

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดและการปล่อยมีเทนจากนาข้าว

Factors Influencing Methane Formation and Emission from Paddy Fields

อรรคเดช ศรีบุตตะ*

พัชรี แสนจันทร์**

ความสำคัญของมีเทน

ก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก มีความสำคัญเป็นอันดับสองรองจากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยมีศักยภาพทำให้โลกร้อน (global warming potential, GWP) เป็น 25 เท่าของ CO_2 ปริมาณความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าภายในระยะเวลา 2 ศตวรรษที่ผ่านมา เมื่อปี ค.ศ. 1998 ความเข้มข้นในบรรยากาศเป็น 1754 ppb และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นปีละ 7.0 ppb โดย CH_4 ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์แหล่งใหญ่ คือ จากภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และแหล่งฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน เป็นต้น และคาดว่าจะมีปริมาณ CH_4 ปลดปล่อยออกจากทุกแหล่งสู่ชั้นบรรยากาศประมาณ 400 - 650 ล้านตันต่อปี (400 - 650 Tg yr⁻¹) (IPCC, 2001)

นาข้าวทั่วโลกมีการปล่อย CH_4 ประมาณ 100 ล้านตันต่อปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชียเป็นแหล่งผลิตข้าวใหญ่ที่สุดสามารถเลี้ยงประชากรทั่วโลกได้มากถึงหนึ่งในสาม มีปริมาณการปลดปล่อย CH_4 ประมาณ 46 - 63 ล้านตันต่อปี (IRRI, 2001) ส่วนประเทศไทยมีการปลดปล่อย CH_4 ประมาณ 3.32 ล้านตันต่อปี (Xiang, 2001) และเพื่อให้สามารถเข้าใจถึงลักษณะการเกิดและการปลดปล่อย CH_4 ออกสู่บรรยากาศ จึงได้ศึกษาหลักการเกิดมีเทน และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยมีเทน ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางลดการปลดปล่อย CH_4 โดยมีให้เกษตรกรได้รับผลกระทบ

กลไกการเกิดมีเทนในดินนาข้าว

นาข้าวเป็นแหล่งสำคัญของการปลดปล่อย CH_4 ภายใต้สภาพน้ำขังซึ่งเหมาะสมต่อการปลูกข้าว เมื่อทำการขังน้ำในนา ออกซิเจน (O_2) ถูกนำไปใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์กลุ่ม aerobes จน O_2 หมด ทำให้ดินนาขาด O_2 เมื่อ O_2 หมดไป NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} และ CO_2 ในดินจะถูกจุลินทรีย์กลุ่ม anaerobes ใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนอย่างเป็นลำดับ โดยการลดลงของค่า redox potential (Eh) จะแสดงลำดับการเกิดปฏิกิริยา reduction ข้างต้น จุลินทรีย์กลุ่ม facultative และ strict anaerobes จะย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินแบบไม่ใช้ออกซิเจน (กระบวนการหมัก, fermentation) ได้ acetate ที่เป็น intermediate ที่สำคัญโดยมี H_2 และ CO_2 เกิดขึ้นด้วย CH_4 ที่เกิดจาก H_2 และมี CO_2 เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เรียกกระบวนการนี้ว่า carbon dioxide reduction ส่วน CH_4 ที่เกิดจาก acetate เป็น substrate เรียกว่า acetate transmethylation (Vogels et al., 1988)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยมีเทนจากนาข้าว

การปลดปล่อย CH_4 หรือการเกิด CH_4 ในนาข้าวขึ้นอยู่กับอิทธิพลของปัจจัยทางเคมี และกายภาพของนาข้าว ดังต่อไปนี้

* ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ ระดับ 9 ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

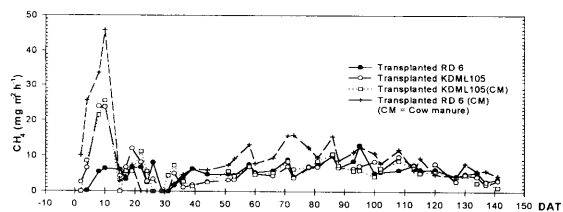
น้ำขังในนาข้าว ในสภาพนาปีและนาปรังการขังน้ำจะต่างกัน นาปีระดับน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน การปล่อย CH_4 ขึ้นอยู่กับช่วงของฝนที่ช่วงกลางฤดู ถ้าแล้งนาน CH_4 ก็จะเกิดได้น้อย ตรงกันข้ามกับฝนที่ช่วงสั้น CH_4 ก็จะเกิดได้มากตามระยะเวลาที่มีน้ำขัง (IRRI, 2001) ส่วนการทำนาข้าวชั้นน้ำ (deepwater rice) ระดับน้ำจะขังสูงมากและท่วมขังต่อเนื่องยาวนาน ปริมาณ CH_4 เกิดได้มากกว่านาชนิดอื่น เพราะระยะเวลาตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวยาวนานที่สุด ส่วนนาปรังในพื้นที่ชลประทานมีการควบคุมดูแลการขังน้ำตลอดเวลาและมีพื้นที่เพาะปลูกมาก จึงพบการปลดปล่อย CH_4 มาก (นิวัตและคณะ, 2542)

ปุ๋ยอินทรีย์ ดินที่อยู่ในสภาพ reduced จุลินทรีย์ดินจะย่อยสลายอินทรีย์สารต่าง ๆ ที่ผสมคลุกเคล้าอยู่ในดิน เช่น ฟางข้าว เศษซากสาหร่ายหรือพืชอื่นที่ตกค้างอยู่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด เป็นต้น นิวัต และคณะ (2542) พบ CH_4 เกิดขึ้นได้มากในแปลงนาที่ไถกลบฟางข้าว ตามด้วยแปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว และพบน้อยที่สุดในแปลงที่ไม่เตรียมดินและแปลงที่เผาตอซังข้าว พืชรีและคณะ (ติดต่อเป็นการส่วนตัว) พบว่าการใช้ปุ๋ยคอกปรับปรุงดินเค็มในนาเกษตรกรจังหวัดขอนแก่นทำให้เกิด CH_4 ได้มากกว่าแปลงที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยคอกโดยเฉพาะในช่วงระยะแรกหลังจากปักดำ พบว่ามีอัตราการปลดปล่อย CH_4 ในแปลง กข 6 (RD 6) ที่ใส่ปุ๋ยคอกในช่วง 10 วันหลังการปักดำสูงถึง $45.93 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ แตกต่างจากแปลง กข 6 ที่ไม่ใส่ปุ๋ยคอกซึ่งมีอัตราการปลดปล่อย CH_4 เพียง $6.443 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปริมาณการปลดปล่อยไม่ต่างกันมากนักเนื่องจากในแปลงที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยคอกมีวัชพืชขึ้นอยู่มากก่อนการไถเตรียมดิน (ภาพที่ 1)

ปุ๋ยเคมี พืชรี (2541) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ช่วยลดการปล่อย CH_4 ได้ เนื่องจากในดินน้ำขังมี sulfate reduction bacteria ที่ใช้สารอาหารคาร์บอนในกระบวนการ sulfate reduction ส่งผลให้ methanogens ขาดสารอาหารคาร์บอนทำให้

CH_4 เกิดช้าและเกิดในปริมาณน้อยลง ส่วน Bodelier et al. (2000) รายงานว่าปุ๋ยยูเรียจะยับยั้งกิจกรรมของ methane oxidizing bacteria ทำให้ CH_4 ถูกปล่อยออกมาได้มากขึ้น ส่วนนิวัต และคณะ (2542) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมีนั้นส่งผลต่อการเกิด CH_4 ไม่มากนัก นอกจากนี้ Corton et al. (2000) พบว่าการใส่เศษเหลือจากการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น ฟอสโฟอียซัม (Phosphogypsum, PG) $(\text{K}_2\text{SO}_4, \text{SO}_4^{2-} = 44 - 46 \%)$ สามารถลดการปลดปล่อย CH_4 ได้เช่นเดียวกัน

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน pH, salinity และ sulfate availability เป็นคุณสมบัติทางเคมีของดินที่สำคัญที่ทำให้เกิด CH_4 ได้ต่างกัน pH ที่มีค่าใกล้เคียงความเป็นกลางจะเกิด CH_4 ได้มาก ดินที่มีเกลือสะสมอยู่หรือดินเค็มหรือดินที่มีซัลเฟต (SO_4^{2-}) อยู่ทำให้การเกิด CH_4 เกิดได้ช้าลง Saenjan et al. (2001) พบว่าดินราชบุรีซึ่งเป็นดินเหนียวปล่อย CH_4 ออกมาได้น้อยกว่าดินร้อยเอ็ด ซึ่งเป็นดินร่วน ทั้งนี้เพราะดินร่วนมีเนื้อหยาบและมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินใหญ่ ทำให้ CH_4 ที่เกิดขึ้นถูกปล่อยออกได้ง่าย



ภาพที่ 1 การปลดปล่อย CH_4 จากนาดินเค็มที่ไม่ใส่และใส่ปุ๋ยคอก
ที่นา: พืชรี และคณะ (ติดต่อเป็นการส่วนตัว)

วิธีการปลูกข้าว การทำนาหว่านน้ำตม นาหว่านสำรวย นาดำ มีการเตรียมดินที่ต่างกันไป Corton et al. (2000) รายงานว่า นาหว่านสามารถที่จะลดการปล่อย CH_4 ได้ถึง 16 - 54 % เมื่อเปรียบเทียบกับนาดำ เนื่องจากต้นข้าวต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าการทำนาดำช่วยป้องกันไม่ให้วัชพืชเจริญแข่งขันกับต้นข้าว การบรกดดินจึงมีน้อย CH_4

ที่ถูกกักอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินก็จะไม่ถูกรบกวน และปล่อยออกมาได้น้อย (Neue, 1993) อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาตลอดฤดูการเจริญเติบโตของข้าวในนาหว่าน น้ำตามอาจพบการปล่อย CH_4 ได้มากกว่าหรือน้อยกว่า นาดำก็ได้ ขึ้นอยู่กับอายุของข้าวและระยะเวลาขังน้ำด้วย ข้าวที่มีระยะการเจริญเติบโตในแปลงนาน หากมีการขังน้ำอย่างต่อเนื่องก็จะพบการปลดปล่อย CH_4 สูง หรือข้าว ที่มีอายุนานแต่ระยะการขังน้ำน้อยกว่าก็อาจพบ CH_4 ได้น้อย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินนั้นๆ ด้วย (Seanjan et al., 2001) ส่วนนาข้าว ขึ้นน้ำมีอายุตั้งแต่เริ่มปลูกถึงเก็บเกี่ยวยาวนานทำให้พบการปล่อย CH_4 ออกมาได้มากที่สุด ส่วนในนาอาศัยน้ำฝน จะมีการปลดปล่อย CH_4 ออกมาได้เป็นช่วงซึ่งขึ้นอยู่กับระยะของฝนทั้งช่วง หากฝนทั้งช่วงนานน้ำในนาจะแห้ง และดินก็จะอยู่ในสภาพ ต่างจากนาในพื้นที่ชลประทาน ที่มีการขังน้ำตลอดเวลาทำให้ดินอยู่ในสภาพ reduced และก่อให้เกิด CH_4 (นิวัติ และคณะ, 2542)

การจัดการนา การใส่อินทรีย์วัตถุและปุ๋ย การควบคุมน้ำ และการป้องกันกำจัดศัตรูข้าว ล้วนมีอิทธิพลต่อการปล่อย CH_4 ได้เช่นกัน จากรายงานของ Corton et al. (2000) กล่าวว่า การปล่อย CH_4 ที่เกิดขึ้นในระยะแรกของการปลูกเกิดเนื่องจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ที่มีอยู่เดิมหรือที่ใส่เพิ่มในระหว่างการเตรียมดิน การระบายน้ำออกในช่วงกลางฤดูจะช่วยลดการปล่อย CH_4 ลงได้ โดยผลผลิตข้าวไม่ลดลง หรือแม้กระทั่งการเตรียมดินก่อนการปลูกข้าว เช่น การใส่ปุ๋ยหมักผสมคลุกเคล้าในสภาพดินแห้งจะช่วยให้อินทรีย์วัตถุย่อยสลายได้เร็ว การไถพรวนก่อนการปลูกข้าว (Xu et al., 2000) การลดการรบกวนดินหลังจากปลูกข้าวแล้ว การผสมผสานกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยร่วมกันระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี พร้อมๆ กันกับการควบคุมระดับน้ำและระยะเวลาการขังน้ำสามารถช่วยลดการปลดปล่อย CH_4 ได้

พันธุ์ข้าว พันธุ์ข้าวเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนสำคัญ เนื่องจากลักษณะทางกายวิภาคของข้าวแต่ละพันธุ์ทั้งขนาดของช่องว่างภายในใบ ลำต้น และรากข้าว ซึ่งจะ

เป็นช่องทางสำหรับลำเลียง O_2 ลงไปสู่ราก แต่ขณะเดียวกัน ก็จะเป็นช่องทางให้มีการลำเลียง CH_4 ที่เกิดขึ้นออกสู่บรรยากาศได้ด้วย ลักษณะทางกายภาพของพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน ทั้งทรงกอ ขนาดลำต้น ปริมาณราก และใบที่ถูกทิ้งไว้เป็นอินทรีย์วัตถุในนา รวมไปถึงอายุการเจริญเติบโตของต้นข้าว ข้าวพันธุ์เบา พันธุ์กลาง และพันธุ์หนัก ซึ่งให้เห็นถึงช่วงเวลาการปล่อย CH_4 ข้าวพันธุ์หนักมีอายุการเจริญเติบโตที่นานกว่า ระยะเวลาการปล่อย CH_4 ก็มากขึ้นด้วย (นิวัติ และคณะ, 2542)

ปัจจัยอื่น ๆ อุณหภูมิช่วงกลางวันที่สูงกว่ากลางคืน ซึ่งทำให้ดินมีอุณหภูมิสูงขึ้น เร่งอัตราการเกิด CH_4 ได้เร็วขึ้น Ko and Kang (2000) รายงานการปักดำข้าวที่ใช้กล้าอายุต่างกัน ช่วงเวลาการไถเตรียมดินในฤดูใบไม้ผลิ และใบไม้ร่วงเกิด CH_4 ต่างกันแต่ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกัน ค่า Eh เป็นอีกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิด CH_4 ในดิน ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อดินมี Eh ต่ำกว่า -150 mV สัมพันธ์กับการจัดการน้ำ ปุ๋ยเคมี และช่วงเวลาที่ไม่อินทรีย์วัตถุลงไปในดิน (Kim et al., 1999) ทั้งนี้ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ทำงานร่วมกัน ทั้งคุณสมบัติดินทางชีวภาพ สภาพภูมิอากาศ ระบบการปลูกพืช เป็นต้น

แนวทางการลดการปลดปล่อย CH_4 จากนาข้าว

ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมสามารถสรุปแนวทางการลดการปล่อย CH_4 จากนาข้าวได้ดังนี้ การจัดการน้ำให้ต้นข้าวใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับระยะการเจริญเติบโต การปล่อยให้ดินอยู่ในสภาพ oxidized ชั่วคราวในช่วงสั้นระหว่างระยะแตกกอเป็นวิธีการที่ลด CH_4 ได้ดี การใส่อินทรีย์วัตถุหรือปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินแล้วปล่อยให้ย่อยสลายในสภาพที่มีออกซิเจน (oxidized) ก่อนการเตรียมดิน การหมักฟางข้าวเพื่อให้ C/N ratio ต่ำลงแล้วจึงใส่ก่อนการเตรียมดิน การปลูกพืชปุ๋ยสดแล้วไถกลบในสภาพดินแห้ง เหล่านี้จะช่วยลดปริมาณการปล่อย CH_4 จากนาข้าวขณะเดียวกันยังเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่ต้นข้าวด้วย การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี หรือ

ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวก็น่าสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ การคัดเลือกพันธุ์ข้าวและกรรมวิธีการปลูกข้าวเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ถูกอ้างถึงในการลด CH_4 โดยพันธุ์ข้าวที่มีอายุสั้น ลักษณะต้นเตี้ย ควรได้รับการพิจารณาส่งเสริมให้ปลูกเพื่อลด CH_4 การทำนาหว่านจะลดการบวมดินได้มากที่สุด และจำนวนวันในการขังน้ำที่สั้นกว่าช่วยลดการปล่อย CH_4 เมื่อเทียบกับนาดำ การใส่สารยับยั้งกระบวนการเกิด CH_4 ในรูปของปุ๋ยเคมี เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ปฏิบัติได้

แนวโน้มการเกิดผลกระทบของมีเทนจากนาข้าว ต่อประเทศไทยและสังคมโลก

ภายหลังจากการประชุม Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ณ เมืองเซียงไฮ้ สาธารณรัฐประชาชนจีน ว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก นักวิทยาศาสตร์รวบรวมและศึกษาข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและแหล่งที่มาของก๊าซเรือนกระจก ได้คาดการณ์ไว้ว่าจะเกิดผลกระทบอย่างมากต่อระบบนิเวศต่างๆ ความแปรปรวนของภูมิอากาศและภัยธรรมชาติมีความรุนแรงมากขึ้น ล้วนส่ง

ผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งสิ้น และจากพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ประเทศไทยได้ร่วมให้สัตยาบันไว้ภายใต้ข้อสัญญาซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 28 มีนาคม 2538 โดยจะต้องรวบรวมข้อมูล และจัดทำรายงานแห่งชาติที่แสดงข้อมูลปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคกิจกรรมต่าง ๆ รวมทั้งพื้นที่ดูดซับก๊าซเรือนกระจก (sink) ตลอดจนนโยบายและมาตรการในการปรับตัวต่อผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2544) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกนั้นส่งผลกระทบต่อประเทศไทย เช่น ผลผลิตทางการเกษตรเสียหาย ความแห้งแล้ง ภาวะน้ำท่วม การระบาดของโรคและแมลง ในทางตรงกันข้ามสาเหตุที่เกิดจากประเทศไทยมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (อรวรรณ, 2543) หากจะให้เกษตรกรทำการผลิตข้าวเพื่อลดการปลดปล่อย CH_4 นั้น ประเทศไทยจำเป็นต้องศึกษาทางสังคม เพื่อปรับทัศนคติให้เกษตรกรได้มีความเข้าใจต่อการปลดปล่อย CH_4 อย่างลึกซึ้งและยอมรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น โดยยังคงเป็นผู้นำในการผลิตข้าวของโลก จึงจะเข้าสู่การยอมรับแนวปฏิบัติเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544. อนุสัญญาการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศโลก. (สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2544)

URL: http://www.moac.go.th/agreement_climate.htm

นิวัต เจริญศิลป์ ชัชฌา บุดาตาบุญ, พิสิฐ พรหมนารถ, ลัดดาวัลย์ กรรณนุช และประโยชน์ เจริญธรรม.

2542. โครงการวิจัยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ใน เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาวปี 2542. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ณ โรงแรมคุ้มสุพรรณ จ. สุพรรณบุรี วันที่ 3 - 5 มีนาคม 2542.

พัชรี แสนจันทร์. 2541. วิทยาศาสตร์ของดินนา. [ขอนแก่น]: ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เอกสารอ้างอิง

- อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2544. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อการทำนาข้าว. **วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ** 16 (2): 11 - 22.
- Bodelier, P.L., A.P. Hahn, I.R. Arth and P. Frenzel. 2000. Effect of ammonium-based fertilization on microbial processes involved in methane emission from soils planted with rice. **Biogeochemistry** 51 (3):225 - 257.
- Corton, T.M., J. B. Bajita, F.S. Grospe, R.R. Pamplona, C.A. Asis, Jr., R. Wassmann, R.S. Lantin and L.V. Buenda. 2000. Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines). **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 58:37-54.
- International Rice Research Institute (IRRI), West Africa Rice Development Association (WARDA), Centro Internacional Agricultura Tropical (CIAT). 2001. Methane Emission From Ricefields. (cited 27 Jun. 2001) URL: http://www.riceweb.org/research/Res_issmethane.htm
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Summary for Policymakers, A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (cited 12 Jul. 2001) URL: <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>
- Kim, J.D., A. Jugsujinda, A.A. Carbonell-Barrachina, R.D. DeLaune and W.H. Patrick, Jr. 1999. Physiological functions and methane and oxygen exchange in Korean rice cultivars grown under controlled soil redox potential. **Bot. Bull. Acad. Sin.** 40:185 - 191
- Ko, J.Y. and H.W. Kang. 2000. The effect of cultural practices on Methane emission from rice fields. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 58:311 - 314.
- Saenjan, P., D. Tulaphitak, T. Tulaphitak, S. Tangchupong and S. Jearakongman. 2001. Methane emission from Thai Farmer's Paddy Fields in Khon Kaen. In *KKU Annual Agricultural Seminar for Year 2001*. 26 - 27 February, 2001. Faculty of Agriculture. Khon Kaen University. pp. 1 - 22 .
- Vogels, G.D., J.T. Keltjens and C. Van De Drift. 1988. Biochemistry of CH₄ Production. In: A.J.B. Zehndev (Ed.). *Biology of Anaerobic Microorganisms*. pp. 707 - 770. [n.p.]: John Wiley & Sons.
- Xiang, R. 2001. Estimation of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Rice Field in Thailand. (cited 27 Jun. 2001) URL: <http://www.start.or.th/GCRC/abstract/IGAC1/273.htm>
- Xu, H., Z.C. Cai, X.P. Li, and H. Tsuruta. 2000. Effect of antecedent soil water regime and Rice straw application time on CH₄ emission from rice cultivation. (cited 21 Nov. 2001) URL:<http://www.publish.csiro.au/journals/ajsr>