ในฤดูแล้ง แต่จะสามารถทำนาได้ในฤดูฝนและถูกจัดให้เป็น slightly salt-affected soil และเป็นดินนาเค็มที่อยู่ในชุดดินร้อยเอ็ด (Roiet series, saline phase) มีเนื้อที่ 2.02 ล้านเฮกตาร์ (Panichapong, 1988; Arunin, 1983) ที่ตั้งเชิงภูมิศาสตร์ การจำแนกดิน คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินนาราชบุรีและดินนาร้อยเอ็ดที่ใช้ทดลองวัด CH_4 จากนาเกษตรกรได้แสดงไว้ใน Table 1.1 – 1.4 และของดินนาเค็มร้อยเอ็ดแสดงไว้ใน Table 1.5

ดินนาราชบุรีมีคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนี้ การระบายน้ำเลว (poorly drained) ซึ่งจะพบว่าในฤดูฝนจะมีน้ำท่วมขัง (stagnant water) ติดต่อกันเป็นเวลานานหลายเดือน ความจุในการอุ้มน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ซึ่งลักษณะข้างต้นเมื่อเทียบกับดินนาร้อยเอ็ดและดินนาเค็มแล้ว ดิน 2 ชนิดหลังมีการระบายน้ำเลว แต่มีน้ำขังเป็นบางช่วงในฤดูฝน ความจุในการอุ้มน้ำต่ำ ความอุดมสมบูรณ์ของดินร้อยเอ็ดและดินเค็มร้อยเอ็ดต่ำมากทั้งนี้เพราะมีปริมาณ clay และอินทรีย์วัตถุที่ชั้นดินบนต่ำ ดินนาราชบุรีมี oxidizing capacity (ปริมาณ MnO_2 และ Fe_2O_3) สูงกว่าของดินนาร้อยเอ็ดและดินนาเค็มร้อยเอ็ด ดินนาเค็มร้อยเอ็ดมีค่าการนำไฟฟ้า 0.44-0.47 mS/cm ในดินชั้นบน (เก็บตัวอย่าง 22 พฤษภาคม 2544) แต่ในฤดูร้อน(เดือนมีนาคม)จะพบ salt patches ซึ่งเป็นลักษณะพื้นฐานของดินเค็มและค่า EC ใน salt patches สูงถึง 17-20 mS/cm ในดินนาเค็มร้อยเอ็ดความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก oxidizing และ reducing capacity ของดินต่ำมากเช่นกัน (Table 1.5)

ฤดูปลูกและคาร์บทดลอง

พื้นที่นาส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นนาข้าวฝน (rainfed) มีพื้นที่ 5.296 ล้านเฮกตาร์ หรือ 87.4 % ของพื้นที่นาทั้งหมดในภาค นาบางส่วนเป็นนาชลประทานมีพื้นที่ 0.768 ล้านเฮกตาร์ หรือ 12.6 % ของพื้นที่นาทั้งหมดในภาคและปลูกข้าวได้ 2 ครั้ง (นาปีและนาปรัง) เกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทำทั้งนาดำและนาหว่านและนิยมปลูกข้าว 2 ชนิดโดยปลูกข้าวเหนียวไว้บริโภคในครัวเรือนและปลูกข้าวเจ้าไว้สำหรับขาย โดยพันธุ์ข้าวจะขึ้นกับฤดูปลูกทั้งนี้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (RD 6) และข้าวเจ้าขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) นิยมปลูกในฤดูนาปี ในขณะที่ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 (RD 10) และข้าวเจ้าชัยนาท 1 (CNT 1) นิยมปลูกในฤดูนาปรัง ภาพรวมงานวิจัยทั้งโครงการประกอบด้วยชุดดิน การปลูกข้าว พันธุ์ข้าว ซึ่งปลูกในฤดูนาปีและนาปรังทั้งในพื้นที่ชลประทานและพื้นที่อาศัยน้ำฝนได้แสดงไว้ใน Table 2 โดยที่นาปี 1999 ทำการวัดก๊าซ CH_4 ในนา 2

แห่ง รวม 8 แปลง (กระทรงนา) ส่วนในนาปี 2000, นาปี 2000, นาปี 2001, และนาปี 2001 ทำการวัดก๊าซในนาฤดูปลูกละ 3 แห่ง รวมฤดูละ 10 แปลง โดยที่ในฤดูนาปี 2001 ได้เน้นงานการวัด CH_4 จากนาดินเค็ม 2 แห่ง และในนาดินไม่เค็ม 1 แห่ง รวมทั้งโครงการมีผลการวัด CH_4 จาก 48 แปลง ขนาดของแปลงขึ้นกับกระทรงนา แปลงมีขนาดตั้งแต่ 800 m^2 ถึง 2 ไร่

การวิจัยนี้เน้นการวัด CH_4 จากนาเกษตรกร ลักษณะงานจึงเป็น actual trail (on site cultivation and management practices) ไม่ได้วางแผนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของปัจจัยต่างๆต่อการปลดปล่อย CH_4 ทางสถิติ

การเก็บตัวอย่างก๊าซ

เก็บตัวอย่างก๊าซจากทุกตำรับแปลงอย่างน้อยสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ยกเว้นในฤดูปลูกนาปี 1999 ที่เก็บสัปดาห์ละ 1 ครั้ง วิธีการเก็บเป็นแบบ closed chamber โดยที่ gas chamber มี 3 ส่วนที่ตั้งซ้อนกันได้สนิทเวลาใช้งาน แต่เวลาเก็บและขนย้ายสามารถครอบกันได้ ซึ่งทำด้วยแผ่นใส acrylic fiber หนา 5 มม ขนาดของ chamber ส่วนฐาน $60 \times 60 \times 45.5$ ซม ส่วนกลาง $58 \times 58 \times 42.5$ ซม และส่วนบน $56 \times 56 \times 40$ ซม โดยส่วนฐานและส่วนกลางมีขอบบนเป็นรางน้ำ ส่วนบนติดพัดลมเล็ก และมีที่เสียบเทอร์โมมิเตอร์และ septum สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซ โดยที่ถ้าต้นข้าวยังไม่สูงมากจะใช้แต่ส่วนบนครอบฐานของ chamber แต่ถ้าต้นข้าวสูงมากจะใช้ส่วนกลางและส่วนบนด้วยตามความสูงของต้นข้าว ในแต่ละแปลงติดตั้งด้วยฐาน chamber 3 จุด สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซ 3 ซ้ำ ใช้ syringe เก็บก๊าซปริมาตร 10 cc ทุก 5 นาทีที่เวลา 0, 5, 10, 15 และ 20 นาที ขณะเดียวกันวัดอุณหภูมิใน chamber และวัดความสูงของน้ำขังในนา (IRRI, 1996)

การวิเคราะห์ก๊าซมีเทน

วิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas chromatograph ที่ติดตั้งด้วย detector แบบ Flame Ionization Detector (FID) ที่จุดด้วยก๊าซ H_2 ใช้ก๊าซ He เป็น carrier gas อุณหภูมิ FID และ Injection port 100°C ส่วนอุณหภูมิของ column ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่บรรจุในฤดูที่ใช้ column ที่บรรจุด้วย Molecular Sieve 5A ตั้งอุณหภูมิที่ 80°C ส่วนฤดูที่ใช้ column ที่บรรจุด้วย Polapack N ตั้งอุณหภูมิที่ 60°C เมื่อขึ้นฤดูใหม่จะเปลี่ยน column พร้อมกับทำ calibration line ใหม่กับ standard CH_4 ที่รู้ความเข้มข้น 2 ตัว ใช้ standard 1 cc ความสัมพันธ์ระหว่าง peak area กับค่าความเข้มข้นเป็นแบบ linear ที่ให้ค่า $R^2 = 0.999$

ตัวอย่างก๊าซที่เก็บมาจากแปลงนา จะฉีดด้วย gas tight syringe ขนาด 1 cc โดยที่ฉีดทุกตัวอย่างให้เสร็จภายในวันที่เก็บก๊าซ (ไม่ข้ามคืน) คำนวณค่า slope ของความเข้มข้น CH_4 จากตัวอย่างที่เก็บทุก 5 นาทีกับเวลา (dc/dt) และคำนวณค่า R^2 ด้วยทุกครั้ง ค่า R^2 ควรได้ใกล้ 0.99 คำนวณหาค่า CH_4 emission rate ในหน่วยของ $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ จะได้ 3 ค่าต่อตำรับ แต่ใช้ค่า mean เป็นตัวแทนแต่ละตำรับ (IRRI, 1996)

การเสนอข้อมูลก๊าซมีเทน

1. อัตราปล่อยตลอดฤดูปลูกแสดงเป็นกราฟเส้น plot ระหว่างอายุข้าวหลังดำ (หรือหลังหว่าน) กับอัตราปล่อย CH_4 (CH_4 emission rate, $\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) แสดงตั้งแต่วันที่เก็บตัวอย่างก๊าซจนถึงวันสุดท้าย (วันเก็บเกี่ยว)

2. ปริมาณก๊าซ CH_4 ที่ปล่อยจากนาตลอดการวัดต่อฤดู (Total CH_4 emission) คำนวณโดยการ integrate พื้นที่ใต้ curve จากวันที่เก็บตัวอย่างถึงวันสุดท้ายหน่วยเป็น $\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2}$

3. ค่าเฉลี่ยอัตราปล่อย CH_4 (Average CH_4 emission rate) ได้จาก Total CH_4 emissionหารด้วยจำนวนวันจากวันแรกที่วัดก๊าซ จนถึงวันสุดท้าย หน่วยเป็น $\text{mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (หรือ Daily CH_4 emission) และเมื่อหารต่อด้วย 24 ได้หน่วยเป็น $\text{mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (hourly CH_4 emission)

4. ปริมาณ CH_4 ต่อหน่วยผลผลิตข้าว ได้จาก Total CH_4 emission หารด้วยผลผลิตข้าวที่ได้จากพื้นที่เท่ากัน หน่วยเป็น $\text{gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$

การเก็บข้อมูลการจัดการนา

เกษตรกรบันทึกทุกอย่างที่ทำลงในแบบฟอร์มที่โครงการแจกให้ ประกอบด้วย วันที่ที่จัดการ ความสูงของน้ำในนา การใส่ปุ๋ย ให้ระบุชนิดและอัตราต่อพื้นที่ การใช้สารกำจัดแมลง สารกำจัดโรคพืช สารกำจัดวัชพืช สารกำจัดหอย การท่อน้ำเข้านา เหล่านี้เป็นการจัดการโดยเกษตรกรตามที่พวกเขาเคยชิน ตารางแสดงการจัดการนาในแต่ละแห่งแสดงไว้ใน Table 3.1 ถึง 3.14

การเก็บข้อมูลข้าว

ท้ายฤดูปลูกทำการเก็บเกี่ยวเพื่อหาผลผลิตข้าวที่ความชื้น 14 % น้ำหนักแห้งต้นข้าวและน้ำหนักรากต่อพื้นที่ โดยเก็บจากพื้นที่ $2 \times 2 \text{ m}^2$ สำหรับหาผลผลิตและน้ำหนักต้นข้าว ส่วนน้ำหนักรากหาจากพื้นที่ 1 m^2 แต่แปลงเก็บ 3 ซ้ำ

ผลการทดลอง

1. ผลการวัด CH_4 emission ในนาปีชลประทาน 1999

ชุดดินราชบุรี (Figure 1, a, b, c และ d)

นาพื้นที่(ชุดดินราชบุรี)เกษตรกรได้ขุดหน้าดินออกให้ลึกลงอีก 20 ซม.ทำให้สามารถเก็บน้ำได้มากตลอดฤดูปลูกแสดงให้เห็นว่าเป็นสภาพความชื้นในดิน (moisture regime) แบบ continuously flooded Figure 1, a, b และ c แสดง flux ของ CH_4 ที่ปล่อยออกจากดินราชบุรีแปลงนาดำ กข 6 นาข้าวดอกมะลิ 105 และนาหว่าน กข 6 ค่อยๆเพิ่มขึ้นจาก $0.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ในระยะแรกดำ และเพิ่มถึงประมาณ $10.16 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ในระยะข้าวสุกแก่ จะเห็นว่าช่วงตัวเลขของ CH_4 ที่วัดได้มีค่าต่ำมากสำหรับ 3 แปลง ในขณะที่ค่า CH_4 ที่ปล่อยออกจากแปลงนาหว่านข้าวดอกมะลิ 105 (Figure 1, d) มีปริมาณ CH_4 ปล่อยออกมากกว่าทุกแปลงของดินราชบุรี ทั้งนี้คาดว่าแปลงนี้มีปริมาณ readily mineralizable organic carbon (RMC) มากกว่าทุกแปลง ซึ่งคาดว่าเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของการไถและการคราดพื้นนาทำให้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมในแปลงนี้ ซึ่งความไม่สม่ำเสมอเช่นนี้เกิดขึ้นได้ในนาเกษตรกร ในปลายเดือนตุลาคมเกษตรกรระบายน้ำออกทั้ง 4 แปลงแต่ดินยังอยู่ในสภาพ anaerobic จึงพบว่ามี CH_4 ปล่อยออกในวันเก็บเกี่ยว (Figure 1, a และ b) แต่ในแปลงนาหว่าน (Figure 1, c และ d) น้ำในดินแห้งสนิทจึงพบ CH_4 เป็นศูนย์ในวันเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม CH_4 flux จากดินนาราชบุรีจัดได้ว่ามีค่าต่ำมากตลอดฤดูปลูก

ชุดดินร้อยเอ็ด (Figure 2, a, b, c และ d)

ในดินร้อยเอ็ดซึ่งเป็นดินร่วนปนทรายจะเก็บน้ำได้ไม่ค่อยดี ปริมาณน้ำขังในนาจึงไม่สม่ำเสมอ แต่สามารถจัดสภาพความชื้นของดินเป็นแบบ continuously flooded ที่ค่อนข้างไปทาง intermittently flooded (Figure 2, a, b, c และ d) ในดินนาร้อยเอ็ดพื้นที่เกษตรกรได้ไถกลบวัชพืชสด ประกอบด้วยผักนึ่ง (*Impomoea aquatica*) เป็นส่วนมากและกกบางชนิด ซึ่งขึ้นกันอย่างหนาแน่นมากโดยเฉพาะผักนึ่ง เมื่อนาน้ำหนักสดของวัชพืชดังกล่าวในพื้นที่ต่างๆกันพบว่ามากถึง 18.2 ตันน้ำหนักสดต่อไร่ หรือ 3.2 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ และเกษตรกรได้ไถกลบวัชพืชสดในระหว่างเตรียมดิน ดังนั้นแนวโน้มการปล่อย CH_4 จากดินนาร้อยเอ็ดพื้นที่จึงค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในระยะเริ่มต้นฤดูปลูก เป็นการเปลี่ยนการใช้ที่ดิน (land use) จากนาผักนึ่งเป็นนาข้าว

ในนาดำ กข 6 (Figure 2, a) ในระยะหลังปักดำการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ (ไถกลบพืชสด) เกิดขึ้นรุนแรงและเป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณและอัตราปล่อย CH_4 เกิดขึ้นสูงมาก $121.1 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ตั้งแต่วันแรกที่ปักดำ แล้วลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งหมดอิทธิพลของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุอัตราปล่อย CH_4 จึงอยู่ในระดับต่ำเมื่ออายุข้าว 38 วันหลังดำ (DAT) และ CH_4 จะเริ่มปล่อยสูงขึ้นในช่วงกลางเดือนกันยายนถึงกลางเดือนตุลาคมเมื่อต้นข้าวเข้าระยะ reproductive stage

ปริมาณ CH_4 จากแปลงนาข้าวดอกมะลิ 105 (Figure 2, b) มีลักษณะคล้ายกับของแปลงนาดำ กข 6 เพียงแต่ความรุนแรงของอิทธิพลของอินทรีย์วัตถุในระยะแรกปักดำมีน้อยกว่าเล็กน้อย ในแปลงนาดำ กข 6 มีช่วงดินแห้ง (aeration) จาก 52 – 60 วัน (Figure 1, a) ในขณะที่ในแปลงนาข้าวดอกมะลิ 105 มีช่วงดินแห้ง 2 ช่วงจาก 27-36 วันและจาก 55-65 วันซึ่งพบว่าดินแห้ง 2 ช่วงทำให้ปริมาณ CH_4 ทั้งหมดลดลง 57.8 % เมื่อเทียบกับของดินแห้ง 1 ช่วง

Figure 2, c และ d แสดงอัตราปล่อย CH_4 จากแปลงนาหว่าน กข 6 และนาหว่านข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งจะพบว่าอัตราปล่อย CH_4 ในระยะแรกหลังการหว่านเมล็ดข้าวนั้นต่ำกว่าของนาดำ โดยลดลงจาก $50 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

ในวันแรกหว่าน (DAB) ทั้งนี้เพราะในกระบวนการทำนาหว่านน้ำตม้น หลังการหว่านเมล็ดข้าวจะยังไม่ปล่อยน้ำเข้านาจนกว่าข้าวจะสูงอย่างน้อย 10 ซม. จึงทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัวในสภาพทั้ง aerobic และทำให้ปริมาณ อัตราปล่อย CH_4 ออกมาน้อยกว่านาดำ ซึ่งพบว่าปริมาณ CH_4 ในนาหว่านลดลง 77.6 % และ 69.9 % เมื่อเทียบกับในนาดำ กข 6 และข้าวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ

เป็นที่น่าสังเกตว่าทุกแปลงจะมีอัตราปล่อย CH_4 ปล่อยออกมากขึ้นในช่วง reproductive stage (กลางเดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม) ในนาชุดดินร้อยเอ็ดนี้เกษตรกรปล่อยน้ำออกกลางเดือนตุลาคม จะเห็นว่าปริมาณ CH_4 ลดลงอย่างชัดเจน (Figure 2, a, b, c และ d)

2. ผลการวัด CH_4 emission จากนาปริมณฑลประทาน 2000

ชุดดินราชบุรี (Figure 3, a, b, c และ d)

ที่นาทั้ง 4 แปลงนี้ได้รับการไถกลบซากต้นข้าวและตอซึ่งที่เหลือจากนาปี จึงพบว่า โดยทั่วไป CH_4 ที่ปล่อยออกของนาปริมณฑลประทานจะมากกว่าของนาปีชลประทาน สภาพน้ำในนาดำ กข 10 (Figure 3, a) มีน้ำตลอดฤดูปลูก อัตราการปล่อย CH_4 จะเริ่มจาก $4.80 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ และอัตราปล่อยก่อนข้าวเริ่มออกรวงในช่วง 8.29 - $12.63 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ตลอดช่วง vegetative stage จนกระทั่งถึง 52 วัน และเมื่อข้าวเข้าระยะออกรวง (heading) พบว่านาดำ กข 10 ปล่อยก๊าซ CH_4 มากขึ้นได้ถึง $39.59 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ เพราะว่าการเจริญเติบโตของข้าว กข 10 แปลงนี้ค่อนข้างดี จึงพบ CH_4 ปล่อยออกมากตลอดระยะออกรวง (65-75 วัน) (Figure 3, a) นอกจากนั้นระยะข้าวสุกแก่ (ripening) ของนาดำ กข 10 (80-97วัน) ยังพบ peak ของ CH_4 เพราะความชื้นในดินยังคงมีอยู่มากพอที่ค่า Eh ของดินยังต่ำอยู่ นั่นคือดินยังอยู่ในสภาพ strong reductive และเมื่อเข้าระยะเก็บเกี่ยวอัตราปล่อย CH_4 ที่วัดได้ลดลง ในขณะที่นาดำชัยนาท 1 ไม่พบ peak CH_4 ในระยะ reproductive stage (Figure 3, b) ทั้งนี้เพราะเมื่อเข้า 68 วัน น้ำในแปลงนี้มีน้อย เมื่อเข้า 74 วันดินเริ่มแห้งปริมาณ CH_4 ลดลงอย่างชัดเจน เพราะดินถูก oxidized ดังนั้นระหว่าง Figure 3, a และ b พหุจะกล่าวได้ว่าถ้าจำนวนวันที่ซึ่งน้ำมีน้อยวันจาก 92 วันเหลือ 70 วันจะช่วยลด average CH_4 flux จาก 13.21 เป็น $5.5 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ หรือ 58.4 %

Figure 3, c ปริมาณน้ำในนาหว่าน กข 10 สูงตลอดฤดู สภาพน้ำเป็นแบบ continuous flooding ตลอด โดยทั่วไปอัตราปล่อย CH_4 มีค่าต่ำ แต่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจาก $2.32 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ จนเข้าอายุ 65 วัน เมื่อหลัง 70 วันอัตราการปล่อยจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตลอด reproductive stage หลังระยะ heading (85 วัน) อัตราปล่อยยังเห็นชัดเพราะมีน้ำขังในนา แต่เมื่อเข้าระยะเก็บเกี่ยว อัตราปล่อย CH_4 จะลดลงอย่างรวดเร็ว

ส่วนในนาหว่านชัยนาท 1 (Figure 3, d) อัตราปล่อย CH_4 จะต่ำมากตลอดฤดู ระยะแรกน้ำในนามีน้อยปริมาณ CH_4 จึงต่ำซึ่งเป็นลักษณะของน้ำในนาหว่าน แต่แม้ว่าหลัง 30 วันปริมาณน้ำจะขังมากขึ้นก็ตามอัตราการปล่อย CH_4 ยังคงต่ำอยู่ อัตราปล่อยค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงอายุ 106 วันปล่อย CH_4 เพียง $8.01 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ แล้ว CH_4 ลดลงเนื่องจากปริมาณน้ำขังลดลงจนเข้าระยะเก็บเกี่ยว เมื่อพิจารณาระหว่าง Figure 3, c และ d พหุจะกล่าวได้ว่าชัยนาท 1 สามารถปล่อย CH_4 ได้น้อยกว่า กข 10

ชุดดินร้อยเอ็ด (Figure 4, a, b, c, d และ Figure 5, a, b)

ที่นาทั้ง 6 แปลงนี้มีการเผาตอซังและตามด้วยไถกลบ ใน 6 แปลงนี้แม้ว่าระยะแรกน้ำขังน้อยแต่สภาพน้ำเป็นแบบ Continuously flooded จนถึงระยะข้าวแก่จึงระบายน้ำออก ในนาดำ กข 10 พบว่าอัตราการปล่อย CH_4 จะสม่ำเสมอแต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวันแรกปักดำ (Figure 4, a) และจะพบอัตราการปล่อยสูงขึ้นเมื่ออายุข้าว 70-77 วัน ซึ่งปล่อย CH_4 ได้สูงสุด $38 \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ซึ่งเป็นระยะพลับพลึง (yellow ripening)

และเมื่อระบายน้ำออกปริมาณ CH_4 จึงลดลงอย่างรวดเร็วจนต่ำมาก ในนาดำชัยนาท 1 (Figure 4, b) อัตราการปล่อย CH_4 จะคล้ายกับนาดำ กข 10 และระยะ reproductive stage (ช่วงอายุ 62-88 วัน) มีแนวโน้มว่าอัตราปล่อย CH_4 มากขึ้นเล็กน้อยถึงประมาณ $17.89 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

ในแปลงนาหว่าน กข 10 (Figure 4, c) พบว่าอัตราปล่อยเพิ่มขึ้นจาก 0.75 จนถึง $13.57 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ภายใน 2 สัปดาห์แล้วจึงค่อยลดลงจนอายุข้าวได้ 37 วัน ซึ่งลักษณะการปล่อย CH_4 ในช่วง 37 วันแรกนี้คล้ายกับมีปริมาณ readily mineralization carbon (RMC) ในแปลงนี้มากกว่าแปลงอื่น จากการไถกลบครั้งแรกวันที่ 4 มกราคม 2543 และดินมีความชื้นมากพบว่าในช่วง 36 วันมีหญ้าขึ้นมากแล้วเกษตรกรทำการไถกลบครั้งที่ 2 จึงวิเคราะห์ดินก่อนหว่านและพบว่า RMC $102 \text{ mgC/100 g soil}$ ในขณะที่แปลงอื่นของชุดดินร้อยเอ็ดในระยะแรกได้ organic carbon จากขี้เถ้าจากการเผาตอซัง ใน Figure 4, d พบว่าอัตราปล่อย CH_4 ในนาหว่านชัยนาท 1 ต่ำมากแต่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วง 41 วันแรก โดยอัตราปล่อยเพิ่มขึ้นจนถึง $8.02 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ช่วง reproductive stage ของนาหว่าน กข 10 และนาหว่านชัยนาท 1 จะพบว่าอัตราปล่อย CH_4 เพิ่มขึ้นแม้ว่าจะขึ้นๆ ลงๆ ก็ตาม สำหรับนาหว่านนั่นต้นข้าวอยู่ในนาค่อนข้างนานคือ 113 ถึง 118 วัน และเมื่อเข้าระยะ maturity เกษตรกรจะปล่อยน้ำออกทำให้ CH_4 ลดลงทันที (Figure 4, a, b, c, และ d)

นาปังชลประทานตัวแทนชุดดินร้อยเอ็ดที่บ้านนางาม (Figure 5, a และ b) ลักษณะการปล่อยออก CH_4 จากนาดำ กข 10 (Figure 5, a) จะต่ำกว่าของนาดำชัยนาท 1 (Figure 5, b) เนื่องจากแปลงนาดำ กข 10 ชักน้ำได้น้อยกว่าแปลงนาดำชัยนาท 1

3. ผลการวัด CH_4 emission จากนาปีน้ำฝน 2000

ชุดดินราชบุรี (Figure 6, a, b, c และ d)

พบว่าการปล่อย CH_4 ในระยะแรก (ประมาณ 30 วันหลังปลูก) มีค่าอยู่ในช่วง $0.84 - 7.00 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ และ $1.63 - 13.66 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ จากนาดำ กข 6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ (Figure 6, a และ b) ในขณะที่นาหว่านก็ให้ผลคล้ายๆ กัน คือ $0.47 - 5.19 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ และ $0.68 - 10.60 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ สำหรับนาหว่าน กข 6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ (Figure 6, c และ d) สาเหตุการปล่อย CH_4 ที่ค่อนข้างต่ำในระยะแรกนี้เพราะว่าวัชพืชที่ถูกไถกลบในระหว่างเตรียมดินได้สลายตัวไปแล้วก่อนหน้าที่จะมีการปลูก

นาดินเหนียวที่บ้านหนองโพธิ์เกิดน้ำท่วมสูงเกินยอดต้นข้าวระหว่างวันที่ 13 กันยายน ถึง วันที่ 10 ตุลาคม 2543 เป็นเวลานาน 28 วัน ทำให้ต้นข้าวตาย แต่คณะวิจัยยังสนใจออกไปวัดอัตราการปล่อย CH_4 ต่อ เพราะต้องการทราบอัตราปล่อย CH_4 จากการสลายตัวของซากต้นข้าวที่ตายหลังน้ำลด พบว่ามี peak ของ CH_4 ใกล้เคียงกัน คือ $9.26, 12.76, 7.06$ และ $9.73 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ จากแปลงนาดำ กข 6 นาดำขาวดอกมะลิ 105 นาหว่าน กข 6 และ นาหว่านขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ

ผลการศึกษา CH_4 emission จากนาดินเหนียวชุดดินราชบุรี ที่บ้านหนองโพธิ์ สามารถใช้เป็นตัวแทนของนาชุดดินราชบุรีที่ถูกน้ำท่วมหนักสำหรับนาปีน้ำฝนปี 2543 เท่านั้น

ชุดดินร้อยเอ็ด (Figure 7, a, b, c, และ d และ Figure 8, a, และ b)

สภาพน้ำในนาดินร่วนนี้จัดว่าดีตั้งแต่ก่อนปลูกจนถึงก่อนเก็บเกี่ยว ในนาดำระยะแรก (ประมาณ 30 วัน) จะพบอัตราการปล่อย CH_4 ค่อยๆ เพิ่มขึ้นลักษณะเป็นเนิน (broad shoulder) แต่ไม่สม่ำเสมอ อยู่ในช่วง $4.07 - 28.24 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ สำหรับนาดำ กข 6 (Figure 7, a) และ $11.22 - 24.81 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ สำหรับนาดำขาวดอกมะลิ 105 (Figure 7, b) และทั้ง 2 แปลง จะปล่อย CH_4 ค่อนข้างสม่ำเสมอจนถึงระยะออกรวง

(heading) ซึ่งจะมี peak สูง $23.52 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ สำหรับนาดำ กข 6 และ $19.12 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ สำหรับนาดำขาวดอกมะลิ 105 (Figure 7, a และ b) ปลายเดือนตุลาคม 2543 ในนาดำดินแห้งปริมาณ CH_4 ต่ำมากจนเกือบเป็นศูนย์ตลอดระยะสุกแก่ (ripening)

ในนาหว่านของนาดินร่วน พบว่ามี peak ของ CH_4 สูงในช่วง 20 วันแรก ทั้งนี้ นาหว่าน กข 6 ปล่อย CH_4 สูงสุด $39.44 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ที่ 13 วัน (Figure 7, c) และในนาหว่านขาวดอกมะลิ 105 ปล่อย CH_4 สูงสุด $70.615 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ที่ 11 วัน (Figure 7, d) ซึ่งเป็นผลจากการเตรียมดิน โกลบวัชพืชสดตามด้วยคราด และหว่านเมล็ดข้าวทันที

เกษตรกรโกลบวัชพืชสดในนาและตามด้วยการปลูกทำให้อิทธิพลของอินทรีย์วัตถุที่มีต่อปริมาณ CH_4 ทั้งหมด พบว่าค่อนข้างมาก คือ 27.53 และ 42.88 % ในนาหว่าน กข 6 และขาวดอกมะลิ 105 (Figure 7, c และ d) หลังจากนั้นอัตราการปล่อย CH_4 ทั้ง 2 แปลง ปล่อยออกไม่ค่อยสม่ำเสมอ และอยู่ในช่วงที่ต่ำถึงปานกลางในระยะออกรวง (heading) อัตราการปล่อยต่ำลงมากจนเป็นศูนย์ เพราะสภาพดินแห้งตลอดระยะข้าวสุกแก่

นาปีน้ำฝนบนดินร่วนชุดดินร่อยเอ็ดที่บ้านกุดกว้างพบว่าสภาพน้ำในดินเป็นแบบน้ำขังเล็กน้อยถึงดินแห้งเพราะขังน้ำไม่อยู่ (Figure 8, a และ b) นาดำ กข 6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ปล่อย CH_4 ออกมาตั้งแต่ระยะแรกดำในช่วง 20 วัน อัตราปล่อย CH_4 ขึ้นสูง $86.42 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ และ $75.19 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ คิดเป็น 71.56 และ 68.70 % ของปริมาณ CH_4 ทั้งหมดในนาดำ กข 6 และขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ (Figure 8, a และ b) ทั้ง 2 แปลงปล่อย CH_4 ออกตามสภาพน้ำในดิน ช่วงข้าว อายุ 30 – 70 วัน มีอัตราการปล่อยระดับหนึ่ง และหลังจากนั้นน้ำในนาแห้ง (ดินแห้ง, aeration) อัตราปล่อยต่ำมากจนเป็นศูนย์จนถึงวันเก็บเกี่ยว เป็นที่น่าสังเกตแม้ว่าปริมาณน้ำในนาที่บ้านกุดกว้างไม่มากและอัตราการปล่อย CH_4 หลังจากอายุข้าว 20 วันจะต่ำตลอด และผลของการโกลบวัชพืชสดมีอิทธิพลต่อการปล่อย CH_4 สูงมาก

4. ผลการวัด CH_4 emission จากนาปราง 2001

ชุดดินราชบุรี (Figure 9, a, b, c, และ d)

ในทุกแปลงของดินราชบุรีแปลงนาดำ กข 10, นาดำชัยนาท 1, นาหว่าน กข 10 และนาหว่านชัยนาท 1 มีอัตราปล่อย CH_4 ต่ำมากในระยะแรกดำและหลังหว่าน อัตราปล่อย CH_4 ต่ำตลอดระยะการเจริญเติบโตทาง vegetative จนถึง maximum tillering ในนาดำทั้ง กข. 10 และชัยนาท 1 ในระยะ heading (ข้าวออกรวง) จะมีอัตราปล่อย CH_4 สูงขึ้นได้ถึง 27.99 และ $31.79 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figure 9, a และ b) โดยทั่วไปใน 2 แปลงนี้เกษตรกรรักษาระดับน้ำไว้ในช่วง 0 – 10 ซม. แต่ในนาดำชัยนาท 1 ช่วง 57 – 65 วันหลังดำไม่มีน้ำขัง (Figure 9, b) ก็ยังพบ CH_4 ปล่อยออกเนื่องจากน้ำใต้ดินสูงเพราะเป็นนาลุ่มใกล้คลองน้ำธรรมชาติ ในขณะที่นาหว่านของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ก็พบ peak CH_4 ในระยะ heading เช่นกันแต่อัตราปล่อยจะต่ำกว่า (Figure 9, c และ d) ในนาหว่านชัยนาท 1 แม้ว่าน้ำขังที่ 79 วันจะแห้งแต่ความชื้นจากน้ำใต้ดินช่วยให้เกิด CH_4 (Figure 9, d) เพราะว่าการตั้งของแปลงนาปรางราชบุรีนี้เป็นนาลุ่ม

เมื่อน้ำในโปรไฟล์ดินในระดับ root zone แห้งก็จะพบว่าไม่มี CH_4 เกิดขึ้นค่าเป็นศูนย์ ซึ่งพบในระยะข้าวสุกแก่ เมื่ออายุข้าวเกิน 70 วันสำหรับนาดำ (Figure 9, a และ b) และ 101 วันสำหรับข้าวนาหว่าน (Figure 9, c และ d) จะเห็นว่าในชุดดินราชบุรีอิทธิพลของดินข้าวในระยะ reproductive มีผลต่ออัตราปล่อย CH_4 อย่างชัดเจนในฤดูนาปรางปี 2001

ชุดดินร้อยเอ็ด (Figure 10, a, b, c, d และ Figure 11, a, b)

ในนาดำของข้าวทั้งสองพันธุ์มีสภาพน้ำขังตลอดฤดูปลูกแบบ continuously flooded อัตราปล่อย CH_4 ต่ำถึงปานกลางคล้ายกันมากตั้งแต่วันแรกดำถึงวันเก็บเกี่ยว (Figure 10, a และ b) เกษตรกรระบายน้ำออกเมื่อข้าวอายุ 72 วัน หลังดำแต่ก็พบ peak ของ CH_4 สูงอย่างชัดเจนแล้วจึงลดลงเป็นศูนย์

ในนาหว่านของข้าวทั้งสองพันธุ์ ในช่วงที่กล้าตั้งตัวหลังหว่านนั้นจะพบว่าอัตราปล่อย CH_4 ต่ำมากจนเป็นศูนย์อยู่ประมาณ 2 สัปดาห์เนื่องจากไม่มีน้ำขัง จากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตามอายุข้าว เกษตรกรได้ระบายน้ำออกเมื่อข้าวอายุ 103 วันหลังหว่าน ปรากฏว่าพบ peak ของ CH_4 สูงถึง 69.14 และ 49.17 $\text{mg CH}_4\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ แล้วจึงลดลงเป็นศูนย์ (Figure 10, c และ d)

ในดินร้อยเอ็ดที่บ้านนางาม นาดำ กข 10 แม้ว่าระดับน้ำขังจะอยู่ที่ระดับผิวดินแต่ในดินยังคงมีความชื้นอึดตัว (Figure 11, a) อัตราปล่อย CH_4 เพิ่มขึ้นชัดเจนจากวันแรกดำและตลอดฤดูปลูก แม้ว่าน้ำจะแห้งแล้ว เมื่อข้าวอายุประมาณ 75 วันหลังดำก็ยังพบ peak ของ CH_4 สูงเกือบ 40 $\text{mg CH}_4\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ แล้วจึงลดลงเป็นศูนย์ (Figure 11, a และ b)

เมื่อดินร้อยเอ็ดมีความชื้นอึดตัวคาดว่าฟองก๊าซมีเทนถูกขังไว้ในดินนั้นแล้วยังไม่หลุดออกมา แต่เมื่อระบายน้ำออกกลับทำให้ฟองก๊าซมีเทนเหล่านั้นหลุดออกมาใน gas chamber ได้ง่ายขึ้นจึงปรากฏเป็น peak CH_4 ทันทีหลังระบายน้ำออก (Figure 10, a, b, c, d และ Figure 11, a, b)

5. ผลการวัด CH_4 emission จากนาข้าวปี 2001

ชุดดินร้อยเอ็ด-ดินเค็ม (Figure 12, a, b, c, d และ Figure 13, a, b, c, d)

ที่บ้านท่มในระยะหลังปักดำระดับน้ำขังอยู่ที่ผิวดินและพบ CH_4 ปล่อยออกอย่างสม่ำเสมอ ยกเว้นในบางช่วงที่ดินขาดน้ำฝนจนดินแห้งจะไม่มี CH_4 ออกเลย ได้แก่ นาดำ กข 6 เมื่อข้าวอายุ 29 วันหลังดำ (Figure 12, a) นาข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อต้นข้าวอายุ 29 วัน (Figure 12, b) นาดำ กข. 6 ที่ได้รับมูลวัว (cow manure, CM) ช่วงข้าวอายุ 22 – 32 วัน (Figure 12, c) และนาข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับมูลวัวช่วงข้าวอายุ 25 – 29 วัน (Figure 12, d) peak ของ CH_4 ที่ออกหลังแรกดำพบว่ามีในช่วง 0 – 15 วัน พบในนาที่ได้รับมูลวัว 830 กก/ไร่ (Figure 12, c และ d) จะมีอัตราและปริมาณปล่อย CH_4 มากกว่าแปลงที่ไม่ได้ใส่ (Figure 12, a) ส่วนในแปลงนาข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่ได้รับ CM ก็พบ peak ของ CH_4 ในช่วงแรกดำเช่นกันแต่เป็นอิทธิพลของการไถกลบวัชพืชสด (หญ้า) (Figure 12, b) หลังจากข้าวอายุ 46 วันฝนตกชุกจากต้นเดือนสิงหาคม ทำให้ในทุกลแปลงมี CH_4 ปล่อยออกอย่างสม่ำเสมอตามสภาพน้ำขัง ในนาข้าว 4 แปลงนี้ไม่พบว่ามี peak ของ CH_4 เกิดขึ้นในระยะ reproductive แต่อย่างใด ข้าวนาดำที่บ้านท่มอยู่ในนานานถึง 141 วันหลังปักดำ ดินเค็มเมื่อได้รับน้ำฝนจะทำให้ความเค็มลดลงและไม่เป็นอุปสรรคต่อการปลูกข้าวนาปี ลักษณะนี้พบทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หากปีใดฝนแล้งและการกระจายฝนไม่สม่ำเสมอการปลูกข้าวก็จะได้ผล

ที่บ้านขามเปี้ยด้านาล้าช้ากว่าบ้านท่ม จากต้นเดือนสิงหาคมฝนตกปกติไม่พบว่ามีดินแห้งในช่วงใด อัตราปล่อย CH_4 เกิดขึ้นตลอดฤดูปลูกข้าวในทุกลแปลงและมีอัตราปล่อยในช่วงต่ำถึงปานกลาง (Figure 13, a, b, c, และ d) แต่อย่างไรก็ตามในแปลงนาดำ กข 6 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับมูลวัว 909 กก/ไร่ นั้น อิทธิพลของมูลวัวต่อการปล่อย CH_4 ชัดเจนในระยะแรกของแปลงนาดำ กข 6 เท่านั้น (Figure 13, c) ที่บ้านขามเปี้ยอายุข้าวหลังดำ 102 – 106 วัน

ดินร่อยเข็ม-ไม่เค็ม (Figure 14, a และ b)

ที่บ้านหนองน้ำเกลี้ยงเป็นดินร่อยเข็มที่ไม่เค็ม เริ่มดำนาเมื่อเข้าเดือนสิงหาคม ปริมาณน้ำฝนดีตลอด ซึ่งพบว่า CH_4 เพิ่มขึ้นจากวันแรกดำนาเนื่องจากการสลายตัวของวัชพืชสดที่ไถกลบก่อนดำ กลางเดือนตุลาคมฝนน้อยลงพร้อมกับอัตราปล่อย CH_4 ต่ำมากจนเป็นศูนย์ (Figure 14, a และ b) และไม่พบ peak ของ CH_4 ในระยะ reproductive คาดว่าระดับน้ำใต้ดินอาจไม่ตอกกับน้ำข้างที่ผิวนาเพราะเป็นช่วงปลายฤดู ขึ้นได้ดินอยู่ในสภาพ aerobic

6. ปริมาณมีเทนทั้งหมด (Total CH_4 emission, TME) (Table 4)

ในฤดูนาปี 1999 ปริมาณ Total CH_4 emission (TME) ในดินราชบุรีต่ำมาก มีค่าเฉลี่ยของ 4 แปลง (plot no. 1 - 4) เพียง 10.19 g m^{-2} (Table 4) เนื่องจากเกษตรกรขุดเอาหน้าดินออก 20 ซม ทำให้ readily mineralizable carbon ที่จะเป็นสารอาหารให้ methanogens มีปริมาณต่ำ ส่วนในดินร่อยเข็ม (plot no. 5-8) ปริมาณ TME มีค่าเฉลี่ย 45.95 g m^{-2} มากกว่าของดินราชบุรี 4.5 เท่าเนื่องจากเกษตรกรไถกลบผักนึ่ง (น้ำหนักสด 18 ตันต่อไร่) ลงดินก่อนดำนา (และก่อนหว่าน) อย่างไรก็ตามการทำนาหว่านจะลดปริมาณ TME ลงได้มาก ทั้งนี้หาว่าน กข 6 เมื่อเทียบกับนาดำ กข 6 ลด TME ลงจาก 86.89 g m^{-2} เป็น 35.65 g m^{-2} หรือ 58.97 % (plot no. 5 และ 7) ในขณะที่นาหว่านขาวดอกมะลิ 105 เมื่อเทียบกับนาดำขาวดอกมะลิ 105 ลด TME ลงจาก 36.71 g m^{-2} เป็น 24.55 g m^{-2} หรือ 33.10 % (plot no. 6 และ 8) ในกรณีที่มีการไถกลบปุ๋ยพืชสดลงดินในปริมาณมาก การทำนาหว่านช่วยลด TME ลงอย่างชัดเจน ในดินร่อยเข็มนี่ยังพบว่าแปลงนาดำขาวดอกมะลิ 105 มีช่วงดินแห้ง (aeration) 2 ช่วง ในขณะที่แปลงนาดำ กข 6 มีช่วงดินแห้ง 1 ช่วง (ไม่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำท้ายฤดูเพื่อเก็บเกี่ยว) สามารถลด TME ลงได้จาก 86.89 g m^{-2} เป็น 36.71 g m^{-2} หรือ 57.75 % (plot no. 5 และ 6) การทำนาหว่านและการปล่อยให้ดินข้าวใช้น้ำจนดินแห้งโดยกระบวนการระเหย (evapotranspiration) แล้วจึงท่อน้ำเข้านา วิธีนี้สามารถลด TME ลงได้มากโดยเฉพาะกับนาที่มีการไถกลบวัชพืชสดที่คาดว่าจะมีการปล่อย CH_4

ในฤดูนาปี 2000 ปริมาณเฉลี่ย TME ของดินราชบุรี 17.45 g m^{-2} ยังจัดว่าต่ำ (plot no. 9 - 12) แต่มีค่าสูงกว่าของนาปี 1999 ค่าเฉลี่ย TME สูงขึ้นจาก 10.19 g m^{-2} เป็น 17.45 g m^{-2} หรือ 71.6 % เนื่องจากเกษตรกรไถกลบตอซังก่อนปลูกซึ่งเป็นการจัดการตามปกติ อย่างไรก็ตามในฤดูนี้พบว่านาหว่านสามารถลด TME ลงได้ 23.71% (plot no. 9 และ 11) และ 49.01 % (plot no. 10 และ 12) สำหรับข้าว กข 10 และชัยนาท 1 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวชัยนาท 1 ปล่อย TME น้อยกว่าข้าว กข 10 58.32 % (plot no.9 และ 10) และ 72.14 % (plot no.11 และ 12) ในนาดำและนาหว่านตามลำดับ ในฤดูนาปี 2000 ปริมาณเฉลี่ย TME ของดินร่อยเข็ม (plot no.13 - 16) มีค่า 21.09 g m^{-2} ต่ำกว่าของนาปี 2000 ในดินร่อยเข็ม ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 45.95 g m^{-2} ทั้งนี้เพราะเกษตรกรเผาตอซังก่อนเตรียมดิน ช่วงของ TME ของแต่ละดำรับในดินร่อยเข็มฤดูนาปี 2000 มีค่าไม่ต่างกันมาก ผลของการทำนาหว่านและพันธุ์ข้าวที่อาจลด TME จึงไม่ชัดเจน ปริมาณ TME ของนาดำ กข 10 และนาดำชัยนาท 1 (plot no.17 และ 18) มีค่าต่ำมากเพราะมีการเผาตอซังก่อนเตรียมดิน

นาอาศัยน้ำฝนในปี 2000 บนดินราชบุรี (plot no. 19 - 22) ปริมาณ TME ต่ำมาก เนื่องจากเกิดน้ำท่วมใหญ่ทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างก๊าซเป็นเวลานาน 28 วัน ทำให้จำนวนวันที่เก็บก๊าซมีน้อยวันและมีค่า TME ต่ำและส่วนหนึ่งของ TME จากพื้นที่นี้เป็น CH_4 ที่ปล่อยออกจากการสลายตัวของซากต้นข้าวที่ตายในน้ำท่วม ค่า TME และ Average CH_4 emission ในฤดูนี้ ใช้ได้กับพื้นที่ดินราชบุรีที่ถูกน้ำท่วมใน พ.ศ. 2543 เท่านั้น

นาข้าวในปี 2000 บนดินนาร้อยเอ็ด (plot no. 23 - 26) ปริมาณ TME สูงปานกลางมีค่าเฉลี่ย 32.91 g m⁻² ทั้งนี้เพราะมีการไถกลบวัชพืชในช่วงเตรียมดินก่อนปลูก โดยปกติในนาข้าวจะไม่มีการทำนาปรังแต่จะปล่อยพื้นที่ไว้ให้วัชพืชขึ้นนานประมาณ 6 เดือนจนกว่าจะถึงฤดูฝนที่จะตามมา ปริมาณวัชพืชจึงมากพอที่จะทำให้เกิดอัตราปล่อย CH₄ สูงในระยะแรกปลูก อีกทั้งในฤดูฝนปี 2000 ฝนมีปริมาณมากและตกค่อนข้างสม่ำเสมอทำให้เกิด CH₄ ตามสภาพน้ำขัง เหล่านี้ทำให้อัตรา TME ของนาข้าวปี 2000 สูงกว่าที่คาดไว้ ใน plot no. 27 และ 28 ให้ค่าเฉลี่ย TME 33.89 g m⁻² ซึ่งใกล้เคียงกับข้างต้น

นาปรัง 2001 ในดินร้อยเอ็ด (plot no. 29-32) มีปริมาณ TME ต่ำและมีค่าเฉลี่ย 11.51 g m⁻² เนื่องจากมีการเผาตอซังในช่วงเตรียมดินก่อนปลูก ในขณะที่ดินร้อยเอ็ดมีค่าเฉลี่ย TME สูงกว่าของดินราชบุรี 1.8 เท่า พบว่าการทำนาหว่านกับข้าว กข 10 และชัยนาท 1 (plot no. 35 และ 36) ให้ค่า Daily CH₄ emission ต่ำกว่าการทำนาดำ (plot no. 33 และ 34) แต่ข้าวหว่านมีจำนวนวันอยู่ในนนานกว่าข้าวนาดำจึงทำให้ค่า TME ของข้าวหว่านสูงกว่าของนาดำได้ ปริมาณ TME ในนาดำ กข 10 (plot no.37) สูงกว่าในนาดำชัยนาท 1 (plot no. 38)

นาข้าวปี 2001 ในชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม (Re, saline phase) พบว่าค่าเฉลี่ย TME ของทั้งสองแห่งใกล้เคียงกันมาก คือ 23.17 g m⁻² และ 24.27 g m⁻² (plot no. 39 - 42 ที่บ้านห่ม และ plot no. 43 - 46 ที่บ้านขามเปี้ย) แต่เมื่อพิจารณาค่า Daily CH₄ emission ของ plot no. 39 - 42 จะพบว่าต่ำกว่าของ plot no. 43 - 46 เนื่องจากที่บ้านห่มมีการเผาตอซังทำให้ Daily CH₄ emission โดยเฉลี่ยมีค่า 166.73 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ ต่ำกว่า plot no. 43 - 46 ที่มีการไถกลบวัชพืชก่อนปลูกซึ่งมีค่า 238.02 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ (ตัวเลขไม่ได้แสดงไว้ใน Table 4) แต่ช่วงเวลาที่วัดก๊าซ CH₄ ที่บ้านห่มนานถึง 139 วันทำให้ได้ TME สูงขึ้น

7. ผลผลิตข้าว (Grain yield) และปริมาณมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าว

(Methane emission per unit grain yield, MPG)(Table 5)

ผลผลิตข้าว (Grain yield)

หลักการคิดวิจัยเพื่อการหาแนวทางในการลดการปล่อย CH₄ จากนาข้าวโดยใช้เทคโนโลยีเกษตรกรจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาลักษณะเด่นจากแต่ละตำรับอันประกอบด้วยชนิดดิน วิธีการปลูก และพันธุ์ข้าวที่ปลูก ร่วมกับการปฏิบัติจัดการแปลงนาโดยเกษตรกร นั่นคือผลผลิตควรได้ไม่ต่ำกว่าเดิมตามที่เกษตรกรเคยได้และขณะเดียวกันตำรับนั้นควรปล่อย CH₄ น้อย ดังนั้นที่จะใช้เป็นตัวชี้วัดเทคโนโลยีการทำนาของเกษตรกรที่ได้ผลตามหลักการนี้ ได้แก่ผลผลิตข้าว (Grain yield) และปริมาณ CH₄ ต่อหน่วยผลผลิตข้าว (CH₄ emission per kg grain, MPG)

จากสถิติการเกษตรในปี 1997/1998 ผลผลิตเฉลี่ยของประเทศไทย 381 kg rai⁻¹ ในขณะที่ของโลก 614 kg rai⁻¹ ในการวิจัยครั้งนี้ผลผลิตจาก 5 ฤดูปลูกแตกต่างกัน (Table 5) โดยทั่วไปผลผลิตข้าวจากนาราชบุรีอยู่ในช่วง 387 - 819 kg rai⁻¹ สูงกว่าของผลผลิตข้าวจากนาร้อยเอ็ดซึ่งอยู่ในช่วง 256 - 733 kg rai⁻¹ ในฤดูนาปีชลประทาน 1999 ในดินนาราชบุรีให้ผลผลิตข้าวอยู่ในช่วง 476 - 683 kg rai⁻¹ และในดินนาร้อยเอ็ดให้ผลผลิตข้าว 365 - 733 kg rai⁻¹ ในฤดูนาปรัง 2001 ของดินร้อยเอ็ดให้ผลผลิตต่ำมาก 280 - 502 kg rai⁻¹ นาปีน้ำฝน 2000 ที่ปลูกบนดินราชบุรีถูกน้ำท่วมเสียหาย ในขณะที่ของดินร้อยเอ็ดให้ผลผลิต 329 - 606 kg rai⁻¹ ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตจากนาข้าวปีของประเทศไทยซึ่งมีค่า 289 kg rai⁻¹ นาดินเค็ม (saline soil) ให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 256 - 577 kg rai⁻¹ จากข้อมูลทั้งหมด 48 แปลง มีเพียง 6 แปลงเท่านั้นที่ผลผลิตข้าวสูงกว่า 614 kg rai⁻¹ หรือผลผลิต

ข้าวเฉลี่ยของโลก และข้อมูลที่มีมากกว่าผลผลิตเฉลี่ยของประเทศ 381 kg rai^{-1} มี 32 แปลง อย่างไรก็ตาม ผลผลิตข้าวต่อพื้นที่ของเกษตรกรไทยรวมทั้งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่ำทั่วประเทศ

ปริมาณมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าว (MPG)

ตลอดฤดูปลูกข้าวทั้ง 5 ฤดูพบว่า MPG มีความแตกต่างกันมากมีค่าอยู่ในช่วง $12.11 - 222.66 \text{ gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$ (Table 5) ในฤดูนาปี 1999 ค่า MPG ของนาชุดดินราชบุรีมีค่าต่ำกว่าฤดูอื่น ๆ อยู่ในช่วง $17.88 - 56.40 \text{ gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$ อย่างชัดเจน เนื่องจากเกษตรกรรวดเอาหน้าดินออก 20 ซม. ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ และ TME ต่ำด้วยยกปรกกับเกษตรกรดูแลจัดการดีให้ผลผลิตสูงจึงทำให้ค่า MPG ต่ำด้วย อย่างไรก็ตาม ในฤดูอื่น ๆ ของดินราชบุรีก็ให้แนวโน้มค่า MPG ต่ำกว่าของชุดดินร้อยเอ็ด นาปี 1999 ในดินร้อยเอ็ดค่า MPG สูงที่สุดใน 5 ฤดูปลูก MPG อยู่ในช่วง $67.84 - 222.66 \text{ gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$ (Table 5, plot no. 5 - 8) ทั้งนี้เพราะเกษตรกรไถกลบวัชพืชสด ซึ่งได้แก่นาผักนึ่งที่เกษตรกรต้องการเปลี่ยนเป็นนาข้าว ปริมาณผักนึ่งน้ำหนักสดมากถึง 18 t rai^{-1} จะเห็นว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อค่า MPG แม้ว่าในดินข้างต้นจะมี MPG สูงแต่พบว่าในนาหว่านมีค่าต่ำที่สุดคือ $67.84 \text{ gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$ (plot no. 8) ทุกฤดูปลูกมีแนวโน้มว่านาหว่านมีค่า MPG ต่ำกว่าของนาดำ ยกเว้นในบางแปลงที่ข้าวนาหว่านให้ผลผลิตต่ำจึงทำให้ MPG สูง (plot no. 35 และ 36) และฤดูนาปีฝน 2000 และนาปีฝนดินเค็ม 2001 เนื่องจากฝนดีและลักษณะน้ำคล้ายนาปีช่วงอิทธิพลของวัชพืชในนาทำให้ MPG สูงอยู่ในช่วง $89.92 - 138.64 \text{ gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$ (plot no. 23-28) และ $57.02 - 167.46 \text{ gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$ (plot no. 39-48) ตามลำดับ ซึ่ง MPG ของนาปีฝน 2001 จากนาดินเค็มก็ให้ค่า MPG สูงเช่นกัน (plot no. 39-46)

8. ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าว (Grain yield) กับปริมาณมีเทนทั้งหมด (TME) และปริมาณมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าว (MPG)

จากข้อมูลของทั้ง 5 ฤดู (48 แปลง) เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวจากนาดำกับ TME ให้ค่า $r = -0.114$ ($n = 30$) แสดงถึงความสัมพันธ์ที่ต่ำมาก แต่ในนาหว่านให้ค่า $r = -0.456$ ($n = 14$) ให้ค่าความสัมพันธ์ที่ชัดเจนขึ้นในเชิงลบ ในนาดำผลผลิตข้าวกับ MPG ให้ค่า $r = -0.411$ ($n = 30$) แต่ในนาหว่านให้ค่า $r = -0.762$ ($n = 14$) นั่นคือนาหว่านเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่านาดำ คือ มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงขึ้นในขณะที่ปล่อย CH_4 ต่อหน่วยผลผลิตได้ต่ำกว่าของนาดำ

เมื่อแยกศึกษาเฉพาะพันธุ์ข้าวพบว่าผลผลิตข้าวของพันธุ์ กข 6 และขาวดอกมะลิ 105 กับ TME ให้ความสัมพันธ์ที่ต่ำมากคือ $r = 0.191$ และ 0.052 ตามลำดับ ในขณะที่ผลผลิตข้าวของพันธุ์ กข 10 และ ชัยนาท 1 กับ TME ให้ค่าความสัมพันธ์ที่ชัดเจนขึ้นในเชิงลบ $r = -0.367$ และ -0.743 ตามลำดับ นั่นคือพันธุ์ข้าว กข 10 และ ชัยนาท 1 มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นแต่ TME ลดลง ซึ่งข้าวชัยนาท 1 ให้ค่าความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกว่า กข 10 เมื่อเรียงจากความสามารถของพันธุ์ข้าวจากดีกกว่าไปหาดีน้อยได้ดังนี้คือ ชัยนาท 1, กข 10, ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 6 ซึ่งสองพันธุ์หลังไม่ต่างกันมาก

9. เทคโนโลยีที่มีอิทธิพลให้ผลผลิตข้าวสูงและปริมาณมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าวต่ำ

การทดลองทั้ง 5 ฤดูได้ค่า MPG ที่แตกต่างกันมากอยู่ในช่วงกว้าง $12.11 - 222.66 \text{ gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$ ซึ่งในความคิดของผู้วิจัยค่า MPG ยิ่งต่ำยิ่งดี (แต่จะมีค่าเท่าใดต้องหาเกณฑ์) ขณะเดียวกันจะต้องให้ผลผลิตข้าวที่ดีในระดับหนึ่งด้วย จึงได้ใช้ค่าผลผลิตข้าวเฉลี่ยของประเทศ 381 kg rai^{-1} เป็นฐานในการเลือกค่า MPG ได้ข้อมูลทั้งหมด 18 คู่จาก 48 แปลง แล้วจึงเฉลี่ย MPG ซึ่งได้ $69.48 \text{ gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$ นั่นคือแปลงที่มีผลผลิตเกินผล

ผลิตเฉลี่ยของประเทศ (381 kg rai^{-1}) และมีการปล่อย MPG ต่ำกว่า $69.48 \text{ gCH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ grain}$ (Table 5, plot no.1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 29, 30, 32 38, 40 และ 42) ควรได้รับการพิจารณาและศึกษาว่าเกษตรกรได้จัดการดูแลแปลงอย่างไร ขณะเดียวกันผลหรือปรากฏการณ์ของ CH_4 emission rate ตลอดฤดูปลูก (ซึ่งได้จากกราฟ Figure 1, a, b, c, d ถึง Figure 14, a, b) ก็สามารถสกัดประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการลด CH_4 จากนาได้

1. ข้าวต้องไม่ขาดน้ำจนเป็นอันตรายต่อผลผลิต กับนาดินเหนียวสามารถทำให้ดินชุ่มน้ำได้ดีโดยการขุดหน้าดินออก แต่ต้องดูแลเรื่องการใส่ปุ๋ยให้แก่ข้าว โดยรองพื้นด้วยปุ๋ย urea 9.6 kg rai^{-1} และแต่งหน้าด้วยปุ๋ย 16-16-8, 2-3 ครั้งรวม 50 kg rai^{-1} (plot no. 1-4)

2. การไถกลบปุ๋ยพืชสด ถ้าปริมาณปุ๋ยพืชสดมากจะทำให้ MPG สูง แต่สามารถลด MPG ได้ โดยการทำนาหว่าน ซึ่งควรรองพื้นและแต่งหน้าด้วยปุ๋ย 16-16-8, 2 ครั้งรวม 50 kg rai^{-1} จะให้ผลผลิตดีและ MPG ต่ำลง (plot no. 8)

3. การทำนาปรังในนาดินเหนียว หากต้องการไถกลบซากตอซึ่งที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวข้าวนาปีลงไป ในดินทำได้โดยการแช่ดินให้นุ่มก่อนไถกลบตอซึ่งรวมทั้งใส่ปุ๋ยรองพื้นและแต่งหน้าด้วยปุ๋ย urea รวม 31.5 kg rai^{-1} และการทำนาหว่านจะทำให้ได้ผลผลิตสูงและ MPG ต่ำลง (plot no.10,11 และ 12)

4. การทำนาปรังในนาดินร่วนอาจเผาตอซึ่งก่อนไถเตรียมดิน และควรรองพื้นและแต่งหน้าด้วยปุ๋ย 16-16-8 อัตรา 30-40 kg rai^{-1} โดยที่การทำนาหว่านจะทำให้ได้ผลผลิตสูงและ MPG ต่ำลง (plot no. 14 และ 16)

5. การทำนาปรังในนาดินร่วน อาจเผาตอซึ่งก่อนการเตรียมดินและควรเสริมด้วยปุ๋ย urea $20\text{-}25 \text{ kg rai}^{-1}$ (plot no. 17 และ 18)

6. การทำนาปรังในนาดินเหนียวอาจเผาตอซึ่งก่อนเตรียมดินและแบ่งใส่ปุ๋ยเคมี 16-20-0, 2 ครั้งอัตรา รวม 32 kg rai^{-1} ตามด้วยหรือสลับใส่ปุ๋ย urea 12 kg rai^{-1} (plot no. 29 และ 30) และถ้าทำนาหว่านจะให้ผลผลิตข้าวดีและ MPG ต่ำลง (plot no. 32)

7. นาปรังในดินร่วนอาจทำการเผาตอซึ่งก่อนการเตรียมดินและใส่ปุ๋ย 16-20-0 อัตรา 25 kg rai^{-1} (plot no. 38)

8. ในน่าน้ำฝนดินเค็มอาจเผาวัชพืชในนาก่อนไถเตรียมดินและใส่ปุ๋ย 16-16-8 อัตรา 14.2 kg rai^{-1} (plot no. 40) และถ้าใส่ปุ๋ยคอก(มูลวัว)อัตรา 830 kg rai^{-1} ก่อนไถเตรียมดินจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นแต่ MPG ต่ำลง (plot no. 42)

9. ควรปล่อยให้ต้นข้าวใช้น้ำไปจนกระทั่งดินแห้งลง (evapotranspiration จนเกิด aeration) แล้วจึงรดน้ำให้ท่วมขัง 5 –10 ซม. เช่นนี้ถ้าเกิด aeration 2 ครั้ง จะลดปริมาณ CH_4 ได้มากกว่าการเกิด aeration ครั้งเดียว การทำ aeration ในช่วงข้าวแตกกอ (tillering) จนถึงข้าวแตกกอสูงสุด (maximum tillering) ช่วยลด CH_4 ได้ดี (Figure 2, a และ b) ข้อพึงระวังการปล่อยให้ต้นข้าวใช้น้ำจนดินแห้งนั้น สังเกตได้โดยผิวดินแห้งจนแตก แสดงว่าเกิด aeration ซึ่งไม่ควรเกิน 4 วัน ต้องรดน้ำเข้านา

10. การระบายน้ำออกท้ายฤดูเพื่อเตรียมพร้อมกับการเก็บเกี่ยวช่วยลดปริมาณ CH_4 ลงโดยปกติ 2 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว (Figure 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 13 และ 14)

11. การทำน่านว่านลดการปล่อย CH_4 ในระยะแรกได้ โดยเฉพาะกับนาที่ไถกลบวัชพืชหรือปุ๋ยพืชสด หรือมีการใส่อินทรีย์วัตถุในปริมาณมาก

12. ถ้ามีการใส่อินทรีย์วัตถุหรือไถกลบปุ๋ยพืชสดควรปล่อยให้อินทรีย์วัตถุสลายตัวในสภาพ aerobic อย่างน้อย 2 สัปดาห์แล้วจึงเตรียมดิน

13. ควรหาจังหวะปลูกข้าวเพื่อลดจำนวนวันที่ต้นข้าวอยู่ในนาจะทำให้ TME ต่ำลง

14. พันธุ์ข้าวชัยนาท 1 ปล่อย CH_4 น้อยกว่า กข 10 ในขณะที่ข้าวดอกมะลิ 105 และ กข 6 ให้ผลต่อการปล่อย CH_4 ที่คล้ายกัน

15. ถ้าใช้ปุ๋ย ammonium sulfate (AS เป็นแหล่งของ N) ควรใส่เกิน 10 kg rai^{-1} จึงจะเห็นผลพลอยได้ของ SO_4 ในการลด CH_4 สารที่ใช้ลด CH_4 ได้และราคาถูกกว่า AS ได้แก่ phosphogypsum (corton et al. 2000)

10. น้ำหนักแห้งต้นข้าวและราก (Table 6)

ใน 5 ฤดูปลูกพบว่าน้ำหนักแห้งต้นข้าวมีช่วงกว้าง $636 - 2,612 \text{ kg rai}^{-1}$ ส่วนน้ำหนักรากอยู่ในช่วง $164 - 1,573 \text{ kg rai}^{-1}$ ที่พบว่าปริมาณน้ำหนักต้นข้าวและผลผลิตต่ำอย่างชัดเจนคือฤดูนาปรัง 2001 ที่บ้านหนองคำ (plot no. 33-36) นาน้ำฝนดินเค็ม 2001 ที่บ้านขามเปี้ยพบว่าน้ำหนักแห้งรากมีค่าต่ำและผลผลิตข้าวต่ำด้วย (plot no. 43-46) ต้นข้าวในสภาพจริงมักเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักรจะมีความยาวเหลือจากพื้นดินพอสมควร แม้ว่า จะยาวไม่เท่าต้นข้าวจริงๆที่วัดได้จากการทดลองแต่น้ำหนักแห้งที่เหลือก็ยังคงมากอยู่ ซึ่งส่วนนี้อาจถูกเผาหรือไถกลบไปพร้อมกับรากข้าวลงดินในระหว่างการเตรียมดิน จัดได้ว่าต้นข้าวและรากข้าวเป็นส่วนที่สำคัญมากมีบทบาทต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและเป็นอาหารให้จุลินทรีย์ดินที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของซากเหล่านี้ทั้งในสภาพดินชื้นและดินน้ำขัง และมีอิทธิพลต่อปริมาณและอัตราปล่อย CH_4 จากนาข้าวในระยะแรกดำ(หรือแรกหว่าน)โดยตรง

ก่อนการเตรียมดินเกษตรกรนิยมเผาฟางข้าวและตอซัง ในขณะที่เผามี CH_4 ปล่อยออก $0.43 - 0.90 \%$ ของปริมาณคาร์บอนในวัสดุ และยังปล่อย greenhouse gases ตัวอื่นด้วย ได้แก่ CO_2 และ N_2O พร้อมกับทำให้คุณภาพอากาศในพื้นที่เผาเลวลง

วิจารณ์

อิทธิพลของฤดูปลูกต่อการปล่อยมีเทน

ในแต่ละฤดูปลูกช่วงเวลาที่ดินข้าวอยู่ในนาจะต่างกันขึ้นอยู่กับจังหวะของเวลาที่เหมาะสม (timing) ต่อความชื้นในดิน ถ้าความชื้นพอเหมาะเกษตรกรจะเริ่มไถเตรียมดินทันที ส่วนจะทำนาดำหรือนานานั้นถ้าเป็นในที่ลุ่มทำได้ทั้งสองวิธี ความเหมาะสมจึงขึ้นกับแรงงานในครอบครัว ถ้ามีแรงงานเกษตรกรเลือกทำนาดำ ถ้าขาดแรงงานเกษตรกรเลือกทำนานาน้ำ ทั้งนาดำและนานาน้ำจะเริ่มเมื่อใดขึ้นกับความชื้นในดินซึ่งในที่สุดจะเป็นตัวกำหนดจำนวนวันที่ดินข้าวอยู่ในนา ในการทดลองนี้พบตัวเลขจำนวนวันที่วัดก๊าซ (ซึ่งใกล้เคียงกับจำนวนวันที่ดินข้าวอยู่ในนา) จาก 78-139 วันซึ่งในแต่ละฤดูปลูกจะแตกต่างกันไป นอกจากนั้นการจัดการอื่นๆ เช่น การไถกลบหรือการเผาอินทรีย์วัตถุ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ การจัดการน้ำ เหล่านี้ทำให้ปริมาณ CH_4 ทั้งหมด (TME) ของแต่ละฤดูปลูกแตกต่างกันมากและมีอิทธิพลมากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละฤดูยกเว้นน้ำท่วมและฝนทิ้งช่วง แต่ในนาที่น้ำฝนพบปัญหาน้ำท่วมที่ site งานบ้านหนองโพธิ์ของนาปี 2000 (Figure 6) และพบว่าฝนตกน้อยในนาปี 2001 ตอนเริ่มดำที่ site งานบ้านทุ่งแต่ความชื้นในดินยังอยู่ในช่วงอิ่มตัวถึงระดับความชื้นสนาม (field capacity, FC) (Figure 12) ส่วนที่อื่นไม่พบปัญหาเรื่องน้ำเลย โดยทั่วไปผลการวัด TME ในนาปี 2000 และ 2001 สูงกว่าของนาปีและนาปรังในพื้นที่ชลประทานยกเว้นในแปลงที่ได้รับการไถกลบพืชสดในปริมาณมาก

Corton et al., (2000) พบว่าการปล่อย CH_4 มีความแตกต่างระหว่างฤดูปลูก โดย CH_4 ที่ปล่อยจากนาฤดูฝนจะมากกว่าจากนาฤดูแล้ง 2 - 3 เท่า และพบว่า CH_4 มีความแตกต่างระหว่างปีเช่นกัน พวกเขาอ้างรายงานว่ามีแต่การปรับอ้างอิง (reference treatment) แสดงความแปรปรวนในฤดูปลูกและระหว่างปีที่ปลูกอย่างมาก ซึ่งพวกเขาให้เหตุผลว่าอุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของฤดูแล้ง (ธันวาคมถึงเมษายน) ต่ำกว่าของฤดูฝน (มิถุนายน - พฤศจิกายน) Holzapfel-Pschom and Seiler (1986) รายงานว่าอุณหภูมิดินมีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราปล่อย CH_4 โดยที่ methanogenic bacteria ที่แยกเชื้อได้พบว่าเป็น mesophilic ที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิพอเหมาะ 30 - 40 °C (Vogel et al., 1988) แต่อุณหภูมิเฉลี่ยที่แตกต่างกันระหว่างฤดูปลูกนั้นมีค่าน้อยมากทำให้ความแตกต่างของอัตราปล่อย CH_4 ระหว่างฤดูปลูกเกิดได้น้อย ทั้งนี้ในทางทฤษฎีนั้นอุณหภูมิเพียงแต่ลดหรือเพิ่มอัตรา (rate) ของกระบวนการเกิด CH_4 เท่านั้นไม่ได้มีผลต่อปริมาณ (magnitude) ที่ปล่อย ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณ CH_4 ที่สำคัญยิ่งได้แก่ความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวง่ายและแปรปรวน (labile) ในดินทั้งสองฤดู

อิทธิพลของสารอินทรีย์ต่อการปล่อยมีเทน

ในการทดลองนี้พบเกษตรกรจัดการอินทรีย์วัตถุในนาแตกต่างกันหลายวิธีขึ้นกับฤดูปลูก (นาปีหรือนาปรัง) ในพื้นที่ชลประทานหรือพื้นที่น่าน้ำฝน ในนาปี 1999 (Table 4, plot 5-8) เกษตรกรไถกลบวัชพืชขอบน้ำ (ผักบุ้ง *Impomoea aquatica*) 18 ตันน้ำหนักสดต่อไร่ จึงพบว่ามีอัตราปล่อย CH_4 ในระยะแรกสูงมาก (Figure 2) และมีปริมาณมีเทนทั้งหมด (TME) ปล่อยออกมากกว่าแปลงอื่นหลายเท่า พบว่ามีการไถกลบซากต้นข้าวและตอซังในฤดูนาปรังในดินราชบุรีที่ในฤดูนาปีเกษตรกรได้ขุดหน้าดินออก 20 ซม (เพื่อเหตุผลของความต้องการขังน้ำไว้ในนา Table 4, plot 9-12) เมื่อถึงฤดูนาปรังเกษตรกรต้องการฟื้นฟูดินจึงได้ไถกลบซากต้นข้าวและตอซังให้แก่นาปรัง ปริมาณ TME เพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ย 10.19 gm^{-2} เป็น 17.45 gm^{-2} หรือ 1.7 เท่า ในฤดูนาปรังในพื้นที่ชลประทาน (Table 4, plot 13-18) เนื่องจากเกษตรกรมีเวลาหลังเก็บเกี่ยวข้าวนาปีไม่มากจึงมักนิยมเผาซากต้น

ข้าว(burnt residues) และตอซังก่อนเริ่มเตรียมดินทำนาปรัง ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุน แรงงานและเวลา(เพื่อความสะดวก)ในการเตรียมดิน ซึ่งถ้าที่เหลือจากการเผาบางส่วนปลิวออกนอกพื้นที่นา ซึ่งขึ้นกับช่วงระยะเวลาหลังเผาและความแรงลม บางส่วนยังอยู่ก็ถูกไถกลบลงดินอัตราปล่อย CH_4 ในระยะแรกจากแปลงเหล่านี้จึงไม่สูง (Figure 4, 5, 10 และ 11)เมื่อเทียบกับการไถกลบวัชพืชสดลงนา

ในน่าน้ำฝนเกษตรกรรมมีไถกลบวัชพืชสดลงดิน (natural organic matter cycling) (ทั้งนี้เพื่อลดความเสี่ยงของผลผลิตต่ำในน่าน้ำฝน) ซึ่งปริมาณวัชพืชจะค่อนข้างมากเนื่องจากพื้นที่ที่ถูกปล่อยให้ว่างเปล่าเป็นเวลานานหลายเดือนและปริมาณวัชพืชจะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณฝนต้นฤดูฝน จากการทดลองพบว่าอัตราปล่อย CH_4 ในระยะแรกมีค่าสูงมากโดยเฉพาะในดินนาไร่ยัดที่ไม่เค็ม (Figure 7, 8 และ 14) ในขณะที่ดินเค็มปรากฏการณ์นี้ไม่เด่นมาก เนื่องจากมีวัชพืชในน้าน้อยเพราะดินเค็มที่ผ่านช่วงฤดูแล้งนั้นความเค็มในพื้นที่จะเพิ่มขึ้นวัชพืชที่ขึ้นได้ต้องมีคุณสมบัติทนต่อความเค็มซึ่งมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับในน่าน้ำฝนที่ไม่เค็ม

การใส่ปุ๋ยคอก(มูลวัว)ให้แก่ดินเค็มในอัตรา $830\text{-}909 \text{ kg rai}^{-1}$ และไถกลบลงดินทำให้อัตราปล่อย CH_4 สูงในช่วงแรกต่ำ (Figure 12, c, d และ Figure 13, c, d) แต่ไม่ได้ทำให้ปริมาณ TME สูงขึ้นมากเนื่องจากเกิดการสูญเสียปุ๋ยคอกไปกับน้ำฝนบ้าง

ในเรื่องการใส่สารอินทรีย์เพื่อปรับปรุงดินน่านั้นพบงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวกับการใส่ฟางข้าวในงานทดลองที่ประเทศฟิลิปปินส์รายงาน Seasonal CH_4 fluxes จากแปลงที่ได้รับฟางข้าวมีค่ามาก 2.5 ถึง 3.5 เท่าของแปลงที่ใส่ปุ๋ย urea และแม้แต่ในแปลงที่ใส่ phosphogypsum (PG) ร่วมกับฟางข้าวไม่สามารถยับยั้งการปล่อย CH_4 ในปริมาณมากได้ การไถกลบฟางข้าว (incorporation of rice straw) ในระหว่างเตรียมดินจะทำให้การปล่อย CH_4 ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (early vegetative stage) มากขึ้นได้นานถึง 30 วันหลังดำ โดยอธิบายว่า CH_4 เกิดจากกรดไขมันระเหย (volatile fatty acids, VFA) ซึ่งเป็น intermediate จากการสลายตัวของฟางข้าวโดยที่ methanogens ใช้ VFA เป็น substrate ในกระบวนการเกิด CH_4 แต่ในแปลงที่ได้รับปุ๋ยหมักฟางข้าว (rice straw compost) ปล่อย CH_4 ออกน้อยคล้ายกับแปลงที่ได้รับปุ๋ย urea (Corton, et al., 2000) การทดลองที่ประเทศญี่ปุ่นงานของ Yagi และ Minami (1990) รายงานไว้ว่า annual CH_4 emission rates จากแปลงที่รับฟางข้าว 6 t ha^{-1} ร่วมกับปุ๋ยเคมีมีค่าสูง 2 ถึง 3 เท่าของแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีล้วนซึ่งพบกับดินทุกชนิด การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวเพิ่มการปล่อย CH_4 เล็กน้อยเมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่ ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณคาร์บอนที่แปรปรวนง่ายหรือย่อยสลายง่าย (readily mineralizable carbon, RMC) (Yagi and Minami, 1990) แม้แต่ในดินที่ไม่ได้รับอินทรีย์วัตถุ RMC ได้จากดินนาเพียงแหล่งเดียวและ CH_4 ที่ปล่อยออกจากราน้ำยังเกิดจากกระบวนการ fermentation (Neue, 1993) การหมักฟางข้าวในสภาพที่มี O_2 (aerobically) สามารถลดค่า C/N ในฟางข้าวจากช่วง 25 – 45 ลงเหลือ C/N 6-10 ในปุ๋ยหมักฟางข้าว เป็นผลให้มีปริมาณสารอาหาร(carbon substrate) ลดลงและในที่สุดปล่อย CH_4 ลดลง (Corton et al., 2000) การใส่ฟางข้าวในปริมาณมาก $8\text{-}12 \text{ t ha}^{-1}$ ให้แก่ดินในรัฐ Texas เพิ่มการปล่อย CH_4 แต่ให้ผลผลิตข้าวลดลง (Sass et al., 1991 a, b) Alberto et al., 1996 รายงานว่าปริมาณ CH_4 ที่ปล่อยออกมากในช่วงแรก (early stage) เกิดจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินและที่ใส่เพิ่มให้แก่ดิน เช่น ฟางข้าว ซึ่งผลการทดลองของผู้วิจัยก็ให้ผลที่คล้ายกันกับการไถกลบพืชสด (ผักบุ้ง วัชพืชในนาอื่นๆและหญ้า) ตอซังข้าว และการใส่ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ส่วนการปล่อย CH_4 ในระยะถัดมา (later stage) ซึ่งในการทดลองนี้จะตรงกับ vegetative stage เกิดจากแหล่งสารอาหารที่ได้จาก root exudates และจากการสลายตัวของรากต้นข้าว

การใส่ปุ๋ยขี้ไก่ (chicken manure) ซึ่งมี C/N ในช่วง 5-8 ให้แก่ดินนาจะปล่อย CH_4 ในปริมาณที่เทียบได้กับปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งมี C/N อยู่ในช่วง 6 -10 เมื่อเทียบต่อหน่วยของคาร์บอนในสารอินทรีย์นั้นๆ (Corton et al., 2000)

อิทธิพลของปุ๋ยเคมีต่อการปล่อยมีเทน

ในการทดลองนี้ พบว่าเกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณต่ำมาก มีการใช้ปุ๋ยผสมสูตร 16-16-8 ปริมาณสูงที่สุด 50 kg rai^{-1} โดยแบ่งใส่ 2-3 ครั้ง มีการใส่ปุ๋ย 16-20-0 ปริมาณสูงที่สุด 53 kg rai^{-1} โดยแบ่งใส่ 2-3 ครั้ง และพบการใช้ปุ๋ย urea ปริมาณสูงที่สุด 31.5 kg rai^{-1} โดยใส่ 2 ครั้ง และพบการใช้ปุ๋ย ammonium sulfate (AS) อัตราต่ำ 10 kg rai^{-1} นอกนั้นเป็นการใส่ปุ๋ยดังกล่าวข้างต้นในอัตราที่ต่ำลงมา ซึ่งในการทดลองนี้ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีต่ออัตราปล่อย CH_4 พบบ้างว่าส่งเสริมการปล่อย CH_4 (Figure 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11 และ 12) การใช้ ammonium sulfate อัตราต่ำ 10 kg rai^{-1} ไม่มีผลต่อการลด CH_4 เนื่องจากอัตราต่ำเกินไป ขณะเดียวกันสภาพดินแห้งช่วยลด CH_4 ได้มากกว่า (Figure 13, a และ b) แต่อิทธิพลของปุ๋ยเคมีต่อการปล่อย CH_4 ยังน้อยกว่าอิทธิพลของสารอินทรีย์และสภาพน้ำขังในนา

SO_4^{2-} ในปุ๋ย ammonium sulfate สามารถลดการปล่อย CH_4 มากกว่า urea Saenjan and Wada (1990) รายงานว่าการมี SO_4^{2-} ในดินสามารถลดการเกิด CH_4 (CH_4 formation) การเกิด CH_4 ในดินน้ำขังไม่ว่าในนาหรือในท้องปฏิบัติการเกิดจากกระบวนการ transmethylation ของกรด acetic และ CO_2 reduction (Takai, 1970) การแข่งขันกันระหว่าง sulfate reducing bacteria และ CH_4 -producing bacteria เพื่อแย่ง H^+ และ acetic acids ที่เกี่ยวข้องกับกลไกกระบวนการเกิด CH_4 รวมทั้งความเป็นพิษของ H_2S ที่เกิดจาก sulfate reduction ต่อ CH_4 -producing bacteria ล้วนส่งผลให้ลดการเกิด CH_4 ทั้งสิ้น (Wang et al., 1993) กลไกข้างต้นนั้น Hori et al. (1993) อธิบายว่าการแย่ง acetic acid มีความรุนแรงมากกว่าการแย่ง H_2 ทั้งนี้ปัจจัยต่างๆ ที่ควบคุม H_2 ในดิน การใส่ SO_4^{2-} โดยใส่ปุ๋ย ammonium sulfate จึงส่งเสริม sulfate reducing bacteria

Lindau et al. (1990, 1991) รายงานว่าอัตราปล่อย CH_4 เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการใช้ปุ๋ย urea เพิ่มขึ้น ข้างต้นเป็นเพราะ NH_4^+ จาก urea มีอิทธิพลยับยั้ง (inhibitory effect) กระบวนการ CH_4 oxidation (Conrad and Rothfuss, 1991)

Corton et al., (2000) ได้ยืนยันว่า SO_4^{2-} เป็นสารที่ลดการปล่อย CH_4 ไม่ใช่ NH_4^+ Denier van der Gon and Neue (1994) รายงานว่าในดิน Aquandic Epiaqualf ที่ได้รับ gypsum 6.66 t ha^{-1} สามารถลด CH_4 ได้ 55-70% รวมถึงในดินที่ได้รับปุ๋ยพืชสด (green manure) การใส่ Phosphogypsum (PG) 3 t ha^{-1} ให้กับดินที่ได้รับฟางข้าวสด สามารถลด CH_4 ได้ 27% เมื่อเทียบกับดินที่รับฟางข้าวอย่างเดียว นอกจากนั้นพวกเขายังอธิบายเพิ่มเติมว่าปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวมีมากไม่เหมาะสมกับ SO_4^{2-} ใน PG ทำให้ SO_4^{2-} มีปริมาณไม่พอให้ sulfate reducing bacteria แข่งขันกับ CH_4 producing bacteria ทำให้อัตราปล่อย CH_4 ยังคงสูงอยู่ อย่างไรก็ตามการใส่ PG ต่อเนื่องให้แก่ข้าวในฤดูที่ปลูกตามจะช่วยลด CH_4 ลงอีกจาก 27% เป็น 37% ในประเด็นของแหล่งของ SO_4^{2-} PG (85-90 % gypsum) ราคาถูกกว่า ammonium sulfate และสำหรับแหล่งปุ๋ย N แล้ว urea มีราคาถูก ดังนั้นการใส่ urea รวมกับ PG อาจใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการลด CH_4 โดยเฉพาะกับดินนาลุ่มชลประทานที่ขาด S (sulfur deficient) มีประเด็นอธิบายเกี่ยวกับการใส่ SO_4^{2-} ที่ว่าเมื่อ SO_4^{2-} ถูก reduced เป็น H_2S อาจเกิดความเป็นพิษต่อข้าวถ้าในดินมีความเข้มข้นถึง 0.07 ppm (Freney et al., 1982) แต่อย่างไรก็ตามโอกาสที่ H_2S จะเกิดความเป็นพิษได้นั้นน้อยมากเพราะ H_2S สามารถตกตะกอน (precipitate) ได้ทันทีกับโลหะ

เป็น metallic sulfide ที่พบทั่วไป เช่น FeS และโอกาสที่ H_2S จะถูก oxidized ให้เป็น SO_4^{2-} หรือธาตุ S ในดิน บริเวณรากต้นข้าวก็มีสูง ซึ่งเกิดโดยกิจกรรมของ chemosynthetic microorganisms (Huang, 1991) กระบวนการ reoxidation จาก S^{2-} เป็น SO_4^{2-} ที่เกิดบริเวณรากต้นข้าวจะช่วยลดการปล่อย CH_4 ได้ในระยะยาว (Frenay et al., 1982) มีรายงานการทดลองที่ประเทศฟิลิปปินส์ว่าการใส่ PG 6 t ha^{-1} ให้แก่ดินเหนียว Maligaya รวมกับ เหล็ก (active iron, Fe) ในอัตราเพียง $75.02 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ (หรือ g t^{-1}) แล้วไม่ปรากฏว่าต้นข้าวมีอาการพิษของ sulfide นอกจากนั้นมียางานว่า PG ช่วยในการปรับปรุงดินเค็ม (saline soil) (Alcado and Rechcigl, 1993) ปริมาณการผลิต PG ต่อปีทั่วโลกประมาณได้ 125 ล้าน Mg (Mg = ตัน) เพียง 4% (5 ล้าน Mg) เท่านั้นที่ใช้ในการเกษตร จุดสาหกรรมผลิตแผ่นยิปซัมและซีเมนต์ PG ที่เหลือของทั้งแต่ละปี 120 ล้าน Mg (Alcado and Rechcigl, 1995) สามารถนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินและลดการปล่อย CH_4

อิทธิพลของน้ำในนาและวิธีการทำนาค่อการปล่อยมีเทน

ในการทดลองนี้มีทั้งทำในพื้นที่ชลประทานและพื้นที่อาศัยน้ำฝนซึ่งได้บันทึกความสูงของน้ำตลอดฤดู ในพื้นที่ชลประทานให้สภาพน้ำขังได้จนถึงก่อนเก็บเกี่ยวถูกจัดให้เป็นความชื้นแบบ continuously flooded แต่ในบางแปลงที่ไม่สามารถเก็บน้ำได้เนื่องจากคลองส่งน้ำพังหรือคันนารั่วแล้วทำให้ดินแห้ง (aeration) แต่ไม่ถึงระดับข้าวขาดน้ำ(ความชื้นประมาณความจุความชื้นสนาม field capacity, FC หรือต่ำกว่า FC เล็กน้อย) การเกิดดินแห้งเป็นบางช่วงเช่นนี้พบในการทดลองนี้กับนาปีชลประทาน 1999 ในดินร่อยเอ็ด ในเรื่องของการควบคุม น้ำในนาโดยปกติแล้วเกษตรกรอีสานจะไม่ยอมระบายน้ำออกจากนา(ยกเว้นก่อนเก็บเกี่ยวและมีแนวโน้มว่าจะ ทดน้ำเข้านาทุกครั้งที่ไม่มีโอกาส) ถูกจัดให้เป็นความชื้นแบบ intermittently flooded (Figure 2, a และ b) ในความคิดของผู้วิจัยการจัดการน้ำให้เกิด aeration เป็นบางช่วงโดยให้ธรรมชาติจัดการ คือ ปล่อยให้ต้นข้าวใช้น้ำจนดินแห้งสังเกตจากผิวดินเริ่มแตกประมาณ 2-3 วันในดินเหนียวและ 4-5 วันในดินร่วน แล้วจึงทดน้ำเข้านาให้ท่วมขัง 5-10 ซม วิธีนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและไม่ต้องระบายน้ำออกจากนาเกษตรกรอีสานยอมรับได้ (จากการพูดคุยกับเกษตรกรหลายคนเขาตระหนักถึงผลผลิตข้าวสูงมากกว่าเรื่องการผลิตก๊าซ CH_4 จากนา) ส่วนความชื้นในนาอาศัยน้ำฝน 2000 น้ำในนาเป็นแบบ continuous flooding เพราะปริมาณและการกระจาย ลมฟ้าอากาศตลอดฤดู มีแต่เพียงที่ site บ้านหนองโพธิ์ที่อยู่บน flood plain ที่น้ำท่วมนาเสียหาย (rainfed rice 2000) (Figure 6) ส่วนน่าน้ำฝนบนดินเค็ม 2001 เกษตรกรเริ่มดำเร็วทำให้ในช่วงแรกหลังการดำนาประมาณ 30 DAT แม้ฝนจะน้อยแต่ดินยังอึดตัวและชื้นอยู่ (Figure 12)

งานวิจัยต่างประเทศที่ศึกษาการจัดการน้ำเพื่อลดการปล่อย CH_4 ได้แก่การระบายน้ำให้ดินแห้ง (aeration) ช่วงกลางฤดูปลูก (midseason drainage) ในช่วงหลังข้าวแตกกอสูงสุดและก่อนออกรวง(heading) ที่ประเทศจีนพบว่าเพิ่มผลผลิตข้าวได้แต่ลดการปล่อย CH_4 (Wang, 1986) การทำ midseason drainage นาน 2 สัปดาห์ในระยะข้าวแตกกอสูงสุดหรือระยะเริ่มออกรวง (panicle initiation) สามารถลดอัตราปล่อย CH_4 (Bronson et al., 1997 a)

นอกจากนี้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตัวอื่นจากนาข้าว เช่น N_2O นั้น การระบายน้ำให้ดินแห้งจะส่งเสริมอัตราปล่อย N_2O ซึ่งจะปล่อยออกตลอดเวลาที่ดินแห้งจนกระทั่งดินได้รับน้ำ การทำ midseason drainage ควรทำหลังจากต้นข้าวดูดไนโตรเจน (จากปุ๋ยรองพื้น) หมดแล้ว ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียปุ๋ย N ในรูป N_2O และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การทดน้ำเข้าควรทำในระยะ panicle initiation แล้วจึงใส่ปุ๋ย N ตาม (Bronson et al., 1997 a) N_2O ที่สูญเสียจากการใส่ปุ๋ย urea หรือ ammonium sulfate มีปริมาณเพียง 0.1 %

ของปริมาณปุ๋ยที่ได้ (Bronson, 1994) การทำ multiple aeration ลด CH_4 ลงถึง 88 % และไม่ลดผลผลิตข้าว (Sass et al., 1992)

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยพบว่าการเกิด aeration 2 ครั้งเมื่อเทียบกับ 1 ครั้งจะลดปริมาณ CH_4 ทั้งหมดได้ 57.8 % (Figure 2, a และ b) การทำนาหว่านสามารถลด CH_4 ในแปลงที่ไถกลบอินทรีย์วัตถุลงได้ 69.9 – 77.6 % เมื่อเทียบกับนาดำในช่วงแรกของการตั้งตัว ขณะเดียวกันการทำนาหว่านจะลดปริมาณ CH_4 ทั้งหมด (TME) ได้ 33.1 - 58.9 % งานทดลองที่ประเทศฟิลิปปินส์พบว่าการทำนาหว่าน (direct - seeded rice) สามารถลดการปล่อย CH_4 ลง 16 - 54 % เมื่อเทียบกับนาดำ กลไกของรากข้าวนาหว่านตื้นกว่าของนาดำ แต่มีจำนวนต้นมาก และกระจายทั่วพื้นที่มากกว่าของนาดำส่งเสริมให้ CH_4 ถูก oxidized เป็น CO_2 จึงลดการปล่อย CH_4 ลง (Corton et al., 2000)

อิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อการปล่อยมีเทน

ในการทดลองนี้ พบว่าข้าวที่ปลูกในสภาพนาของเกษตรกรจริงและมีแนวโน้มว่าสามารถลดการปล่อย CH_4 แต่สามารถจัดการให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นได้ ได้แก่ ชัยนาท 1 ดีกว่า กข 10 ในขณะที่ข้าวดอกมะลิ 105 และ กข 6 ไม่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยอื่นๆที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มผลผลิตและต่อการปล่อย CH_4 นั้นมีอีกหลายปัจจัยและมีความเด่นมากกว่าพันธุ์ข้าว อย่างไรก็ตามลักษณะเด่นของข้าวแต่ละพันธุ์สมควรได้รับการกล่าวถึง ข้าวเหนียว กข 10 มีอายุตกกล้าถึงวันเก็บเกี่ยว 130-135 วัน ความสูง 120 ซม ระยะเมล็ดพักตัว 5 สัปดาห์ ด้านทานโรคไหม้ปานกลาง ข้าวเหนียว กข 6 วันเก็บเกี่ยวโดยประมาณ 21 พฤศจิกายน ความสูง 150 ซม ระยะเมล็ดพักตัว 5 สัปดาห์ ลักษณะเด่นทนแล้ง ด้านทานโรคไหม้และโรคใบจุดสีน้ำตาล ข้าวเจ้าขาวดอกมะลิ 105 วันเก็บเกี่ยวประมาณ 25 พฤศจิกายน ความสูง 140 ซม ระยะเมล็ดพักตัว 8 สัปดาห์ ลักษณะเด่นปลูกได้ในที่นาดอนทนแล้ง ทนดินเปรี้ยว ทนดินเค็ม ด้านทานโรคได้เดือนฝอยรากปม ข้าวเจ้าชัยนาท 1 ตกกล้าถึงวันเก็บเกี่ยว 119-130 วัน ความสูง 120 ซม ระยะเมล็ดพักตัว 8 สัปดาห์ ลักษณะเด่นด้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว และโรคใบนิก (โรคจู๋) ก่อนข้างด้านทานโรคไหม้ (สถาบันวิจัยข้าว 2542)

การทดลองในประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าข้าวพันธุ์ IR 72 ปล่อย seasonal CH_4 emission ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นๆอีก 4 พันธุ์ (Wassman, 2000) แต่พวกเขายืนยันว่าการทดลองผลของพันธุ์ข้าวต่อการปล่อย CH_4 ไม่สามารถให้คำตอบได้จากการทดลองเดี่ยว ปริมาณ CH_4 ที่ปล่อยออกจากข้าวพันธุ์ต่างๆขึ้นกับลักษณะทางสรีระของข้าวพันธุ์ PSBRc 14 มีลักษณะทางสรีระคล้ายกับ IR 72 แต่ข้าวพันธุ์ Dular สูง แต่มีจำนวนกอและปริมาณรากน้อยและยังมีลักษณะเด่น คือ มีพัฒนาการของต้นข้าวทำให้การปล่อย CH_4 ต่ำในระยะแรก ส่วนพันธุ์ Magat มีลำต้นที่สูงและให้ผลผลิตสูงกว่า IR 72 พันธุ์ที่น่าสนใจ คือ IR 65597 เพราะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 25 % เนื่องจากมีลักษณะที่ดี คือ จำนวนกอน้อย แต่ทรงมีขนาดใหญ่และมีระบบรากที่แข็งแรง ในขณะเดียวกันปล่อย CH_4 ออกน้อยกว่า IR 72 หน้าที่หลัก (decisive function) ของต้นข้าวที่มีผลต่อการปล่อย CH_4 คือ การที่ gas สามารถผ่าน aerenchyma และการสร้างและปลดปล่อย root exudate (Wassman และ Aulakh, 2000) พวกเขาจึงกล่าวอีกว่าการทดลองในนา (under field conditions) กับพันธุ์ข้าวต่างๆต่อการปล่อย CH_4 ให้ผลที่ยืดหยุ่นสูงมาก (enormous plasticity)(Aulakh et al., 2000)

ตัวแปรทางดิน เช่น ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร (Nutrient availability)(Lu et al., 1999) การ

รับความเสียหายทางกายภาพ (physical impedance)(Marschner 1996) และการเปลี่ยนแปลงของค่า redox

potential (Kiudze et al., 1993) เหล่านี้สามารถบ่งชี้ความแตกต่างของพันธุ์ข้าวต่อการปล่อย CH_4 การทดลองเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวควรถือเป็นการเริ่มต้น

แนวทางการลดมีเทนจากนา

การทดลองวัด CH_4 จากนาเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้กำหนดวิธีวิจัยโดยกำหนดตำรับทดลองให้ครอบคลุมกับลักษณะเด่นๆของการทำนาในภาคนี้ และได้จับเอาประเด็นการดูแลจัดการแปลงนาของเกษตรกรที่มีผลต่อผลผลิตสูงและลดการปล่อย CH_4 จากนา การทดลองครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางได้กับนาในภาคนี้เท่านั้น อย่างไรก็ตามการลด CH_4 จากนาข้าวมีหลายวิธีและควรผสมผสานหลายวิธีเข้าด้วยกันแต่จะต้องไม่ลดผลผลิตข้าวซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลัก เหล่านี้จะต้องได้รับการยอมรับจากเกษตรกรด้วย

ในนาดินเหนียวหากต้องการเก็บน้ำในนาสามารถทำได้โดยการขุดหน้าดินออกประมาณ 20 ซม. แต่จะต้องจัดการเรื่องการใส่ปุ๋ยให้แก่ต้นข้าวอย่างเพียงพอ

ในนาดินเหนียวและดินร่วนทั้งนาปีและนาปรัง อาจเริ่มด้วยการไถกลบซากตอซึ่งที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวจากฤดูที่แล้ว สำหรับดินร่วนสามารถไถกลบได้เมื่อดินชื้น แต่สำหรับดินเหนียวทำได้โดยการแช่ดินให้นุ่มก่อนการไถกลบ หากต้องการความสะอาดอาจเผตอซึ่งก่อนเตรียมดิน แล้วทำนาหว่าน ในระยะที่ข้าวตั้งตัวใส่ปุ๋ยรองพื้นด้วย 16-20-0 หรือ 16-16-8 ในอัตราประมาณ 15-20 kg rai⁻¹ แล้วจึงแต่งหน้าด้วยปุ๋ย urea หรือปุ๋ย ammonium sulfate (AS) โดยแบ่งใส่ 1-2 ครั้ง ให้ใส่ปุ๋ยในขณะที่มีน้ำขังเพื่อลดการสูญเสีย N ในรูปของ N_2O โดยที่ควรแต่งหน้าจากระยะต้นข้าวตั้งตัวถึงระยะแตกกอสูงสุด ในการจัดการความชื้นในนานั้นควรปล่อยให้น้ำขังข้าวใช้น้ำที่ขังอยู่จนหมดจนดินแห้ง ซึ่งสังเกตได้ว่าผิวดินจะแตกทั้งไว้ 2-3 วัน ในดินเหนียวหรือ 4-5 วันในดินร่วน จึงรดน้ำเข้านาให้ท่วมขังประมาณ 5 ซม. แล้วปล่อยให้น้ำขังข้าวใช้น้ำให้หมดจนดินแห้งอีก สามารถทำเช่นนี้ได้หลายครั้ง (multiple aeration) จนถึงระยะข้าวตั้งท้อง (panicle initiation) ให้รดน้ำให้ขัง 5 ซม. ระยะตั้งท้องถึงระยะออกดอกดูแลอย่าให้น้ำขาด ในดินเหนียวให้ระบายออก 2 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว ส่วนในดินร่วนให้ระบายน้ำออก 7 วันก่อนเก็บเกี่ยวในดินทราย

ในฤดูนาปีข้าว กข 6 และขาวดอกมะลิ 105 ใช้ได้ทั้ง 2 พันธุ์ แล้วแต่ความต้องการของเกษตรกร และในฤดูนาปรังข้าวชัยนาท 1 สามารถปล่อย CH_4 น้อยกว่าข้าว กข 10

ในนาดินเค็มควรใส่ปุ๋ยมูลวัว อัตรา 830-909 kg rai⁻¹ โดยไถกลบในช่วงที่ดินยังชื้นแล้วปล่อยให้สลายตัวในสภาพไร่นาน 2 สัปดาห์ก่อนเตรียมดินเพื่อทำนาดำ (เกษตรกรไม่นิยมทำนาหว่านกับนาดินเค็มเพราะมีความเสี่ยงในระยะข้าวตั้งตัวเนื่องจากต้องอาศัยน้ำฝนเพียงแหล่งเดียว) แล้วจึงดูแลโดยการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าในระยะข้าวตั้งท้องด้วย ปุ๋ย urea หรือ AS ในอัตรา 20-30 kg rai⁻¹ ดูแลอย่าให้เกิดโรคและแมลง

ในการเริ่มฤดูปลูกควรคอยจังหวะอย่าปลูกข้าวให้เร็วเกินไป ถ้าอายุข้าวนานปริมาณ total CH_4 emission จะมากขึ้นตามอายุข้าว และการที่ข้าวมี lag vegetative phase นานไม่ได้หมายความว่าผลผลิตจะสูงตามและไม่แนะนำให้ทำ dry seeding เพราะผลผลิตจะต่ำเนื่องจากวัชพืชมาก ไม่ควรใส่ปุ๋ยพืชสดมากเกินไป (18 t rai⁻¹) เพราะจะส่งเสริมให้เกิด CH_4 ควรไถกลบในปริมาณพอเหมาะ 500-1,000 kg rai⁻¹

นอกจากเทคโนโลยีเกษตรกรแล้วยังสามารถลดปริมาณการปล่อย CH_4 ลงได้อีกโดยการลดพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังและปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นแทน เช่น ถั่วเหลือง ไม้ดอกไม้ประดับ ผักและพืชที่ให้มูลค่าสูงในระยะสั้น ส่งเสริมให้ใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวตั้งนั้นเทคโนโลยีการทำปุ๋ยหมักควรได้รับการส่งเสริม การทำนาหว่านและ multiple aeration เป็นการลดแรงงาน เวลา และค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับการทำนาดำ

ตารางแสดงตัวอย่างการจัดการดิน – น้ำ – ปุ๋ย เพื่อลด CH_4 จากนาข้าวแตร์กษามลิตข้าว

ระยะการเจริญเติบโต ของข้าว	นาชลประทาน		น่าน้ำฝน
	ดินเหนียว	ดินร่วน	ดินเค็ม
ก่อนเตรียมดิน ↓ เตรียมดิน	ไถกลบวัชพืชและตอซัง ทิ้งไว้ 2 สัปดาห์	ไถกลบวัชพืชและตอซัง ทิ้งไว้ 2 สัปดาห์	ไถกลบวัชพืชและตอซัง ทิ้งไว้ 2 สัปดาห์
↓ ปลูก	เตรียมดิน	เตรียมดิน	เตรียมดิน
↓ ระยะตั้งตัว	นาหว่าน	นาหว่าน	นาดำ
	15-20 วันหลังหว่าน ใส่ปุ๋ยรองพื้น	15-20 วันหลังหว่าน ใส่ปุ๋ยรองพื้น	5-7 วันหลังดำ ใส่ปุ๋ยรองพื้น
ระยะแตกกอ ↓ Evapotranspire ↓ Refflood	Multiple aeration เห็น ผิวดินแตก 2-3 วัน Refflood และ แบ่งใส่ ปุ๋ยแต่งหน้า	Multiple aeration เห็น ผิวดินแตก 4-5 วัน Refflood และ แบ่งใส่ ปุ๋ยแต่งหน้า	ซังน้ำฝนให้มากที่สุด และ แบ่งใส่ ปุ๋ยแต่งหน้า
↓ ระยะตั้งท้อง	น้ำขัง	น้ำขัง	น้ำขัง
↓ ระยะแบ่งแ้ง	ระบายน้ำ ดินแ้ง 14 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว	ระบายน้ำ ดินแ้ง 7 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว	ระบายน้ำ ดินแ้ง 7 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว
↓ เก็บเกี่ยว	ดินแ้ง	ดินแ้ง	ดินแ้ง

ตารางแสดงการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีเพื่อลด CH_4 จากนาข้าวแตร์กษามลิตข้าว

เนื้อดิน	วิธีการปลูก	จัดการอินทรีย์วัตถุ ¹	ปุ๋ยรองพื้น ²	ปุ๋ยแต่งหน้า ³
ดินเหนียว	นาหว่านนํ้าตม	ไถกลบฟางข้าว, ตอซัง, วัชพืชสด	16-20-0 อัตรา 15-20 kg rai ⁻¹	Urea, AS, GS 20 - 30 kg rai ⁻¹
ดินร่วน	นาหว่านนํ้าตม	ไถกลบฟางข้าว, ตอซัง, วัชพืชสด	16-16-8 อัตรา 15-20 kg rai ⁻¹	Urea, AS, GS 20 - 30 kg rai ⁻¹
ดินเค็ม	นาดำ	ปุ๋ยคอก (ขี้วัว) 500-1,000 kg rai ⁻¹	16-16-8 อัตรา 15-20 kg rai ⁻¹	Urea, AS, GS 20 - 30 kg rai ⁻¹

หมายเหตุ: ¹ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยคอกควรใส่และไถกลบในสภาพดินขึ้น 2 สัปดาห์ก่อนเตรียมดิน

² การใส่ปุ๋ยรองพื้นควรใส่ช่วง 15-20 วันหลังหว่านหรือ 7 วันหลังดำนา

³ AS หมายถึง ammonium sulfate, GS หมายถึง gypsum การใส่ปุ๋ยแต่งหน้าควรใส่ช่วงข้าวแตก
กอถึงข้าวตั้งท้อง โดยแบ่งใส่ตามความจำเป็น และการใส่ปุ๋ยรองพื้นและแต่งหน้าควรใส่ในช่วงที่ยัง
มีน้ำขังอยู่ 5 – 10 ซม

สรุป

ในฤดูนาปีชลประทาน 1999 ดินนาข้าวปล่อยปริมาณมีเทนทั้งหมด (TME) อยู่ในช่วง 6.73 – 16.78 g m⁻² มีค่าเฉลี่ยต่ำ 10.19 g m⁻² เนื่องจากเกษตรกรขุดเอาหน้าดินออก 20 ซม ส่วนในดินร่อยขีดปีเดียวกันปล่อย TME อยู่ในช่วง 24.54 – 86.89 g m⁻² มีค่าเฉลี่ย 45.95 g m⁻² ซึ่งมากกว่าของดินนาข้าว 4.5 เท่า เนื่องจากเกษตรกรไถกลบผักร้าง 18 ต้นต่อไร่ นาหว่าน กข 6 เมื่อเทียบกับนาดำลด TME ของดินร่อยขีดที่ได้รับการไถกลบผักร้างในปริมาณสูงลงได้ 58.97 % ในขณะที่นาหว่านข้าวดอกมะลิ 105 เมื่อเทียบกับนาดำข้าวดอกมะลิ 105 ลด TME ลง 33.10% การเกิด aeration 2 ช่วงช่วยลด TME ลง 57.75 % เมื่อเทียบกับ aeration 1 ช่วง ในฤดูนาปี 2000 พบว่าในดินนาข้าวมี TME 6.20 – 29.18 g m⁻² เมื่อจำนวนวันที่ขังน้ำลดลงจาก 92 วัน เป็น 70 วัน จะลด TME ลง 58.4 % และพบว่าชัยนาท 1 ปล่อย CH₄ ได้น้อยกว่า กข 10 ส่วนในดินร่อยขีดในฤดูเดียวกันปล่อย TME 10.01 – 24.34 g m⁻² ในฤดูนาปีน้ำฝน 2000 พบ TME อยู่ในช่วง 8.96-14.72 g m⁻² จากดินนาข้าวที่ปลูกน้ำท่วม ส่วนในดินนาข้าวในฤดูเดียวกัน TME 27.10 – 41.94 g m⁻² อิทธิพลของการไถกลบวัชพืชต่อ TME สูงถึง 71.56 % ในนาดำ กข 6 และ 68.70 % ในนาดำข้าวดอกมะลิ 105 ฤดูนาปี 2001 ในดินนาข้าวมี TME 9.33-15.70 g m⁻² ในขณะที่ในดินร่อยขีดมี TME 15.27 - 22.80 g m⁻² ในฤดูนาปีน้ำฝน 2001 ในดินร่อยขีดที่เป็นดินเค็ม (saline soil) TME 18.98-32.36 g m⁻² และดินร่อยขีดที่ไม่เค็ม(non-saline soil)ให้ TME 26.28 g m⁻²

ตลอด 5 ฤดูปลูก ผลผลิตข้าวจากดินนาข้าวอยู่ในช่วง 387 – 819 kg rai⁻¹ สูงกว่าของดินนาข้าวที่ปล่อยอยู่ในช่วง 256 - 733 kg rai⁻¹ และพบว่าปริมาณ CH₄ ต่อหน่วยผลผลิตข้าว (MPG) มีค่าอยู่ในช่วง 12.11 - 222.66 gCH₄ kg⁻¹grain ในนาปีชลประทาน 1999 MPG ของดินนาข้าวมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 17.88 - 56.40 gCH₄ kg⁻¹grain แต่ในดินนาข้าวที่ปล่อยให้ MPG สูง 67.84 - 222.66 gCH₄ kg⁻¹grain เนื่องจากได้รับปุ๋ยพืชสดในปริมาณสูง 18 t rai⁻¹ ทุกฤดูปลูกมีแนวโน้มว่านาหว่านมีค่า MPG ต่ำกว่านาดำ ในฤดูนาปีน้ำฝน 2000 และนาปีน้ำฝนดินเค็ม 2001 ซึ่งฝนตกมากให้ MPG อยู่ในช่วง 89.92 - 138.64 gCH₄ kg⁻¹grain และ 57.02-167.46 gCH₄ kg⁻¹ grain ตามลำดับ นาหว่านมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงขึ้นในขณะที่ปล่อย CH₄ ต่อหน่วยผลผลิตข้าวได้ต่ำกว่าของนาดำ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตดีแต่ปล่อย CH₄ ต่ำเรียงจากดีมากกกว่าไปหาน้อยกว่า คือ ชัยนาท 1 กข 10 ข้าวดอกมะลิ 105 และ กข 6 ซึ่ง 2 พันธุ์หลังไม่ต่างกันมาก

แนวทางการลด CH₄ จากนาแต่รักษาผลผลิตข้าวไม่ให้ลดลงนั้นได้แนะนำให้ไถกลบวัชพืชสดหรือใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยไถกลบในสภาพดินขึ้น 2 สัปดาห์ก่อนการเตรียมดิน แนะนำให้ทำนาหว่านในพื้นที่ชลประทานใส่ปุ๋ยผสมเป็นปุ๋ยรองพื้นด้วย 16-20-0 กับดินเหนียวหรือ 16-16-8 กับดินร่วนในอัตรา 15-20 kg rai⁻¹ เมื่อกำลังอายุ 15 – 20 วันหลังหว่านหรือ 7 วันหลังปักดำ แล้วแต่งหน้าด้วยปุ๋ย urea, ปุ๋ย ammonium sulfate, หรือ gypsum ในอัตรา 20-30 kg rai⁻¹ ในช่วงข้าวแตกกอถึงข้าวตั้งท้อง การใส่ปุ๋ยเคมีควรแบ่งใส่เมื่อมีน้ำขังในนาประมาณ 5 ซม ตลอดฤดูปลูกเริ่มจากระยะข้าวตั้งต้นควรดูแลให้ต้นข้าวใช้น้ำทั้งหมดจนผิวดินแตก 3 วันสำหรับดินเหนียวหรือ 4-5 วันสำหรับดินร่วน แล้วจึงรดน้ำเข้านาให้ท่วมประมาณ 5 โดยที่ดูแลข้าวไม่ให้ขาดน้ำในช่วงข้าวตั้งท้องถึงข้าวออกดอก และระบายน้ำออก 14 วันก่อนเก็บเกี่ยวสำหรับดินเหนียวหรือ 7 วันก่อนเก็บเกี่ยวสำหรับดินร่วน

เอกสารอ้างอิง

- นิวัติ เจริญศิลป์ ชีษณุชา บุคตาบุญ พิสิฐ พรหมนาท ลัดดาวัลย์ กรรณนุช และ ประโยชน์ เจริญธรรม. 2542. โครงการวิจัยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. เอกสารประกอบการบรรยาย "การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว"กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์. หน้า 80-111
- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2542. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2540/41. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 309 หน้า
- สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 2543. เทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยในนาข้าว. ISBN 974- 7466-62-7, 124 หน้า
- สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 2535. เทคโนโลยีการปลูกข้าวที่อาศัยน้ำฝน. ISBN 974-7621-48-7, 160 หน้า
- เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. 2542. เอกสารแนะนำข้าวและธัญพืชเมืองหนาว พันธุ์ 75 พันธุ์ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 29 หน้า.
- Alberto MCR, Neue HU, Capati AB, Castro RU, Bernardo LM, Aduna JB & Lantin R. 1996. Effect of different straw management practices on soil fertility, rice yields and the environment. In: Attanandana T, Kheoruenromne I, Pongsakul P and Vearasilp T (eds). In: Proceeding of the International Symposium on Maximizing Sustainable on the Rice Yields Through Improved Soil and Environmental Management Vol. 2, 11-17 November 1996, Khon Kaen, Thailand. pp 721-731
- Alcordero IS and Rechcigl JE. 1995. Phosphogypsum and other by-product gypsums. In: Rechcigl JE (ed) Soil Amendment and Environmental Quality Agricultural and Environment Series. New York: CRC Press Inc. (Lewis Publishers) pp 365-425
- Arunin S. 1983. Characteristic and management of salt-affected soils in northeast of Thailand, Proc. Intern. Seminar on Ecology and Management of Problem Soils in Asia, Paper No. 19, 26 p
- Aulakh MS, Wassman R, and Rennenberg H. 2000. methane production and emission from rice fields-significance, measurement, role of management, and mitigation options. Adv Agron (in press)
- Bronson KF. 1994. Nitrous oxide emissions from flooded rice. Abstracts Climate Change and Rice International Symposium, 14-18 March 1994, IRRI Los Banos, Laguna, Philippines
- Bronson KF, Neue HU, Singh U and Abao EB Jr. 1997a. Automated chamber measurements of methane and nitrous oxide flux in a flooded rice soil. I. Residue, nitrogen and water management. Soil Sci Soc Am J 61(3): 981-987
- Buendia LV, HU Neue, R Wassman, RS Lantin, AM Javellana, J Arah, Y Xu, AK Makarim, TM Corton, and N Charoensilp. 1996. Understanding the nature of Methane emission from Rice Ecosystems as a Basis for Mitigation Strategies. In Proceedings of the International Symposium on Maximizing Sustainable Rice Yields Through Improved Soil and Environmental Management. 11-17 November 1996, Khon Kaen, Thailand. pp 291-306.

- Corton TM, JB Bajita, FS Grospe, RR Pamplona, CA Asis Jr, R Wassmann, RS Lantin and LV Buendia. 2000. Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58: 37-53
- Denier van der Gon HAC and Neue HU. 1994. Impact of gypsums application on the methane emission from wetland rice field. *Global Biogeochem Cycles* 8: 127-134
- FAO.1994. *FAO Yearbook, Production Vol. 47, 1993. Food and Agriculture of the United Nations*, Rome.
- FAO.1997. *Agriculture and Climate Change: FAO' s role*. In: *News and Highlights Food and Agriculture of the United Nations*. URL: <http://www.fao.org/news/1997/97120-e.htm>
- Freney JR, Jacq VA and Baldensperger JF. 1982. The significance of the biological sulfur cycle in rice production. In: Dommergues YR & Diem HC (eds). *Microbiology of Tropical soils and Plant Productivity*. Martinus Nijhoff Publ, The Hague. pp 271-317
- Hori K, Inubushi K, Matsumoto S and Wada H. 1993. Competition for hydrogen between methane formation and sulfate reduction in a paddy soil. *Jpn J Soil Sci Plant Nutri* 64:363-367
- IPCC.1992. *Climate Change. The supplementary report to the IPCC scientific assessment*. J T Houghton, B A Carlender, and S K Vamey (eds)Cambridge University Press, UK.)
- IRRI. 1991. *World Rice Statistics 1990*. International Rice Research Institute. PO Box 933, Manila, Philippines.
- IRRI. 1996. *Measurement of Methane Emissions from Rice Fields*. In: *A Study of a Least – Cost Greenhouse Gas Abatement Strategy for Asia (ALGAS)*. Prachinburi Rice Research Center, Prachinburi, Thailand. 28 Oct. – 02 Nov. 1996. International Rice Research Institute.
- Jemsawatdipong P, Mmurase J, Prabuddham P, Hasathon Y, Khomthong N, Naklang K, Watanabe A, Haraguchi H and Kimura M. 1994. Methane Emission from Plots with Differences in Fertilizer Application in Thai paddy Fields. *Soil Sci Plant Nutr.*, 40 (1): 63-71
- Kato K, Chairaj P, Yagi K, Tsuruta H, Minami K and Cholitkul W. 1999 (a). Methane Emission from Paddy Fields in Northern Thailand. *JIRCAS Journal No. 7*:77-85
- Kato K, Chairaj P, Yagi K, Tsuruta H, Minami K and Cholitkul W. 1999 (b). Methane Emission from Paddy Fields in Northern Thailand. *JIRCAS Journal No. 7*:87-96.*Sci. Plant Nutr.*, 39, 63-70
- Kludze HK, DeLaune RD and Patrick WH Jr. 1993. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. *Soil Sci Soc Am J* 57:386-391
- Lindau CW, De Laune RD, Patrick WH Jr and Bollich PK. 1990. Fertilizer effects on dinitrogen, nitrous oxide, and methane emissions from lowland rice. *Soil Sci Soc Am J* 54: 1789-1794
- Lindau CW, Bollich PK, De Laune RD, Patrick WH Jr and Lau VJ. 1991. Effect of urea fertilizer and environmental factors on methane emissions from a Louisiana rice field. *Plant Soil* 136: 195 - 203

- Lu Y, Wassman R, Neue HU and Huang C. 1999. Impact of phosphorus supply on root exudation, aerenchyma formation and methane emission of rice plants. *Biogeochemistry* (in press)
- Marschner, H. 1996. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London
- Neue HU. 1993. Methane emission from rice fields. *Bio-science* 43:466-474
- Panichapong S. 1988. Soil and water resources in northeast Thailand. In: Proceeding of the Workshop of the First KKU-USAID International Seminar on Soil, Water and Crop Management Systems for Rainfed Agriculture in Northeast Thailand, 25 Feb.-1 March 1985, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, pp 2-13
- Saenjan P and Wada H. 1990. Effects of salts on methane formation and sulfate reduction in submerged soil. *Trans 14th Int Congr Soil Sci*, Kyoto, Japan, 2(II):244-248
- Sass RL, Fisher FM, Wang YB, Turner FT and Lund MF. 1992. Methane emission from rice fields: The effect of flood water management. *Global Biogeochem Cycles* 6(3): 249-262
- Takai Y. 1970. The mechanism of methane fermentation in flooded paddy soil. *Soil Sci Plant Nutr* 16:238-244
- Vogel DD, Keltjens JT and Vander Drift C. 1988. Biochemistry of methane production. In: Zehnder AJB (ed) *Biology of Anaerobic Microorganisms*. New York: Wiley. pp 707-770
- Wang Z. 1986. Rice based systems in subtropical China, p.195-206. In: Juo ASR Lowe JA (eds) *Wetlands and rice in Subsahara Africa*. International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria
- Wang, ZP, De Laune RD, Lindau CW and Patrick WH Jr. 1993. Methane production from anaerobic soil amended with rice straw and nitrogen fertilizers. *Fert Res* 33: 115-121
- Wang Z, Y Xu, Z Li, Y Ding, Y Guo, H U Neue and R Wassmann. 1996. Effect of Water Regime and Organic Manure on Methane Emissions from Rice Fields. In: *Proceedings of The International Symposium on Maximizing Sustainable Rice Yields Through Improved Soil and Environmental Management*. 11-17 November 1996, Khon Kaen, Thailand. p 315-322.
- Wassmann R and Aulakh MS. 2000. The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. *Biol Fertil Soils* 31:20-29
- Yagi K and Minami K. 1990. Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Sci Plant Nutr* 36(4):599-610

Table 1.1 Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (major rice, 1999)

Soil series	Ratchaburi series (Rb) ^{1/}		Roiet series (Re) ^{2/}	
Geographic position				
GCS	N 16° 21.223'		N 16° 28.217'	
	E 102° 54.468'		E 102° 56.688'	
UTM	48Q 276838 E		48Q 280588 E	
	1818881 N		1822477 N	
Phase of great group	Clayey Tropaequepts		Coarse-loamy Paleaquepts	
Characteristics	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Sand (%)	24.42	22.40	75.39	79.28
Silt (%)	40.20	39.29	13.11	9.90
Clay (%)	35.38	38.31	11.49	10.28
Texture	Clay Loam		Sandy Loam	
RMC(mg C/100 g soil)	52.00	39.00	49.33	26.67
MnO ₂ (%)	0.089	0.075	0.011	0.034
Fe ₂ O ₃ (%)	0.860	0.095	0.250	0.150
SO ₄ ²⁻ (ppm)	130.86	65.2	20.48	24.99
Mn ²⁺ (ppm)(28days)	676	588	36	16
Fe ²⁺ (ppm)(28 days)	1,128	1,050	1,186	735
OM (%)	0.990	0.700	0.470	0.330
TN (%)	0.020	0.020	0.006	0.005
Avai. P (ppm)	15.64	9.72	18.47	9.04
Ca (ppm)	2,300	2,048	184	98
Mg (ppm)	319	288	27	12
Na (ppm)	98	150	33	36
K (ppm)	94	77	31	14
CEC (me/100g)	10.32	10.22	1.78	1.72
pH (1:2.5)	6.74	6.74	5.18	4.99
EC (mS) (1:5)	0.060	0.060	0.030	0.020

^{1/} Soil was sampled at Ban Don Do, Tambol Bung Neim, Amphor Muang, Khon Kaen on 15 June 1999.

^{2/} Soil was sampled at Ban Kok Sai, Tambol Kok Sai, Amphor Muang, Khon Kaen on 15 June 1999.

Table 1.2 Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (irrigated second rice, 2000)

Soil series	Ratchaburi series (Rb) ^{1/}		Roiet series (Re) ^{2/}		Roiet series(Re) ^{3/}	
Geographic position						
GCS	N 16° 21.223'		N 16° 32.997'		N 16° 32 .832'	
	E 102° 54.468'		E 102° 51.250'		E 102° 51. 271'	
UTM	48 Q 276838 E		48 Q 271004 E		48 Q 271038 E	
	1818881 N		1830880 N		1830575 N	
Phase of great group	Clayey Tropaequpts		Loamy Paleaquults		Loamy Paleaquults	
Characteristics	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Sand (%)	24.42	22.40	46.48	45.52	49.43	45.59
Silt (%)	40.20	39.29	43.28	44.70	36.14	37.55
Clay (%)	35.38	38.31	10.29	9.78	14.43	16.74
Texture	Clay Loam		Loam		Loam	
RMC(mg C/100 g soil)	47.75	41.25	71.00	45.50	93.00	48.00
MnO ₂ (%)	0.117	0.073	0.011	0.023	0.014	0.043
Fe ₂ O ₃ (%)	0.789	0.792	0.240	0.301	0.587	0.818
SO ₄ ²⁻ (ppm)	137.38	71.97	24.01	25.31	31.76	29.68
Mn ²⁺ (ppm)(28 days)	696.25	192.25	127	335	98.5	245
Fe ²⁺ (ppm)(28 days)	858.5	41.00	1,716	1,503	2,049	1,225
OM (%)	0.773	0.489	0.787	0.377	0.716	0.522
TN (%)	0.047	0.037	0.038	0.023	0.060	0.038
Avai. P (ppm)	4.45	13.53	6.76	4.76	44.76	44.38
Ca (ppm)	2,573	2,834	676	727	957	1,342
Mg (ppm)	307	315	90	91	114	155
Na (ppm)	115	193	48	54	106	87
K (ppm)	91	99	29	31	126	91
CEC (me/100g)	12.95	13.19	4.33	3.83	6.35	7.05
pH (1:1)	5.94	5.95	5.38	6.60	4.90	6.18
EC (mS) (1:5)	0.058	0.081	0.075	0.043	0.081	0.064

^{1/} Soil was sampled at Ban Don Do, Tambol Bung Neim, Amphor Muang, Khon Kaen on 7 December 1999.

^{2/} Soil was sampled at Ban Nong Ka, Tambol Nonton, Amphor Muang, Khon Kaen on 4 December 1999.

^{3/} Soil was sampled at Ban Na Ngam, Tambol Sila, Amphor Muang, Khon Kaen on 14 January 2000.

Table 1.3 Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (rainfed rice, 2000)

Soil series	Ratchaburi series (Rb) ^{1/}		Roiet series (Re) ^{2/}		Roiet series (Re) ^{3/}	
Geographic position						
GCS	N 16° 19.622'		N 16° 32.848'		N 16° 23.635'	
	E 102° 47.025'		E 102° 48.975'		E 102° 47.687'	
UTM	48 Q 263251 E 1806253 N		48 Q 266988 E 1830612 N		48 Q 264511 E 1813642 N	
Phase of great group	Clayey Tropaquepts		Loamy Paleaquults		Loamy Paleaquults	
Characteristics	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Sand (%)	36.24	5.09	68.36	68.54	52.88	45.22
Silt (%)	24.36	54.32	26.48	25.72	34.28	33.66
Clay (%)	39.40	40.59	5.16	5.74	12.84	21.18
Texture	Clay loam	Silty clay	Sandy loam	Sandy loam	Sandy loam	Loam
RMC(mg C/100 g soil)	72.00	40.50	32.10	13.35	52.80	13.80
MnO ₂ (%)	0.061	0.043	0.006	0.008	0.022	0.006
Fe ₂ O ₃ (%)	0.535	0.506	0.087	0.077	0.201	0.185
SO ₄ ²⁻ (ppm)	12.175	7.555	13.765	7.528	15.400	3.470
Mn ²⁺ (ppm)(28 days)	490.0	297.5	54.0	65.8	193.0	51.0
Fe ²⁺ (ppm)(28 days)	1840.0	578.5	660.3	323.3	1966.0	2954.0
OM (%)	1.668	1.423	0.617	0.276	0.852	0.904
TN (%)	0.069	0.065	0.026	0.012	0.033	0.038
Avai. P (ppm)	3.525	3.065	6.738	3.082	1.390	3.470
Ca (ppm)	899.5	798.5	222.3	167.0	760.0	581.0
Mg (ppm)	116.5	95.5	27.5	18.5	110.0	115.0
Na (ppm)	153	134	20.5	25.5	568	289
K (ppm)	54.0	20.5	7.5	2.5	38.0	22.0
CEC (me/100g)	11.4	12.12	2.355	2.225	5.86	7.62
pH (1:1)	5.1	5.0	5.7	5.0	5.1	4.8
EC (mS) (1:5)	0.072	0.063	0.031	0.034	0.063	0.123

^{1/} Soil was sampled at Ban Nong Pho, Tambol Nong Wang, Amphor Phra Yuen, Khon Kaen on 2 June 2000.

^{2/} Soil was sampled at Ban Nong Nam Kiang, Tambol Samran, Amphor Muang, Khon Kaen on 8 June 2000.

^{3/} Soil was sampled at Ban Kud Kwang, Tambol Muang Kao, Amphor Muang, Khon Kaen on 10 June 2000.

Table 1.4 Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (second rice, 2001).

Soil series	Ratchaburi series (Rb) ^{1/}		Roiet series (Re) ^{2/}		Roiet series (Re) ^{3/}	
Geographic position						
GCS	N 16° 26.717'		N 16° 32.997'		N 16° 32.832'	
	E 102° 54.157'		E 102° 51.250'		E 102° 51.271'	
UTM	48 Q 276089 E		48 Q 271004 E		48 Q 271038 E	
	1819205 N		1830880 N		1830575 N	
Phase of great group	Clayey Tropaepts		Loamy Paleaquults		Loamy Paleaquults	
Characteristics	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Sand (%)	7.63	16.93	46.48	45.52	49.43	45.59
Silt (%)	46.95	43.11	43.28	44.70	36.14	37.55
Clay (%)	45.42	39.96	10.29	9.78	14.43	16.74
Texture	Silty clay	Silty clay loam	Loam		Loam	
RMC(mg C/100 g soil)	127.5	48.0	70.0	31.0	86.5	52.5
MnO ₂ (%)	0.093	0.242	0.001	0.017	0.009	0.015
Fe ₂ O ₃ (%)	1.482	0.699	0.201	0.181	0.353	0.392
SO ₄ ²⁻ (ppm)	15.35	10.52	11.27	7.57	11.94	9.29
Mn ²⁺ (ppm)(28 days)	348	546	112	178	24	96
Fe ²⁺ (ppm)(28 days)	4,923	1,030	1,255	510	1,708	1,290
OM (%)	2.943	2.349	0.947	0.377	1.337	0.965
TN (%)	0.091	0.074	0.034	0.014	0.049	0.041
Avai. P (ppm)	3.90	3.66	11.93	6.19	71.39	68.21
Ca (ppm)	2,085	2,540	599	640	776	933
Mg (ppm)	310.0	377.0	69.3	66.3	92.0	115.5
Na (ppm)	81.0	159.0	46.7	42.7	30.0	33.5
K (ppm)	80.5	60.5	19.3	21.3	37.5	29.0
CEC (me/100g)	21.13	21.18	5.09	4.33	7.29	7.92
pH (1:1)	4.95	5.64	4.59	6.21	4.40	5.27
EC (mS/cm) (1:5)	0.060	0.051	0.087	0.059	0.082	0.053

^{1/} Soil was sampled at Ban Song Puay, Tambol Bung Neim, Amphor Muang, Khon Kaen on 8 January 2001.^{2/} Soil was sampled at Ban Nong Ka, Tambol Nontan, Amphor Muang, Khon Kaen on 23 January 2001.^{3/} Soil was sampled at Ban Na Ngam, Tambol Sila, Amphor Muang, Khon Kaen on 31 January 2001.

Table 1.5 Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils (rainfed rice, 2001).

Soil series	Roiet (saline phase) ^{1/}		Roiet (saline phase) ^{2/}		Roiet series ^{3/}	
GCS	N 16° 26.885'		N 16° 13.453'		N 16° 32.848'	
	E 102° 43.694'		E 102° 4.827'		E 102° 48.975'	
UTM	48 Q 257461 E		48 Q 259211 E		48 Q 266988 E	
	1819716 N		1794916 N		1830612 N	
Phase of great group	Loamy Paleaquult		Sandy Paleaquult		Loamy Paleaquult	
Characteristics	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Sand (%)	77.05	63.35	82.81	79.26	68.36	68.54
Silt (%)	19.22	27.58	13.47	17.52	26.48	25.72
Clay (%)	3.73	9.07	3.72	3.22	5.16	5.74
Texture	Loamy sand	Sandy loam	Loamy sand	Loamy sand	Sandy loam	Sandy loam
RMC(mg C/100 g soil)	35.0	25.5	55.0	45.0	33.0	26.0
MnO ₂ (%)	0.002	0.009	0.005	0.007	0.003	0.003
Fe ₂ O ₃ (%)	0.023	0.065	0.008	0.007	0.050	0.050
SO ₄ ²⁻ (ppm)	13.54	12.00	24.33	14.71	13.08	11.08
Mn ²⁺ (ppm)(28 days)	13	65	42	43	15	17
Fe ²⁺ (ppm)(28 days)	236	450	82	91	302	324
OM (%)	0.280	0.280	0.320	0.200	0.420	0.450
TN (%)	0.008	0.008	0.018	0.009	0.014	0.012
Avai. P (ppm)	1.50	0.95	9.21	7.30	2.89	3.06
Ca (ppm)	162	289	208	292	141	149
Mg (ppm)	27.0	41.0	15.0	19.0	18.0	18
Na (ppm)	56.0	53.0	90.0	45.0	20.0	18
K (ppm)	48.0	80.0	720.0	96.0	8.0	13.0
CEC (me/100g)	1.00	1.65	1.21	1.21	1.52	1.42
pH (1:1)	5.00	5.71	9.18	9.13	4.40	4.4
EC (mS/cm) (1:5) ^{4/}	0.490	0.34	0.58	0.47	0.020	0.020

^{1/} Soil was sampled at Ban Toom, Tambol Ban Toom, Amphor Muang, Khon Kaen on 22 May 2001.^{2/} Soil was sampled atBan Kham Pia, Tambol Ban Had, Ging Amphor Ban Had, Khon Kaen on 17 May 2001. ^{3/} Soil was sampled at Ban Nong Nam Giang,Tambol Samran, Amphor Muang, Khon Kaen on 24 May 2001. ^{4/} In March 2001 at Ban Toom, EC in the rice field was 1.9 mS, while

at Ban Kham Pia was 1.6-1.9 mS. At both site, in saline spots without grass, EC was 17-20 mS.

Table 2 Rice growing seasons and representative treatments.

Rice – season ^{1/} , year			MR 1999 ^{2/}	SR 2000 ^{3/}	MR 2000 ^{3/}	SR 2001 ^{3/}	MR 2001 ^{3/}
Soil series	Cultivation	Varieties	Irrigation	Irrigation	Rainfed	Irrigation	Rainfed
Ratchaburi (Rb)	Transp.	Glutinous	RD 6	RD 10	RD 6	RD 10	-
		Indica	KDML105	CNT 1	KDML105	CNT 1	-
	Broadc.	Glutinous	RD 6	RD 10	RD 6	RD 10	-
		Indica	KDML105	CNT 1	KDML105	CNT 1	-
Roiet (Re)	Transp.	Glutinous	RD 6	RD 10	RD 6	RD 10	RD 6
		Indica	KDML105	CNT 1	KDML105	CNT 1	KDML105
	Broadc.	Glutinous	RD 6	RD 10	RD 6	RD 10	-
		Indica	KDML105	CNT 1	KDML105	CNT 1	-
Roiet (Saline soil)	Transp.	Glutinous	-	-	-	-	RD 6
		Indica	-	-	-	-	KDML105
	Transp. + CM	Glutinous	-	-	-	-	RD 6
		Indica	-	-	-	-	KDML105

^{1/} Rice growing season : MR and SR indicate major rice and second rice, respectively.

^{2/} Methane measurements were conducted at 2 sites (Table 1.1), total was 8 plots.

^{3/} Methane measurements were conducted at 3 sites (Table 1.2, 1.3, 1.4 and 1.5), total was 10 plots per season .

Table 3.1 Cultivation practices and calendar for Ratchaburi-soil plots at Ban Don Do (major rice, 1999).

Date	Transplanted RD 6	Transplanted KDML 105	Broadcasted RD 6	Broadcasted KDML 105
30 Apr 1999	บุตขึ้นดินบน 20 ซม.	บุตขึ้นดินบน 20 ซม.	บุตขึ้นดินบน 20 ซม.	บุตขึ้นดินบน 20 ซม.
4 Jul 1999	ขังน้ำ	ขังน้ำ	ขังน้ำ	ขังน้ำ
15 Jul 1999	-	-	ไถกลบ	ไถกลบ
16 Jul 1999	ไถกลบ	ไถกลบ	คราดนา	คราดนา
17 Jul 1999	คราดนา	คราดนา	-	-
18 Jul 1999	-	-	หว่าน	หว่าน
21 Jul 1999	ดำนา	-	-	-
25 Jul 1999	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
26 Jul 1999	ใส่ยาฆ่าหญ้า	-	ใส่ยาฆ่าหญ้า	ใส่ยาฆ่าหญ้า
27 Jul 1999	ใส่ปุ๋ย 46-0-0, 9.6 กก/ไร่	-	-	-
31 Jul 1999	-	ดำนา, ใส่ยาฆ่าหญ้า	ใส่ยาฆ่าหญ้า	ใส่ยาฆ่าหญ้า
1 Aug 1999	-	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 10 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 10 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 10 กก/ไร่
2 Aug 1999	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
11 Aug 1999	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
8 Sep 1999	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 20 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 20 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 20 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 20 กก/ไร่
25 Sep 1999	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 20 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 20 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 20 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 20 กก/ไร่
29 Oct 1999	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก
16 Nov 1999	-	เก็บเกี่ยว	-	-
23 Nov 1999	เก็บเกี่ยว	-	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว

Table 3.2 Cultivation practices and calendar for Roiet-soil plots at Ban Kok Sai (major rice, 1999)

Date	Transplanted RD 6	Transplanted KDML 105	Broadcasted RD 6	Broadcasted KDML 105
6 Jul 1999	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า
7 Jul 1999	ไถกลบพืชสด 18 ต้น/ไร่	ไถกลบพืชสด 18 ต้น/ไร่	ไถกลบพืชสด 18 ต้น/ไร่	ไถกลบพืชสด 18 ต้น/ไร่
8 Jul 1999	คราดนา	คราดนา	คราดนา	คราดนา
9 Jul 1999	ดำนา	-	-	-
10 Jul 1999	-	ดำนา	หว่าน	หว่าน
17 Jul 1999	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า	-	-
3 Aug 1999	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 3.8 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 3.8 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 3.8 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 3.8 กก/ไร่
4 Aug 1999	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า
26 Aug 1999	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า	เข้าน้ำเข้า
21 Sep 1999	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 3.8 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 3.8 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 3.8 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 3.8 กก/ไร่
16 Oct 1999	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก	-	-
22 Oct 1999	-	-	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก
16 Nov 1999	-	เก็บเกี่ยว	-	เก็บเกี่ยว
23 Nov 1999	เก็บเกี่ยว	-	เก็บเกี่ยว	-

Table 3.3 Cultivation practices and calendar for Ratchaburi-soil plots at Ban Don Do (second rice, 2000)

Date	Transplanted RD 10	Transplanted CNT 1	Broadcasted RD 10	Broadcasted CNT 1
19 Dec 1999	ไถนา	ไถนา	ไถนา	ไถนา
29 Dec 1999	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
9 Jan 2000	-	-	-	คราด, หว่าน- 13 กก/ไร่
15 Jan 2000	-	-	คราดนา	-
17 Jan 2000	-	-	หว่าน 20 กก./ไร่	-
23 Jan 2000	-	-	-	เอาน้ำเข้า, ฉีดยาฆ่าหอย
25 Jan 2000	-	-	เอาน้ำเข้า	-
26 Jan 2000	-	-	ฉีดยาฆ่าหอย	ฉีดยาฆ่าหอย
6 Feb 2000	-	-	เอาน้ำเข้า, ฉีดยาฆ่าหญ้า	เอาน้ำเข้า, ฉีดยาฆ่าหญ้า
17 Feb 2000	คราดนา	คราดนา	-	-
18 Feb 2000	ดำนา	-	-	-
19 Feb 2000	-	ดำนา	-	-
1 Mar 2000	ฉีดยาฆ่าหอย	ฉีดยาฆ่าหอย	-	-
5 Mar 2000	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
6 Mar 2000	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 19 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 19 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 19 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 19 กก/ไร่
28 Mar 2000	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 12.5 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 12.5 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 12.5 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 12.5 กก/ไร่
4 Apr 2000	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
22 Apr 2000	ฉีดยาฆ่าเหี้ย	ฉีดยาฆ่าเหี้ย	-	-
29 Apr 2000	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก
11 May 2000	-	-	เก็บเกี่ยว	-
12 May 2000	-	-	-	เก็บเกี่ยว
26 May 2000	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	-	-

Table 3.4 Cultivation practices and calendar for Roiet-soil plots at Ban Nong Ka (second rice, 2000)

Date	Transplanted RD 10	Transplanted CNT 1	Broadcasted RD 10	Broadcasted CNT 1
20 Dec 1999	เผาตอซัง	เผาตอซัง	เผาตอซัง	เผาตอซัง
25 Dec 1999	-	-	-	ไถนา
4 Jan 2000	-	-	ไถนา	-
12 Jan 2000	-	-	-	คราด ,หว่าน 20 กก/ไร่
18 Jan 2000	ไถนา	ไถนา	-	-
26 Jan 2000	-	-	-	เขาน้ำเข้า
4 Feb 2000	-	คราดนา	-	-
5 Feb 2000	-	ดำนา	-	-
9 Feb 2000	-	เขาน้ำเข้า	ไถนา	-
10 Feb 2000	-	-	-	ฉีดยาฆ่าหญ้า
12 Feb 2000	คราดนา	-	-	-
13 Feb 2000	ดำนา	-	คราดนา	-
15 Feb 2000	-	-	หว่าน 20 กก/ไร่	-
22 Feb 2000	เขาน้ำเข้า	เขาน้ำเข้า	เขาน้ำเข้า	เขาน้ำเข้า
26 Feb 2000	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 16.5 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 16.5 กก/ไร่	-	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 16.5 กก/ไร่
29 Feb 2000	-	เขาน้ำเข้า	-	-
19 Mar 2000	-	-	ใส่ปุ๋ย 16-16-8 25 กก/ไร่	-
2 Apr 2000	-	-	-	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 25 กก/ไร่
3 Apr 2000	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 12.5 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 12.5 กก/ไร่	-	-
7 Apr 2000	-	-	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 20 กก/ไร่	-
18 Apr 2000	-	-	เขาน้ำเข้า	ระบายน้ำออก
26 Apr 2000	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก	เขาน้ำเข้า	-
5 May 2000	-	-	ระบายน้ำออก	-
10 May 2000	-	-	-	เก็บเกี่ยว
12 May 2000	-	เก็บเกี่ยว	-	-
16 May 2000	เก็บเกี่ยว	-	-	-
7 Jun 2000	-	-	เก็บเกี่ยว	-

Table 3.5 Cultivation practices and calendar for Roiet-soil plots at Ban Na Ngam (second rice, 2000)

Date	Transplanted RD 10 ^{1/}	Transplanted CNT 1
20 Dec 1999	เผาตอซัง	เผาตอซัง
22 Dec 1999	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
13 Jan 2000	เอาน้ำเข้า	-
18 Jan 2000	ไถนา	-
24 Jan 2000	ถอนกล้า, คราดนา	-
25 Jan 2000	ดำนา	-
29 Jan 2000	-	ไถนา
31 Jan 2000	-	เอาน้ำเข้า, คราดนา
1 Feb 2000	-	ดำนา
20 Feb 2000	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
21 Feb 2000	-	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0, 25 กก/ไร่
25 Feb 2000	ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0, 20 กก/ไร่	-
21 Apr 2000	-	ระบายน้ำออก
10 May 2000	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว

Remark : ^{1/} Around beginning of April, irrigation ditch was broken, no water supply to this field, however the soil was saturated.

Table 3.6 Cultivation practices and calendar for Ratchaburi-soil plots at Ban Nong Pho (rainfed rice, 2000)

Date	Transplanted RD 6	Transplanted KDML 105	Broadcasted RD 6	Broadcasted KDML 105
29 Apr 2000	ไถครั้งที่ 1	ไถครั้งที่ 1	ไถครั้งที่ 1	ไถครั้งที่ 1
20 May 2000	ไถครั้งที่ 2	ไถครั้งที่ 2	ไถครั้งที่ 2	ไถครั้งที่ 2
6 Jun 2000	-	-	คราดนา	คราดนา
7 Jun 2000	-	-	หว่าน	หว่าน
11 Jun 2000	-	-	หว่านข้าวแซม	หว่านข้าวแซม
25 Jun 2000	คราดนา	-	-	-
26 Jun 2000	ดำนา	-	-	-
9 Jul 2000	-	คราดนา	-	-
10 Jul 2000	ใส่ยาฆ่าหญ้า	ดำนา, ใส่ยาฆ่าหญ้า	ใส่ยาฆ่าหญ้า	ใส่ยาฆ่าหญ้า
9 Sep 2000	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 12 kg/rai	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 12 kg/rai	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 12 kg/rai	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 12 kg/rai
13 Sep 2000	น้ำท่วมพื้นที่นา	น้ำท่วมพื้นที่นาลด	น้ำท่วมพื้นที่นา	น้ำท่วมพื้นที่นา
11 Oct 2000	น้ำลดเหลือ 15 cm ต้นข้าวเน่าน้ำสีน้ำตาล ขุนส่งกลั่นเหมิน	เหลือ 15 cm ต้นข้าวเน่าน้ำสีน้ำตาล ขุนส่งกลั่นเหมิน	น้ำลดเหลือ 15 cm ต้นข้าวเน่าน้ำสีน้ำตาล ขุนส่งกลั่นเหมิน	น้ำลดเหลือ 15 cm ต้นข้าวเน่าน้ำสีน้ำตาล ขุนส่งกลั่นเหมิน

หมายเหตุ : น้ำท่วมพื้นที่นาเสียหาย ไม่ได้ผลผลิต

Table 3.7 Cultivation practices and calendar for Roiet-soil plots at Ban Nong Nam Giang (rainfed rice, 2000)

Date	Transplanted RD 6	Transplanted KDML 105	Broadcasted RD 6	Broadcasted KDML 105
3 Jun 2000	ไถนา	-	-	-
7 Jun 2000	-	ไถนา	ไถนา	ไถนา
10 Jun 2000	-	-	คราดนา,หว่าน	คราดนา,หว่าน
6 Jul 2000	คราดนา	คราดนา	-	-
7 Jul 2000	ดำนา	ดำนา	-	-
29 Jul 2000	ใส่ปุ๋ย สูตร 16-20-0 20 kg/rai	ใส่ปุ๋ย สูตร 16-20-0 20 kg/rai	ใส่ปุ๋ย สูตร 16-20-0 10 kg/rai	ใส่ปุ๋ย สูตร 16-20-0 10 kg/rai
29 Aug 2000	ใส่ปุ๋ย สูตร 16-20-0 20 kg/rai	ใส่ปุ๋ย สูตร 16-20-0 20 kg/rai	ใส่ปุ๋ย สูตร 16-20-0 20 kg/rai	ใส่ปุ๋ย สูตร 16-20-0 20 kg/rai
9 Nov 2000	เกี่ยวข้าว	เกี่ยวข้าว	เกี่ยวข้าว	เกี่ยวข้าว

Table 3.8 Cultivation practices and calendar for Roiet-soil plots at Ban Kud Kwang (rainfed rice, 2000)

Date	Transplanted RD 6	Transplanted KDML 105
25 May 2000	ไถนา	ไถนา
12 Jul 2000	คราดนา	คราดนา
13 Jul 2000	ดำนา	ดำนา
25 Jul 2000	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0, 30 kg/rai	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0, 30 kg/rai
13 Sep 2000	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0, 23 kg/rai	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0, 23 kg/rai
10 Nov 2000	เกี่ยวข้าว	เกี่ยวข้าว

Table 3.9 Cultivation practices and calendar for Ratchaburi-soil plots at Ban Song Puay (second rice, 2001).

Date	Transplanted RD 10	Transplanted CN 1	Broadcasted RD 10	Broadcasted CN 1
1 Dec 2000	เผาตอซัง	เผาตอซัง	เผาตอซัง	เผาตอซัง
19 Dec 2000	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
4 Jan 2001	ไถนา	ไถนา	ไถนา	ไถนา
13 Jan 2001	-	-	คราดนา	คราดนา
14 Jan 2001	-	-	หว่าน กข 10	หว่าน ชัยนาท 1
18 Jan 2001	-	-	ฉีดยาฆ่าหญ้า	ฉีดยาฆ่าหญ้า
27 Jan 2001	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
8 Feb 2001	-	-	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 12.5 กก/ไร่ และ ยูเรีย 12.5 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 12.5 กก/ไร่ และ ยูเรีย 12.5 กก/ไร่
12 Feb 2001	คราดนา	คราดนา	-	-
13 Feb 2001	ดำนา กข 10	ดำนา ชัยนาท 1	-	-
21 Feb 2001	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
2 Mar 2001	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 12 กก/ไร่ และ ยูเรีย 12 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 12 กก/ไร่ และ ยูเรีย 12 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 12 กก/ไร่ และ ยูเรีย 12 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 12 กก/ไร่ และ ยูเรีย 12 กก/ไร่
4 Mar 2001	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
8 Apr 2001	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 20 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 20 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 20 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 20 กก/ไร่
1 May 2001	-	-	-	เก็บเกี่ยว
4 May 2001	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	-

Table 3.10 Cultivation practices and calendar for Roiet-soil plots at Ban Nong Ka (second rice, 2001).

Date	Transplanted RD 10	Transplanted CNT 1	Broadcasted RD 10	Broadcasted CNT 1
27 Nov 2000	เผาตอซัง	เผาตอซัง	เผาตอซัง	เผาตอซัง
15 Dec 2000	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
23 Dec 2000	-	-	ไถนา	ไถนา
26 Dec 2000	-	-	คราดนา	คราดนา
27 Dec 2000	-	-	หว่าน กข 10	หว่าน ชัยนาท 1
29 Dec 2000	ไถนา	ไถนา	-	-
10 Jan 2000	-	-	เอาน้ำเข้า, ใส่ยาฆ่าหญ้า	เอาน้ำเข้า, ใส่ยาฆ่าหญ้า
21 Jan 2001	คราด, ดำนา	คราด, ดำนา	-	-
25 Jan 2001	-	-	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 12.5 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 12.5 กก/ไร่
26 Jan 2001	เอาน้ำเข้า, ใส่ยาฆ่าหญ้า ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 17 กก/ไร่	เอาน้ำเข้า, ใส่ยาฆ่าหญ้า ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 17 กก/ไร่	-	-
28 Jan 2001	-	-	ฉีดยาฆ่าหญ้า	ฉีดยาฆ่าหญ้า
1 Feb 2001	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
5 Feb 2001	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	-	-
23 Feb 2001	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
4 Mar 2001	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 10 กก/ไร่	-	-	-
5 Mar 2001	-	-	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 25 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8, 25 กก/ไร่
19 Apr 2001	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว

Table 3.11 Cultivation practices and calendar for Roiet- soil plots at Ban Na Ngam (second rice, 2001).

Date	Transplanted RD 10	Transplanted CNT 1
8 Dec 2000	เผาตอซัง	-
16 Dec 2000	-	เผาตอซัง
25 Dec 2000	เข้าน้ำแช่แปลง	เข้าน้ำแช่แปลง
22 Jan 2001	ไถนา	-
30 Jan 2001	คราดนา	-
31 Jan 2001	ดำนา กข 10	-
1 Feb 2001	-	ไถ,คราด
3 Feb 2001	-	ดำนา ชัยนาท 1
6 Feb 2001	เข้าน้ำแช่	เข้าน้ำแช่
16 Feb 2001	เข้าน้ำแช่	เข้าน้ำแช่
18 Feb 2001	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 16 กก/ไร่	-
24-25 Feb 2001	เข้าน้ำแช่	เข้าน้ำแช่
1 Mar 2001	-	ใส่ปุ๋ย 16-20-0, 25 กก/ไร่
16 Apr 2001	ระบายน้ำออก	ระบายน้ำออก
1 May 2001	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว

Table 3.12 Cultivation practices and calendar for saline-soil^{1/} plots at Ban Toom (rainfed rice, 2001).

Date	Transplanted RD 6	Transplanted KDML 105	Transplanted RD 6 (CM ^{2/})	Transplanted KDML 105 (CM ^{2/})
5 Apr 2001	เผาตอซัง	เผาตอซัง	เผาตอซัง	เผาตอซัง
20 May 2001	ไถนาครั้งที่1	ไถนาครั้งที่1	ไถนาครั้งที่1,ใส่ ปุ๋ยคอก , 830 กก/ไร่	ไถนาครั้งที่1,ใส่ ปุ๋ยคอก , 830 กก/ไร่
21 Jun 2001	เขาน้ำเข้าแปลง	เขาน้ำเข้าแปลง	เขาน้ำเข้าแปลง	เขาน้ำเข้าแปลง
24 Jun 2001	ไถ, คราดนา	ไถ, คราดนา	ไถ, คราดนา	ไถ, คราดนา
25 Jun 2001	ดำนา	ดำนา	ดำนา	ดำนา
31 Aug 2001	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 14.2 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 14.2 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 14.2 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 14.2 กก/ไร่
12 Nov 2001	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว

^{1/} Saline soil is Roiet series (saline phase).^{2/} CM represents cow manure.

Table 3.13 Cultivation practices and calendar for saline-soil^{1/} plots at Ban Kham Pia (rainfed rice, 2001).

Date	Transplanted RD 6	Transplanted KDML 105	Transplanted RD 6 (CM ^{3/})	Transplanted KDML 105 (CM ^{3/})
27 May 2001	ไถนาครั้งที่ 1	ไถนาครั้งที่ 1	ไถนาครั้งที่ 1	ไถนาครั้งที่ 1
25 Jun 2001	-	-	ใส่ปุ๋ยคอก อัตรา 909 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยคอก อัตรา 909 กก/ไร่
30 Jun 2001	ไถนาครั้งที่ 2	ไถนาครั้งที่ 2	ไถนาครั้งที่ 2	ไถนาครั้งที่ 2
30 Jul 2001	ดำนา	-	-	-
31 Jul 2001	-	ดำนา	-	-
31 Jul 2001	AS ^{2/} 10 กก/ไร่	AS ^{2/} 10 กก/ไร่	-	-
8 Aug 2001	-	-	เอาน้ำเข้า	เอาน้ำเข้า
10 Aug 2001	-	-	ดำนา	ดำนา
16 Aug 2001	-	-	ใส่ปุ๋ย 16-16-8 อัตรา 10 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ย 16-16-8 อัตรา 10 กก/ไร่
20 Aug 2001	-	-	ฉีดยากำจัดโรคพืช	ฉีดยากำจัดโรคพืช
12 Nov 2001	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	-	-
19 Nov 2001	-	-	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว

^{1/} Saline soil is Roiet series (saline phase).^{2/} AS represents ammonium sulfate: N= 21% and S= 24%.^{3/} CM represents cow manure.

Table 3.14 Cultivation practices and calendar for Roiet – soil plots at Ban Nong Nam Giang (rainfed rice, 2001).

Date	Transplanted RD 6	Transplanted KDML 105
30 Jul 2001	ไถนาครั้งที่ 1	ไถนาครั้งที่ 1
9 Aug 2001	ไถนา, ดำนา	ไถ, ดำนา
9 Aug 2001	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 , 5 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 , 5 กก/ไร่
24 Sep 2001	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 , 5 กก/ไร่	ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 , 5 กก/ไร่
19 Nov 2001	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว

Table 4 Average and total methane emission from farmers' paddy fields with different variations in soils, cultivations and varieties (5 seasons).

Plot no. ^{1/}	Soil-Cultivation Practice	Measuring period (day)	Average CH ₄ emission		Total CH ₄ emission (g m ⁻²)	Prior soil preparation
			(mg m ⁻² hr ⁻¹)	(mg m ⁻² d ⁻¹)		
1	Major rice 1999					
2	Rb-Transplanting RD 6	116	3.35	80.41	9.33	Digging up surface soil 20 cm thick
3	Rb-Transplanting KDML 105	100	2.80	67.28	6.73	"
4	Rb-Broadcasting RD 6	120	2.76	66.07	7.93	"
5	Rb-Broadcasting KDML 105	120	5.82	139.83	16.78	"
6	Re-Transplanting RD 6	126	28.73	689.63	86.89	Incorporated green manure
7	Re-Transplanting KDML 105	124	12.12	269.01	36.71	18 ton fresh weight/rai
8	Re-Broadcasting RD 6	124	11.98	287.52	35.65	"
9	Re-Broadcasting KDML 105	124	8.25	197.94	24.55	"
10	Second rice 2000					
11	Rb-Transplanting RD 10	92	13.21	317.19	29.18	Incorporated residues
12	Rb-Transplanting CNT 1	92	5.50	132.14	12.16	Incorporated residues
13	Rb-Broadcasting RD 10	107	8.67	208.06	22.26	Incorporated residues
14	Rb-Broadcasting CNT 1	113	2.28	54.82	6.20	Incorporated residues
15	Re-Transplanting RD 10	89	9.66	231.90	20.64	Burnt residues
16	Re-Transplanting CNT 1	94	8.49	214.61	20.17	Burnt residues
17	Re-Broadcasting RD 10	113	8.97	215.45	24.34	Burnt residues
18	Re-Broadcasting CNT 1	113	7.08	170.00	19.21	Burnt residues
19	Re-Transplanting RD 10	100	4.17	100.14	10.01	Burnt residues
20	Re-Transplanting CNT 1	86	6.23	149.62	12.87	Burnt residues

Table 4 (continue) Average and total methane emission from farmers' paddy fields with different variations in soils, cultivations and varieties (5 seasons).

19	Raifed rice 2000	99	3.77	90.58	8.96	Overflood
20	Rb-Transplanting RD 6	83	6.82	163.67	13.58	Overflood
21	Rb-Transplanting KDML 105	113	3.77	90.50	10.22	Overflood
22	Rb-Broadcasting RD 6	113	5.43	130.31	14.72	Overflood
23	Rb-Broadcasting KDML 105	119	11.50	276.12	32.86	Natural OM cycling
24	Re-Transplanting RD 6	119	10.41	249.99	29.75	Natural OM cycling
25	Re-Transplanting KDML 105	147	7.68	184.36	27.10	Natural OM cycling
26	Re-Broadcasting RD 6	147	11.88	285.31	41.94	Natural OM cycling
27	Re-Broadcasting KDML 105	118	12.02	288.68	34.06	Natural OM cycling
28	Re-Transplanting RD 10	118	11.91	285.81	33.72	Natural OM cycling
29	Second rice 2001	78	4.98	119.70	9.33	Burnt residues
30	Rb-Transplanting RD 10	78	8.38	201.30	15.70	Burnt residues
31	Rb-Transplanting CNT 1	108	4.16	99.99	10.79	Burnt residues
32	Rb-Broadcasting RD 10	104	4.10	98.58	10.25	Burnt residues
33	Re-Transplanting RD 10	79	9.75	234.00	18.49	Burnt residues
34	Re-Transplanting CNT 1	79	9.83	236.02	18.64	Burnt residues
35	Re-Broadcasting RD 10	109	8.66	207.90	22.66	Burnt residues
36	Re-Broadcasting CNT 1	109	8.71	209.21	22.80	Burnt residues
37	Re-Transplanting RD 10	88	10.29	246.99	21.73	Burnt residues
38	Re-Transplanting CNT 1	81	7.85	188.54	15.27	Burnt residues

Table 4 (continue) Average and total methane emission from farmers' paddy fields with different variations in soils, cultivations and varieties (5 seasons).

39	Rainfed rice 2001 ^{3/}							
40	Re-Transplanting RD6	139	5.69	136.58	18.98	Burnt residues		
41	Re-Transplanting KDML 105	139	6.23	149.56	20.79	Burnt residues		
42	Re-Transplanting RD6	139	9.70	232.86	32.36	Burnt residues + CM		
43	Re-Transplanting KDML 105	139	6.16	147.94	20.56	Burnt residues + CM		
44	Re-Transplanting RD6	103	9.03	216.93	22.34	Natural OM cycling		
45	Re-Transplanting KDML 105	103	10.83	260.15	26.79	Natural OM cycling		
46	Re-Transplanting RD6	101	10.61	254.70	25.72	Natural OM cycling + CM		
47	Re-Transplanting KDML 105	101	9.18	220.31	22.25	Natural OM cycling + CM		
48	Re-Transplanting RD6	101	10.79	259.16	26.17	Natural OM cycling		
	Re-Transplanting KDML 105	102	10.78	258.87	26.40	Natural OM cycling		

^{1/} Plot no.1 – 4 were conducted at Ban Don Do, 5 – 8 at Ban Khok Sai, 9 – 12 at Ban Don Do, 13 – 16 at Ban Nong Ka, 17 – 18 at Ban Na Ngam, 19 – 22 at Ban Nong Pho, 23 – 26 at Ban Nong Nam Giang, 27 – 28 at Ban Kud Kwang, 29-32 at Ban Song Puay, 33-36 at Ban Nong Ka, 37-38 at Ban Na Ngam, 39-42 at Ban Toom, 43-46 at Ban Kham Pia and 47-48 at Ban Nong Nam Giang.

^{2/} (av) obtained from $\sum$ total CH₄ emission / number of plot at each site.

^{3/} Rainfed rice in 2001 was conducted in Roiet soil series (saline phase) for plot no.39 – 46, except for plot no. 47-48 were in typical Roiet soil (non-saline).

Table 5 Methane emission per unit grain yield (MPG) obtained from farmers' paddy fields (5 seasons).

Plot no ^{1/}	Soil-cultivation practices	Grain yield (kg rai ⁻¹)	Total CH ₄ emission (g CH ₄ rai ⁻¹)	CH ₄ emission per kg grain (gCH ₄ kg grain ⁻¹)	On farm practices
Major rice 1999					Digging surfacesoil 20 cm depth
1	Rb T RD 6	683	14,928	21.85 ^{4/}	urea 9.6 kg/rai; 16-16-8, 40 kg/rai
2	Rb T KDML 105	602	10,768	17.88 ^{4/}	urea 9.6 kg/rai; 16-16-8, 50 kg/rai
3	Rb B RD 6	531	12,688	23.89 ^{4/}	16-16-8, 50 kg/rai
4	Rb B KDML 105	476	26,848	56.40 ^{4/}	16-16-8, 50 kg/rai
5	Re T RD 6	625	139,168	222.66	GM ^{3/} 18 t/rai; 16-16-8, 7.6 kg/rai
6	Re T KDML 105	733	58,736	80.13	GM 18 t/rai; 16-16-8, 7.6 kg/rai
7	Re B RD 6	365	57,040	156.27	GM 18 t/rai; 16-16-8, 7.6 kg/rai
8	Re B KDML 105	579	39,280	67.84 ^{4/}	GM 18 t/rai; 16-16-8, 7.6 kg/rai
Second rice 2000					
9	Rb T RD10	387	46,688	120.64	IR ³ ; urea 31.5 kg/rai
10	Rb T CNT 1	474	19,450	41.03 ^{4/}	IR; urea 31.5 kg/rai
11	Rb B RD10	604	35,616	58.97 ^{4/}	IR; urea 31.5 kg/rai
12	Rb B CNT 1	819	9,920	12.11 ^{4/}	IR; urea 31.5 kg/rai
13	Re T RD10	365	33,024	90.47	BR ^{3/} ; 16-16-8, 29 kg/rai
14	Re T CNT 1	526	32,272	61.35 ^{4/}	BR; 16-16-8, 29 kg/rai
15	Re B RD10	442	38,944	88.10	BR; 16-16-8, 45 kg/rai
16	Re B CNT 1	642	30,736	47.87 ^{4/}	BR; 16-16-8, 41.5 kg/rai
17	Re T RD10	598	16,016	26.78 ^{4/}	BR ^{3/} ; urea 20 kg/rai
18	Re T CNT 1	612	20,592	33.64 ^{4/}	BR; urea 25 kg/rai
Rainfed rice 2000					
19	Rb T RD 6	ND	14,336	ND	Natural flood
20	Rb T KDML 105	ND	21,728	ND	Natural flood
21	Rb B RD 6	ND	16,352	ND	Natural flood
22	Rb B KDML 105	ND	23,552	ND	Natural flood
23	Re T RD 6	461	52,560	114.01	NOMC ^{3/} ; 16-20-0, 40 kg/rai
24	Re T KDML 105	532	47,584	89.44	NOMC; 16-20-0, 40 kg/rai
25	Re B RD 6	329	43,360	131.79	NOMC; 16-20-0, 30 kg/rai
26	Re B KDML 105	484	67,104	138.64	NOMC; 16-20-0, 30 kg/rai

Table 5 (continue) Methane emission per unit grain yield obtained from farmers' paddy fields (5 seasons).

27	Re T RD 6	606	54,496	89.92	NOMC ^{3/} ; 16-20-0, 53 kg/rai
28	Re T KDML 105	537	53,952	100.46	NOMC; 16-20-0, 53 kg/rai
Second Rice rice 2001					
29	Rb T RD 10	522	14,939	26.61 ^{4/}	BR ^{3/} ; 16-20-0, 32 kg/rai; urea 12 kg/rai
30	Rb T CNT 1	605	25,121	41.52 ^{4/}	BR; 16-20-0, 32 kg/rai; urea 12 kg/rai
31	Rb B RD 10	365	17,278	47.33	BR; 16-20-0, 44.5 kg/rai; urea 24.5 kg/rai
32	Rb B CNT 1	670	16,403	24.48 ^{4/}	BR; 16-20-0, 44.5 kg/rai; urea 24.5 kg/rai
33	Re T RD 10	332	29,598	89.15	BR ^{3/} ; 16-16-8, 27 kg/rai
34	Re T CNT 1	319	29,832	93.51	BR; 16-16-8, 17 kg/rai
35	Re B RD 10	293	36,257	123.74	BR; 16-16-8, 37 kg/rai
36	Re B CNT 1	280	36,486	130.30	BR; 16-16-8, 37 kg/rai
37	Re T RD 10	281	34,776	123.75	BR ^{3/} ; 16-20-0, 16 kg/rai
38	Re T CNT 1	502	24,435	48.67 ^{4/}	BR; 16-20-0, 25 kg/rai
Rainfed rice 2001 ^{2/}					
39 ²	Re T RD 6	432	30,374	70.31	BOM ^{3/} ; 16-16-8, 14.2 kg/rai
40 ²	Re T KDML 105	499	33,270	66.67 ^{4/}	BOM; 16-16-8, 14.2 kg/rai
41 ²	Re T RD 6 (CM)	520	51,788	99.59	BOM; CM ^{3/} 830 kg/rai; 16-16-8, 14 kg/rai
42 ²	Re T KDML105(CM)	577	32,902	57.02 ^{4/}	BOM; CM 830 kg/rai; 16-16-8, 14 kg/rai
43 ²	Re T RD 6	370	35,750	96.62	NOMC ^{3/} , AS ^{3/} 10 kg/rai
44 ^{2/}	Re T KDML 105	256	42,872	167.46	NOMC, AS 10 kg/rai
45 ²	Re T RD 6 (CM)	478	41,160	86.10	NOMC; CM ^{3/} 909 kg/rai; 16-16-8, 10 kg/rai
46 ^{2/}	Re T KDML105 (CM)	381	35,603	93.44	NOMC; CM 909 kg/rai; 16-16-8, 10 kg/rai
47	Re T RD 6	371	41,880	112.88	NOMC ^{3/} ; 16-16-8, 10 kg/rai
48	Re T KDML 105	443	42,248	95.36	NOMC; 16-16-8, 10 kg/rai

^{1/} Plot no.1 – 4 were conducted at Ban Don Do, 5 – 8 at Ban Kok Sai, 9 – 12 at Ban Don Do, 13 – 16 at Ban Nong Ka, 17 – 18 at Ban Na Ngam, 19 – 22 at Ban Nong Pho, 23 – 26 at Ban Nong Nam Giang, 27 – 28 at Ban Kud Kwang, 29-32 at Ban Song Puay, 33-36 at Ban Nong Ka, 37-38 at Ban Na Ngam, 39-42 at Ban Toom, 43-46 at Ban Kham Pia and 47-48 at Ban Nong Nam Giang.

^{2/} Rainfed rice in 2001 was conducted in Roiet soil series (saline phase) for plot no. 39-46, except for plot no. 47-48 were in typical Roiet soil (non-saline). ^{3/} GM, green manure; IR, incorporated residues; BR, burnt residues; NOMC, natural organic matter cycling; BOM, burnt organic matter; AS, ammonium sulfate; and CM, cow manure.

^{4/} Selected MPG ≤ 69.48 gCH₄ kg⁻¹ grain obtained by averaging MPG data whose grain yield ≥ 381 kg rai⁻¹ (nation average).

Table 6 Grain yields, dried plants and roots at harvest (5 seasons, 1999-2001).

Plot no.	Soil - Cultivation Practices	Rice Yield (kg rai ⁻¹)	Dried Plants (kg rai ⁻¹)	Dried Roots (kg rai ⁻¹)
Major rice 1999 ^{1/}				
1	Rb - Transplanted RD 6	683	1,852	ND ^{1/}
2	Rb - Transplanted KDML 105	602	2,612	ND
3	Rb - Broadcasted RD 6	531	1,196	ND
4	Rb - Broadcasted KDML 105	476	844	ND
5	Re - Transplanted RD 6	625	2,326	ND
6	Re - Transplanted KDML 105	733	1,952	ND
7	Re - Broadcasted RD 6	365	1,827	ND
8	Re - Broadcasted KDML 105	579	2,220	ND
Second rice 2000 ^{1/}				
9	Rb - Transplanted RD 10	387	1,193	ND
10	Rb - Transplanted CNT 1	474	1,080	ND
11	Rb - Broadcasted RD 10	604	1,305	ND
12	Rb - Broadcasted CNT 1	819	835	ND
13	Re - Transplanted RD 10	365	1,272	ND
14	Re - Transplanted CNT 1	526	864	ND
15	Re - Broadcasted RD 10	442	1,273	ND
16	Re - Broadcasted CNT 1	642	940	ND
17	Re - Transplanted RD 10	598	1,272	ND
18	Re - Transplanted CNT 1	612	853	ND
Rainfed rice 2000				
19 ²	Rb - Transplanted RD 6	ND	ND	ND ^{2/}
20 ²	Rb - Transplanted KDML 105	ND	ND	ND
21 ²	Rb - Broadcasted RD 6	ND	ND	ND
22 ²	Rb - Broadcasted KDML 105	ND	ND	ND
23	Re - Transplanted RD 6	461	1,504	893
24	Re - Transplanted KDML 105	532	1,392	1,573
25	Re - Broadcasted RD 6	329	1,915	1,149
26	Re - Broadcasted KDML 105	484	1,909	967
27	Re - Transplanted RD 6	606	1,803	833
28	Re - Transplanted KDML 105	537	1,387	786

Table 6 (continue) Grain yields, dried plants and roots at harvest (5 seasons, 1999-2001).

Plot no.	Soil - Cultivation Practices	Rice Yield (kg rai ⁻¹)	Dried Plants (kg rai ⁻¹)	Dried Roots (kg rai ⁻¹)
Second rice 2001				
29	Rb – Transplanted RD 10	522	1,184	280
30	Rb – Transplanted CNT 1	605	1,315	316
31	Rb – Broadcasted RD 10	365	1,106	240
32	Rb – Broadcasted CNT 1	670	1,456	355
33	Re – Transplanted RD 10	332	649	266
34	Re – Transplanted CNT 1	319	725	283
35	Re – Broadcasted RD 10	293	668	223
36	Re – Broadcasted CNT 1	280	636	269
37	Re – Transplanted RD 10	281	669	353
38	Re – Transplanted CNT 1	502	1,115	263
Rainfed rice 2001 ^{3/}				
39	Re – Transplanted RD 6	432	1,728	267
40	Re – Transplanted KDML 105	499	1,919	217
41	Re – Transplanted RD 6 (CM)	520	2,080	365
42	Re – Transplanted KDML 105(CM)	577	2,508	243
43	Re – Transplanted RD 6	370	1,423	186
44	Re – Transplanted KDML 105	256	914	164
45	Re – Transplanted RD 6 (CM)	478	1,770	169
46	Re – Transplanted KDML 105(CM)	381	1,313	169
47	Re – Transplanted RD 6	371	1,374	360
48	Re – Transplanted KDML 105	443	1,527	210

^{1/} Roots were not sampled in neither major rice 1999 nor second rice 2000.

^{2/} Plot no 19-22 were destroyed by natural flood.

^{3/} In rainfed rice 2001, measurements were performed in Roiet soil (saline phase), except for plot 47-48 were in typical Roiet soil (non-saline soil.)

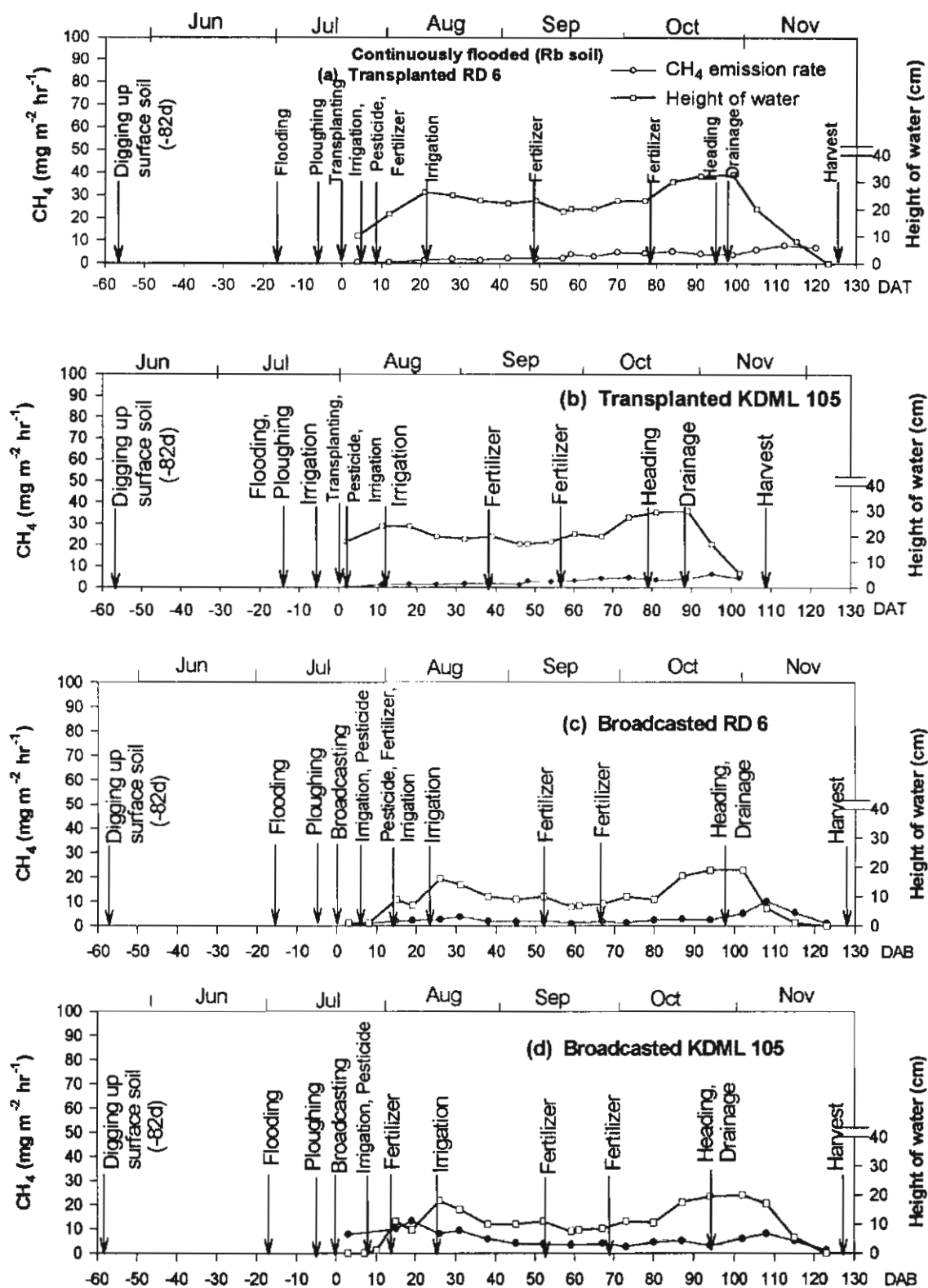


Figure 1 Seasonal variations of methane emission rate from major – rice continuously flooded paddy fields on Ratchaburi soil in 1999, (a) transplanted RD 6, (b) transplanted KDML 105, (c) broadcasted RD 6, and (d) broadcasted KDML 105.

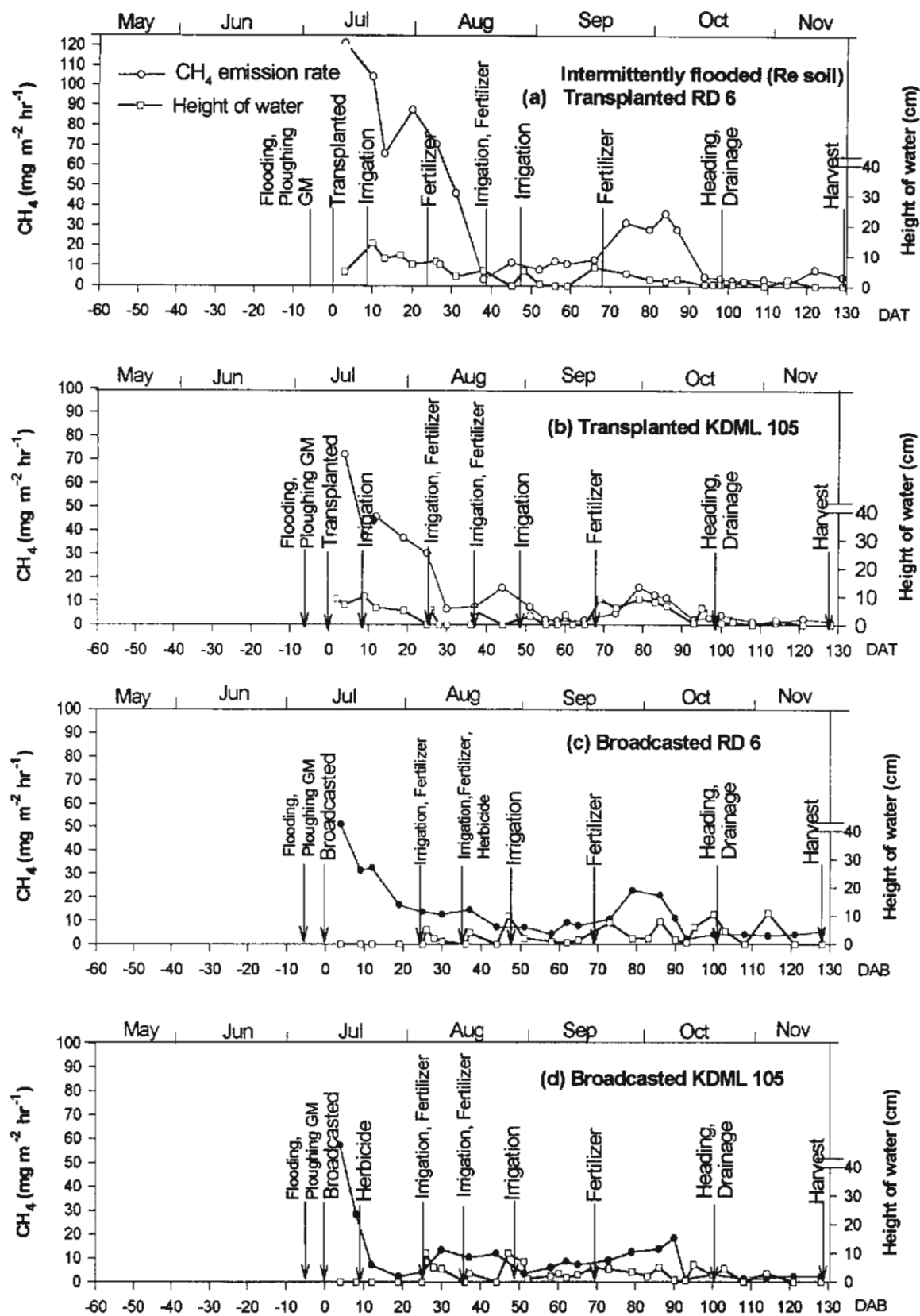


Figure 2 Seasonal variations of methane emission rate from major rice intermittently flooded paddy fields on Roiet soil in 1999, (a) transplanted RD 6, (b) transplanted KDML 105, (c) broadcasted RD 6, and (d) broadcasted KDML 105.

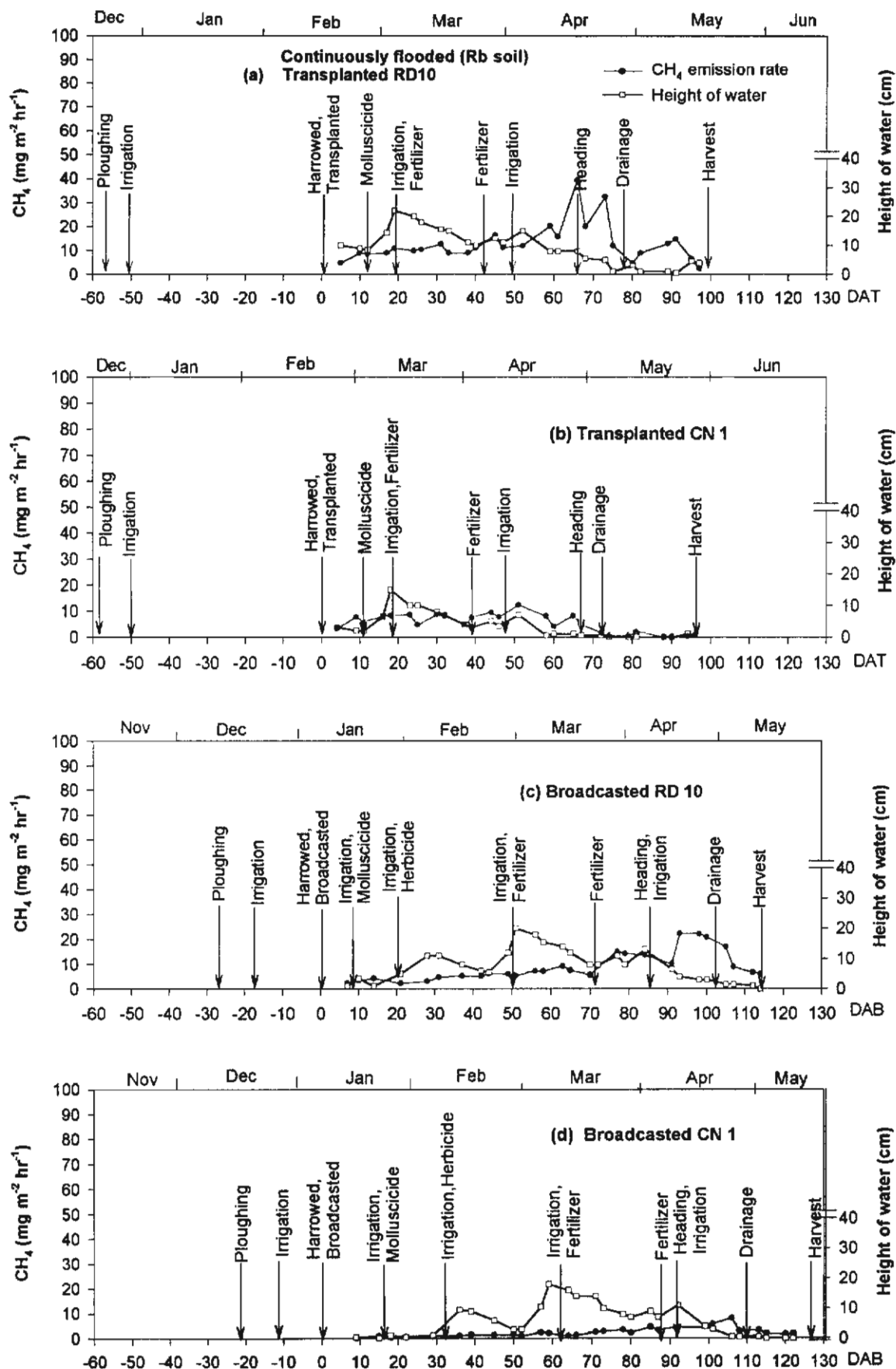


Figure 3 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Ratchaburi soil in 2000, (a) transplanted RD 10, (b) transplanted CN 1, (c) broadcasted RD 10, and (d) broadcasted CN 1.

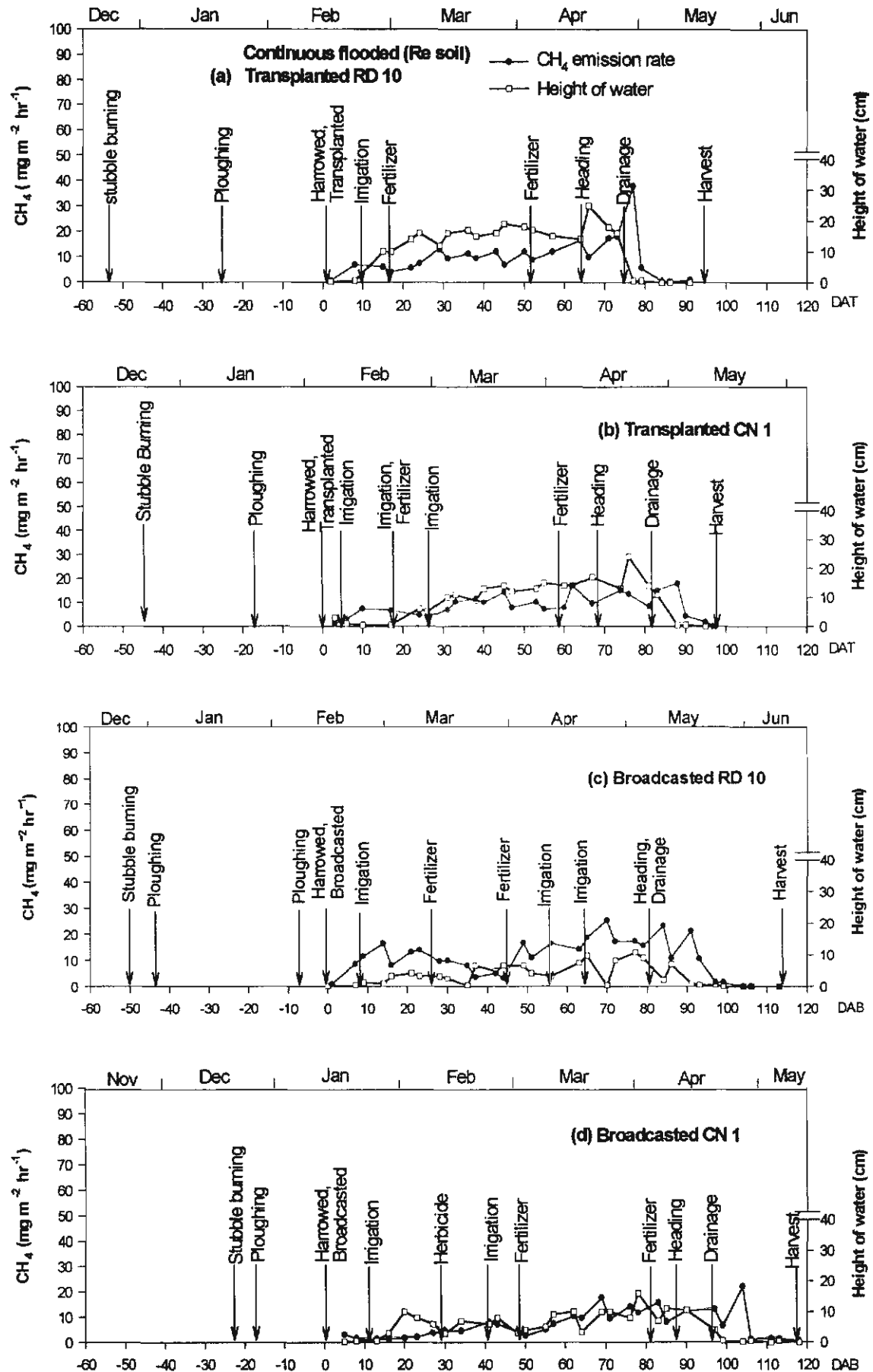


Figure 4 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Roiet soil in 2000, (a) transplanted RD 10, (b) transplanted CN 1, (c) broadcasted RD 10 and (d) broadcasted CN 1.

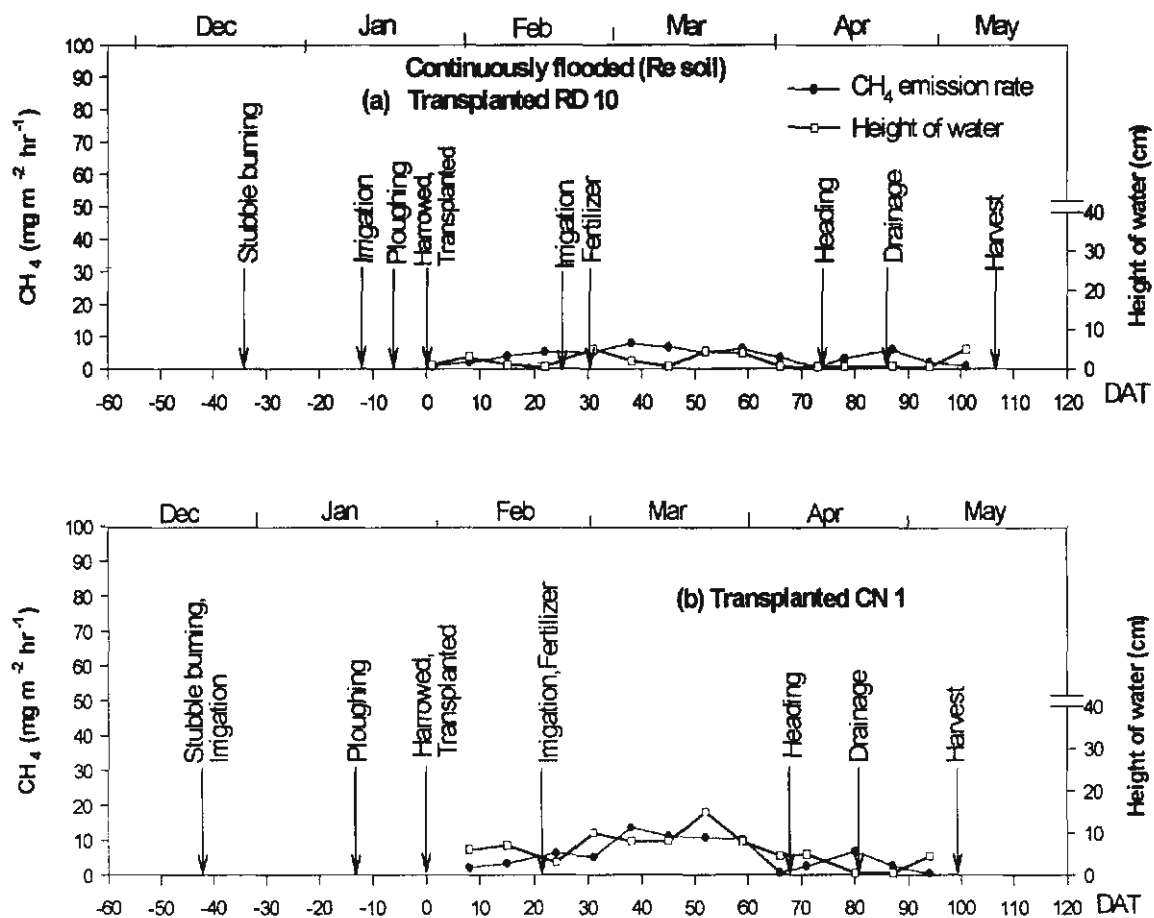


Figure 5 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Roiet soil in 2000, (a) transplanted RD 10, and (b) transplanted CN 1.

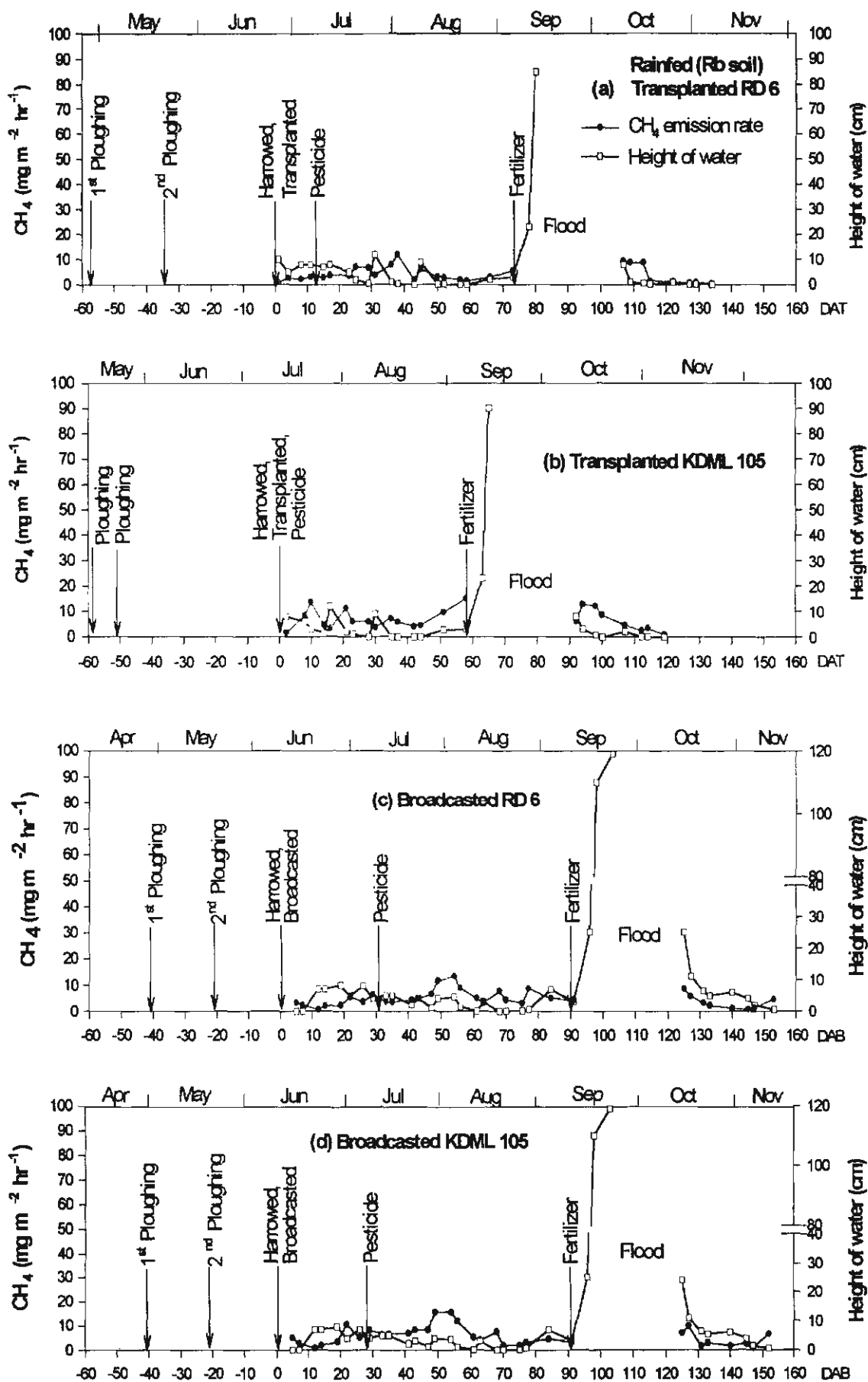


Figure 6 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed paddy fields on Ratchaburi soil in 2000, (a) transplanted RD 6, (b) transplanted KDML 105, (c) broadcasted RD 6, and (d) broadcasted KDML 105.

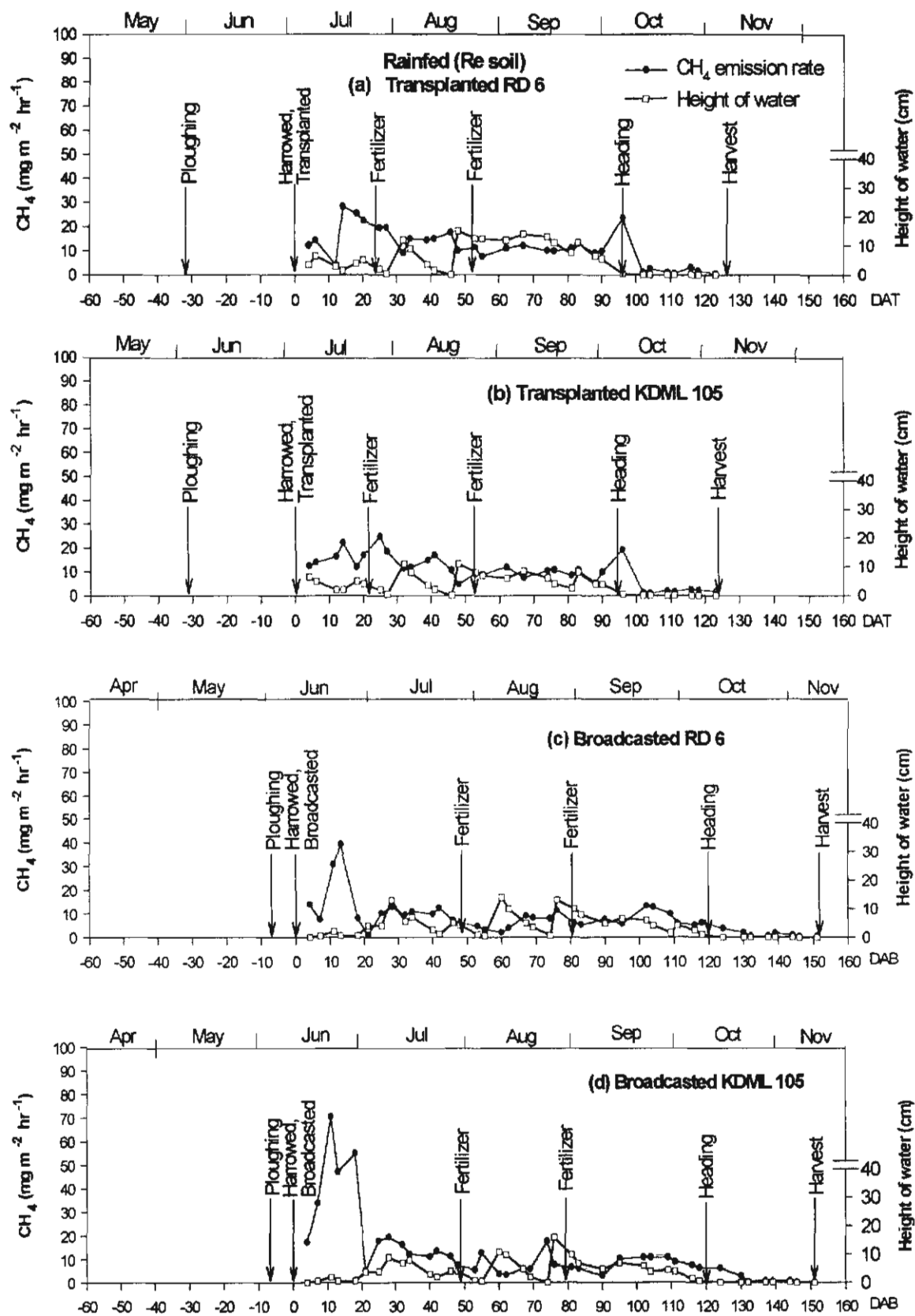


Figure 7 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed paddy fields on Roiet soil in 2000, (a) transplanted RD 6, (b) transplanted KDML 105, (c) broadcasted RD 6, and (d) broadcasted KDML 105.

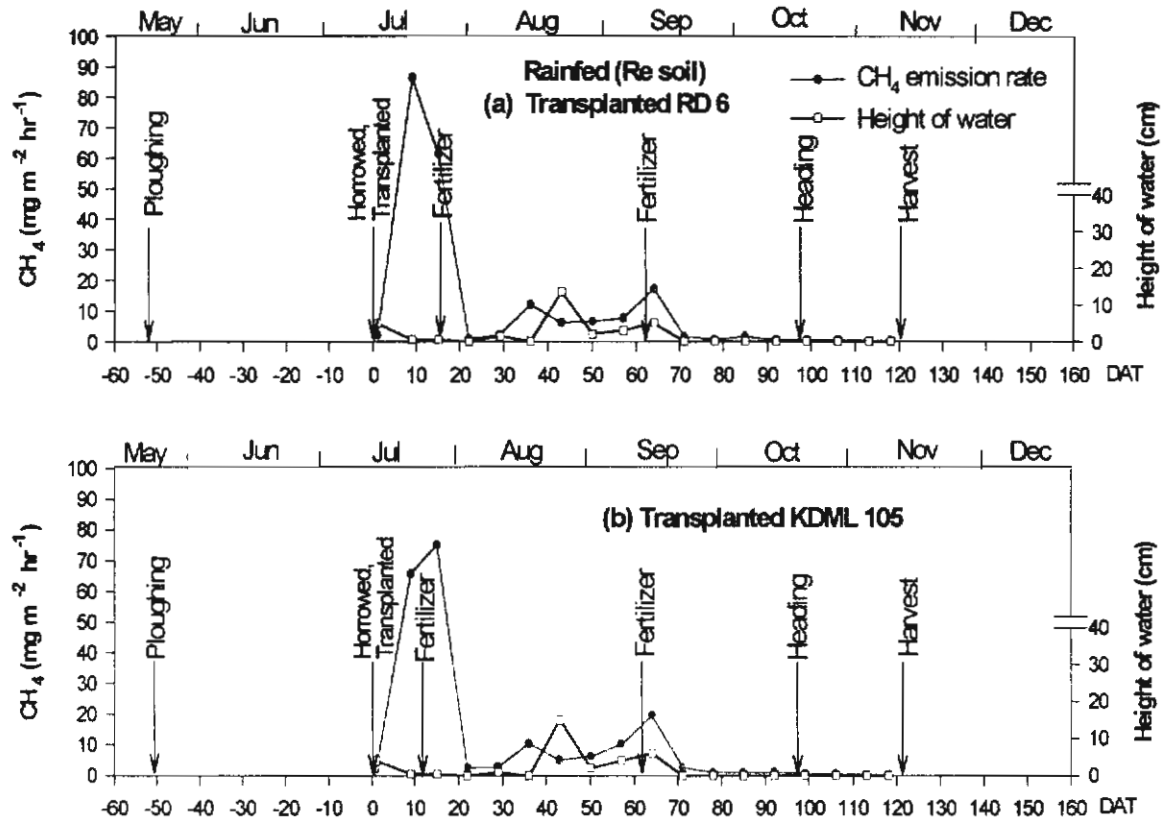


Figure 8 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed paddy fields on Roiet soil in 2000, (a) transplanted RD 6, and (b) transplanted KDML 105.

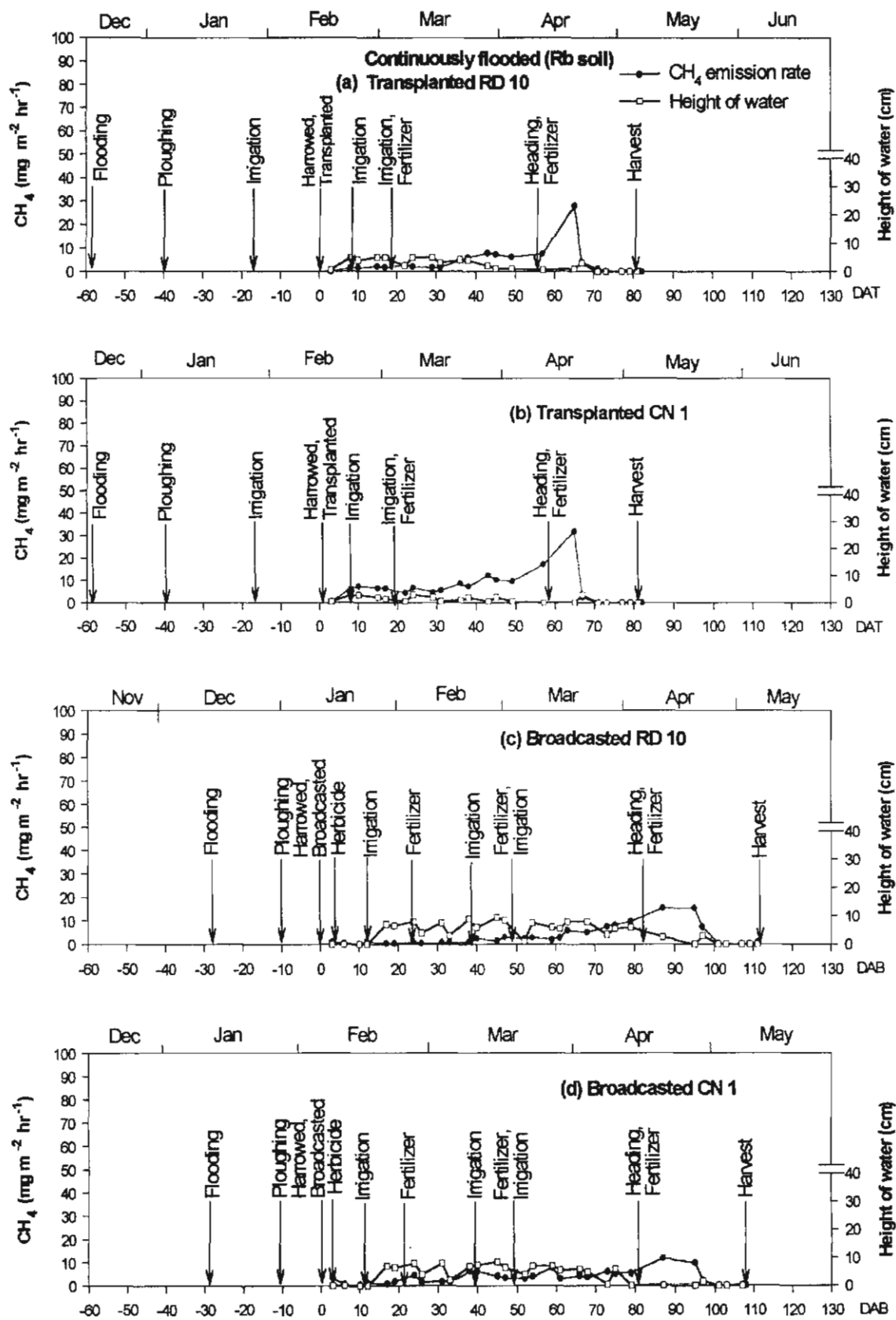


Figure 9 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Ratchaburi soil in 2001, (a) transplanted RD 10, (b) transplanted CN 1, (c) broadcasted RD 10, and (d) broadcasted CN 1.

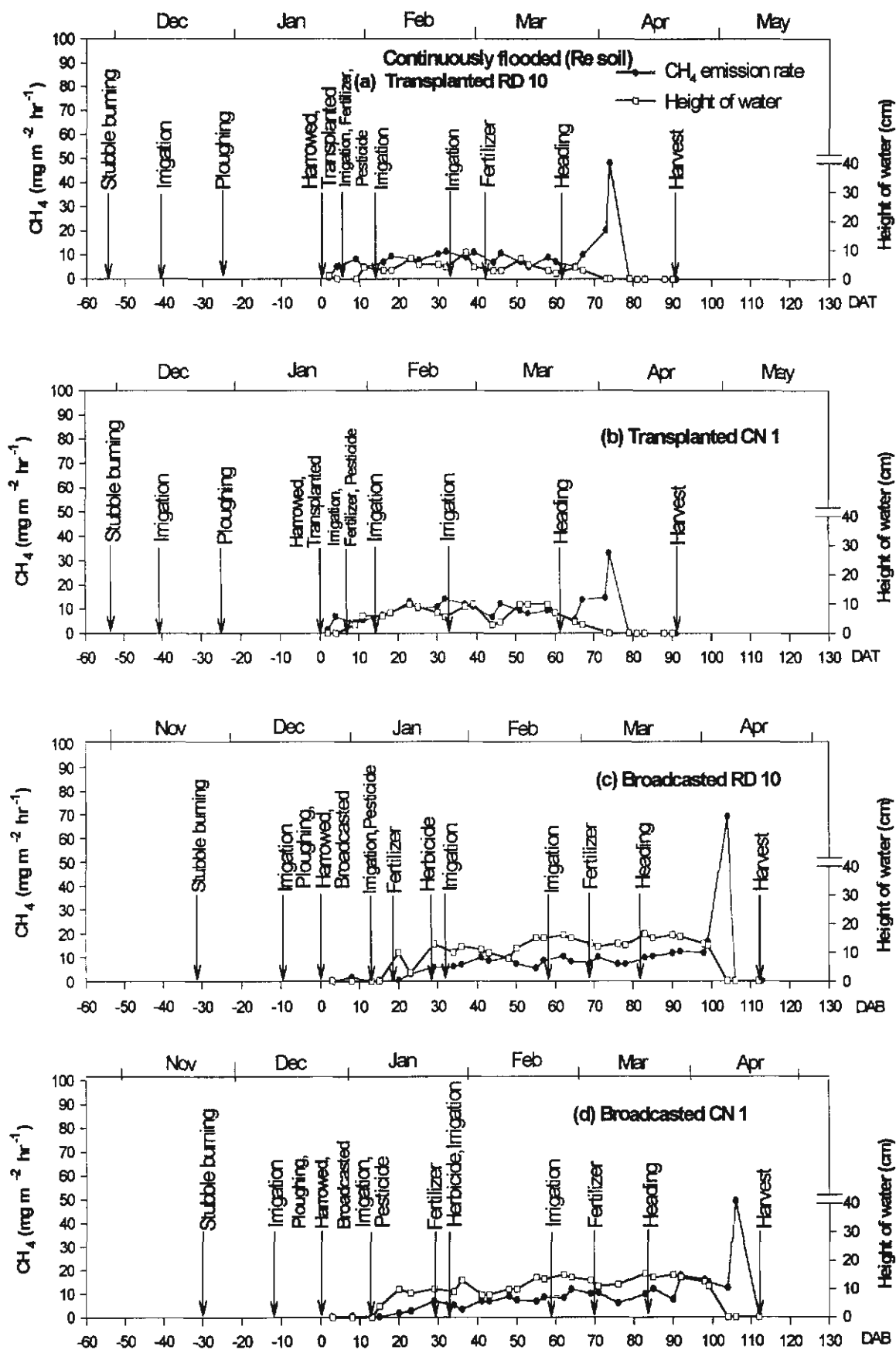


Figure 10 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Roiet soil in 2001, (a) transplanted RD 10, (b) transplanted CN 1, (c) broadcasted RD 10, and (d) broadcasted CN 1.

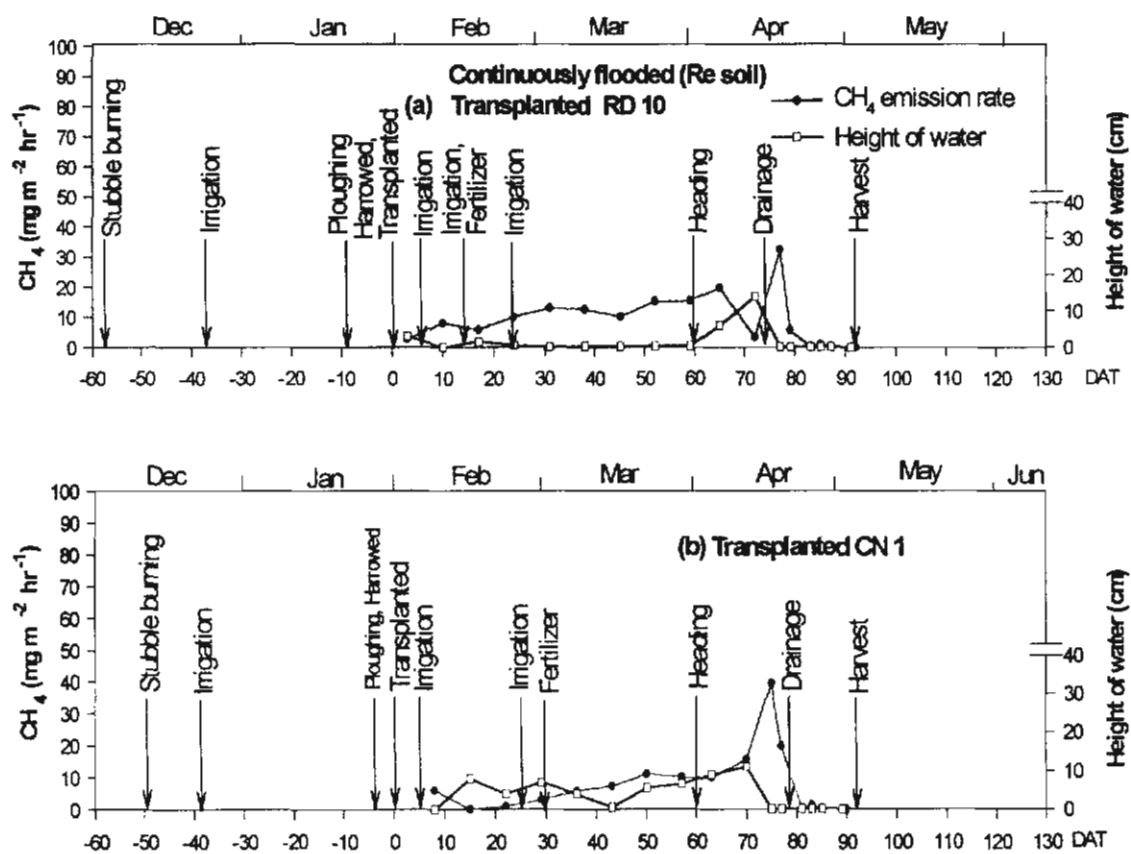


Figure 11 Seasonal variation of methane emission rate from second – rice continuously flooded paddy fields on Roiet soil in 2001, (a) transplanted RD 10, and (b) transplanted CN 1.

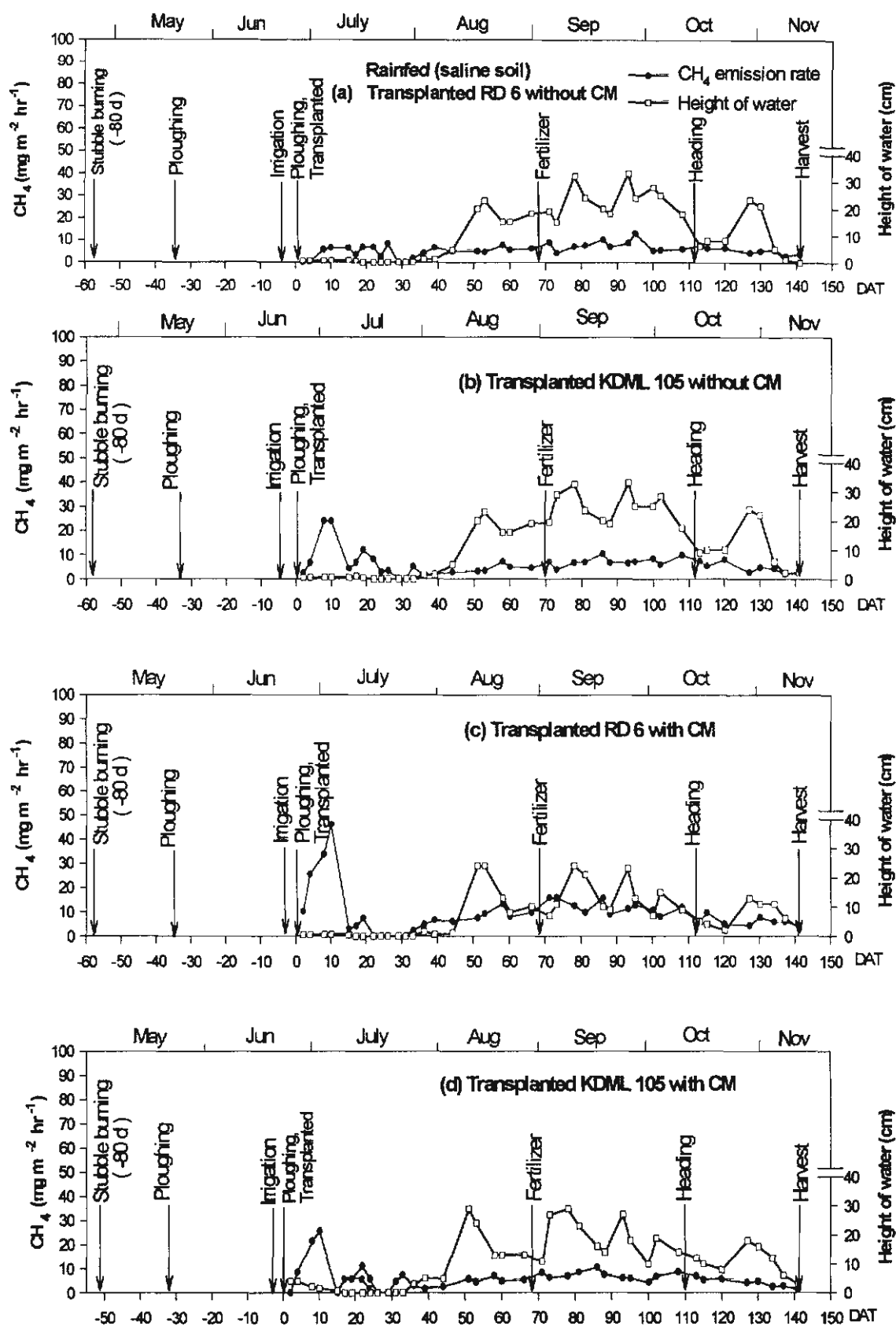


Figure 12 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed saline paddy fields in 2001, (a) transplanted RD 6 without cow manure (CM), (b) transplanted KDML 105 without CM, (c) transplanted RD 6 with CM, and (d) transplanted KDML 105 with CM.

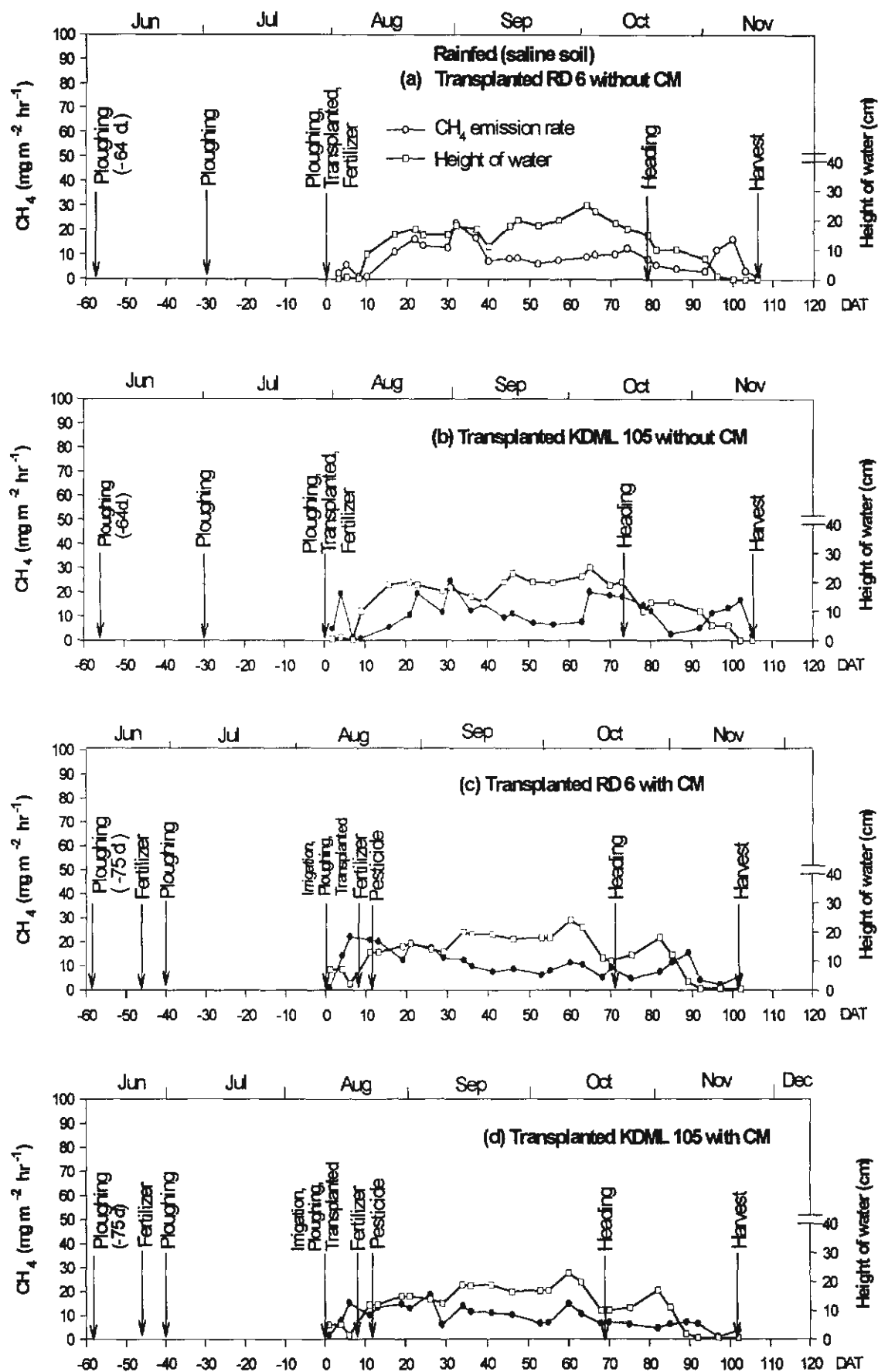


Figure 13 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed saline paddy soil in 2001, (a) transplanted RD 6 without cow manure (CM), (b) transplanted KDML 105 without CM, (c) transplanted RD 6 with CM, and (d) transplanted KDML 105 with CM.

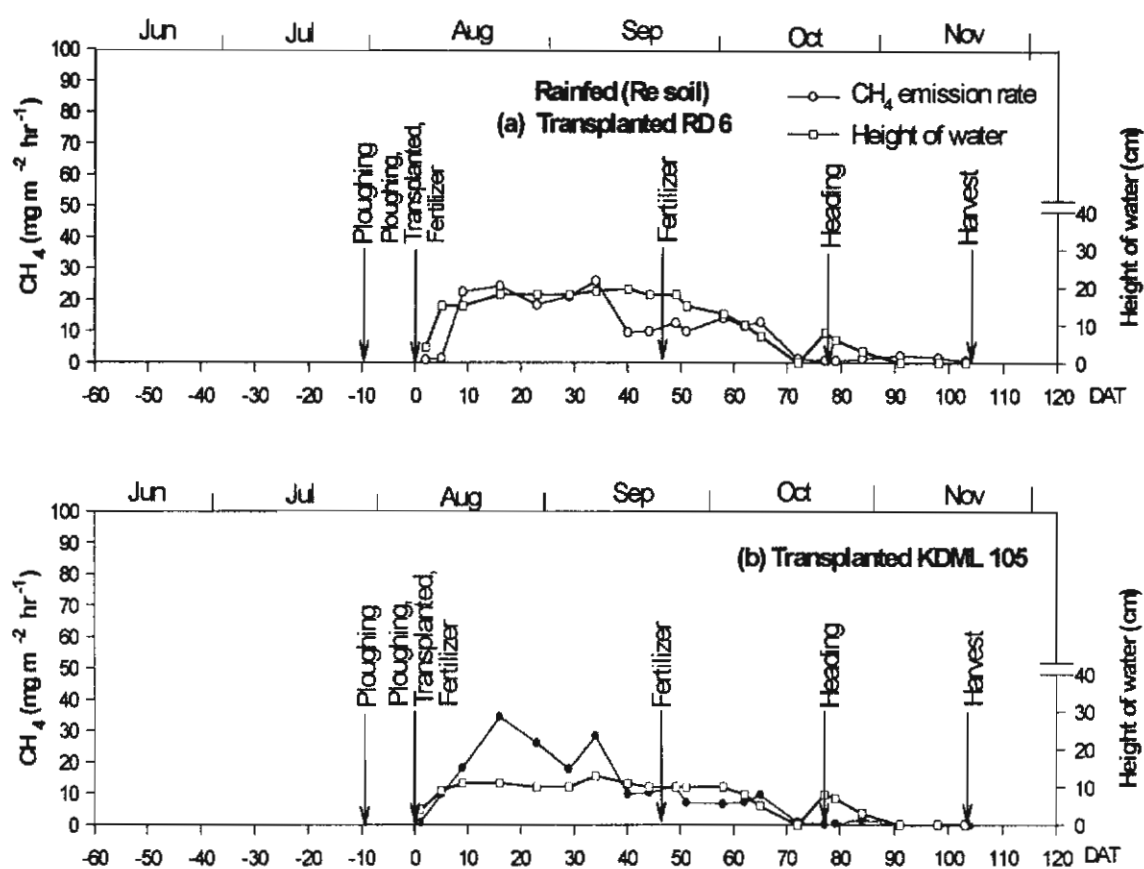


Figure 14 Seasonal variation of methane emission rate from rainfed paddy fields on Roiet soil in 2001, (a) transplanted RD 6, and (b) transplanted KDM 105.



รายงานการสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2543

Proceedings of Annual Agricultural Seminar for Year 2000

วันที่ 24 - 25 มกราคม 2543

ณ ห้องประชุม ทวี จตุกุล

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บรรณาธิการ

Editors

รัช อรรคแสง

Rui Akkasaeng

เพชรรัตน์ ศิริวงศ์

Petcharat Sirlwong

นิวัฒน์ มาศวรรณา

Niwat Mariwanna

ISBN 974-676-999-5

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ศูนย์ฝึกอบรมการพัฒนาการเกษตรนานาชาติ กรมวิชาการเกษตร

	หน้า
■ งานปรับปรุงพันธุ์ถั่วพุ่ม สนธิ์ ลวดทอง	66
■ Methane Emission from Farmers'Irrigated Paddy Field in Khon Kaen Patcharee Saenjan, Duangsamorn Tulaphitak, Thepparit Tulaphitak, Soupachai Tangchupong and suwat Jearakongman	81
■ Isolation and culture of Mesophy II Protoplast of <i>Garcinia</i> spp. Sompong Te-chato, Ludawan Musigapala and Mongkol Lim	98
■ การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเฟิร์นจีบ โดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ Increase Productivity of Lasagne Fern (<i>Asplenium nidus</i> L. cv. Crispafolium) through Biotechnology วิไลลักษณ์ ชินะจิตร, วิธชา ไตรพิพัฒน์, กิตติมา เมฆโกมล, สุภลักษณ์ นพคุณางกูร และ วารินทร์ ทองเจริญ	111
■ บทบาทของนักวิชาการเกษตรไทยในอนุภูมิภาคุ่มน้ำโขง สุวิทย์ เลาสีวงศ์	120
■ ศักยภาพการผลิตยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง : แนวโน้ม และผลกระทบ Potential of Para Rubber production in the lower North-Eastern Region: Trends and Effects ณรงค์ สามารถ , นพมาศ นามแดง, รักเกียรติ แสนประเสริฐ, ประสิทธิ์ กาญจนนา และทองดี สีสันต์	126
■ การศึกษาลักษณะพฤกษศาสตร์ของหวายบริโกค : หวายโคก (<i>Calamus acanthophyllus</i> Becc.) Botanical Characteristics of Edible Rattan : "Wai-koke" (<i>Calamus acanthophyllus</i> Becc.) วินัย แสงแก้ว และอร่าม คุ้มกลาง	135

Methane Emission from Farmers' Irrigated Paddy Fields in Khon Kaen.

Patcharee Saenjan¹, Duangsamorn Tulaphitak², Thepparit Tulaphitak¹

Soupachai Tangchupong³ and Suwat Jearakongman³

¹ Department of Land Resources and Environment, Faculty of Agriculture,
Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

² Center of Agricultural Research and Development, Faculty of Agriculture,
Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

³ Khon Kaen Rice Experimental Station, Khon Kaen 40000, Thailand.

Abstract

An experiment was conducted to study methane emission from farmers' paddy fields. Methane emission was directly measured from 8 rice plots in 2 soils; an heavy- textured Alluvial soil, Ratchaburi series (Rb) and a light- textured Low humic gley soil, Roiet series (Re) in Khon Kaen. Two varieties of rice (*Oryza sativa* L.), RD 6 and KDML 105, were grown by broadcasting and transplanting. The plots were irrigated to maintain flooded condition throughout the growth period. Agricultural cultivation were practice by farmers. Methane emissions were examined in three replication at least once weekly from planting (or broadcasting) until harvesting. Above-ground biomass and grain yields were measured.

Through the whole growing season, the average methane emission rates for Ratchaburi soil ranged from 2.76 to 5.82 mg m⁻² h⁻¹ which are equivalent to 66.07 to 139.63 mg m⁻² d⁻¹ and 6.73 to 16.76 g m⁻² season⁻¹. The rates grouped as low emission. The rates for Roiet soil ranged from 8.25 to 28.73 mg m⁻² h⁻¹ which are equal to 197.94 to 689.63 mg m⁻² d⁻¹ and 24.54 to 86.89 g m⁻² season⁻¹. These rates are grouped as moderate emission .

Yield of KDML 105 rice grown on Re soil reached the highest 733 kg rai⁻¹, while that of glutinous rice RD 6 transplanted to Rb soil was 683 kg rai⁻¹. These yield were higher than average yield from irrigated farmer's area in Khon Kaen, and these yield were 570 and 566 kg rai⁻¹ for KDML 105 and RD 6, respectively. A high grain yield was not always observed with a high CH₄ methane emission.

Keywords : methane, rice, paddy, soil, farmer, variety, Khon Kaen

Climate change over the long-term, in particular global warming, could affect agriculture in a number of ways, e.g. the majority of which would threaten food security for the world's most vulnerable people. Future possible effect of long-term climate change on world agriculture could well include (FAO 1997):

The overall predictability of weather and climate would be less reliable, making plan of farm operations more difficult. Climate variability might be encountered, putting additional stress on fragile farming system. The sea-level would rise, threatening valuable coastal agricultural land, particularly in low-lying small islands. Biological diversity would be reduced in some of the world most fragile environments, such as mangroves and tropical forests. Climate and agro-ecological zones would shift, threatening natural vegetation and fauna. The current imbalance of food production between cool and temperate regions, and tropical and subtropical regions could be worsen. Distribution of fish and seafood in both quality and quantity could change dramatically. Pests and vector-borne diseases would spread into exotic areas.

Public concern about global warming mostly focuses on carbon dioxide (CO_2), the most prevalent greenhouse gas. Methane (CH_4), the major component of natural gas, is second in importance as a greenhouse gas. Wetland rice fields recently been identified as a major source of atmospheric methane. More than 90% of the world's rice is produced in Asia. The harvested rice area increased mainly because double rice cropping was made possible by the development of rice cultivars and by expanded irrigation. In East Asia, almost all rice is grown on irrigated land, 40% of the rice-growing land in Southeast Asia is irrigated (IRRI 1991).

The first comprehensive measurements of methane fluxes in rice fields were reported only in the early 1980s (Cicerone and Shetter 1981, Cicerone et al. 1983, Holzapfel-Pschorn et al. 1986, Seiler et al. 1984). Recent global estimates of emission rates from wetland rice fields range from 20 to 100 Tg yr^{-1} , which corresponds to 6-29% of the total annual anthropogenic methane emission (IPCC 1992).

For methane emission from Thai paddy fields, all of the measurements had been done in rice experimental stations in central plain, northern and northeastern Thailand (Yagi et al. 1994; Jermsawatdipong et al. 1994, Kato et al. 1999 a and b). Clayey paddy fields in Supanburi showed a range of average CH_4 fluxes of 19.5-32.2 $\text{mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Clayey acid sulfate paddy fields in Klong Luang and clay loam acid paddy fields in Chai Nat emitted CH_4 3.8 and 1.6 $\text{mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$, respectively

(Yagi et al. 1994). The average value of fluxes from loamy sand paddy fields measured for the main rice at Khon Kaen and Surin were 19.8 and 13.3 mg m⁻²h⁻¹, respectively, and for the second rice were 15.1 and 15.4 mg m⁻²h⁻¹, respectively (Kato et al. 1999b). The average values of CH₄ fluxes measured for the major rice on light clay in Phitsanulok, light clay in San Pa Thong and silty clay loam in Phrae were 7.4, 16.1 and 22.2 mg m⁻²h⁻¹, respectively, and for the second rice were 6.6, 8.8 and 15.9 mg m⁻²h⁻¹, respectively (Kato et al. 1999a).

The total amount of CH₄ emission during the rice growth period ranged from 4 to 59 in the fresh water alluvial paddy fields, 0.6 to 17 in acid sulfate paddy fields, and 21 to 35 in the low humic gley paddy fields, respectively (Jemsawatdipong et al. 1994).

Since an inventory of CH₄ emission rates from Thai paddy fields is limited, especially from farmers' paddy fields. Therefore, in the present experiment, CH₄ emission rates were directly measured from paddy fields with variations in soil series of different textures and rice varieties under farmers' management and practice.

Materials and Methods

Physical positions, soil series and sites. Two farmers' paddy fields were selected (as follows); one is Alluvial soil formed on flood plain, classified as Ratchaburi series (Rb) with the phase of grate group as Clayey Tropaequpts, located at Ban Don Do, Tambol Bong Nium, and the other is Low humic gley soil formed on low terrace, classified as Roiet series (Re) with the phase of grate group as Coarse-loamy Paleaquults, located at Ban Koksai, Tambol Koksai, both sites are in Amphore Muang, Khon Kaen. Water percolation rate of the former is very slow whereas the latter is moderately fast. Chemical properties of both paddy soils are shown in Table 1.

Rice cultivational practice. Paddy field at each site has 4 plots. The paddy was submerged, ploughed and harrowed before planting rice. Two varieties of Rice (*Oryza sativa* L.), a glutinous rice as RD 6 and an Indica rice as KDML 105, were grown by 2 methods, broadcasting seeds and transplanting seedlings. The plots were irrigated to maintain the flooded condition throughout the grown period. The area of the plots varied to the shapes of the fields, ranged from 200 to 3,200 m². Cultural practice by the farmers (land owners) and calendar plans were different among the plots as shown in Table 1 for Ratchaburi soil and Table 2 for Roiet soil.

Methane emission measurements. Methane emission rate from paddy fields into the atmosphere were measured by applying a closed chamber method at least once weekly from transplanting (or broadcasting) until harvesting. For each experimental plot, gas samplings were performed in three replicates at 10 a.m. 5 times at intervals of 5 minutes. This was achieved by using syringes take CH_4 samples from 3 acrylic chambers of known cross-sectional areas. Methane analysis was done by using a Shimadzu (GC-14B) gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (FID). Methane emission rate was calculated from the increase in CH_4 concentration in the air and the volume of the chamber.

Plant biomass and yield measurements. Plant growth was determined as above-ground biomass, randomly sampled from an area of 1 m^2 from each experimental plot. Samplings were done 5 times covering all vegetative and reproductive periods, and then oven dried to a constant weight at 80°C . Grain yields were measured by randomly sampling from an area of 10 m^2 , oven dried as previously mentioned and the weight was corrected to moisture content of 14%. In addition yields of rice crop were collected from 7 tambols in the irrigated areas in close approximation of the project's areas. The average yield was considered as farmer's average yield.

Results and Discussion

Rice yields in plots with different cultivational methods and varieties in clay loam soil (Ratchaburi series, Rb) and loamy soil (Roiet series, Re).

Yield of RD 6 and KDML 105, varieties from farmer's yield were 566 and 570 kg rai^{-1} , respectively (not show). In the present studies yield of KDML 105 rice transplanted to Re soil reached the highest 733 kg rai^{-1} while that of glutinous rice RD 6 transplanted to Rb soil were 683 kg rai^{-1} . In general, rice yield of each variety obtained from transplanting plot in each soil was higher than that of farmer's average yield. On the other hand, rice yields of both varieties obtained from broadcasting plots on both soils gave lower average yield than those from transplanting plots and lower than those of the farmer's average yields (Table 4). The minimum yield was recorded for broadcasting RD 6 in Re soil as 365 kg rai^{-1} . It was observed that in broadcasting plot in Re soil, water management for weed control was done to late after seed emergence and then allowed many weeds to interfere much enough to disturb rice production. It is noteworthy to present here that this condition very common in farmers' paddy fields. there was not obvious relationship between rice grain yield and methane emission (Table 3, Table 4).

Seasonal variations of methane emission rate from major-rice irrigated paddy fields in Ratchaburi soil.

Figure 1, A shows methane emission rate from plots with transplanting RD6 and KDML 105 slowly started from $0.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ at transplanting to $7.8 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ at harvesting. Though, this range of emission is remarkably low, it clearly reveals that methane emission rate increases with the age of rice transplanted to Ratchaburi soil, probable due to the increase in above-ground biomass of rice plants (Figure 3), releasing organic substances into the rhizosphere by biomass litter and root exudation as well as providing channels for gas transport. Such very strong dependence of methane emission rate on above-ground vegetative biomass was previously observed by Sass et al. (1990) and Huang et al. (1997).

Methane emission rate from plot with broadcasting RD 6 (Figure 1, B) also shows a similar trend to the above mentioned transplanting plots (Figure 1, A) while methane emission from plot with broadcasting KDML 105, at the early stage, emitted double rate as high as other plots in Ratchaburi soil ranging from 7.7 to $13.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. The later plot is suspected to have higher readily mineralizable carbon (RMC) than others and may be caused by uneven tillage. A dependence of methane emission rate on biomass was not observed on broadcasting plots (Figure 1, B and Figure 3). Methane emission rates derived from clay loam Ratchaburi soil, in general, are quite low and this can be attributed to the high quantity of reducible Mn and Fe (Mn^{2+} and Fe^{2+}) existing in Ratchaburi soil (Table 1), suppressing methane formation.

Seasonal variations of methane emission rate from major-rice irrigated paddy fields in Re soil.

Methane emission rate from Roiet soil at the early stage was generally 10-100 folds higher than from Ratchaburi soil (Figure 2, A and B). This could be due to the fresh green manure ploughed into the soil during soil preparation. Weed were sampled for fresh weight then oven dried and the majority of weed were *Impomoea aquatica* and few kinds of grasses. Total biomass of weeds was as high as $18.2 \text{ ton fresh weight rai}^{-1}$ ($3.2 \text{ ton dry weight rai}^{-1}$). The maximum methane emission rates observed from the plots transplanting with RD 6 and KDML 105 at the first few gas sampling to be 121.1 and $72.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively, then dramatically decreased over 40 days after transplanting to a certain level. The rate slightly increased again during reproductive period

when rice plants were approximately 65 to 95 days old. It is well established that methane produced in the sediment diffuses into the cell-wall of the root cells, gasifies into root cortex, and then is mostly released to atmosphere through the micropores in the leaf sheath (Nouchi 1994).

Figure 2,B shows less quantities of methane emission from plots with broadcasting RD 6 and KDML 105. The emission rapidly decreasing over 14 days of the early growth period. This is because, over that period, the soil is under semi-anaerobic condition as a consequence of delayed flooding which is quite common for paddy field with broadcasting. Moreover, the rest of the growth period shows a similar trend of methane emission to the respective transplanting plots (Figure 2, A and B), i.e. methane emission boots at reproductive stage.

Comparison of methane emission rates from farmers' paddy fields with those from experimental paddy fields.

During the growing season, the average methane emission rates for Ratchaburi soil range from 2.76 to 5.82 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, which are equivalent to 66.07 to 139.63 $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ and 6.73-16.76 $\text{g m}^{-2} \text{season}^{-1}$ (Table 5). These rates are comparable to those for no-fertilizer plot in a silty clay soil in Ratchaburi and all plots in Pathumthani and Chainat (Table 6). They can be grouped as low emission rates, and can be most probably attributed to the fixed characteristics of such soils. That is not only little readily mineralizable organic carbon (RMC) but high oxidizing capacity in Ratchaburi soil and high easily reducible Mn existing in clay loam in Chainat. In addition, soil in Phathumthani is acid sulfate.

Throughout the whole growing season, the average methane emission rates for Roiet soil range from 8.25 to 28.73 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, which are equivalent to 197.84 to 689.63 $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ and 36.71 to 86.89 $\text{g m}^{-2} \text{season}^{-1}$ (Table 5). These emission rates are comparable to those from chemical fertilizer plot and organic matter plot on silty clay in Ratchaburi, clayey paddy field in Supanburi, light clay in San Pa Thong, silty clay loam in Phrea, loamy sand in Surin and Khon Kaen (Table 6). These results can be grouped as moderate methane emission rate. Soil characteristics as heavy texture, higher organic carbon content, not too high oxidizing capacity and especially some external factors as organic carbon and fertilizer supply play important roles on significant methane emission from such soils.

It should be worthwhile to state here that there is strong need to develop mitigation techniques for reducing methane emission from irrigated rice fields and to quantify the contribution of Thai-rice agriculture to global methane emission.

Conclusion

Yield of KDML 105 rice transplanted to Roiet soil reached the highest 733 kg rai^{-1} while that of glutinous rice RD 6 transplanted to Rb soil were 683 kg rai^{-1} . They are higher than the average yields, 570 and 566 kg rai^{-1} for KDML 105 and RD 6, respectively. Methane emission rates from plots with transplanting RD6 and KDML 105 slowly started from 0.2 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ at transplanting to 7.8 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ at harvesting. A similar trend with broadcasting RD 6 also occurred. Methane emission from plot with broadcasting KDML 105, at the early stage, emitted double rate as high as other plots in Ratchaburi soil ranging from 7.7 to 13.2 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$. In general, methane emission rates derived from Ratchaburi soil are quite low can be attributed to the high quantity of easily reducible Mn and Fe existing in Rb soil.

The maximum CH_4 emission rates were observed from the plots with transplanting RD 6 and KDML 105 in Re soil at the first few gas samplings to be 104.4 and 72.2 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, respectively, then dramatically decreased over 40 days after transplanting to a certain level and slightly increased again during reproductive period. Methane emission rate from Roiet soil was generally 10-100 folds higher than from Ratchaburi soil due to farmer ploughed fresh green manure into the soil. Lesser quantities of CH_4 emission from plots with broadcasting RD 6 and KDML 105 over 14 days of the early growth period were found to decrease rapidly because the soil was under semi-anaerobic condition as a consequence of delayed flooding.

Through the whole growing season, the average methane emission rates for Ratchaburi soil ranged from 2.76 to 5.82 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, which are equivalent to 66.07 to 139.63 $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ and 6.73-16.76 $\text{g m}^{-2} \text{season}^{-1}$, they can be grouped as low emission rates. And the average methane emission rates for Roiet soil ranged from 8.25 to 28.73 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, which are equal to 197.94 to 698.63 $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ and 24.55 to 86.89 $\text{g m}^{-2} \text{season}^{-1}$. These results can be grouped as moderate methane emission rate.

Acknowledgement

This work was supported by grants from Thailand Research Fund (TRF) under the large umbrella framework of the Project: Climate Change.

References

- Cicerone, R. J., and Shetter, J. D. 1981. Sources of atmospheric methane: Measurements in rice paddies and a discussion. *Journal of Geophysical Research*, 86: 7203-7209.
- Cicerone, R. J., Shetter, J. D. and Delwiche, C. C. 1983. Seasonal variation of methane flux from a California rice paddy. *Journal of Geophysical Research*, 88: 11,022-11,024.
- FAO. 1997. Agriculture and Climate Change: FAO, s role. In *News & Highlights*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://WWW.fao.org/news/1997/97120-e.htm>
- Holzapfel-Pschorn, A., Seiler, W. 1986. Methane emission from Texas rice paddy soils. 2. Seasonal contribution of rice biomass production to methane emission. *Global Change Biology*, 3: 491-500.
- Huang, Y., Sass, R. L. and Fisher, F. M. 1997. Methane emission from Texas rice paddy soils. 2. Seasonal contribution of rice biomass production to CH₄ emission. *Global Change Biology* 3: 491-500.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. 1992 *Climate Change: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment* (eds Houghton, J. T., Callender, B. A. and Varney, S.K.), pp. 25-47. Cambridge University Press, New York.
- International Rice Research Institute, IRRI. 1991. *World Rice Statistics 1990*. PO Box 933, Manila, Philippines.
- Jernsawatdipong, P., Murase, J., Prabuddham, P., Hasathon, Y., Khomthong, N., Naklang, K., Watanabe, A., Haraguchi, H. and Kimura, M. 1994. Methane Emission from Plots with Differences in Fertilizer Application in Thai Paddy Fields. *Soil Sci Plant Nutr.*, 40 (1): 63-71.
- Katoh, K., Chairaj, P., Yagi, K., Tsuruta, H., Minami, K. and Cholitkul, W. 1999(a). Methane Emission from Paddy Fields in Northern Thailand. *JIRCAS Journal* No. 7:77-85.

- Katoh, K., Chairaj, P., Yagi, K., Tsuruta, H., Minami, K. and Cholitkul, W. 1999(b).
Methane Emission from Paddy Fields in Northern Thailand. JIRCAS Journal No.
7:87-96.
- Nouchi, I. 1994. Mechanisms of methane transport through rice plants. In CH_4 and N_2O :
Global Emissions and Controls from Rice Fields and Other Agricultural and
Industrial Sources (eds Minami K., Mosier, A. and Sass, R.), pp. 87-104.
Yokendo Publishers, Tokyo.
- Sass, R. L. Fisher, F. M. and Harcombe, P. A. 1990. Methane production and emission
from in a Texas rice field. *Global Biogeochemical Cycles*, 6: 249-262.
- Yagi, K., Chairaj, P., Tsuruta, H., Cholitkul, W. and Minami, K. 1994. Methane emission
from rice paddy fields in the central plain of Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40:
29-37.

Table 1 Taxonomy and Chemical properties of paddy soils.

Soil series	Ratchaburi (Rb)	Roiet (Re)
Phase of great group	Clayey Tropaquepts	Coarse-loamy Paleaquults
Texture	Clay loam	Sandy loam
pH (H ₂ O)	6.74	5.18
Fe ₂ O ₃ (10 ⁻² kg kg ⁻¹)	0.86	0.25
Fe ²⁺ (ppm)(28 days)	1128	1186
Mn ²⁺ (ppm)(28 days)	676	36
RMC(mgC/100g soil)	52.00	49.33
Total C (10 ⁻² kg kg ⁻¹)	0.57	0.27
Total N (10 ⁻² kg kg ⁻¹)	0.02	0.006
CEC (cmol(+) kg ⁻¹)	10.32	1.78
Avai.p (ppm)	15.64	18.47
Ca (ppm)	2,300	184
Mg (ppm)	319	288
Na (ppm)	98	150
K (ppm)	94	31
EC (mS) (1:5)	0.06	0.03

Table 2 Cultivation practices and calendar for Ratchaburi plots (major rice ,1999).

Date	Broadcasting plots	Transplanting plots
30 April 1999	Digging up surface soil 20 cm	Digging up surface soil 20 cm
4 July 1999	Flooding	Flooding
15 July 1999	Plowing	-
16 July 1999	Harrowing	Plowing
17 July 1999	-	Harrowing
18 July 1999	Broadcasting RD6 10 kg/rai KDML 105 10 kg/rai	-
21 July 1999	-	Transplanting RD6, 15 x 20 cm.
25 July 1999	-	Flooding
27 July 1999	-	Fertilizer application 40- 0- 0, 9.6 kg/rai
31 July 1999	-	Transplanting KDML 105, 15 x 20 cm.
1 August 1999	Fertilizer application 16- 16- 8, 10 kg/rai	Fertilizer application 16- 16- 8, 10 kg/rai
2 August 1999	Flooding	Flooding
11 August 1999	Flooding	Flooding
8 September 1999	Fertilizer application 16- 16- 8, 20 kg/rai	Fertilizer application 16- 16- 8, 20 kg/rai
25 September 1999	Fertilizer application 16- 16- 8, 20 kg/rai	Fertilizer application 16- 16- 8, 20 kg/rai
29 October 1999	Drainage	Drainage
16 November 1999	-	Harvesting KDML 105
23 November 1999	Harvesting RD6 and KDML 105	Harvesting RD6

Table 3 Cultivation practices and calendar for Roiet plots (major rice ,1999).

Date	Broadcasting plots	Transplanting plots
6 July 1999	Flooding	Flooding
7 July 1999	Green manure plowing	Green manure plowing
8 July 1999	Harrowing	Harrowing
9 July 1999	-	Transplanting RD6 15 x 20 cm.
10 July 1999	Broadcasting RD6 15 kg/rai, KDML 105 15 kg/rai	Transplanting KDML 105 15 x 20 cm.
17 July 1999	-	Flooding
3 August 1999	Fertilizer application 16- 16- 8, 3.8 kg/rai	Fertilizer application 16- 16- 8, 3.8 kg/rai
4 August 1999	Flooding	Flooding
26 August 1999	Flooding	Flooding
21 September 1999	Fertilizer application 16- 16- 8, 3.8 kg/rai	Fertilizer application 16- 16- 8, 3.8 kg/rai
16 October 1999	-	Drainage
22 October 1999	Drainage	-
16 November 1999	Harvesting KDML 105	Harvesting
23 November 1999	Harvesting RD6	-

Table 4 Comparison of major rice production from farmers' irrigated paddy fields in Khon Kaen.

Soil-Cultivation	Glutinous rice, RD6 (kg/rai)	KDML 105 (kg/rai)
	Experiment (1999)	Experiment (1999)
Rb- Transplanting	683	602
Broadcasting	531	476
Re- Transplanting	625	733
Broadcasting	365	579
Average	551	597.5

Table 5 Average and seasonal methane emission from farmers' paddy fields with different variations in soils, cultivations and varieties (major rice, 1999).

Plot no.	Soil-Cultivation Practice	Measuring period (day)	Average CH ₄ emission		Total CH ₄ emission ¹ (g m ⁻² season ⁻¹)
			(mg m ⁻² hr ⁻¹)	(mg m ⁻² d ⁻¹)	
1	Rb-Transplanting RD6	116	3.35	80.41	9.327
2	Rb-Transplanting KDML 105	100	2.80	67.28	6.728
3	Rb-Broadcasting RD6	120	2.76	66.07	7.928
4	Rb-Broadcasting KDML 105	120	5.82	139.63	16.755
5	Re-Transplanting RD6	126	28.73	689.63	86.893
6	Re-Transplanting KDML 105	124	12.12	296.01	36.705
7	Re-Broadcasting RD6	124	11.98	287.01	35.589
8	Re-Broadcasting KDML 105	124	8.25	197.94	24.544

¹ Total CH₄ emission was computed by integration of the first measured values through the last one.

Table 6 Methane emission from paddy fields (major rice) in some rice experimental stations, Thailand.

Major- rice paddy fields in experimental stations	Average or range of CH ₄ emission (mg m ⁻² h ⁻¹)	References
Silty clay in Ratchaburi		
No fertilizer plot	<0.4	Jermsawatdipong 1994
Chemical fertilizer plot	6 - 10	"
Organic matter plot	22 - 52	"
Heavy clay in Pathumthani		
No fertilizer plot	<0.5 - 5	Jermsawatdipong 1994
Chemical fertilizer plot	<0.5 - 5	"
Organic matter plot	4 - 7	"
Clayey paddy field in Supanburi	19.5-32.2	Yaki et al. 1994
Clayey acid sulfate in Pathumthani	3.6	"
Clay loam in Chainat	1.6	"
Light clay in Phitsanulok	7.4	Katoh et al. 1999a
Light clay in San Pa Thong	16.1	"
Silty clay loam in Phrae	22.2	"
Loamy sand in Surin	13.3	Katoh et al. 1999b
Loamy sand in Khon Kaen	19.8	"
Clay loam in Khon Kaen (Rb)	2.6 - 5.8	Present experiment
Loamy sand in Khon Kaen (Re)	8.25 - 28.73 ¹	Present experiment

¹ The experimental plots were over supplied with 18.2 ton of fresh green manure per rai.

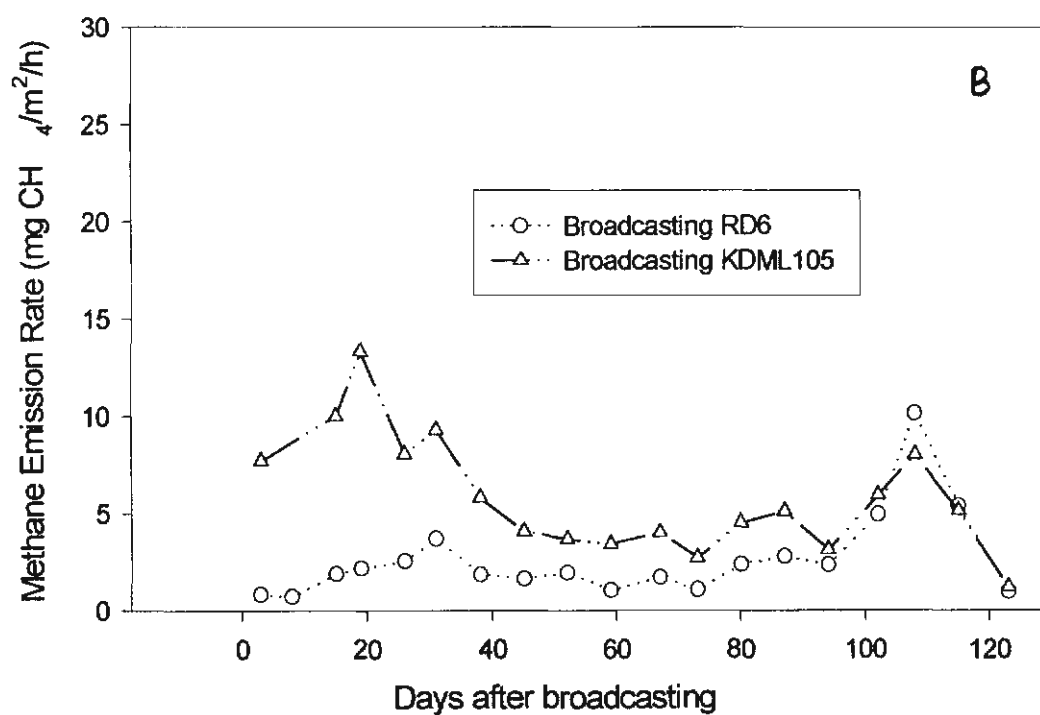
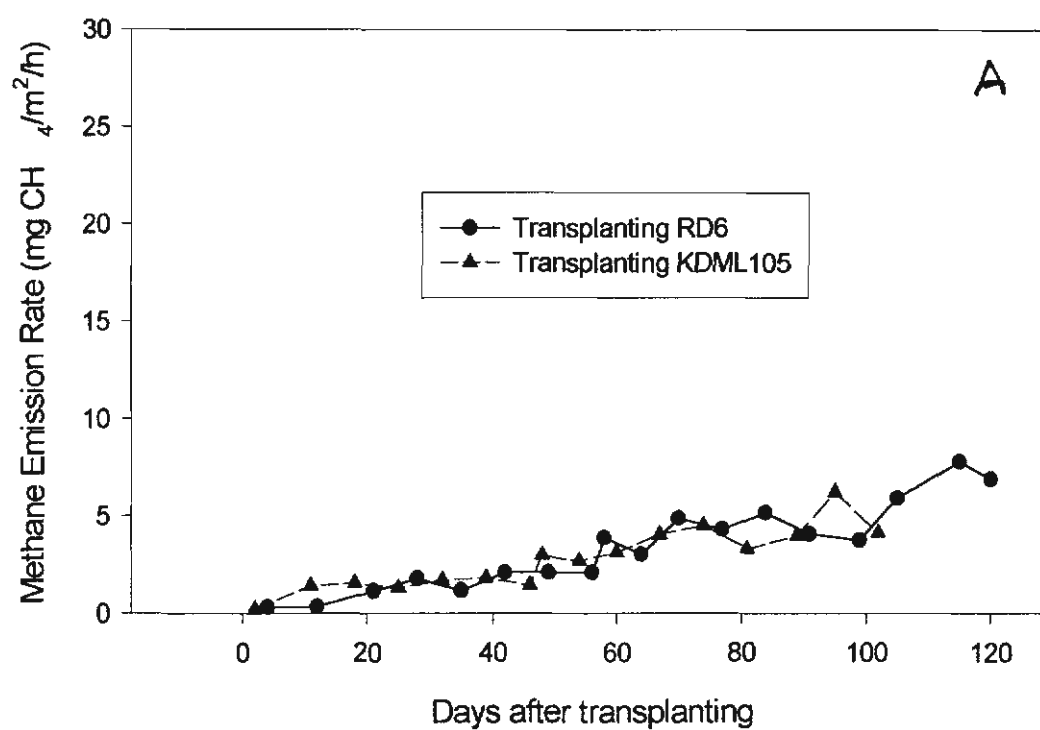


Figure 1 Seasonal variations of methane emission rate from major- rice irrigated paddy fields in Ratchaburi soil.

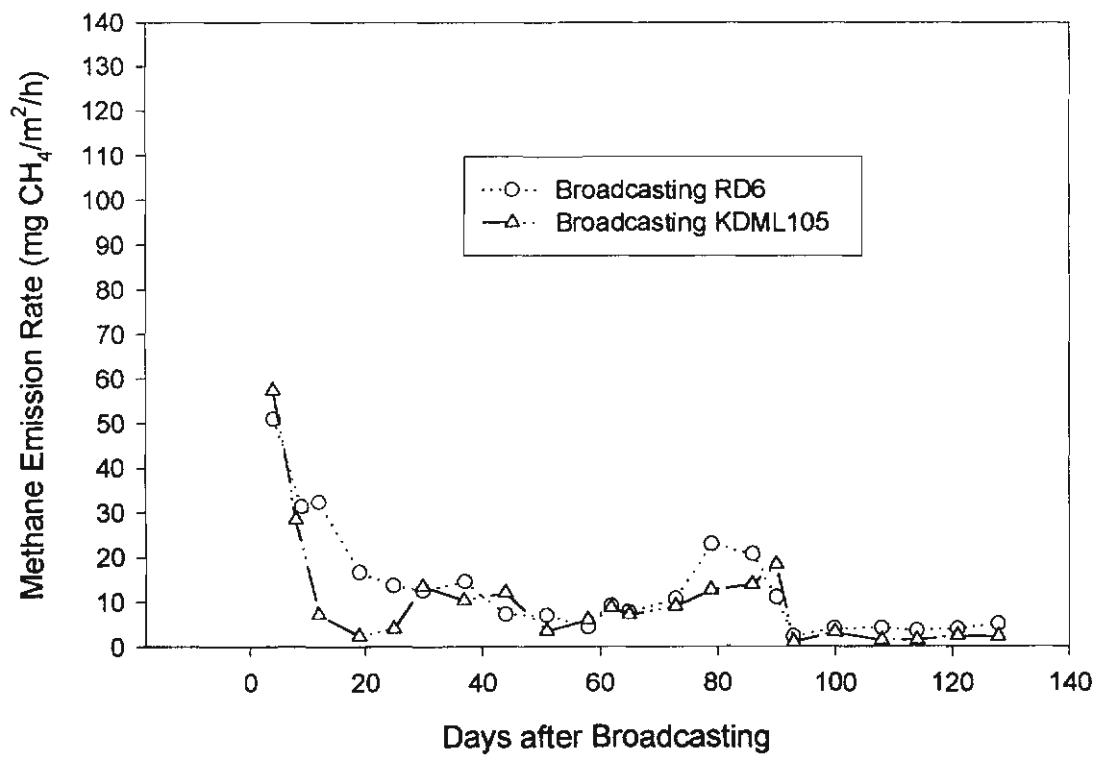
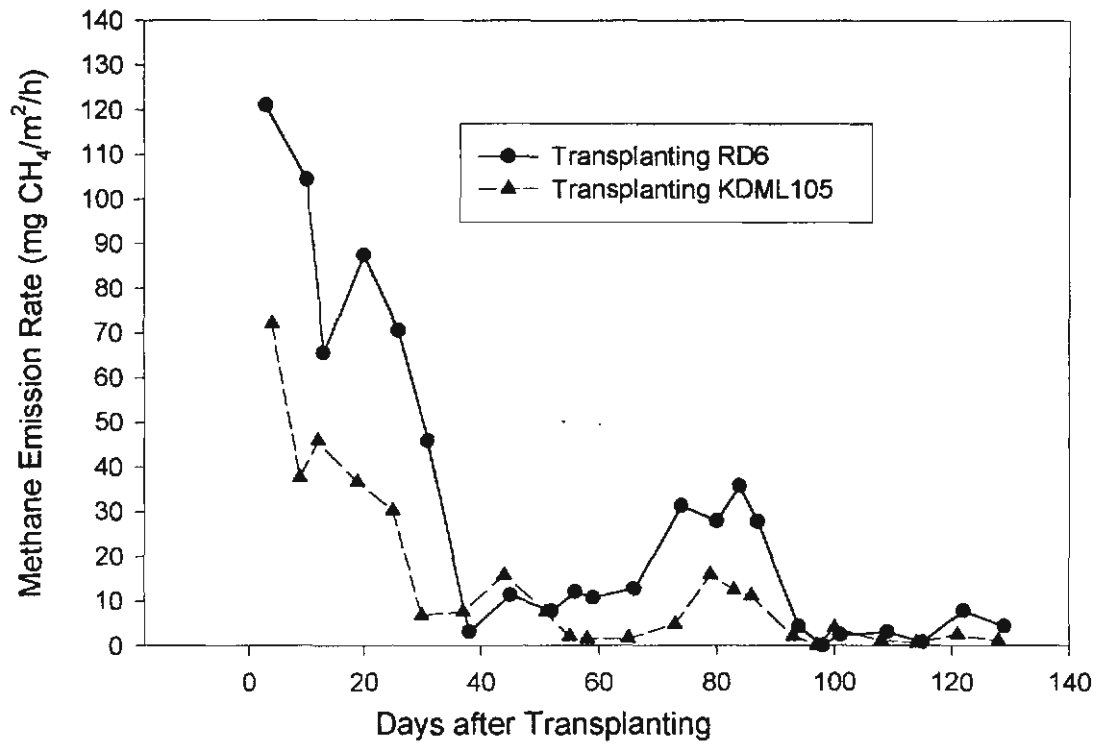


Figure 2 Seasonal variations of methane emission rate from major- rice irrigated paddy fields in Roiet soil.

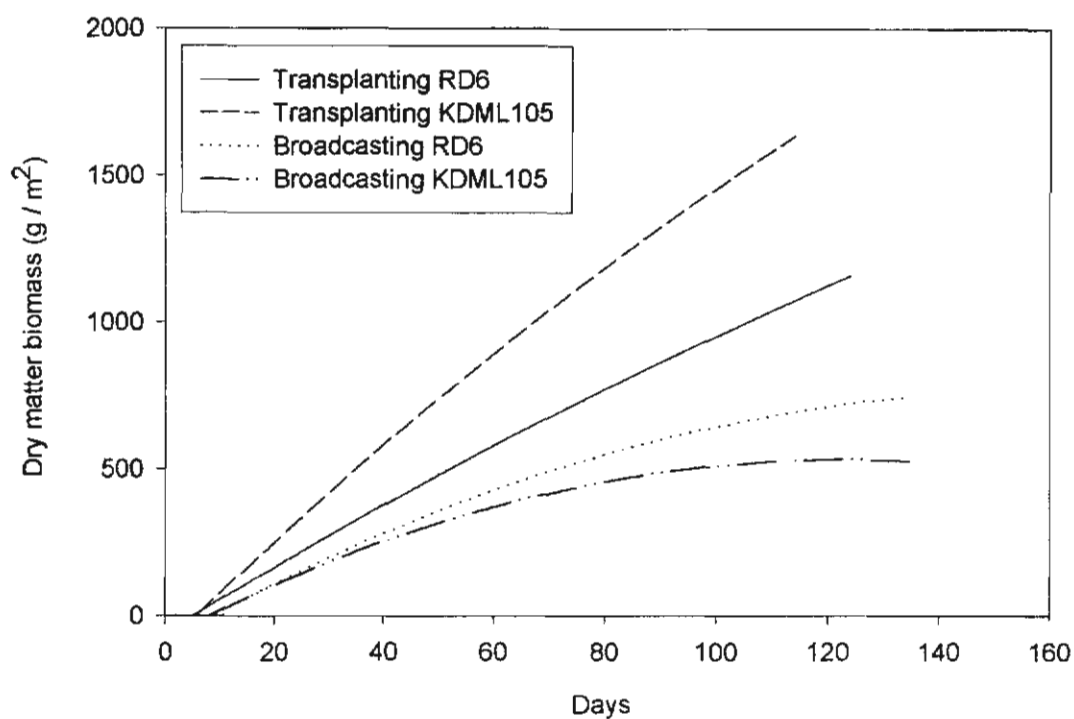


Figure 3 Above-ground biomass of rice plants grown in Ratchaburi soil.

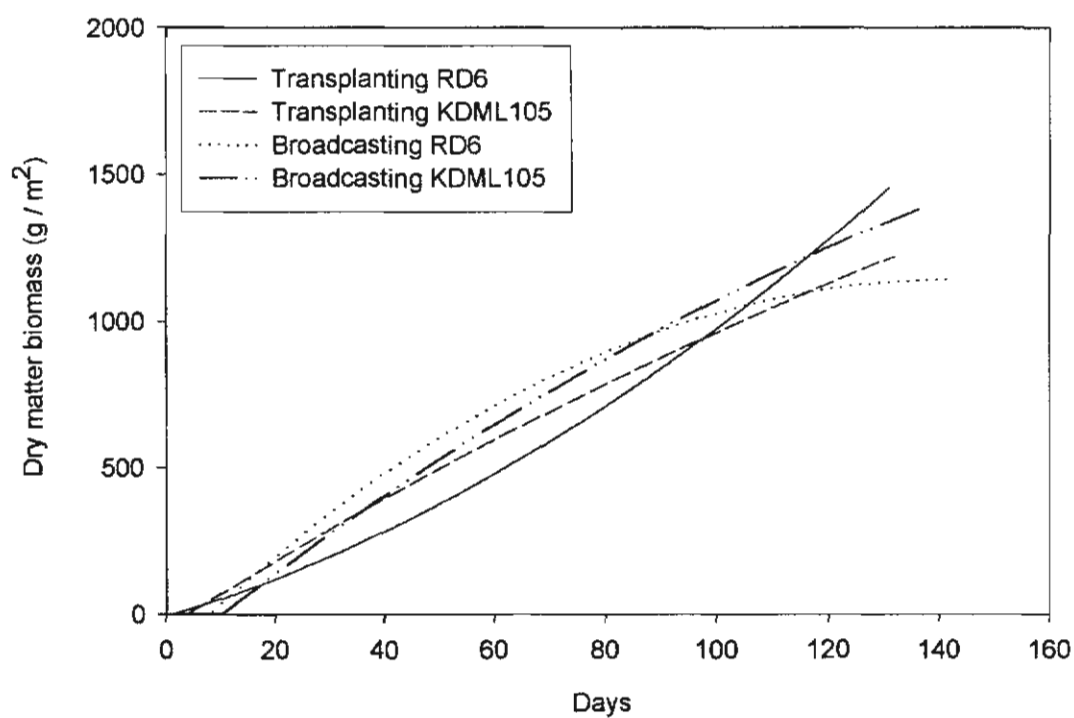
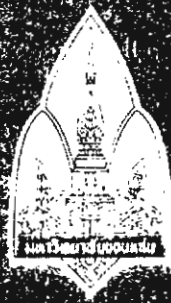
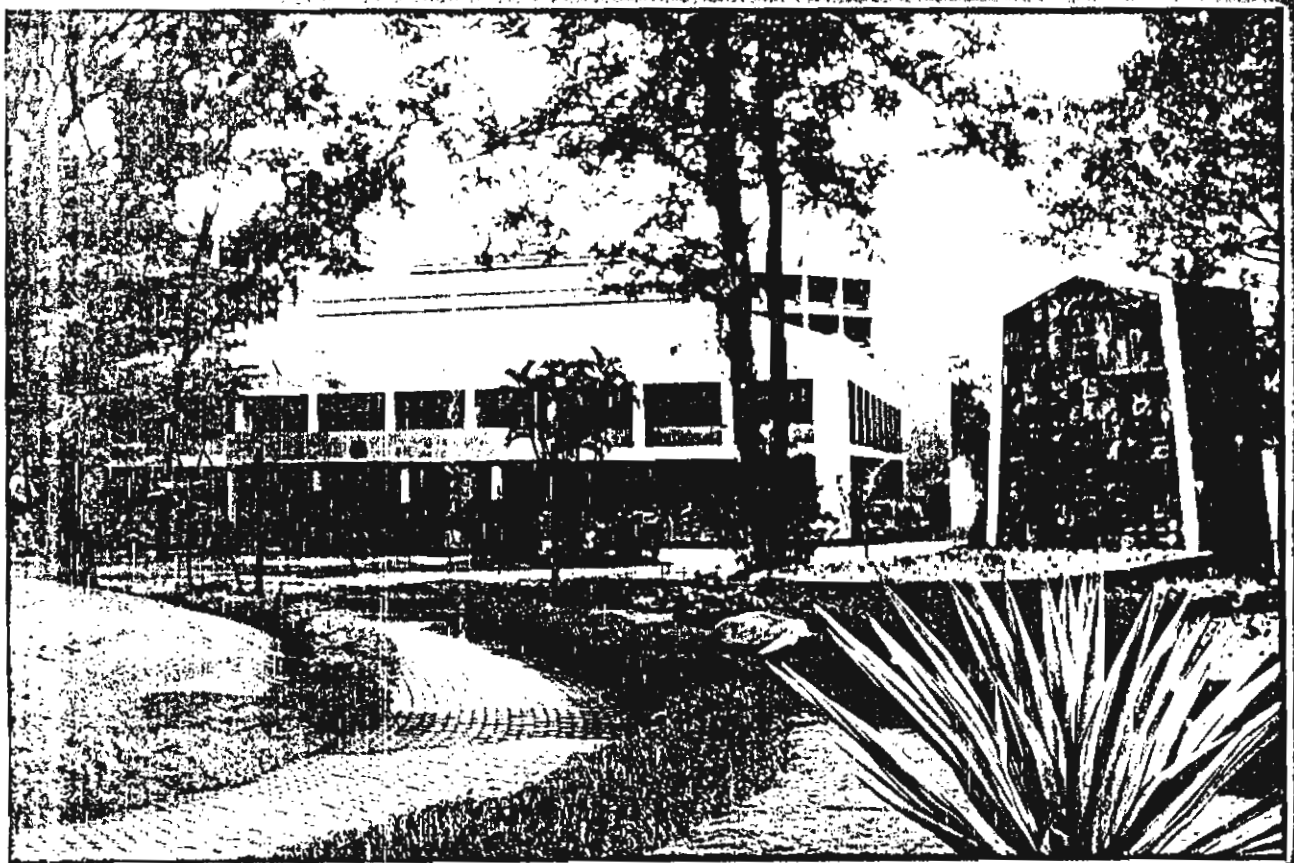


Figure 4 Above-ground biomass of rice plants grown in Roiet soil.



การสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2544

KKU Annual Agricultural Seminar for Year 2001



วันที่ 26 - 27 มกราคม 2544

ณ ห้องประชุม กวี จิตกมล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

โดย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ศูนย์ฝึกอบรมการพัฒนาการเกษตรนานาชาติ กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

	หน้า
♦ Methane Emission from Farmers' Paddy Fields in Khon Kaen <i>Patcharee Saenjan, Duangsamorn Tulaphitak, Thepparit Tulaphitak, Souphachai Tangchupong and Suwat Jearakongman</i>	1-22
♦ การจัดระบบปลูกพืชในเชิงอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่ลาดชันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ <i>Cropping Practices for Soil and Water Conservation in Sloping Land of the Northeast</i> <i>ชุมพล กันทิลปี สุดา สวัสดิ์ธนาคุณ บุญล้อม มะนิลณี ทรรติไธย์ ท่านตระกูล และ นริศ หนูจันทร์</i>	23-41
♦ การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินเค็ม <i>Growth of Vetiver Grass and Changing in Chemical Properties of Saline Soils</i> <i>พัชรวิ ชีวจินดาจกร และ มงคล คีร์อุ้น</i>	42-51
♦ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี <i>Soilless Culture in Suranaree University of Technology.</i> <i>อัครักษ์ ชีวอำพน</i>	52-58
♦ การเปรียบเทียบความสามารถในการไว้ตัวของถั่วที่ปลูกในเขต ภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับภาคกลาง <i>Ratooning Ability of Sugarcane Grown in the Northeast and Central Plain</i> <i>ประสิทธิ์ ใจกลัด</i>	59-72
♦ การปรับปรุงพันธุ์มะเขือเทศทนเชื้อราสาเหตุโรคราน้ำค้าง <i>Improvement of Tomato Hybrids Resistant to Bacterial Wilt (Ralstonia solanacearum)</i> <i>เสรี ทิทธิรัตน์, สุจิตา เศรษฐวงศ์เสถียร, กมล เลิศรัตน์, สรวิณี บุศราภูล, และพิศาด ศิริธร</i>	73-87
♦ ผลของชนิดผลไม้ต่อความชอบเข้าทำลายของแมลงวันผลไม้และแมลงเบียนาเนอน <i>Effect of Fruit Species on Attacking Preference of Fruit Fly and the Larval Parasitoid</i> <i>อโนทัย ภาระพรมราชและบุษริย์ คิริ</i>	88-100
♦ ผลการลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบชนิดลมร้อนต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง <i>Effects of Seed Drying by Hot-Air Drying Method on Groundnut Seed Quality</i> <i>บุญมี คิริ, เกตุจนาภรณ์ สุทธิ และ ไชยภณ วงศ์แก้ว</i>	101-107

Methane Emission from Thai Farmers' Paddy Fields in Khon Kaen

**Patcharee Saenjan¹, Duangsamorn Tulaphitak², Thepparit Tulaphitak¹,
Soupachai Tangchupong³ and Suwat Jearakongman³**

¹ Department of Land Resources and Environment, Faculty of Agriculture,
Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

² Center of Agricultural Research and Development, Faculty of Agriculture,
Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

³ Khon Kaen Rice Experiment Station, Khon Kaen 40000, Thailand.

Abstract

CH₄ emission rates were directly measured from paddy fields with variations in soil series and rice varieties under farmers' management and practice for 3 growing seasons. Average rate of CH₄ emission in Rb soil ranged from 2.75-5.83 mg m⁻² h⁻¹, 2.28-13.21 mg m⁻² h⁻¹ and 3.73-6.74 mg m⁻² h⁻¹ for irrigated major rice in 1999, irrigated second rice in 1999/2000, and rainfed rice in 2000, respectively. They can be grouped as low emission rates. The average CH₄ emission rates for Re soil ranged from 8.24-28.74 mg m⁻² h⁻¹, 4.17-9.66 mg m⁻² h⁻¹, and 7.68-12.02 mg m⁻² h⁻¹ for irrigated major rice in 1999, irrigated second rice in 1999/2000, and rainfed rice in 2000, respectively. Daily and total CH₄ emission also were tabulated.

In irrigated major rice 1999, total CH₄ emission from Rb soil ranged from 6.72-16.78 g m⁻², whereas those from Re soil with an extreme heavy dose of fresh organic manure 18.2 ton fresh weight rai⁻¹ (3.2 ton dry weight rai⁻¹), ranged from 24.54-86.89 g m⁻². Consequently, CH₄ emissions were reduced 59.01 and 33.12 % by broadcasting RD 10 and KDML 105, respectively. In irrigated second rice 1999/2000, total CH₄ emissions from Rb soil were higher than those in irrigated major rice 1999, with the range of 6.20 - 29.18 g m⁻² due to ploughing of rice residues before cultivation. Total amount of CH₄ emitted from Re soil with burnt rice residues before cultivation, ranged from 19.21-24.34 g m⁻². Re soil which received less amount of irrigation water, emitted total amount of CH₄ about 50% less. Flooding in rainfed rice 2000 destroyed the paddy areas, small amounts of total CH₄ were found with 8.96-14.72 g m⁻². Moderate amounts of CH₄ emission from Re soil under rainfed ranged from 27.1-41.94 g m⁻².

Among three seasons, second rice 1999/2000 gave highest rice yield as 819 kg rai^{-1} obtained from Rb soil with broadcasting CN 1 with ploughing rice residues and 31.5 kg Urea rai^{-1} . This plot emitted especially small amount of CH_4 as 6.2 g m^{-2} . In general, rainfed rice gave lesser yields than irrigated rice.

Key words: methane, paddy, rice, soil, Thai, Khon Kaen

Introduction

Climate change over the long-term, in particular global warming, could affect agriculture in a number of ways – the majority of which would threaten food security for the world's most vulnerable people. Future possible effects of long-term climate change on world agriculture were well emphasized by Food and Agriculture Organization of United Nation (FAO 1997). Public concern about global warming mostly focuses on carbon dioxide (CO_2), the most prevalent greenhouse gas. Methane (CH_4), the major component of natural gas, is second in importance as a greenhouse gas.

Paddy fields are one of the major anthropogenic sources of atmospheric methane in relation to the global warming. Many studies have been conducted on the estimation of the amounts of methane fluxes under different growth conditions, in relation to water management (Yagi et al. 1990; Sass et al. 1992; Murase et al. 1993), the effects of cultivation (Sass et al. 1990, 1991, 1994; Yagi and Minami 1990; Kimura et al. 1991), fertilizer application (Yagi and Minami 1990; Kimura et al. 1991; Lauren et al. 1994), seasonal variation (Schutz et al. 1989; Sass et al. 1990, 1991; Yagi and Minami 1990; Kimura et al. 1991), diurnal variation (Holzapfel-Pschorn and Schutz et al. 1989; Yagi and Minami 1990; Miura et al. 1992), temperature (Holzapfer-Pschorn and Seiler 1986; Schutz et al. 1989, 1990; Sass et al. 1990, 1991; Yagi and Minami 1990; Miura et al. 1992), and fluctuation from year to year (Cicerone et al. 1983; Sass et al. 1990, 1991; Nugroho et al. 1996; Huang et al. 1997).

More than 90% of the world's rice is produced in Asia. The harvested rice area increased mainly because double rice cropping was made possible by the development of rice cultivars and by expanded irrigation. In East Asia almost all rice is grown on irrigated land, while in Southeast Asia 40% of the rice growing land is irrigated (IRRI 1991). Southeast Asia was 38.616 million ha in 1993, which covered 26% of the total rice area in the world (FAO 1994). Among Southeast Asian countries, Thailand is the second one for rice harvested area after Indonesia.

Methane emission from Thai paddy fields, all of the measurements had been measuring in rice experiment stations in central plain, northern and northeastern Thailand (Yagi et al. 1994; Jermsawatdipong et al. 1994, Katoh et al. 1999 a and b). Clayey paddy fields in Supanburi showed a range of average CH_4 fluxes of $19.5\text{--}32.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Clayey acid sulfate paddy fields in Klong Luang and clay loam acid paddy fields in Chai Nat emitted CH_4 3.8 and $1.6 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively (Yagi et al. 1994). The average value of the fluxes from sandy loam paddy fields measured for the major rice at Khon Kaen and Surin were 19.8 and $13.3 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively, and for the second rice were 15.1 and $15.4 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively (Katoh et al. 1999b). The average values of CH_4 fluxes measured for the major rice on light clay in Phitsanulok, light clay in San Pa Thong and silty clay loam in Phrae were 7.4 , 16.1 and $22.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively, and for the second rice were 6.6 , 8.8 and $15.9 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively (Katoh et al. 1999a).

The total amount of CH_4 emission (gC m^{-2}) during the rice growth period ranged from 4 to 59 in the fresh water alluvial paddy fields, 0.6 to 17 in acid sulfate paddy fields, and 21 to 35 in the low humic gley paddy fields, respectively (Jermsawatdipong et al. 1994).

Since measurement of CH_4 emission rates from Thai paddy fields is limited, especially from farmers' paddy fields. Therefore, in the present experiment, CH_4 emission rates were directly measured from paddy fields with variations in soil series of different textures and rice varieties under farmers' management and practice for 3 growing seasons. And the extent of practices involved in CH_4 emission was discussed.

Materials and Methods

Physical positions, soil series and siltes. For major-rice season in 1999, 2 sites (Ban Don Do and Ban Kok Sai) were selected in irrigated areas. Three sites (Ban Don Do, Ban Nong Ka and Ban Na Ngam) were selected in irrigated areas for second-rice in 1999/2000 and the other 3 sites (Ban Nong Pho, Ban Nong Nam Kieng and Ban Kud Kwang) for rainfed-rice in 2000 (Table 1). Each rice growing season consisted of a selected paddy field to represent Alluvial soil formed on Flood plain, classified as Ratchaburi series (Rb) with the phase of grate group as Clayey Tropaquepts, and the other (one or two) represent Low humic gley soil formed on Low terrace, classified as Roiet series (Re) with the phase of grate group as Coarse-loamy Paleaquats. Water percolation rate of the former is very slow whereas the latter is moderately fast. Taxonomy, physical and chemical properties of all paddy soils are shown in Table 1.

Rice cultivational practice. Major-rice fields in 1999 at each site consisted of 4 plots which were submerged, ploughed and harrowed before cultivation. Two varieties of Rice (*Oryza sativa* L.), a glutinous rice as RD 6 and an Indica rice as KDML 105, were cultivated by 2 methods, transplanting seedlings and broadcasting seeds. In total, these made 8 plots (no. 1-8). Second-rice fields in 1999/2000 were plotted in a similar manner but rice varieties were RD 10 and CN 1. An exception for Ban Na Ngam, cultivation method by only transplanting was done. In total, these were composed of 10 plots (Table 5, no. 9-18). The plots were irrigated to maintain flooded condition or to keep sufficient soil moisture continuously throughout the growth period. All management and practice were dependent on the farmers (land owners). Rainfed rice in 2000 were conducted with rice varieties, RD 6 and KDML 105. And only transplanting rice was done in Ban Kud Kwang. They were totaling 10 plots (Table 5, no. 19-28) in this season. All plots of the whole study are demonstrated in the first two columns of Table 5. The area of the plots varied to the shape of the field, ranged from 200 to 3,200 m². Agricultural practice by the farmers and calendar of the 3 successive rice-growing seasons were different among the plots as shown for Ratchaburi soil and Roiet soil in Table 2, 3 and 4.

Methane emission measurement. Methane emission rate from paddy fields into the atmosphere were measured by applying a closed chamber method at least once weekly from transplanting (or broadcasting) until harvesting. For each experimental plot, triplicate gas samplings were performed at 10 a.m. 5 times at intervals of 5 minutes by using syringes taken from 3 acrylic chambers of known cross-sectional areas. Methane analysis was done by using a Shimadzu (GC-14B) gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (FID). Methane emission rate was calculated from the increase in CH₄ concentration in the air with time and the volume of the chamber. The average of the triplicate CH₄ emission rates were used for plotting over the time cause.

Yield measurement. Grain yields were measured by randomly sampling from an area of 10 m² as replicates, oven dried to a constant 80°C and the weight was corrected to moisture content of 14%.

Results and Discussion

Seasonal variations of CH₄ emission rate from irrigated major-rice fields in Rb soil in 1999

Figure 1(A) shows CH₄ emission rate from plots with transplanting RD 6 and KDML 105 slowly started from 0.2 mg m⁻² h⁻¹ at transplanting to 7.8 mg m⁻² h⁻¹ at harvesting. Though, this range of emission was remarkably narrow, it clearly revealed CH₄ emission rate increased with the age of rice transplanted to Rb soil.

Methane emission rate from plot with broadcasting RD 6 (Figure 1, B) also shows a similar trend to the above mentioned transplanting plots (Figure 1, A) while CH_4 emission from plot with broadcasting KDML 105, at the early stage, emitted double rate than other plots in Rb soil ranging from 7.7 to 13.2 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$. The latter plot was suspected to have higher readily mineralizable carbon (RMC) than others. Later, it was found that farmer used this plot for sowing seeds to make seedlings for transplanting treatments. Up to this point, it should be stated here that it is very essential to study under farmers' actual conditions, though there are many factors can not be controlled when compare to those in experiment stations.

In addition, methane emission rates derived from clay loam Rb soil, in general, were quite low (Figure 1) can be attributed to the high quantity of reducible Mn and Fe (Mn^{2+} and Fe^{2+}) (Table 1) existing in Rb soil, suppressing CH_4 formation. It should be mentioned here that the owner of this field dug up surface soil to confine more quantity of irrigation water, so that water condition in this field was continuously flooding through the growth period. And drainage at 100 days could not provide oxidative soil condition, CH_4 still emitted to a certain amount.

Seasonal variations of CH_4 emission rate from irrigated major-rice fields in Re soil in 1999

Methane emission rates from Re soil (Figure 2, A and B), at the early stage were generally 10-100 folds higher than from Rb soil (Figure 1, A and B), due to farmer ploughed fresh green manure into the soil during soil preparation. Green manure was then sampled from the adjacent plot and found to consist of *Impomoea aquatica* which was greatest in quantity, few kinds of grass and rice plants. They were measured for fresh and dry weight. All in total quantity was as high as 18.2 ton fresh weight rai^{-1} (3.2 ton dry weight rai^{-1}). It should be discussed here about why there was so much *Impomoea aquatica* and other weeds in this field. The reason is that the farmer did not use this field to produce second rice, therefore wetland weeds were tremendous instead of expected rice stubbles left from harvest. In reality, most Thai farmers prefer to burn rice stubbles before rice cultivation. So, this particular situation with this much green manure incorporation into the soil done by the farmer is actually rare. The maximum CH_4 emission rates were observed from the plots with transplanting RD 6 and KDML 105 at the first few gas samplings to be 104.4 and 72.2 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, respectively, then dramatically decreased over 40 days after transplanting to a certain level and slightly increased again during reproductive period when rice plants were approximately 65 to 95 days after transplanting. Accordingly, it is well established that CH_4 produced in the sediment diffuses into the cell-wall water

of the root cells, gasifies into root cortex, and then is mostly released through the micropores in the leaf sheathes to the atmosphere (Nouchi 1994).

Comparison between cultivation methods showed less quantities of CH_4 emission, though not so little, from plots with broadcasting RD 6 and KDML 105 (Figure 2, B), rapidly decreased over 14 days of the early growth period. This is because, over that period, the soil is under semi-anaerobic condition as a consequence of delayed flooding which is quite common for paddy field with broadcasting. Moreover, the rest of the growth period showed a similar trend of CH_4 emission to the respective transplanting plots (Figure 2, A), i.e. methane emission booted at reproductive stage. Huang et al. (1997) reported that more than 75% of the total seasonal CH_4 was emitted during the last 5-week in concert with reproductive and ripening stages, and showed that CH_4 emission was related to plant development and biomass.

Seasonal variations of CH_4 emission rate from irrigated second-rice fields in Rb soil in 1999/2000.

Methane emissions in the early stage of the second rice fields in Rb soil were generally higher than those in the major rice fields (Figure 1 and Figure 3), because rice stubbles and residues were ploughed into the soil before cultivation of the second rice. Methane commenced with $4.8 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for plot with transplanting RD 10, kept fluctuating in the range of $8.29 - 12.63 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ over 40 days of the vegetative stage (Figure 3, A). A gentle increase was then observed during the tillering stage and followed by two sharp peaks of a maximum $39.59 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ at the heading stage (65-75 days after transplanting). A broad peak emerged during the ripening stage and disappeared at harvesting (80 – 97 days). Different results of CH_4 emission rates for transplanting CN 1 were recorded that no peak was found at all (Figure 3, A), and remarkably low CH_4 emission rates from 74 days were observed in consistent with no water on the soil surface, rendering oxidative condition in such soil. Accordingly, speaking in term of management, shorten flooding period could reduce CH_4 emission.

In general, the rates of CH_4 emission from the plot with broadcasting RD 10 in Rb soil (Figure 3, B), though not so low, were in a narrow range of $2.32 - 9.17 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ until 63 days after broadcasting, followed by 2 broad peaks from 70 – 107 days after broadcasting over reproductive stage with the maximum rate of $22.05 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. At harvesting, some amounts of CH_4 were recorded in concert with wet soil. Remarkably lower CH_4 emission rates were generally recorded in the plot with broadcasting CN 1 throughout the growth period than in the plot with RD 10 (Figure 3, B), though similar flooding condition through the growth period of both plots were maintained. This finding reflected the significant effect of rice variety on CH_4 emission. RD 10 emitted more CH_4 than CN 1.

Seasonal variations of CH₄ emission rate from irrigated second-rice fields in Re soil in 1999/2000.

Fluctuation of CH₄ emission rates, though with slight increase, from the first measurement to 67 days, was recorded in plot with transplanting RD 10 (Figure 4, A). A sharp peak of 38.0 mg m⁻² h⁻¹ was appeared at 77 days in yellow ripening stage. Rapid drop of CH₄ emission rate was due to drainage for harvesting. Similar trend of CH₄ emission from plot with transplanting CN 1 was found, but without sharp peak.

Low broad peak of the rates of CH₄ emission over the first 37-day measurement, was recorded with the range of 0.75-13.57 mg m⁻² h⁻¹ for the plot with broadcasting RD 10 (Figure 4, B). The reason was that time lag of 37 days after the first ploughing of wet soil was suitable for weeds. The second ploughing, especially for this plot meant green manure incorporation. Accordingly, readily mineralizable carbon (RMC) was analyzed and a high value as 102 mgC 100 g⁻¹ was found in soil at broadcasting time. On the contrary, other plots in Re soil received most of their carbon from burning rice residues. A higher broad shoulder from 50-93 days after broadcasting during reproductive period was recorded with the range of 8.72-20.94 mg m⁻² h⁻¹ in the same plot. For the plot with broadcasting CN 1, CH₄ emission rates over the first 50 days during the vegetative stage were very low as small amount of RMC in such soil. The rest of the growth period was found similar to the plot with broadcast RD 10. Rapid drops of CH₄ emission rates in Re soil were due to drainage for harvesting.

Another site of Re soil in Ban Na ngam showed lesser CH₄ emission rates in plot with transplanting RD 6 than in transplanting CN 1 can be attributed to lesser irrigation water in soil of the former plot (Figure 5).

Seasonal variations of CH₄ emission rate from rainfed rice fields in Rb soil in 2000.

In all plots, with transplanting and broadcasting RD 6 and KDML 105 showed fluctuation of narrow ranges (Figure 6, A and B) caused by uneven soil moisture condition resulted from uneven distribution of rainfall. In Rb soil, ploughing was done 2 times, the second one was 21 days after the first one leading some CH₄ to escape from soil and a few weeks later harrowing was done, this also cause CH₄ to release (Table 4), therefore low rates were recorded from the early measurements in all plots in Rb soil. Natural overflowing across alluvial flood plain devastated this site as well as many immense paddy areas across the country. Over that period, gas sampling was not done.

Higher CH₄ emission rates were found in all plots in Re soil than Rb soil, especially over the early period of vegetative stage (Figure 7, A and B), i.e. for the plots with transplanting RD 6 and

KDML 105 showed the maximum rate near $28.24 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figure 7, A). Harrowing a month after ploughing released CH_4 to escape from soil (Table 4). Clear small peaks emerged at 95 days after transplanting at the heading stage were observed in these 2 plots. Distinct peaks at the beginning of the vegetative period with the maximum rates were 39.44 and $70.96 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for broadcasting RD 6 and KDML 105, respectively (Figure 7, B) due to ploughing, harrowing and broadcasting were done in few days just before broadcasting (Table 4). Active organic-carbon decomposition to CH_4 was able to be detected by us. At heading stage, only low peaks occurred around 100 days after broadcasting. Rainfed rice did not showed distinct peaks of CH_4 emission.

Significant peaks of CH_4 emission rates of 86.42 and $75.19 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ occurred in 15 days after transplanting RD 6 and KDML 105, respectively (Figure 8). Rainfed caused less water in this soil leading to low CH_4 formation.

Average rate of CH_4 emission, daily CH_4 emission, total CH_4 emission and rice yields.

Average rate of CH_4 emission in Rb soil ranged from $2.75\text{-}5.83 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, $2.28\text{-}13.21 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and $3.73\text{-}6.74 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for irrigated major rice in 1999 (Table 5, plot no. 1-4), irrigated second rice in 1999/2000 (plot no. 9-12), and rainfed rice in 2000 (plot no. 19-22), respectively. These rates of Rb soil can be comparable to those for no-fertilizer plot and fertilizer plot in a silty clay soil in Ratchaburi and all plots in Pathumthani and Chainat (Jermasawadipong 1994, Yaki et al 1994, Katoh et al. 1999a). They can be grouped as low emission rates, and can be most probably attributed to the fixed characteristics of such soils. That is not only little readily mineralizable organic carbon (RMC) but high oxidizing capacity in Ratchaburi soil and high easily reducible Mn existing in clay loam in Chainat. In addition soil in Phathumthani is acid sulfate (Saenjan 2000).

Through the whole measuring period, the average CH_4 emission rates for Re soil ranged from $8.24\text{-}28.74 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, $4.17\text{-}9.66 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, and $7.68\text{-}12.02 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for irrigated major rice in 1999 (Table 5, plot no. 5-8), irrigated second rice in 1999/2000 (plot no. 13-18), and rainfed rice in 2000 (plot no. 23-28), respectively. These emission rates are comparable to those from organic matter plot in silty clay in Ratchaburi, clayey paddy field in Supanburi, light clay in San Pa Thong, silty clay loam in Phrea, loamy sand in Surin and sandy loam in Khon Kaen (Jermasawadipong 1994; Yaki et al 1994; Katoh et al. 1999a,b). These results can be grouped as moderate CH_4 emission rate. Soil characteristics as higher organic carbon content, not too high oxidizing capacity and especially some external factors as organic carbon and fertilizer supply would influence important roles on significant CH_4 emission from such soils (Saenjan 2000). Daily and total CH_4 emission also were tabulated in Table 5.

Through the whole measuring period in irrigated major rice 1999 (Table 5), total CH_4 emission from Rb soil ranged from 6.72-16.78 g m^{-2} (plot no. 1-4), whereas those from Re soil ranged from 24.54-86.89 g m^{-2} (plot no. 5-8) with a heavy dose of fresh organic manure 18.2 ton fresh weight rai^{-1} (3.2 ton dry weight rai^{-1}). However, comparing to transplanting plots, broadcasting could reduce CH_4 emission if the growing period was not too long by either early broadcasting or delayed harvesting. It was found that CH_4 emission was reduced 59.01 and 33.12 % by broadcasting RD 10 and KDML 105, respectively.

In irrigated second rice 1999/2000, total CH_4 emissions from Rb soil was higher than those in irrigated major rice 1999, with the range of 6.20 - 29.18 g m^{-2} due to incorporation of rice residues before cultivation. Total amount of CH_4 emitted from Re soil (Table 5, plot no. 13-16) with burnt rice residues before cultivation of the second rice 1999/2000, ranged from 19.21-24.34 g m^{-2} . Another plots of Re soil which received less amount of irrigation water (plot no. 17 and 18), emitted total amount of CH_4 about 33.33% less.

Overflooding in rainfed rice 2000 destroyed the paddy areas, small amounts of total CH_4 were found with 8.96-14.72 g m^{-2} (plot 19-22). Moderate amounts of CH_4 emission from Re soil under rainfed ranged from 27.1-41.94 g m^{-2} (plot 23-28).

Among three seasons, second rice 1999/2000 gave highest rice yield as 819 kg rai^{-1} obtained from Rb soil with broadcasting CN 1 amended with incorporated rice residues and 31.5 kg Urea rai^{-1} . This plot emitted especially small amount of CH_4 as 6.2 g m^{-2} . In general, rainfed rice gave lesser yields than irrigated rice.

Conclusion

At the early rice season, measurable CH_4 emission rate would mainly depend upon soil management just prior to cultivation, i.e. either added organic manure, burning rice residues, or turning over the top soil with weeds were done, how many times the soil were flooded, ploughed and harrowed, how long time lag between each events and then cultivation, and method of cultivation-transplanting or broadcasting. All these factors dominated the occurrence of detectable CH_4 emission at the beginning of the season, seem to have more influence on CH_4 emission than existing soil characteristics. During the growth period, rates of CH_4 emission in the reproductive stage of irrigated rice appeared significant higher than rainfed rice.

Acknowledgement

The authors are grateful to "Thailand Research Fund (TRF)" for granting this research. This subproject is under the umbrella of the project : Climate Change.

References

- Cicerone, R. J., Shetter, J. D. and Delwiche, C. C. 1983. Seasonal variation of methane flux from a California rice paddy. *Journal of Geophysical Research*, 88: 11,022-11,024.
- FAO. 1994. *FAO Yearbook Production* vol. 47, FAO Statistics Series No. 117, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. 1997. *Agriculture and Climate Change: FAO's role*. In *News & Highlights*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [URL:hppt://WWW.fao.org/news/1997/97120-e.htm](http://WWW.fao.org/news/1997/97120-e.htm)
- Delwiche, C. C. and Cicerone, R. J. 1993. Factors affecting methane production under rice. *Global Biogeochem. Cycle*, 7, 143-155
- Holzappel-Pschorn, A., Conrad, R., and Seiler, W. 1986. Effects of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil. *Plant Soil*, 92, 223-233
- Holzappel-Pschorn, A., Seiler, W. 1986. Methane emission from Texas rice paddy soils. 2. Seasonal contribution of rice biomass production to methane emission. *Global Change Biology*, 3: 491-500
- Huang, Y., Sass, R. L. and Fisher, F. M. 1997. Methane emission from Texas rice paddy soils. 2. Seasonal contribution of rice biomass production to CH₄ emission. *Global Change Biology* 3: 491-500.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. 1992 *Climate Change: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment* (eds Houghton, J. T., Callender, B. A. and Varney, S. K.), pp. 25-47. Cambridge University Press, New York.
- International Rice Research Institute, IRRI. 1991. *World Rice Statistics 1990*. PO Box 933, Manila, Philippines.
- Jermawatdipong, P., Murase, J., Prabuddham, P., Hasathon, Y., Khomthong, N., Naklang, K., Watanabe, A., Haraguchi, H. and Kimura, M. 1994. Methane Emission from Plots with Differences in Fertilizer Application in Thai Paddy Fields. *Soil Sci Plant Nutr.*, 40 (1): 63-71.

- Katoh, K., Chairoj, P., Yagi, K., Tsuruta, H., Minami, K. and Cholitkul, W. 1999(a). Methane Emission from Paddy Fields in Northern Thailand. JIRCAS Journal No.7:77-85.
- Katoh, K., Chairoj, P., Yagi, K., Tsuruta, H., Minami, K. and Cholitkul, W. 1999(b). Methane Emission from Paddy Fields in Northern Thailand. JIRCAS Journal No. 7:87-96.
- Kimura, M., Miura, Y., Watanabe, A., Katoh, T., and Haraguchi, H. 1991. Methane emission from paddy field (Part 1, Effect of fertilization, growth stage and midsummer drainage: pot experiment, Environ. Sci., 4 265-271
- Lauren, J.G., Pettygrove, G. S., and Duxbury, J.M. 1994. Methane emission associated with a green manure amendment to flooded rice in California. Biogeochemistry, 24, 53-65
- Miura, Y., Watanabe, A., Kimura, M., and Kuwatsuka, S. 1992. Methane emission from paddy field (Part 2), Main route of methane transfer through rice plant, and temperature and light effects on diurnal variation of methane emission. Environ. Sci., 5, 187-193
- Murase, J., Kimura, M., and Kuwatsuka, S. 1993. Methane production and its fate in rice paddies, III. Effects of percolation on methane flux distribution to the atmosphere and the subsoil. Soil Sci. Plant Nutr., 39, 63-70
- Nouchi, I. 1994. Mechanisms of methane transport through rice plants. In CH_4 and N_2O : Global Emissions and Controls from Rice Fields and Other Agricultural and Industrial Sources (eds Minami K., Mosier, A. and Sass, R.), pp. 87-104. Yokendo Publishers, Tokyo.
- Nugroho, S.G., Lumbanraja, J., Suprato, H., Sunyoto, Ardjasa, W.S. Haraguchi, H., and Kimura, M. 1996. Three-years measurement of methane emission from an Indonesian paddy field. Plant Soil, 181, 287-293
- Saenjan, P., Tulaphitak, D., Tulaphitak, K., Tangchupong, S. and Jearakongman, S. 2000. Methane Emission from Farmers' Irrigated Paddy Fields in Khon Kaen. In Proceedings of Annual Agricultural Seminar for Year 2000, 24-25 January 2000, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen. p 81-97
- Sass, R. L. Fisher, F. M. and Harcombe, P. A. 1990. Methane production and emission from in a Texas rice field. Global Biogeochemical Cycles, 6: 249-262.
- Sass, R. L., Fisher, F. M. and Harcombe, P. A. 1991. Mitigation of methane emissions from rice fields : Possible adverse effects of incorporated rice straw. Global Biogeochem. Cycles, 5. 275-287

- Sass, R. L., Fischer, F.M., Wang, Y.B., Turner, F.T., and Jund, M.F. 1922. Methane emission from rice fields: The effect of water management. *Global Biogeochem. Cycles*, 6, 249-262
- Sass, R. L., Fischer, F.M., Lewis, S.T., Jund, M.F., and Turner, F.T. 1994. Methane emission from rice fields: The effect of soil properties. *Global Biogeochem. Cycles*, 8, 135-140
- Schutz, H., Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R., Rennenberg, H., and Seiler, W. 1989 : A 3-year record on the influence of day time, season, and fertilizer treatment on methane emission rates from an Italian rice paddy. *J. Geophys. Res.*, 94(D), 16405-16416
- Schutz, H., Seiler, W., and Conrad, R. 1990. Influence of soil temperature on methane emission from rice paddy fields. *Biogeochemistry*, 11, 77-95
- Yagi, K., Chairoj, P., Tsuruta, H., Cholikul, W. and Minami, K. 1994. Methane emission from rice paddy fields in the central plain of Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40: 29-37.
- Yagi, K., Minami, K. and Ogawa, Y. 1990. Effects of water percolation on methane emission from paddy fields. *Res. Rep. Div. Environ. Planning*, 6, 105-112
- Yagi, K. and Minami, K. 1990. Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 36, 599-610

Table 1 Taxonomy, physical and chemical characteristics of soils.¹

Season	1999		1999/2000			2000		
Moisture	Irrigated major rice		Irrigated second rice			Rainfed rice		
Soil series	Ratchaburi	Roiet	Ratchaburi	Roiet	Roiet	Ratchaburi	Roiet	Roiet
Soil taxonomy	Clayey	Loamy	Clayey	Loamy	Loamy	Clayey	Loamy	Loamy
Characteristics	Tropaquepts	Paleaquults	Tropaquepts	Paleaquults	Paleaquults	Tropaquepts	Paleaquults	Paleaquults
Location ²	Ban Don Do	Ban Kok Sai	Ban Don Do	Ban Nong Ka	Ban Na Ngam	Ban Nong Pho	Nong Nam Gieng	Ban Kud Kwang
Sand (%)	24.42	75.39	24.42	46.43	49.43	36.24	68.36	52.88
Silt (%)	40.2	13.11	40.20	43.28	36.14	24.36	26.48	34.28
Clay (%)	35.38	11.49	35.38	10.29	14.43	39.4	5.16	12.84
Texture	Clay loam	Sandy loam	Clay loam	Loam	Loam	Clay loam	Sandy loam	Sandy loam
RMC (mg C/100 g soil)	52	49	47.75	71	93	72	32.1	52.8
MnO ₂ (%)	0.086	0.011	0.117	0.011	0.014	0.061	0.006	0.022
Fe ₂ O ₃ (%)	0.86	0.25	0.789	0.24	0.587	0.535	0.087	0.201
SO ₄ ²⁻ (ppm)	130.86	20.48	137.38	24.01	31.76	12.175	13.765	15.4
Mn ²⁺ (ppm)(28 days)	676	36	696.25	127	98.5	490	54	193
Fe ²⁺ (ppm)(28 days)	1,128	1,186	858.5	1,716	2,049	1,840	660.3	1,933
OM (%)	0.99	0.47	0.773	0.787	0.716	1.668	0.617	0.852
TN (%)	0.02	0.006	0.047	0.038	0.06	0.069	0.026	0.033
Avai.P (ppm)	15.64	18.47	4.45	6.76	44.76	3.525	6.738	1.39
Ca (ppm)	2,300	184	2,573	676	957	899.5	222.3	760
Mg (ppm)	319	27	307	90	114	116.5	27.5	110
Na (ppm)	98	33	115	48	106	153	20.5	568
K (ppm)	94	31	91	29	126	54	7.5	38
CEC (me/100 g)	10.32	1.78	12.95	4.33	6.35	11.4	2.355	5.86
pH (1:2.5)	6.74	5.18	5.94	5.38	4.9	5.1	5.7	5.1
EC (mS) (1:5)	0.06	0.03	0.058	0.075	0.081	0.072	0.031	0.063

¹ Soils of 0 - 15 cm depth are illustrated.² All sites are located in Ampore Muang, Khon Kaen.

Table 2 Cultivation practices and calendar for irrigated major-rice in 1999.

Soil series	Ratchaburi series		Roiet series	
Practices	Transplanting	Broadcasting	Transplanting	Broadcasting
Digging up surface soil 20 cm	30-Apr-99	30-Apr-99	-	-
Flooding	4-Jul-99	4-Jul-99	6-Jun-99	6-Jul-99
Ploughing green manure 18 t fresh wt/rai	-	-	7-Jul-99	7-Jul-99
Ploughing	16-Jul-99	15-Jul-99	-	-
Harrowing	17-Jul-99	16-Jul-99	8-Jul-99	8-Jul-99
Broadcasting RD 6, KDML 105	-	18-Jul-99	-	10-Jul-99
Transplanting RD 6, KDML 105	21,31-Jul-99 ¹	-	9,10-Jul-99	-
Fertilizer application ² 1 st	27-Jul-99(40-0-0, 9.6)	1-Aug-99(16-16-8, 10)	3-Aug-99(16-16-8, 3.8)	3-Aug-99(16-16-8, 3.8)
2 nd	1-Aug-99(16-16-8, 10)	8-Sep-99(16-16-8, 20)	21-Aug-99(16-16-8, 3.8)	21-Aug-99(16-16-8, 3.8)
3 rd	8-Sep-99(18-18-6, 20)	25-Sep-99(18-18-6, 20)	-	-
4 th	25-Sep-99(18-18-6, 20)	-	-	-
Irrigation 1 st	2-Aug-99	2-Aug-99	4-Aug-99	4-Aug-99
2 nd	11-Aug-99	11-Aug-99	26-Aug-99	26-Aug-99
Heading	24,17-Oct-99 ¹	24-Oct-99	17-Oct-99	24-Oct-99
Drainage	29-Oct-99	29-Oct-99	16-Oct-99	22-Oct-99
Harvesting	23,16-Nov-99 ¹	23-Nov-99	16-Nov-99	23-Nov-99

¹ The first and the second date represent practices (or events) for rice variety RD 6 and KDML 105, respectively.

² In brackets are combined fertilizer as N-P₂O₅-K₂O and amount applied in kg rai⁻¹.

Table 3 Cultivation practices and calendar for irrigated second rice in 1999/2000

Soil series	Ratchaburi series		Roiet series		Roiet series
Practices	Transplanting	Broadcasting	Transplanting	Broadcasting	Transplanting
Burning	-	-	20-Dec-99	20-Dec-99	20-Dec-99
Flooding	29-Dec-99	29-Dec-99	-	-	13-Jan-00, 22-Dec-99 ¹
Ploughing 1 st	19-Dec-99	19-Dec-99	18-Jan-00	4-Jan-00, 25-Dec-99 ¹	18-Jan-00
2 nd	-	-	-	9-Feb-00, -	-
Harrowing	17-Feb-00	15,9-Jan-00 ¹	12-Feb-00	13-Feb-00, 12-Jan-00 ¹	24,31-Jan-00 ¹
Broadcasting	-	17,9-Jan-00 ¹	-	15-Feb-00, 12-Jan-00 ¹	-
Transplanting	18,19-Feb-00	-	13-Feb-00	-	25-Jan-00, 1-Feb-00 ¹
Fertilizer application ²	6-Mar-00	6-Mar-00	26-Feb-00	19-Mar-00, 25-Feb-00 ¹ (16-16-8;25,16.5) ²	25,21-Feb-00 ¹ (40-0-0; 20,25) ²
1 st	(40-0-0, 19)	(40-0-0, 19)	(16-16-8, 15.5)		
2 nd	28-Mar-00	28-Mar-00	3-Apr-00	7,2-Apr-00 ¹	-
	(40-0-0, 12.5)	(40-0-0, 12.5)	(16-16-8, 12.5)	(16-16-8; 20,25) ²	
Pesticide 1 st	1-Mar-00	26-Jan-00	-	10-Feb-00	-
2 nd	4-Apr-00	6-Feb-00, 26-Jan-00 ¹	-	-	-
Irrigation 1 st	5-Mar-00	25, 23-Jan-00 ¹	22-Feb-00	22-Feb-00, 26-Jan-00 ¹	20-Feb-00, 31-Jan-00 ¹
2 nd	4-Apr-00	6-Feb-00	-	18-Apr-00, 22-Feb-00 ¹	-
3 rd	-	5-Mar-00	-	26-Apr-00, -	-
4 th	-	4-Apr-00	-	-	-
Heading	25-Apr-00	10,11-Apr-00 ¹	15-Apr-00	6-May-00, 9-Apr-00 ¹	9-Apr-00
Drainage	29-Apr-00	29-Apr-00	26-Apr-00	5-May-00, 18-Apr-00 ¹	21-Apr-00
Harvesting	26-May-00	11,12-May-00 ¹	16-May-00	7-Jun-00, 10-May-00 ¹	10-May-00

¹ The first and the second date represent practices (or events) for rice variety RD 10 and CN 1, respectively.

² In bracket are combined fertilizer as N-P₂O₅-K₂O and amount applied in kg/rai. For example: 7,2-Apr-00¹ (16-16-8;20,25)² means on 7-Apr-00, fertilizer 16-16-8 was applied 20 kg rai⁻¹ and on 2-Apr-00, fertilizer 16-16-8 was applied 25 .

Table 4 Cultivation practices and calendar for rainfed rice in 2000.

Soil series	Ratchaburi series		Roiet series		Roiet series
Practices	Transplanting	Broadcasting	Transplanting	Broadcasting	Transplanting
Ploughing ¹ ^u	29-Apr-00	29-Apr-00	3-Jun-00	7-Jun-00	25-May-00
2 nd	20-May-00	20-May-00	-	-	-
Harrowing	25-Jun-00, 9-July-00 ¹	6-Jun-00	6-Jul-00	10-Jun-00	12-Jul-00
Broadcasting	-	7-Jun-00	-	10-Jun-00	-
Transplanting	26-Jun-00	-	7-Jul-00	-	13-Jul-00
Fertilizer application ² 1 ^u	9-Sep-00	9-Sep-00	29-Jul-00	29-Jul-00	25-Jul-00
	(16-16-8, 12)	(16-16-8, 12)	(16-20-0, 20)	(16-20-0, 10)	(16-20-0, 30)
	-	-	29-Aug-00	29-Aug-00	13-Sep-00
2 ^{nc}			(16-20-0, 20)	(16-20-0, 20)	(16-20-0, 23)
Pesticide	10-Jul-00	10-Jul-00	-	-	-
Natural overflooding	13-Sep-00	13-Sep-00	-	-	-
Heading	-	-	16,20-Oct-00 ¹	22-Oct-00	20,18-Oct-00 ¹
Flood water decrease	10-Oct-00	10-Oct-00	-	-	-
Harvesting	-	-	9-Nov-00	9-Nov-00	10-Nov-00

¹ The first and the second date represent practices (or events) for rice varieties RD 6 and KDML 105, respectively.

² In bracket are combined fertilizer as N-P₂O₅-K₂O and amount applied in kg/rai.

Table 5 Methane emissions and rice yields from farmers' paddy fields with different variations in soils, cultivations and varieties.

Plot No.	Soil-cultivation Practice	Av. CH ₄ emission (mg m ⁻² h ⁻¹)	Daily CH ₄ emission (g m ⁻² d ⁻¹)	Total CH ₄ emission (g m ⁻²)	Rice yield (kg rai ⁻¹)
Irrigated major rice 1999					
1	Rb-Transplanting RD 6	3.35	0.08	9.32	683
2	Rb-Transplanting KDML 105	2.80	0.06	6.72	602
3	Rb-Broadcasting RD 6	2.75	0.06	7.92	531
4	Rb-Broadcasting KDML 105	5.83	0.14	16.78	476
5	Re-Transplanting RD 6	28.74	0.68	86.89	625
6	Re-Transplanting KDML 105	12.33	0.29	36.70	733
7	Re-Broadcasting RD 6	11.98	0.28	35.65	365
8	Re-Broadcasting KDML 105	8.24	0.19	24.54	579
Irrigated second rice 1999/2000					
9	Rb-Transplanting RD 10	13.21	0.31	29.18	387
10	Rb-Transplanting CN 1	5.50	0.13	12.15	474
11	Rb-Broadcasting RD 10	8.66	0.20	22.26	604
12	Rb-Broadcasting CN 1	2.28	0.05	6.20	819
13	Re-Transplanting RD 10	9.66	0.23	20.64	365
14	Re-Transplanting CN 1	8.94	0.21	20.17	526
15	Re-Broadcasting RD 10	8.97	0.21	24.34	442
16	Re-Broadcasting CN 1	7.08	0.17	19.21	642
17	Re-Transplanting RD 10	4.17	0.10	10.01	598
18	Re-Transplanting CN 1	6.23	0.15	12.86	612
Rainfed rice 2000					
19	Rb-Transplanting RD 6	3.73	0.09	8.96	ND ¹
20	Rb-Transplanting KDML 105	6.74	0.16	13.58	ND ¹
21	Rb-Broadcasting RD 6	3.77	0.09	10.22	ND ¹
22	Rb-Broadcasting KDML 105	5.43	0.13	14.72	ND ¹
23	Re-Transplanting RD 6	11.50	0.27	32.85	461
24	Re-Transplanting KDML 105	10.41	0.25	29.74	537
25	Re-Broadcasting RD 6	7.68	0.18	27.10	329
26	Re-Broadcasting KDML 105	11.88	0.28	41.94	484
27	Re-Transplanting RD 6	12.02	0.28	34.06	606
28	Re-Transplanting KDML 105	11.90	0.28	33.72	537

¹ ND is no data. Plot no.19-22, rice plants were dead due to natural flood.

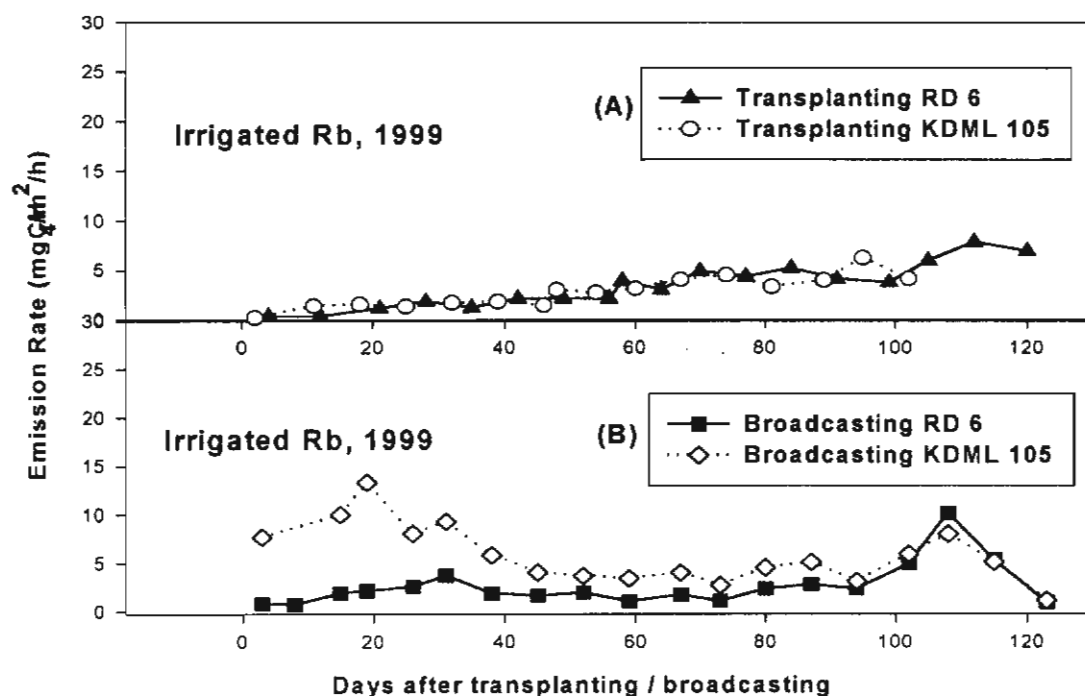


Figure 1 Seasonal variations of methane emission rate from major-rice irrigated paddy fields with transplanting (A) and broadcasting (B) of different rice varieties, (Ratchaburi series, Rb; 1999).

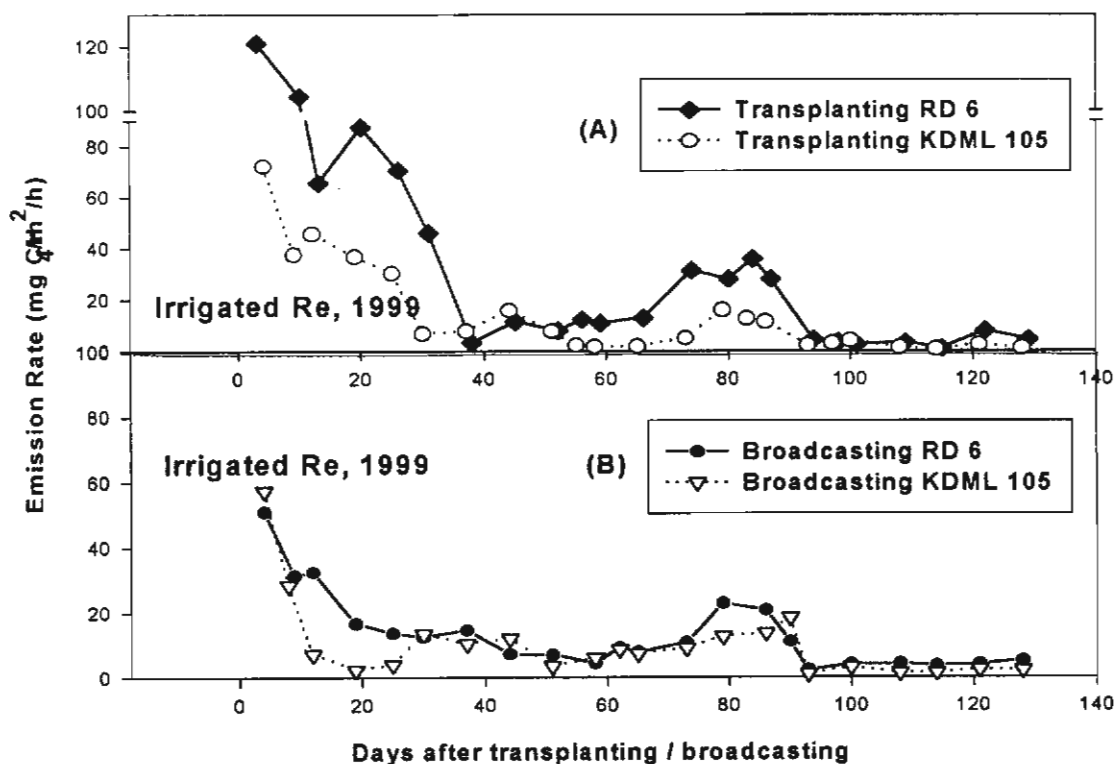


Figure 2 Seasonal variations of methane emission rate from major-rice irrigated paddy fields with transplanting (A) and broadcasting (B) of different rice varieties (Roiet series, Re; 1999).

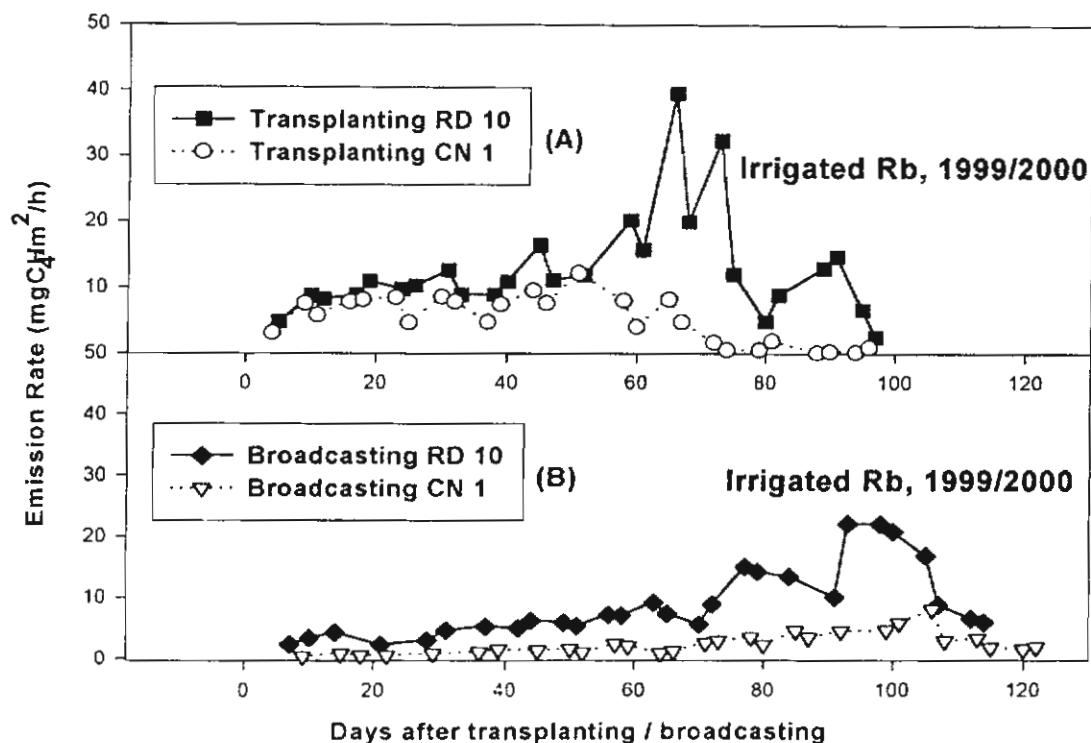


Figure 3 Seasonal variations of methane emission rate from second-rice irrigated paddy fields with transplanting (A) and broadcasting (B) of different rice varieties (Ratchaburi series, Rb; 1999/2000)

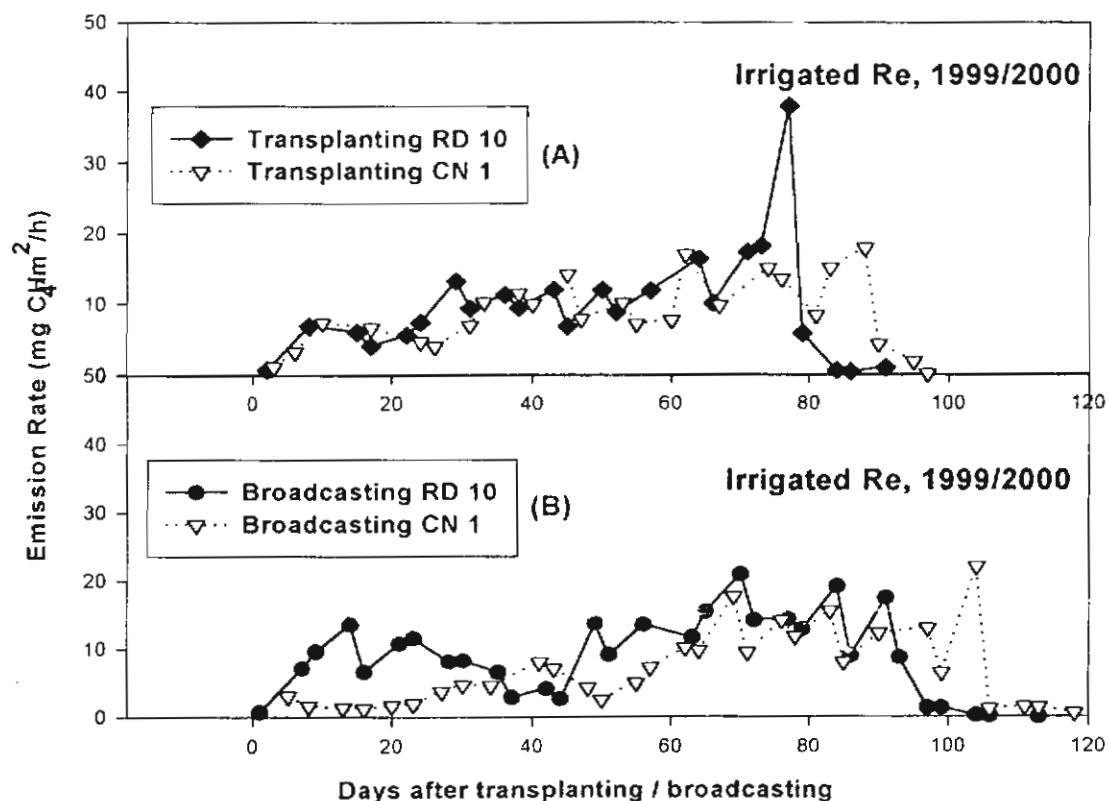


Figure 4 Seasonal variations of methane emission rate from second-rice irrigated paddy fields with transplanting (A) and broadcasting (B) of different rice varieties (Roiet series, Re; 1999/2000)

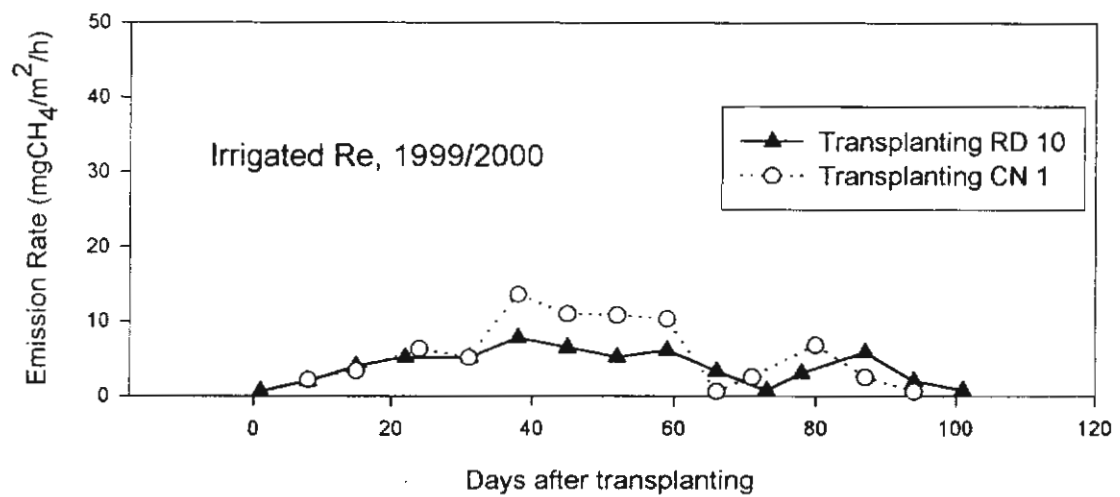


Figure 5 Seasonal variations of methane emission rate from second-rice irrigated paddy fields with transplanting of different rice varieties (Roiet series, Re; 1999/2000).

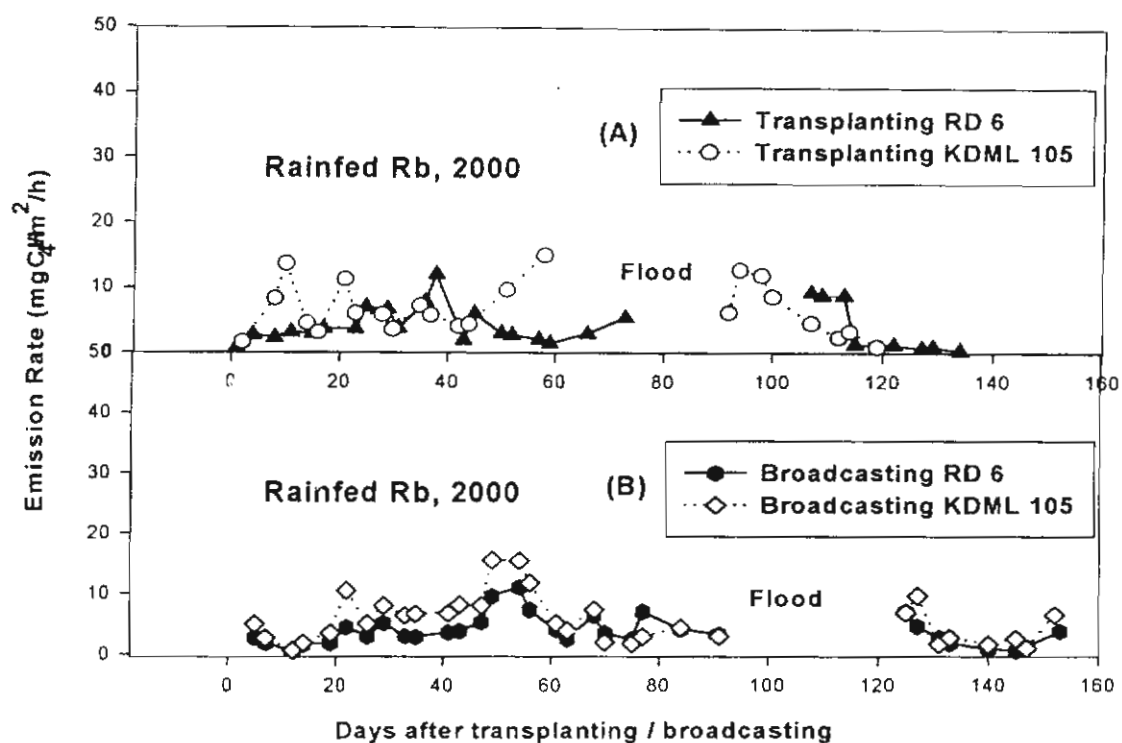


Figure 6 Seasonal variations of methane emission rate from rainfed paddy fields with transplanting (A) and broadcasting (B) of different rice varieties (Ratchaburi series, Rb; 2000)

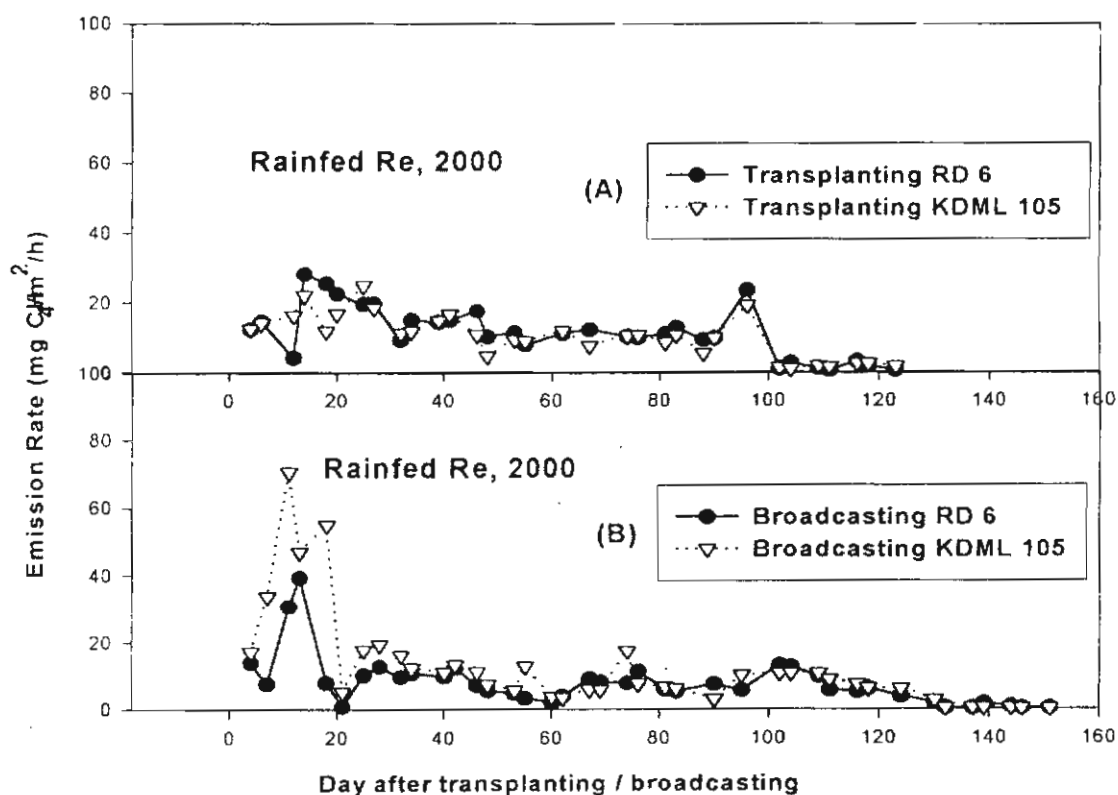


Figure 7 Seasonal variations of methane emission rate from rainfed paddy fields with transplanting (A) and broadcasting (B) of different rice varieties (Roiet series, Re; 2000)

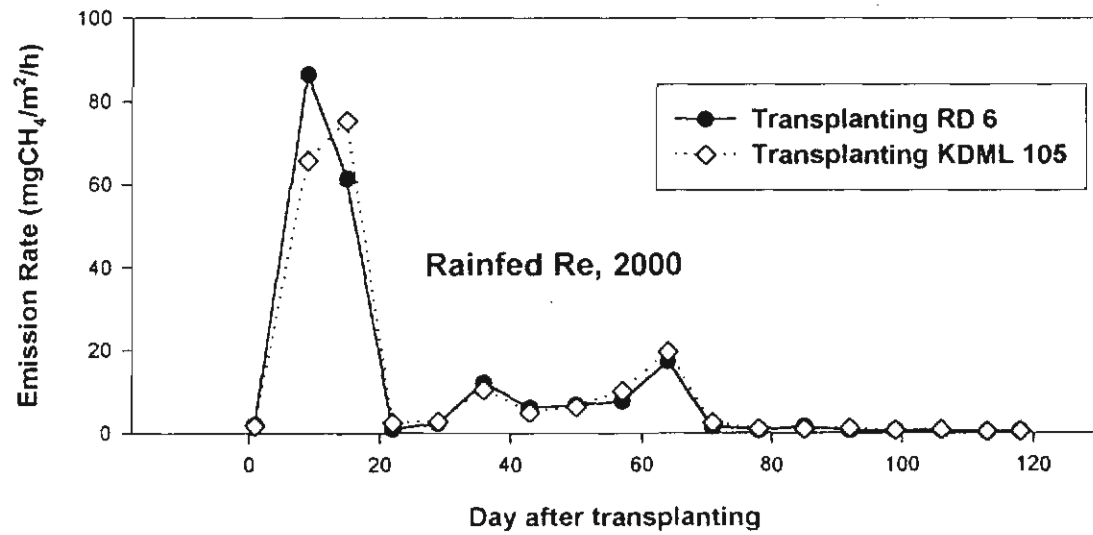
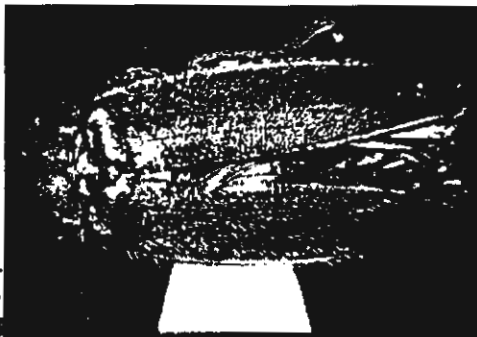


Figure 8 Seasonal variations of methane emission rate from rainfed paddy fields with transplanting of different rice varieties (Roiet series, Re; 2000)

มม.วิจัย

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2544 : ISSN 1513-3788

สำนักพิมพ์: สำนักพิมพ์
มกราคม โลกทรูฟโฟน
ที่มีลักษณะโดย สกอ. นนทบุรี



โรคข้าวในอีสาน

นิเวศวิทยาของหิ่งห้อย

ประวัติศาสตร์ลาว

อุตสาหกรรมชุมชน



ก๊าซมีเทน

จากนาข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เรื่อง : รศ.ดร.พัชรี แส่นจันทร์

เรียบเรียง : วิเชียร เกิดสุข และวชิราพร เกิดสุข

ก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ตามธรรมชาติประกอบไปด้วยก๊าซหลัก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และโอโซน (O_3) เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้มีปริมาณรวมกันน้อยกว่าร้อยละ 1 ของก๊าซที่มีอยู่ในบรรยากาศทั้งหมด แต่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจกตามธรรมชาติ ทำให้อุณหภูมิของโลกอยู่ในระดับที่สิ่งมีชีวิตอยู่ได้ แต่ต่อมาเกิดวิวัฒนาการของมนุษย์ โดยเฉพาะการปฏิวัติอุตสาหกรรมเมื่อประมาณ 200 ปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ได้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากและมีก๊าซเรือนกระจกตัวใหม่จากการทำอุตสาหกรรม ได้แก่ คลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFC) ไฮโดรฟลูโอโรคาร์บอน (HFCs) และเพอร์ฟลูโอโรคาร์บอน (PFCs) เกิดขึ้น แม้ว่าจะมีปริมาณน้อยแต่กำลังส่งผลกระทบต่อโลก ในส่วนของการเกษตรนั้น การปลูกข้าวในนาข้าวและการปศุสัตว์เป็นกิจกรรมสำคัญที่ปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกมีคุณสมบัติทางเคมี อายุ และการแผ่รังสีที่สามารถทำให้โลกเกิดความอบอุ่น แต่ถ้ามีมากเกินไปจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อโลกเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก (Global Climate Change) หรือภาวะโลกร้อนขึ้น (Global Warming) หรือปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effects) กล่าวคือภายในปี พ.ศ. 2643 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 องศาเซลเซียส และระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้นประมาณ 50 เซนติเมตร ผลกระทบต่อเนื้อ地将ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล ทรัพยากรธรรมชาติ ความหลากหลายทางพันธุกรรม และการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ทั้งนี้ประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทยจะได้รับผลกระทบจากปัญหาดังกล่าวซึ่งประเทศพัฒนาแล้วเป็นผู้ก่อขึ้นมากกว่า



นาปี นาฝน บ้านหนองโพธิ์

ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันในอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2537 และได้เริ่มดำเนินการศึกษาวิจัยในด้านนี้เป็นฐานะที่เป็นส่วนหนึ่งของประชาคมโลกที่ต้องมีส่วนร่วมในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และในฐานะที่เป็นประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ภาคการเกษตรโดยเฉพาะการทำนาข้าว ถ้ากล่าวถึงในเชิงพื้นที่ปลูกจัดว่ามีส่วนอย่างมากในการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ภาคตะวันออกเฉิยงเหนือมีพื้นที่นาประมาณ 37.9 ล้านไร่ จำแนกเป็นพื้นที่ภายใต้ระบบชลประทานที่สามารถทำนาได้ปีละ 2 ครั้ง

ประมาณ 4.8 ล้านไร่ ที่เหลือ 33.1 ล้านไร่ เป็นพื้นที่นาข้าว
เกษตรกรรมส่วนใหญ่ในภาคนี้มีวิธีทำนา 2 แบบ คือนาดำและนา
หว่านน้ำตม นิยมปลูกทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้า ในประเทศ
ไทยแม้ว่าจะมีนักวิจัยบางกลุ่มได้ทำการทดลองวัดการปลด
ปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวบ้างแล้ว แต่ก็ยังได้ข้อมูลที่ไม่
ครอบคลุมสภาพทางกายภาพของพื้นที่นา ความชื้นหรือการมี
น้ำขัง การเขตกรรม การจัดการดิน-น้ำ-ปุ๋ย วิธีการทำนา การ
ดูแลรักษาและพันธุ์ข้าวที่ปลูก

โครงการประมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว
ของเกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมี รศ.ดร.พัชร
ิณณจันทร์ เป็นหัวหน้าโครงการ ได้รับการสนับสนุนจาก
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2542 ได้
ทำการติดตามวัดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวเกษตรกรรมใน
สภาพต่างๆ ที่กล่าวแล้วข้างต้น เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเบื้องต้น



พื้นที่น่าน้ำฝน บ้านกุดกว้าง



การเก็บตัวอย่างก๊าซจากนาข้าว

ของการปล่อยก๊าซมีเทนของประเทศ และหาแนวทางลดการ
ปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวโดยไม่กระทบต่อผลผลิตข้าวโดยใช้
เทคโนโลยีเกษตรกรรม ผลการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยก๊าซ
มีเทนจากดินเหนียวมีค่าอยู่ในช่วง 2.75-5.83 2.28-13.21
3.77-6.82 และ 4.10-8.41 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง
จากนาข้าวชลประทานในฤดูนาปี 2542 ฤดูนาปรังในปี 2543
น่าน้ำฝนในปี 2543 และนาปรังชลประทานในปี 2544 ตามลำดับ
ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซมีเทนดังกล่าวจัดอยู่ในอัตราที่ต่ำกว่า
การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินร่วน ขณะที่การปลดปล่อย
ก๊าซมีเทนในดินร่วนมีค่าอยู่ในช่วง 8.24-28.74 4.17-9.66
7.68-12.02 และ 7.85-10.28 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง
จากนาข้าวชลประทานในฤดูนาปีในปี 2542 ฤดูนาปรังในปี 2543
น่าน้ำฝนในปี 2543 และนาปรังชลประทานในปี 2544 ตามลำดับ
(ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินเหนียวและดินร่วน จากวิธีการปลูกข้าวแบบต่างๆ

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

วิธีการปลูกข้าว	ดินเหนียว	ดินร่วน
นาข้าวชลประทานในฤดูนาปี 2542	2.75-5.83	8.24-28.74
ฤดูนาปรังในปี 2543	2.28-13.21	4.17-9.66
น่าน้ำฝนในปี 2543	3.77-6.82	7.68-12.02
นาปรังชลประทานในปี 2544	4.10-8.41	7.85-10.28

ทั้งนี้วิธีการปลูกข้าวสามารถลดอิทธิพลของอินทรีย์วัตถุต่อการปล่อยก๊าซมีเทนได้เป็นอย่างมาก กล่าวคือการทำนาหว่านน้ำตมสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดลงได้ร้อยละ 58.97 สำหรับข้าว กข 6 และ ร้อยละ 33.12 สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105

นอกจากนี้ทางโครงการมีข้อเสนอแนะวิธีการลดก๊าซมีเทนโดยไม่กระทบต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ชลประทานโดยผสมผสานเทคโนโลยีเกษตรหลายวิธีเข้าด้วยกัน ได้แก่ **วิธีที่หนึ่ง** ชั่งน้ำเพื่อกำจัดวัชพืชในนาและระบายออกระยะข้าวแตกกอสูงสุด และดูแลให้ดินชุ่มจนถึงระยะพลับพลึง (ระยะที่ข้าวพร้อมจะเก็บเกี่ยวได้) แล้วจึงปล่อยให้ดินแห้ง **วิธีที่สอง** ลดพื้นที่นาปรังโดยการปลูกพืชไร่อายุสั้น พืชผัก ไม้ดอกหรือไม้ประดับหลังฤดูทำนาปี **วิธีที่สาม** เนื่องจากการปล่อยก๊าซมีเทนของนาข้าวและนาหว่านน้ำตมขึ้นกับการจัดการปลูกข้าว ไม่ควรปลูกข้าวเร็วเกินไป ถ้าอายุข้าวนานปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดจะมากและการทำนาหว่านน้ำตมสามารถลดมีเทนได้มากกว่าทำนาค่ำ **วิธีที่สี่** ทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์มีความจำเป็นต่อผลผลิตข้าว แต่ไม่ควรใส่อินทรีย์วัตถุมากเกินไป และ**วิธีที่ห้า** ทั้งภาครัฐและเกษตรกรต้องร่วมมือกันแม้ว่าจะใช้เวลานานแต่ควรปรับเปลี่ยนทัศนคติต่อการใช้น้ำชลประทานโดยให้ประหยัดขึ้น สร้างแนวโน้มใช้น้ำฝนเป็นหลักและใช้น้ำชลประทานเสริมเมื่อฝนแล้ง

ประวัตินักวิจัย

รศ.ดร.พัชรี แสนจันทร์ ได้รับปริญญาตรี วท.บ. (เกษตรศาสตร์) (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปริญญาโท M.S.(Agricultural Soil and Water Engineering) A.I.T. และปริญญาเอก D.Agr. (Agricultural Chemistry) The University of Tokyo อาจารย์ทำงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของกิจกรรมต่างๆ ต่อพื้นที่เกษตรกรรม เช่น ผลของการใช้สารกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เกษตรกรรม สนใจรายละเอียดโครงการมีเทนโดย ดร.พัชรี แสนจันทร์ ติดต่อได้ที่ (043) 364639 และ patsae1@kku.ac.th



**คณาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยขอนแก่น
ที่ต้องการเผยแพร่ผลงานวิจัยใน จุลสารวิจัย มข.**

กรุณาติดต่อที่ คุณทิพาพร พรหมจริญ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

โทรศัพท์ 043-362044 ต่อ 408

หรือ ภายใน มข. โทรศัพท์ 2218-20 ต่อ 408

e-mail address: journal@kku.ac.th

Methane Emission from Thai Farmers' Paddy Fields as a Basis for Appropriate Mitigation Technologies

Patcharee SAENJAN¹, Duangsamorn TULAPHITAK², Thepparit TULAPHITAK¹,
Soupachai TANGCHUPONG³ and Suwat JEAKONGMAN³

¹ Department of Land Resources and Environment, Faculty of Agriculture,
Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

² Agricultural Development Research Center, Faculty of Agriculture,
Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

³ Khon Kaen Rice Experiment Station, Khon Kaen 40000, Thailand.

Abstract

Methane emission rates were directly measured from 4 rice seasons with variations in soils: Clayey Tropaequpts and Loamy Paleaquults, rice varieties: glutinous and indica rice, and cultivation methods: transplanting and broadcasting and to identify potential mitigation measures while sustaining high yield. In irrigated major rice 1999, total CH₄ emission from Tropaequpts ranged from 6.73-16.78 g m⁻²; whereas those from Paleaquults with an extraordinary high dose of fresh aquatic weeds (mainly *Impomoea aquatica*) 113 ton fresh weight ha⁻¹ (20 ton dry weight ha⁻¹) ranged from 24.54-86.89 g m⁻² as a consequence of turning aquatic weed field into paddy field. Total CH₄ emissions from Tropaequpts in irrigated second rice 2000 ranged from 6.20 to 29.18 g m⁻² due to incorporation of rice residues prior to planting. Whereas Paleaquults in irrigated second rice 2000 and 2001 with burnt rice residues ranged from 10.01-24.34 g m⁻². Overflood in rainfed rice 2000 destroyed paddy areas on flood plain of Tropaequpts, emitted CH₄ 8.96-14.72 g m⁻². Moderate amounts of total CH₄ emission from Paleaquults under rainfed ranged from 27.1-41.94 g m⁻².

Problem with low yield is obvious in this study. Management of organic matter remarkably dominated CH₄ emission more than chemical fertilizers. Grain yield and total CH₄ emission were positively vague correlated ($R = 0.153$, $n = 20$) for transplanted rice, while for broadcasted rice were negatively correlated ($R = -0.456$, $n = 14$). Moreover CH₄ emission per unit grain yield was negatively correlated with grain yield as indicated $R = -0.275$ and -0.761 for transplanted ($n=20$) and broadcasted rice ($n=14$), respectively. Maybe broadcasted rice has some advantages over transplanted rice, and could be an alternative for mitigating CH₄. Suggestions for CH₄ mitigation with sustaining yield were concluded.

Key words: paddy soil, rice yield, farmer, methane mitigation

Introduction

Climate change over the long-term, in particular global warming, could affect agriculture in a number of ways – the majority of which would threaten food security for the world's most vulnerable people (FAO 1997). Public concern about global warming mostly focuses on methane (CH₄), one of the major component of greenhouse gas, is second in importance after carbon dioxide (CO₂) (IPCC 1992). More than 90% of the world's rice is produced in Asia. In East Asia almost all rice is grown on irrigated land, while in Southeast Asia 40% of the rice growing land is irrigated (IRRI 1991). Southeast Asia in 1993 covered 26% of the total rice area in the world (FAO 1994). Thailand is the second one for rice harvested area after Indonesia.

Methane emission from Thai paddy fields, all measurements had been measuring in rice experiment stations in central plain, northern and northeastern Thailand (Yagi et al. 1994; Jermasawatdipong et al. 1994, Katoh et al. 1999 a and b). The total amount of CH₄ emission (gC m⁻²) during the rice growth period ranged from 4 to 59 in the fresh water alluvial paddy fields, 0.6 to 17 in acid sulfate paddy fields, and 21 to 35 in the low humic gley paddy soils, respectively (Jermasawatdipong et al. 1994).

Promising mitigation candidates are management of water, organic amendments and fertilization (Buendia et al. 1996, Corton et al. 2000, Sass et al. 1991, Sass et al. 1992, and Wang et al. 1996). Knowledge of processes controlling methane emission provides useful information to develop abatement strategies in accordance with sustainable rice production (Buendia et al. 1996). An experiment results showed that alternative draining combined with certain organic manure input is a feasible strategy to mitigate CH₄ emissions from rice fields and to maintain sustainable rice yields (Wang et al. 1996). Methane emission measurement from irrigated rice cultivation and its mitigation measures could not be taken independent of the goal of increasing the grain yield per unit area. More CH₄ was emitted per unit of grain during the wet season than during the dry season (Corton et al. 2000).

In the present investigation, CH₄ emission rates were directly measured from farmers' paddy fields with variations in soils, cultivation methods with representative cultivars and on farm practices for 4 growing seasons. The extent of seasonal practices involved in CH₄ emission and mitigation strategies were discussed.

Materials and Methods

Physical positions, soils and sites. Farmers' paddy fields were studied for 4 growing seasons (Table 1). The first studied season was major rice in 1999, CH₄ measurement was conducted in 2 sites, the rest of the seasons were second-rice in 2000, rainfed rice in 2000 and second rice in 2001, all of them were set up at 3 sites. In each season, sites were selected to represent Alluvial soil formed on flood plain, classified as Clayey Tropaequepts, and the other (one or two) represent Low Humic Gley soil formed on low terrace, classified as Coarse-loamy Paleaquults. Taxonomy, physical and chemical properties of all paddy soils are shown in Table 1.

Rice cultivational practices and cultivars. Each site consisted of several plots represented 2 methods of cultivations: transplanted seedlings, and broadcasted seeds; and 2 cultivars: glutinous rice as RD 6 for major rice or RD 10 for second rice, and indica rice as KDML 105 for major crop or CN 1 for second crop. Major rice in 1999, second rice in 2000 and 2001 were conducted in Nong Wai irrigation area and major rice in 2000 was done under rainfed. These totally made 38 plots (see the first 3 columns of Table 2). On farm practices of soil preparation and fertilizer used were dependent on the usual practice by farmers (as shown in the last column of Table 2).

Methane emission measurement. Methane emission rates were measured by applying a closed chamber method at least once weekly from planting until harvest. Triplicate gas samplings were done at 9-11 a.m. 5 times at intervals of 5 minutes by using syringes taken from 3 acrylic chambers of known cross-sectional areas. Methane analysis was done by using a Shimadzu (GC-14B) gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (FID). Methane calibration line was performed by using 3 certified standards. Methane emission rate was calculated from the increase in CH₄ concentration in the air with time and the volume of the chamber. The average of the triplicate CH₄ emission rates was used for plotting over the time course, then total CH₄

emission was derived by integrating area under the plotted graph, and CH₄ emission per kg grain was calculated for each plot (Table 2).

Yield measurement. Grain yields were measured by randomly sampling from an area of 10 m² for 3-4 replications, oven dried to a constant 80°C and corrected to 14%.

Results and Discussion

Seasonal variation of CH₄ emission from irrigated major-rice fields in 1999.

Tropaquepts, continuously flooded

CH₄ emission rate from these plots with transplanted RD6 and KDML 105 and broadcasted RD 6 and KDML 105 were lowest among 4 rice growing seasons (Figure 1 (a, 1)). It should be mentioned here that prior to soil preparation, the surface layer of these plots was dug up 20 cm thick to store water inside the bund, in consequence, this event depleted organic carbon from the ploughed soil and yielded low methanogenic activity even under flooded condition.

Paleaquults, intermittently flooded

Methane emission rates from Paleaquults (Figure 1 (a, 2)), at the early stage were generally 10-100 folds higher than those from the previously mentioned Tropaquepts (Figure 1 (a, 1)), due to farmer ploughed fresh aquatic weeds *Impomoea aquatica* in quantity of 112 t ha⁻¹ (20 t dry weight ha⁻¹) into the soil few days before cultivation. It was a coincidence to have such an unusual quantity of green manure for us to study. The maximum CH₄ emission rates were observed from the plots with transplanted RD 6 and KDML 105, broadcasted RD 6 and KDML 105 at the first samplings to be 121.1, 72.2, 50.9 and 57.3 mgCH₄ m⁻²h⁻¹, respectively, then dramatically decreased over 40, 30, 20, and 10 days after planting (Figure 1 (a, 2)).

Comparison between cultivation methods, transplanting and broadcasting, results showed that lesser quantities of CH₄ emission from plots with broadcasted RD 6 and KDML 105 rapidly decreased over the early seedling period (Figure 1 (a, 2)) because the soil was under aerobic condition as a consequence of delayed flooding. Accordingly, comparison to the respective transplanted plot of the same cultivar, delayed flooding over the early growth period for broadcasted rice can reduce CH₄ emission by 77.6 % and 69.9 % for RD 6 and KDML 105, respectively.

Soil aeration was recorded once in plot with transplanted RD 6 from 52 to 60 DAT (days after transplanting) and twice in plot with transplanted KDML 105 from 27 to 37 DAT and from 55 to 65 DAT, accordingly twice aerations decreased total emission by 57.8 % over single one.

Convex curves of CH₄ emission during reproductive period, approximately 65 to 95 days after planting, obviously appeared for all plots (Figure 1(a,2)). For this case can be attributed to the size of the root system, higher rates of rhizodeposition in increasing substrate available for methanogenesis than oxidation of CH₄ by methanotrophs, and transport of CH₄ from the soil to atmosphere via aerenchyma (Matthews et al., 2000). It was found that draining water out during the ripening stage decreased CH₄ emission down to near zero (Figure 1(a, 2)).

Seasonal variations of CH₄ emission from irrigated second-rice fields in 2000.

Tropaquepts, continuously flooded

Methane emissions from the second rice fields in heavy textured soil (Figure 1 (b, 1)) were generally higher than those from the major rice fields (Figure 1 (a,1)), because farmer ploughed rice stubbles into the soil before cultivation. In plot with

transplanted RD 10 and CN 1, methane commenced with fluctuating trend of increase over the early stage to tillering stage, the former (RD 10) emerged sharp peak of a maximum $39.6 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ at heading stage (65-75 DAT) and followed by a broad peak during the ripening stage (80 – 97 DAT)(Figure 1 (b,1)), while the latter (CN 1) recorded that no peak was found at all, and remarkably low CH₄ emission rates from 74 DAT were observed in consistent with no water on the soil surface. Accordingly, speaking in term of water management, drainage over ripening stage could reduce the average CH₄ emission rate by 58.4% (from 13.21 to $5.50 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, data not shown).

In general, the rates of CH₄ emission from plot with broadcasted RD 10 in clayey soil (Figure 1(b,1)) were in a narrow range until maximum tillering stage, followed by wide broad peak during reproductive stage with the maximum rate of $22.1 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. At harvest, some amounts of CH₄ were recorded in concern with wet soil. Remarkably lower CH₄ emission rates were generally recorded in plot with broadcasting CN 1 (Figure 1(b,1)), though similar flooded condition through the growth period of both plots were observed. This finding reflected the significant effect of rice cultivar on CH₄ emission, i.e., RD 10 emitted more CH₄ than CN 1. Rice plants in broadcasted fields generally stood in the soil longer than in transplanted fields.

Paleaquults, continuously flooded

Plots on sandy loam soil received most of their carbon from burnt rice residues, CH₄ emission rates from transplanted RD 10 and CN 1 fluctuated with trend of slight increase, except that sharp peak of $38.0 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ was recorded at 77 DAT during yellow ripening stage for the former(Figure 1(b, 2)). Rapid drop of CH₄ emission rate was due to drainage for harvest.

Broad peak of CH₄ emission over the early 37-day measurement was recorded for the plot with broadcasted RD 10 (Figure 1(b, 2)). The reason was that lag time of 37 days after incorporating burnt residues into moist soil suitable for weeds was noticed in this plot, suggested green manure incorporation. Accordingly, readily mineralizable carbon (RMC) was analyzed and a high value as $102 \text{ mgC } 100 \text{ g}^{-1}$ was found in this soil at broadcasting time. In the same plot a higher fluctuated broad shoulder of CH₄ emission from 50-93 DAB coincide with reproductive period was recorded with the range of $8.72\text{-}20.94 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. For the plot with broadcasted CN 1, CH₄ emission rates over 50 DAB were very low because of lack of green manure. The rest of the growth period was found similar to the other plots except for extended growth period. Rapid drops of CH₄ emission rates at the end were due to drainage for harvest.

Another site of sandy loam soil showed low shoulder of CH₄ emission rates over vegetative stage and low peak over reproductive stage for transplanted RD 6 and CN 1 (Figure 1(b, 3)).

Seasonal variations of CH₄ emission from rainfed rice fields in 2000.

Tropaquets, rainfed

In all plots, CH₄ emission fluctuated in narrow range (Figure 1(c, 1)), caused by uneven distribution of rainfall. Overflood across alluvial flood plain devastated this site as well as many immense paddy areas across the country. Over that period, gas sampling was not done. Anyhow, it was accessible afterward.

Paleaquults, rainfed

Higher CH₄ emission rates were found in sandy loam soil, especially over the early period of vegetative stage for the plots with transplanted RD 6 and KDML 105 showed the maximum of $28.24 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figure 1 (c, 2)). Clear small peaks emerged

at 95 DAT at heading stage were observed in these 2 plots. Noticeable CH₄ emission and distinct peaks over the beginning of the early period for both transplanted and broadcasted plots were obvious (Figure 1(c, 2) and (c, 3)), due to annually organic matter recycling was done in few days before planting. Rainfed rice also produced seeable peaks of CH₄ emission over reproductive period like other seasons. Growth period of broadcasted rice in these plots were as long as 152 days. Contrarily, less water in plots of another sites (Figure 1 (c, 3)) leading to low CH₄ formation.

Seasonal variations of CH₄ emission from irrigated second-rice fields in 2001.

Tropaquepts, continuously flooded

Methane emission rates from plots with transplanted to RD 10 and CN 1 were very low over the early 30 days, however, that with transplanted to CN 1 occurred parallel higher until the overlap of the sharp peaks emerged at flowering stage (Figure 1 (d, 1)). In plots broadcasted to RD 10 and CN 1, both showed low methane emission rates through the vegetative period followed by low broad peaks after heading. Extended growth of broadcasted rice was clearly observed.

Paleaquults, continuously flooded

In loam soil, transplanted to RD 10 and CN 1, pattern of CH₄ emission of both plots were very similar with remarkable peaks at ripening state (Figure 1 (d, 2) and (d, 3)). Similar appearance also occurred for broadcasted of both cultivars except longer lag vegetative phase as characteristic of broadcasted rice was seen.

Rice yields, total CH₄ emission, CH₄ emission per kg grain, and mitigation trend.

From agricultural statistics of Thailand crop year 1997/1998, annual average was 2.38 t ha⁻¹ while that of the world was 3.84 t ha⁻¹. In the present study, yields obtained from the 4 seasons were depending on growth season (Table 2). In general, higher yields obtained from Tropaquepts, ranged from 2.28 to 5.12 t ha⁻¹, while those from Paleaquults yielded lower amounts, 1.75 to 4.58 t ha⁻¹. In addition, second rice in 2001 in Paleaquults gave a narrow range of low yield as 1.75-3.14 t ha⁻¹. Rainfed rice in 2000 grew on floodplain of Tropaquepts was destroyed by overflow, however, Paleaquults contributed 2.06-3.79 t ha⁻¹ which was above 1.77 t ha⁻¹, nation average for rainfed yield due to enough rainwater in that year. It is obvious that low yield is the problem in northeast Thailand. Out of 38 data, only 6 data that gave grain yields higher than the world average, 3.84 t ha⁻¹. Effect of chemical fertilizers from on farm practices on grain yield could not be inferred in the present study. In addition, management of organic matter remarkably dominated CH₄ emission more obvious than chemical fertilizers. Sass (1991) reported that rice residues gave adverse effect on CH₄ mitigation.

It seems that organic matter plays the most prominent role on CH₄ formation in this study (Table 2). We tried to extract distinct results of total CH₄ emission as influencing by on farm practices but could not say any obvious evidence, except the effect of organic matter.

As grain yield is very low, especially in northeast region, we should concern on booting grain yield as first priority, mitigating CH₄ emission as second priority and all these should be in concert with farmer agreement, e. g., household socioeconomic. Focus should be laid upon soil moisture condition at incorporation time to suit decomposition of organic matter under aerobic condition. This can be conducted in irrigated area where water is controllable, and maybe applicable in rainfed area. In any area, growing rice by transplanting or broadcasting should be carefully decided by

farmers as good cultivation would depend on right timing for soil moisture condition. It is likely that transplanted rice field emitted more CH₄ than broadcasted one, but lag vegetative phase of broadcasted rice made them stand usually longer in the soil, this may lead to high total CH₄ emission for the latter. Water management during the growing season is the primary key for mitigating CH₄.

We tried to set suitable criteria to explain good grain yield with less emitted CH₄, i.e., grain yield (t ha⁻¹), total CH₄ emission (g m⁻²), and CH₄ emission per unit grain yield (gCH₄ kg⁻¹ grain)(Corton, et al. 2000)(Table 2). Grain yield and total CH₄ emission were positively vague correlated ($R = 0.153$, $n = 20$) for transplanted rice, while for broadcasted rice were negatively correlated ($R = -0.456$, $n = 14$). Maybe broadcasted cultivation is an alternative for CH₄ mitigation. Moreover emission per unit grain yield was negatively correlated with grain yield as indicated by R values for transplanted and broadcasted rice as -0.275 and -0.761 , respectively. This shows that broadcasted cultivation has some advantages over transplanted one and should be taken into consideration as appropriate mitigation strategy. However, emphasis is laid on farmers' decision for improving grain yield.

Conclusion

Seasonal variation of CH₄ emission throughout the growth period could be elucidated into 2 phases expressed by distinct peaks emerged at the early vegetative stage and reproductive stage. The former was mainly affected by incorporation of organic matter prior to planting and the latter was due to rhizosphere development of rice plants. Total CH₄ emission was dominated by water regime and organic matter management stronger than chemical fertilizer application. Problem with low yield is obvious. Suggestions for CH₄ mitigation with sustaining high yield were concluded as follows: 1) Concentration should be on irrigated areas where water is controllable without impact on grain yield. 2) Diversification of second crops other than rice. 3) Broadcasted rice is recommended if cultivation is not too early to extend lag vegetation, any method of rice cultivation should be dependable on farmers' decision. 4) Suitable organic matter and fertilizer management is necessary to sustain yield. Incorporation of rice residues in irrigated areas and annually recycling of organic matter and weeds into soil in rainfed areas are recommended.

Acknowledgements

This research was granted by Thailand Research Fund (TRF). We would like to express our gratitude for all the support.

References

- Agricultural Statistics of Thailand Crop Year 1997/98. Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture & Cooperatives, Bangkok, Thailand. ISSN 0857-6610.
- Buendia, L.V., H.U. Neue, R. Wassman, R.S. Lantin, A.M. Javellana, J. Arah, Y.Xu, A. K. Makarim, T. M. Corton, and N. Charoensilp. 1996. Understanding the Nature of Methane Emission from Rice Ecosystems as a Basis for Mitigation Strategies. In Proceedings of The International Symposium on Maximizing Sustainable Rice Yields Through Improved Soil and Environmental Management. November 11-17, 1996, Khon Kaen, Thailand. P291-306.
- Corton, T.M., J.B. Bajita, F.S. Grospe, R.R. Pamplona, C.A. Asis Jr., R. Wassmann,

- R. S. Lantin and L. V. Buendia. 2000. Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58: 37-53, 2000.
- FAO. 1997. Agriculture and Climate Change: FAO's role. In *News & Highlights*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
[URL: http://WWW.fao.org/news/1997/97120-e.htm](http://WWW.fao.org/news/1997/97120-e.htm)
- International Rice Research Institute, IRRI. 1991. *World Rice Statistics 1990*. PO Box 933, Manila, Philippines.
- IPCC. 1992. *Climate Change. The supplementary report to the IPCC scientific assessment*, (Eds.) J. T. Houghton, B. A. Carlender and S. K. Varney. Cambridge University Press, UK.
- Jermasawatdipong, P., Murase, J., Prabuddham, P., Hasathon, Y., Khomthong, N., Naklang, K., Watanabe, A., Haraguchi, H. and Kimura, M. 1994. Methane Emission from Plots with Differences in Fertilizer Application in Thai Paddy Fields. *Soil Sci Plant Nutr.*, 40 (1): 63-71.
- Katoh, K., Chairaj, P., Yagi, K., Tsuruta, H., Minami, K. and Cholitkul, W. 1999(a). Methane Emission from Paddy Fields in Northern Thailand. *JIRCAS Journal* No.7:77-85.
- Katoh, K., Chairaj, P., Yagi, K., Tsuruta, H., Minami, K. and Cholitkul, W. 1999(b). Methane Emission from Paddy Fields in Northern Thailand. *JIRCAS Journal* No. 7:87-96. *Sci. Plant Nutr.*, 39, 63-70
- Matthews, R.B., R. Wassmann, L.V. Buendia and J.W. Knox. 2000. Using a crop / soil simulation model and GIS techniques to assess methane emissions from rice fields in Asia. II. Model validation and sensitivity analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58: 161-177.
- Sass, R. L., Fisher, F. M. and Harcombe, P. A. 1991. Mitigation of methane emissions From rice fields : Possible adverse effects of incorporated rice straw. *Global Biogeochem. Cycles*, 5, 275-287
- Sass, R. L., Fischer, F.M., Wang, Y.B., Turner, F.T., and Jund, M.F. 1992. Methane emission from rice fields: The effect of water management. *Global Biogeochem. Cycles*, 6, 249-262
- Sass, R. L., Fischer, F.M., Lewis, S.T., Jund, M.F., and Turner, F.T. 1994. Methane Emission from rice fields: The effect of soil properties. *Global Biogeochem. Cycles*, 8, 135-140
- Wang, Z., Y. Xu, Z. Li, Y. Ding, Y. Guo, H. U. Neue and R. Wassman. 1996. Effect of Water Regime and Organic Manure on Methane Emissions from Rice Fields. In *Proceedings of The International Symposium on Maximizing Sustainable Rice Yields Through Improved Soil and Environmental Management*. November 11-17, 1996, Khon Kaen, Thailand. P 315-322
- Yagi, K., Chairaj, P., Tsuruta, H., Cholitkul, W. and Minami, K. 1994. Methane emission from rice paddy fields in the central plain of Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40: 29-37.

Table 1 Taxonomy, physical and chemical characteristics of paddy soils.¹

Season	Major rice 1999		Second rice 2000		Rainfed rice 2000		Second rice 2001	
Taxonomy	Tropaquepts	Paleaquults	Tropaquepts	Paleaquults	Tropaquepts	Paleaquults	Tropaquepts	Paleaquults
Location ²	Don Do	Kok Sai	Don Do	Nong Ka Na Ngam	Nong Pho	NongNam'ien Kud Kwang	Song Puay	Nong Ka Na Ngam
GCS Latitude	N160 26.223'	N160 28.217'	N160 26.223'	N160 32.997' N160 32.832'	N160 19.622'	N160 32.848' N160 23.635'	N160 26.717'	N160 32.997' N160 32.832'
Longitude	E1020 54.468'	E1020 56.688'	E1020 54.468'	E1020 51.250' E1020 51.271'	E1020 47.025'	E1020 48.975' E1020 47.687'	E1020 54.157'	E1020 51.250' E1020 51.271'
Sand (%)	24.4	75.4	24.4	46.4 49.4	36.2	68.4 52.9	7.6	46.5 49.4
Silt (%)	40.2	13.1	40.2	43.3 36.1	24.4	26.5 34.3	47.0	43.3 36.1
Clay (%)	35.4	11.5	35.4	10.3 14.4	39.4	5.2 12.8	45.4	10.3 14.4
Texture	Clay loam	Sandy loam	Clay loam	Loam Loam	Clay loam	Sandy loam Sandy loam	Silty clay	Loam Loam
RMC (mgC/100g)	52	49	48	71 93	72	32 53	128	70 87
Mn ²⁺ (ppm)(28 d)	676	36	696	127 99	490	54 193	348	112 24
Fe ²⁺ (ppm)(28 d)	1,128	1,186	858	1,716 2,049	1,840	660 1,933	4,923	1,255 1,708
OM (%)	0.99	0.47	0.77	0.79 0.72	1.67	0.62 0.85	2.94	0.95 1.34
CEC (me/100 g)	10.3	1.8	13.0	4.3 6.4	11.4	2.4 5.9	21.1	5.1 7.3
pH (1:2.5)	6.7	5.2	5.9	5.4 4.9	5.1	5.7 5.1	5.0	4.6 4.4

¹ Soils of 0 - 15 cm depth are illustrated.² All sites are located in Khon Kaen.

Table 2 Rice yields, total CH₄ emissions and CH₄ emission per kg grain from farmers' paddy fields with differences in soils, cultivations, cultivars and on farm practices.

Season	Plot No.	Soil-water-cultivation practice	Grain yield (t ha ⁻¹)	Total CH ₄ emission (g m ⁻²)	CH ₄ emission per kg grain (g CH ₄ kg ⁻¹ grain)	On farm practices ¹
Irrigated major rice 1999	1	Tropaquepts, continuous flooding				Soil was dug up 20 cm thick and
	2	Trans. RD 6	4.27	9.32	21.85	urea 60 kg/ha ; 16-16-8, 312 kg/ha
	3	Trans. KDML 105	3.76	6.72	17.88	urea 60 kg/ha ; 16-16-8, 312 kg/ha
	4	Broad. RD 6	3.32	7.92	23.89	16-16-8, 312 kg/ha
		Broad. KDML 105	2.98	16.78	56.40	16-16-8, 312 kg/ha
	5	Paleaquults, intermittent flooding				GM ² 112 t/ha ; 16-16-8, 47 kg/ha
	6	Trans. RD 6	3.91	86.89	222.66	GM 112 t/ha ; 16-16-8, 47 kg/ha
	7	Trans. KDML 105	4.58	36.70	80.13	GM 112 t/ha ; 16-16-8, 47 kg/ha
Irrigated second rice 2000	9	Troauepts, continuous flooding				IR ; urea 196 kg/ha
	10	Trans. RD 10	2.42	29.18	120.64	IR ; urea 196 kg/ha
	11	Trans. CN 1	2.96	12.15	41.03	IR ; urea 196 kg/ha
	12	Broad. RD 10	3.78	22.26	58.97	IR ; urea 196 kg/ha
		Broad. CN 1	5.12	6.20	12.11	IR ; urea 196 kg/ha
	13	Paleaquults, continuous flooding				BR ; 16-16-8, 181 kg/ha
	14	Trans. RD 10	2.28	20.64	90.47	BR ; 16-16-8, 181 kg/ha
	15	Trans. CN 1	3.29	20.17	61.35	BR ; 16-16-8, 181 kg/ha
	16	Broad. RD 10	2.76	24.34	88.10	BR ; 16-16-8, 281 kg/ha
		Broad. CN 1	4.01	19.21	47.87	BR ; 16-16-8, 259 kg/ha
Rainfed rice 2000	17	Paleaquults, continuous flooding				BR ; urea 125 kg/ha
	18	Trans. RD 10	3.74	10.01	26.78	BR ; urea 125 kg/ha
		Trans. CN 1	3.83	12.86	33.64	BR ; urea 125 kg/ha
	19	Tropauepts, rainfed				Natural flood
	20	Trans. RD 6	ND	8.96	ND	Natural flood
	21	Trans. KDML 105	ND	13.58	ND	Natural flood
	22	Broad. RD 6	ND	10.22	ND	Natural flood
		Broad. KDML 105	ND	14.72	ND	Natural flood
	23	Paleaquults, rainfed				OM ; 16-20-0, 250 kg/ha
	24	Trans. RD 6	2.88	32.85	114.01	OM ; 16-20-0, 250 kg/ha
Irrigated second rice 2001	25	Trans. KDML 105	3.33	29.74	89.44	OM ; 16-20-0, 187 kg/ha
	26	Broad. RD 6	2.06	27.10	131.79	OM ; 16-20-0, 187 kg/ha
		Broad. KDML 105	3.03	41.94	138.64	OM ; 16-20-0, 187 kg/ha
	27	Paleaquults, rainfed				OM ; 16-20-0, 331 kg/ha
	28	Trans. RD 6	3.79	34.06	89.92	OM ; 16-20-0, 331 kg/ha
		Trans. KDML 105	3.36	33.72	100.46	OM ; 16-20-0, 331 kg/ha
	29	Tropauepts, continuous flooding				BR ; 16-20-0, 200 kg/ha ; urea 75 kg/ha
	30	Trans. RD 10	3.26	9.33	28.67	BR ; 16-20-0, 200 kg/ha ; urea 75 kg/ha
	31	Trans. CN 1	3.78	15.70	41.52	BR ; 16-20-0, 278 kg/ha ; urea 153kg/ha
	32	Broad. RD 10	2.28	10.79	47.34	BR ; 16-20-0, 278 kg/ha ; urea 153kg/ha
Irrigated second rice 2001	33	Paleaquults, continuous flooding				BR ; 16-16-8 , 168 kg/ha
	34	Trans. RD 10	2.07	18.49	89.42	BR ; 16-16-8 , 106 kg/ha
	35	Trans. CN 1	1.99	18.64	93.52	BR ; 16-16-8 , 234 kg/ha
	36	Broad. RD 10	1.84	22.67	123.33	BR ; 16-16-8 , 234 kg/ha
		Broad. CN 1	1.75	22.80	130.31	BR ; 16-16-8 , 234 kg/ha
	37	Paleaquults, continuous flooding				BR ; 16-20-0 , 100 kg/ha
	38	Trans. RD 10	1.76	21.73	123.76	BR ; 16-20-0 , 156 kg/ha
		Trans. CN 1	3.14	15.27	48.68	BR ; 16-20-0 , 156 kg/ha

¹ Any fertilizer rate of above 160 kg/ha usually applied in splitting at early tillering and panicle initiation stage.

IR, BR, OM means incorporated residues, burnt residues and annual organic matter cycling, respectively.

² GM indicates a turn of *Impomoea aquatica* for paddy cultivation, equal to 20 t (dry weight) / ha.

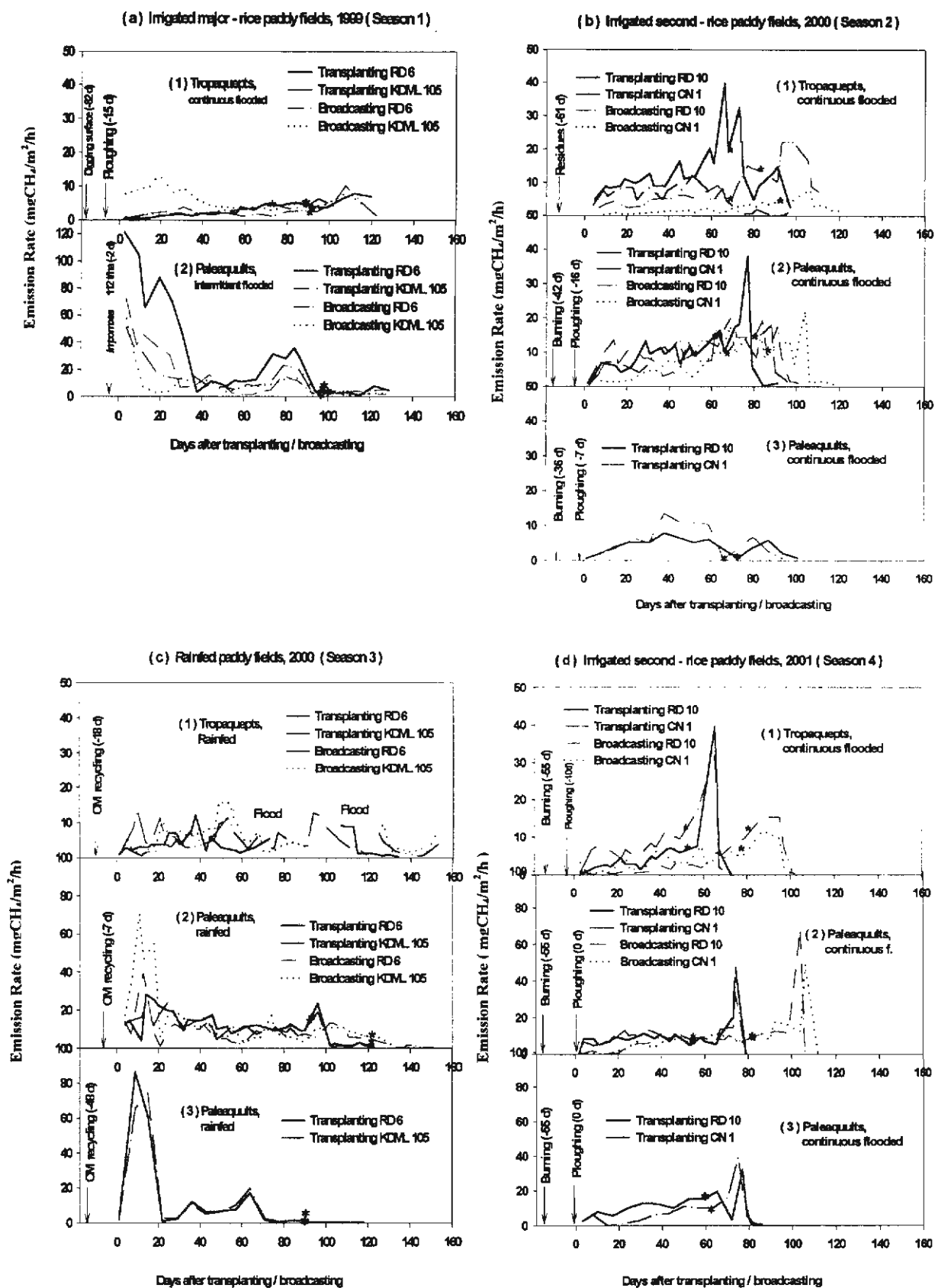


Figure 1 Seasonal variations of methane emission rate from paddy fields in 4 seasons (a, b, c and d) in Tropaequets (1), and Paleaquets (2) and (3).