

อิทธิพลของการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยพืชสดต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตข้าว และการปลดปล่อยแก๊สมีเทน

Influence of pumice sulfate in green manure amended soil on growth, rice yield and methane emission

ดวงสมร ตูลาพิทักษ์^{1*}, พัชรี แสนจันทร์², เกษสุดา เดชภิมล¹,
เทพฤทธิ์ ตูลาพิทักษ์² และ พัชรภรณ์ ตอพล²

Duangsamorn Tulaphitak^{1*}, Patcharee Saenjan², Ketsuda dejbhimon¹,

Thepparit Tulaphitak² and Pattarapron Torpol²

บทคัดย่อ: การใช้ปุ๋ยพืชสดในนาข้าวทำให้ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนเพิ่มมากขึ้น ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของซัลเฟตสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนจากนาข้าวได้ ปุ๋ยฟอสเฟตเป็นสารปรับปรุงดินที่มีซัลเฟตอยู่ 7% การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยพืชสดต่อการปลดปล่อยแก๊สมีเทนและการเจริญเติบโตของข้าว ทำการทดลองในเรือนทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง 4 ซ้ำ คือ 1) ตำรับควบคุม 2) โสนอัฟริกันอัตรา 2 ตันต่อไร่ 3) โสนอัฟริกันอัตรา 2 ตันต่อไร่ คลุกผสมกับปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ 4) โสนอัฟริกันอัตรา 2 ตันต่อไร่ คลุกผสมกับปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และ 5) โสนอัฟริกันอัตรา 2 ตันต่อไร่ คลุกผสมกับปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการทดลองพบว่า การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตที่อัตรา 50 และ 100 กิโลกรัม/ไร่ ไม่มีผลทำให้การปลดปล่อยแก๊สมีเทนลดลง แต่ที่อัตราสูงสุด คือ 200 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนลงได้ 44 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ส่วนในด้าน การเจริญเติบโตของข้าว พบว่า ตำรับที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต 50 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลดีที่สุด โดยมีน้ำหนักฟางและน้ำหนักรากสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสเฟตเป็น 200 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลทำให้การเจริญเติบโตของและผลผลิตข้าวลดลง เนื่องจาก เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตมากเกินไป ธาตุอาหารถูกตรึงโดยปุ๋ยทำให้ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในขณะที่เดียวกันเกิดการสะสมของ H₂S ทำให้เป็นพิษต่อต้นข้าว ดังนั้น การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นอัตราแนะนำร่วมกับการใช้ปุ๋ยพืชสดนั้น ไม่สามารถลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนลงได้ แต่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวดีขึ้น

คำสำคัญ: ปุ๋ยฟอสเฟต การปลดปล่อยแก๊สมีเทน ปุ๋ยพืชสด

ABSTRACT: The study investigates increases in methane emission from utilization of green manure in paddy field. Sulfate –containing fertilizers can reduce methane emission from paddy field. Pumice sulfate is one of soil conditioning materials with seven percentage of sulfate. This experiment aimed to study the effect of pumice sulfate on methane emission and rice growth in green manure- amended soil. The experiment was carried out in greenhouse;

¹ ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Agricultural Development Research Center in Northeast Thailand , Faculty of Agriculture, Khon Kaen University,
Khon Kaen 40002, Thailand

² ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University

* Corresponding author: duatul@kku.ac.th

a completely randomized design with 5 treatments and 4 replications was set up. The treatments consisted of 1) control 2) 2 tons rai⁻¹ sesbania debris-amended 3) 2 tons rai⁻¹ sesbania debris-amended and 50 kg rai⁻¹ pumice sulfate 4) 2 tons rai⁻¹ sesbania debris-amended and 100 kg rai⁻¹ pumice sulfate and 5) 2 tons rai⁻¹ sesbania debris-amended and 200 kg rai⁻¹ pumice sulfate, respectively. The results revealed that applying pumice sulfate at the rate of 50 and 100 kg rai⁻¹ could not reduce methane emission meanwhile in the highest rate at 200 kg rai⁻¹, methane emission was reduced by 44 percent compared to non pumice sulfate application treatment. The 50 kg rai⁻¹ pumice sulfate treatment gave the highest growth characteristics with significant different in straw weight and root weight, thus resulting in higher grain yield. Growth characteristics and grain yield were decreased in the 200 kg rai⁻¹ pumice sulfate treatment. This suggests that when large amount of pumice sulfate was applied, the plant nutrients were fixed by pumice sulfate therefore unavailable to plant and at the same time, accumulation of H₂S which is toxic to rice plant occurred. Using recommended rate of pumice sulfate at 50 kg rai⁻¹ in green manure amended soil was unable to reduce methane emission. However, it increased growth and yield of rice.

Keywords: pumice sulfate, methane emission, green manure

บทนำ

ดินนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตน้ำฝนส่วนใหญ่ เป็นดินทรายและถูกจัดว่าเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มักพบปัญหาการขาดไนโตรเจนและโพแทสเซียม ทำให้ผลผลิตข้าวต่อไร่ต่ำ การไถกลบปุ๋ยพืชสด เช่น โสนอัฟริกัน (*Sesbania rostrata*) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถที่จะปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินและเพิ่มผลผลิตข้าวได้นอกจากนี้การไถกลบปุ๋ยพืชสด เศษซากชิ้นส่วนปุ๋ยพืชสดที่เหลือจากการย่อยสลายในฤดูเพาะปลูกจะเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้กับดินโดยตรง เพิ่มปริมาณการสะสมคาร์บอนให้กับดินช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น แต่การไถกลบปุ๋ยพืชสดจะทำให้ปริมาณแก๊สมีเทนที่ปลดปล่อยออกมาจากนาข้าวเพิ่มขึ้นมาก ภูมิทัศน์ที่ขรุขระเป็นสารปรับปรุงดินที่มีการแนะนำให้ใช้คลุกกับปุ๋ยเคมีหรือนาข้าว เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวช่วยในการต้านทานโรคและแมลงในนาข้าว และปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้ดีขึ้น (มนตรี, 2555) การใช้ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของซัลเฟตเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนจากนาข้าว (Minami and Yagi, 1998) ในส่วนประกอบของภูมิทัศน์ที่ขรุขระ มีซัลเฟตอยู่ 7 % ดังนั้นการใช้ภูมิทัศน์ที่ขรุขระร่วมกับการไถกลบปุ๋ยพืชสดอาจเป็นแนวทางในการลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทน

จากแนวคิดดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงได้ทำงานทดลองในกระถางเพื่อศึกษาอิทธิพลของภูมิทัศน์ที่ขรุขระ

ร่วมกับปุ๋ยพืชสดต่อการปลดปล่อยแก๊สมีเทน การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองในกระถางที่เรือนทดลองหมวดดินและปุ๋ย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายน 2555 ดินที่ใช้เก็บจากนาดินทรายในเขตน้ำฝน (pH(1:1) 4.99; total N 0.032 %; available P 3.65 ppm; Exchangeable K 45.77 ppm) ฝั่งให้แห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 เซนติเมตร อัตราที่ใช้ 4 กิโลกรัม ต่อกระถาง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 19 ซม. ความสูง 22 ซม.) วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง 4 ซ้ำ คือ 1) ตำรับควบคุม 2) โสนอัฟริกันอัตรา 2 ต้นต่อไร่ 3) โสนอัฟริกัน อัตรา 2 ต้นต่อไร่ คลุกผสมกับภูมิทัศน์ที่ขรุขระ อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ 4) โสนอัฟริกันอัตรา 2 ต้นต่อไร่ คลุกผสมกับภูมิทัศน์ที่ขรุขระ อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และ 5) โสนอัฟริกันอัตรา 2 ต้นต่อไร่ คลุกผสมกับภูมิทัศน์ที่ขรุขระ อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ การเตรียมดินโดยการไถดินคลุกผสมกับภูมิทัศน์ที่ขรุขระก่อนแล้วจึงน้ำ วางชิ้นส่วนโสนอัฟริกันไว้บนผิวดิน 6 วันก่อนคลุกผสม ใช้โสนอัฟริกันที่อบแห้งแล้วโดยตัดลำต้นของโสนอัฟริกันเป็นท่อนยาวประมาณ 5 เซนติเมตรและไปโสนอัฟริกัน อัตราส่วนของลำต้นต่อใบที่ใช้เท่ากับ 5ต่อ1 โดยน้ำหนัก ปักดำกล้าข้าวหอมดอกมะลิ 105 อายุ 40 วัน กระถางละ 3 ต้น

เก็บตัวอย่างแก๊สที่ปลดปล่อยจากกระถาง โดยวิธี closed chamber (พัชรีและคณะ, 2545) ทุกสัปดาห์ ที่ 0,10,20 นาที่ วิเคราะห์ความเข้มข้นของแก๊สมีเทน ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph (Shimadzu GC 2014) ที่ติดตั้งคอลัมน์ Unibead C และ Flame Ionization Detector (FID) คำนวณหา ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนทั้งหมด (total CH₄ emission, TME) (Saenjan et al., 2002) และ คำนวณหา ในการทำให้โลกร้อน (global warming potential, GWP) (Zhang et al., 2009) เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรม Statistic version 8 และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวรับการทดลอง ด้วย Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของปุ๋ยไมท์ซัลเฟตต่อปริมาณการปลดปล่อยมีเทน

การใส่ขี้สับส่วนอินอัตรา 2 ตันต่อไร่ มีผลทำให้ปริมาณการปลดปล่อยมีเทนทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) การใส่ปุ๋ยไมท์ซัลเฟตที่อัตรา 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่มีผลทำให้ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนลดลงเปรียบเทียบกับตัวรับที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยไมท์ซัลเฟต (T2) แต่กลับทำให้ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยไมท์ซัลเฟตที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นอัตราแนะนำนั้น ทำให้การเจริญเติบโตทางสรีรวิทยาของข้าวดีกว่าตัวรับการทดลอง (Table 2) มีผลทำให้การอัตราการปลดปล่อยมีเทนสูงกว่าตัวรับการทดลองอื่น โดย Wassmann and Aulakh (2000) พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยา รวมถึงสรีรวิทยาของต้นข้าว เช่น การแตกกอ ขนาดของลำต้น ปริมาณและความหนาแน่นของราก เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการปลดปล่อยแก๊สมีเทนสู่บรรยากาศ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยไมท์ซัลเฟตสูงขึ้น คือ 200 กิโลกรัมต่อไร่ (เทียบเท่ากับ 42 ugSO₄²⁻ g⁻¹

soil) จะมีผลทำให้ปริมาณการปลดปล่อยมีเทนลดลง 44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Ro (2011) ซึ่งพบว่าที่ปริมาณซัลเฟตต่างๆ ไม่มีผลยับยั้งการปลดปล่อยมีเทน แต่เมื่อปริมาณซัลเฟต 45 ugSO₄²⁻ g⁻¹soil จะยับยั้งปริมาณการปลดปล่อยมีเทนได้ 30 % กระบวนการยับยั้งการเกิดมีเทนเนื่องจาก sulfate reducing bacteria จะแข่งขันกับ methanogens เพื่อแย่ง H₂ ในการรีดิวซ์ ซัลเฟต (Hori et al., 1993)

ผลของปุ๋ยไมท์ซัลเฟตต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และดัชนีผลผลิตของข้าว

การใส่ขี้สับส่วนอินอัตรา 2 ตันต่อไร่ มีผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าวดีขึ้น (Table 2) โดยทำให้น้ำหนักฟาง น้ำหนักราก และการแตกกอเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อใส่อินส่วนร่วมกับปุ๋ยไมท์ซัลเฟต 50 กิโลกรัมต่อไร่ จะทำให้ การเจริญเติบโตของข้าวที่ดีที่สุด โดยให้น้ำหนักฟางและน้ำหนักรากมากที่สุด โดยปกติแล้ว ปุ๋ยไมท์ซัลเฟตจะแนะนำให้ใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อลดการสูญเสียปุ๋ย ปรับสภาพดินและต้นข้าวแข็งแรง เนื่องจากพืชสามารถดูดใช้ซิลิกาที่ละลายน้ำจากปุ๋ยไมท์ได้ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยไมท์ซัลเฟตให้มากขึ้นกลับทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ซึ่ง มนตรี (2551) ได้กล่าวว่าการใช้ปุ๋ยไมท์ซัลเฟตมากเกินไปจะทำให้ธาตุอาหารถูกตรึงไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง นอกจากนี้การใส่ซัลเฟตที่อัตราสูงจะทำให้เกิดการสะสมของ H₂S จากกระบวนการรีดักชันของซัลเฟต ซึ่งทำให้เกิดความเป็นพิษต่อต้นข้าว (Gao et al., 2004)

ส่วนในด้านผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตนั้น การใส่อินส่วนร่วมกับปุ๋ยไมท์ซัลเฟตอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้จำนวนรวงต่อกอสูงที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยไมท์ซัลเฟตให้มากขึ้น พบว่า จำนวนรวงต่อกอมีแนวโน้มลดลง ส่วน ผลผลิตข้าวพบว่า การใส่อินส่วนร่วมกับปุ๋ยไมท์ซัลเฟตในทุกอัตรา มีผลทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจากตัวรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างตัวรับที่ใส่ปุ๋ยไมท์ซัลเฟต

Table 1 Total methane emission(TME), and global warming potential(GWP) as affected by pumice sulfate application in pot experiment.

Treatments ^{1/}	TME (gCH ₄ m ⁻²)	GWP as CO ₂ -e ^{2/} (g m ⁻²)	GWP as C-e ^{2/} (g m ⁻²)	Reduction (%)
T1	11.20 b	257.59 b	70.25 b	-
T2	29.48 a	678.11a	184.94 a	0
T3	33.00 a	759.10 a	207.03 a	- 11.94
T4	30.90 a	710.83 a	193.86 a	- 4.84
T5	16.41 b	377.36 b	102.92 b	+ 44.34
F test	*	*	*	
CV(%)	24.85	24.86	24.86	

^{1/}T1: control ; T2: sesbania debris 2t rai⁻¹ ; T3: sesbania debris 2 t rai⁻¹ and pumice sulfate 50 kg rai⁻¹; T4: sesbania debris 2 t rai⁻¹ and pumice sulfate 100 kg rai⁻¹; T5: sesbania debris 2 t rai⁻¹ and pumice sulfate 200 kg rai⁻¹

^{2/}GWP as CO₂-e = TME*23, GWP as C-e = GWP as CO₂-e*12/44

Means followed by the different letters in each column were significantly different by LSD at P < 0.05

Table 2 Growth characteristics of rice as affected by pumice sulfate application in pot experiment.

Treatments ^{1/}	Height (cm)	Straw weight ^{2/} (g hill ⁻¹)	Root weight ^{2/} (g hill ⁻¹)	No. tiller ^{2/} per hill
T1	131.75	32.78 c	10.65 b	7.00 b
T2	133.75	52.08 b	18.10 ab	10.75 a
T3	135.00	63.98 a	18.86 a	11.75 a
T4	137.00	54.80 b	15.84 ab	10.50 a
T5	134.75	52.93 b	17.08 ab	10.25 a
F test	ns	*	*	*
CV (%)	2.62	9.28	30.21	11.27

^{1/}T1: control; T2: sesbania debris 2t rai⁻¹ ; T3: sesbania debris 2 t rai⁻¹ and pumice sulfate 50 kg rai⁻¹; T4: sesbania debris 2 t rai⁻¹ and pumice sulfate 100 kg rai⁻¹; T5: sesbania debris 2 t rai⁻¹ and pumice sulfate 200 kg rai⁻¹

^{2/}Means followed by the different letters in each column were significantly different by LSD at P < 0.05

Table 3 Yield and yield components of rice as affected by pumice sulfate application in pot experiment.

Treatments ^{1/}	No. of panicle ^{2/} per hill	No. of grain per panicle	% Filled ^{2/} grain	Grain yield ^{2/} (g hill ⁻¹)
T1	4.5 c	65.60	92.16 b	8.79 b
T2	9.00 a	76.44	95.18 a	16.12 a
T3	9.75 a	78.56	93.56 ab	17.68 a
T4	8.50 ab	84.76	94.02 ab	16.85 a
T5	7.00 b	81.72	94.26 ab	15.39 a
F test	*	ns	*	*
CV(%)	7.75	17.99	2.07	11.28

^{1/}T1: control; T2: sesbania debris 2t rai⁻¹; T3: sesbania debris 2 t rai⁻¹ and pumice sulfate 50 kg rai⁻¹; T4: sesbania debris 2 t rai⁻¹ and pumice sulfate 100 kg rai⁻¹; T5: sesbania debris 2 t rai⁻¹ and pumice sulfate 200 kg rai⁻¹

^{2/}Means followed by the different letters in each column were significantly different by LSD a P < 0.05

สรุป

การใช้ไสเป็นปุ๋ยพืชสดทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิตข้าว และปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นจากตัวควบคุม การใช้ไสร่วมกับปุ๋ยไม่ซัลเฟตที่อัตราแนะนำ (50 กิโลกรัมต่อไร่) ไม่สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนแต่จะทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวดีกว่าการใช้ไสเพียงอย่างเดียว การใช้ไสร่วมกับปุ๋ยไม่ซัลเฟตในอัตราที่สูงขึ้น สามารถที่จะยับยั้งการปลดปล่อยมีเทนทำให้ปริมาณการปลดปล่อยมีเทนลดลง แต่จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าวลดลง เนื่องจากธาตุอาหารในดินถูกตรึง พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนทั่วไปของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปีงบประมาณ 2555

เอกสารอ้างอิง

- มนตรี บุญจรัส. 2551. ข้อเสียของการใช้ปุ๋ยไม่ซัลเฟตหรือหินแร่ภูเขาไฟ มากเกินไป. แหล่งข้อมูล: <http://www.thaigreenagor.com>. ค้นเมื่อ 19 ธันวาคม 2555.
- มนตรี บุญจรัส. 2555. ลดต้นทุนในนาข้าวด้วยปุ๋ยไม่ซัลเฟต ที่ อ.ลำลูกกา จ. ปทุมธานี แหล่งข้อมูล: <http://www.thaigreenagor.com>. ค้นเมื่อ 19 ธันวาคม 2555.
- พัชรี แสนจันทร์, ดวงสมร ตูลาพิทักษ์, เทพฤทธิ์ ตูลาพิทักษ์, และศุภชัย ตั้งชูพงศ์. 2545. ปริมาณการปลดปล่อย CH₄ จากนาข้าวเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. รายงานฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- Gao, S, K.K. Tanji and S.C. Scardaci. 2004. Impact of rice straw incorporation on soil redox status and sulfide toxicity. Agron.J. 96: 70-76.
- Hori K., K. Inubushi, S. Matsumoto and H. Wada. 1993. Competition for hydrogen between methane formation and sulfate reduction in a paddy soil. Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr. 64: 363-367. (In Japanese with English summary)
- Minami, K., and K. Yagi. 1998. Mitigation of methane emissions from rice cultivation. Global Journal of Environmental Research 2: 15-19.

- Ro, S. 2011. Effect of sulfate-containing fertilizer on rice yield and methane emission from irrigated paddy soil. Master of Science Thesis in Agriculture, Graduate School, Khon Kaen University.
- Saenjan, P., D.Tulaphitak, T.Tulaphitak, S.Tangchupong, and S.Jearakongman. 2002. Methane emission from farmers' paddy fields as a basis for appropriate mitigation technologies. Transactions of Soil Science : Confronting New Realties in the 21st Century. In 17th World Congress of Soil Science, 14-21 August 2002. Bangkok, Thailand.
- Wassmann, R. and M.S. Aulakh. 2000. The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. Biol. Fertil. Soils. 31: 20-29.
- Zhang, L., D. Yu, X. Shi, D.C. Weindorf, L. Zhao, W. Ding, H. Wang, J. Pan and C. Li. 2009. Simulation of global warming potential (GWP) from rice fields in the Tai-Lake region, China by coupling 1:50,000 soil data base with DNDC model. Atmospheric Environment. 43: 2,737-2,746.