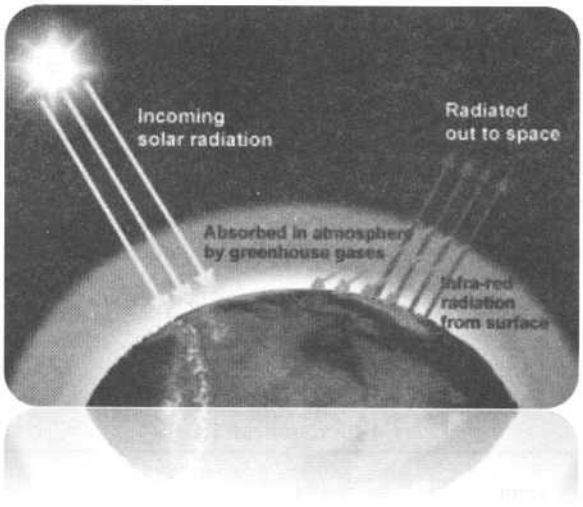
การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก : กรณีก๊าซมีเทนจากนาข้าว

*เศวตฉัตร ศรีสุรัตน์**

โลกของเราเคยอบอุ่นขึ้นเพราะก๊าซเรือนกระจกซึ่งประกอบด้วย โมเลกุลของไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และ โอโซน (O_3) แต่ปัจจุบันโลกของเรากำลังจะร้อนเกินไปสำหรับสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันกิจกรรมของมนุษย์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณ มหาศาลสู่ชั้นบรรยากาศโดยเฉพาะภาคพลังงานมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง 56% รองมาเป็นภาคเกษตรกรรม 24% ภาคป่าไม้และการใช้ที่ดิน 7% ภาคของเสีย 8% และภาคอุตสาหกรรม 5% (คมชัดลึก, 2550)

โดยที่ก๊าซเรือนกระจกก่อให้เกิดสภาวะที่เรารู้จักกันดีคือสภาวะเรือนกระจก ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากการที่โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ พลังงานนี้ส่วนใหญ่ถูกส่งมาสู่โลกในรูปของแสงแดด (พลังงานช่วงคลื่นสั้น) แต่ประมาณร้อยละ 30 ของพลังงานที่โลกได้รับจะสะท้อนกลับไปสู่ห้วงอวกาศในรูปของอินฟราเรดหรือรังสีความร้อน (พลังงานช่วงคลื่นยาว) ส่วนอีกร้อยละ 70 จะถูกดูดซับโดยกลุ่มก๊าซที่ห่อหุ้มโลก ในชั้นบรรยากาศเรียกว่า **"ก๊าซเรือนกระจก"** ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติในปริมาณไม่มากนัก ทำให้เกิดความอบอุ่นกับพื้นผิวโลก การที่โลกได้สะท้อนเอาความร้อนออกไปบ้างช่วยทำให้โลกไม่ร้อนจนลุกโชน ก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวมีปริมาณรวมทั้งสิ้นไม่ถึงร้อยละ 1 ของบรรยากาศ ปริมาณดังกล่าวเพียงพอที่จะทำให้เกิด **"ก๊าซเรือนกระจกธรรมชาติ"** ซึ่งมีผลทำให้โลกมีอุณหภูมิอุ่นขึ้นจากเดิม อีกประมาณ 30 องศาเซลเซียส ระดับอุณหภูมิดังกล่าวเป็นระดับที่จำเป็นและพอเหมาะ สำหรับ การดำรงชีพของมนุษย์ สัตว์และพืช



* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

การที่ประเทศไทยได้ร่วมลงนามรับรองและให้สัตยบันภายใต้อนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) จึงต้องมีพันธกรณีในการจัดทำบัญชีรายการแห่งชาติว่าด้วยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (National Communication) สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นหน่วยหลักที่รับผิดชอบต่ออนุสัญญาในนามของรัฐบาลไทย ร่วมกับสถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมไทย (TEI., 1994) ได้ทำการศึกษาและประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญในประเทศไทย มี 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณการปล่อยประมาณ 164 ล้านตัน ก๊าซมีเทนมีปริมาณการปล่อยประมาณ 2.8 ล้านตันและก๊าซไนตรัสออกไซด์ มีปริมาณการปล่อยประมาณ 0.01 ล้านตัน

จากปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกข้างต้น สามารถคิดเป็นสัดส่วนในการทำให้โลกร้อนได้โดยการคำนวณค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) ของก๊าซโดยกำหนดให้ค่า GWP ของคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 1 ก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ มีค่า GWP เท่ากับ 21 และ 310 ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 equivalent) ที่ปลดปล่อยจำนวน 164 ล้านตัน ก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ จะมีปริมาณการปลดปล่อย 58 และ 3 ล้านตัน ตามลำดับ เมื่อรวมการปลดปล่อยก๊าซทุกชนิด (จากค่า CO_2 equivalent) จะมีปริมาณทั้งสิ้น 225 ล้านตัน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงสัดส่วนการทำให้โลกร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์ ที่เกิดจากประเทศไทย คิดเป็นร้อยละ 73 26 และ 2 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

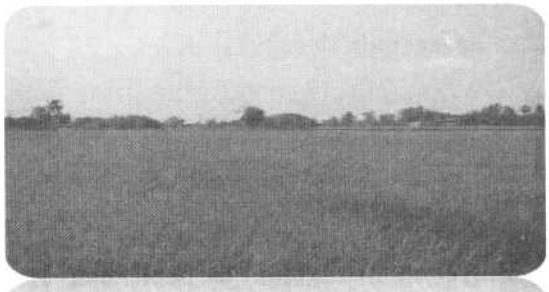
ตารางที่ 1 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทยในปีพ.ศ. 2533 ค่าศักยภาพการทำให้โลกร้อน(GWPs) และสัดส่วนการทำให้โลกร้อนของก๊าซแต่ละชนิด

Gases	Emissions (Million tones)	GWPs	CO_2 equivalent (Million tones)	Percentage of total emissions
CO_2	164	1	164	73
CH_4	2.8	21	58	25
N_2O	0.01	310	3	2
	Total		225	100

แหล่งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีเทน (CH_4)

การปล่อยออกก๊าซมีเทนในประเทศไทยจำนวน 2.8 ล้านตัน เกิดจากภาคการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ โดยภาคป่าไม้ พลังงานและกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม การบำบัดน้ำเสีย และพื้นที่ชุ่มน้ำ มีส่วนร่วมด้วยบ้างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนแบ่งตามภาคกิจกรรมต่างๆ ได้ดังนี้

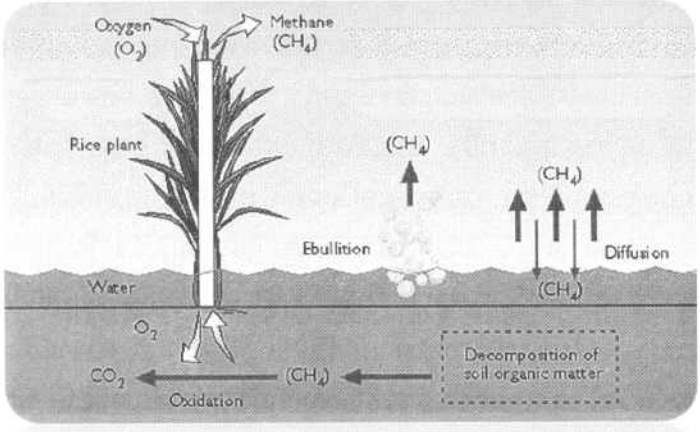
การปลูกข้าว	1.8 ล้านตัน (65%)
ปศุสัตว์ (การหมักย่อยในกระเพาะอาหารและมูลสัตว์)	0.7 ล้านตัน (24%)
การบำบัดน้ำเสีย	0.15 ล้านตัน (5%)
ก๊าซระเหยของก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน	0.11 ล้านตัน (4%)
กิจกรรมอื่น ๆ	0.06 ล้านตัน (2%)



ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึง ถูกมองว่ามีการปล่อย "ก๊าซมีเทน" มากในอันดับต้นๆ มีนักวิชาการทำวิจัยพบว่านาข้าวมีการปล่อยก๊าซเรือน กระจกค่อนข้างสูง ดังนั้นนาข้าวก็มี ส่วนทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนเช่นกัน จึงมักมีการพูดถึงก๊าซมีเทนในนาข้าวกันมาก เพราะก๊าซมีเทน จะดูดซับความร้อน ในชั้นบรรยากาศมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั่นเอง

ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

โดยธรรมชาติทั่วไป เมื่อก๊าซมีเทนเกิดขึ้นในดินเป็นปริมาณมาก การปลดปล่อยก๊าซมีเทนก็ย่อมมีมากขึ้นตามไปด้วย แต่ปัจจัยเสริมต่อในการเคลื่อนที่ของก๊าซขึ้นสู่อากาศ (Emission) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านที่สำคัญได้แก่ปัจจัยด้านดิน พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูก และวิธีการปลูกข้าว ดินเป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งในด้านการเกิดและการปลดปล่อย ก๊าซมีเทนในนาข้าวผลกระทบของดินต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินนาสู่อากาศ



มีทั้งเนื้อดิน (Soil texture) โดยดินที่มีเนื้อดินหยาบหรือเป็นดินที่มีอนุภาคใหญ่เป็นองค์ประกอบจะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าดินที่มีเนื้อดินละเอียด ทั้งนี้เนื่องจากดินเนื้อหยาบหรือดินทรายมีปริมาณของช่องว่างระหว่างอนุภาคดินขนาดใหญ่อยู่มาก ทำให้ก๊าซแพร่กระจายผ่านช่องว่างในดินเข้าสู่รากและแพร่ผ่านถึงน้ำที่ขังเหนือผิวดินแล้วผ่านสู่อากาศได้ง่าย นอกจากนั้นก๊าซมีเทนในดินทรายมีการรวมตัวกลายเป็นฟองอากาศและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้ง่าย (Ebullition) ตรงข้ามกับในดินที่มีเนื้อดินละเอียด จะมีก๊าซมีเทนปลดปล่อยออกน้อยกว่าในดินทราย เนื่องจากดินละเอียดมีช่องว่างขนาดเล็ก การแพร่กระจายและการรวมตัวของก๊าซเป็นไปได้ช้าและยากกว่า และประการที่สองเมื่อสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้ว จะถูกดูดยึดติดกับผิวอนุภาคของดินเหนียวได้ เกิดเป็นสารเชิงซ้อนของสารอินทรีย์และอนุภาคดิน ทำให้สารอินทรีย์เหล่านั้นสลายตัวเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนต่อไปค่อนข้างยาก (Jermsawatdipong et al.,1999) นอกจากนั้นแล้วความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) มีผล

ในทางอ้อมต่อการเกิดก๊าซมีเทน ดินที่มีความหนาแน่นรวมสูงมีผลทำให้สารอินทรีย์สลายตัวได้ยาก การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่ารีดอกโพเทนเชียล (Eh) ของดินเกิดขึ้นช้า จึงมีผลทำให้การเกิดก๊าซมีเทนช้าลง การเคลื่อนที่สู่อากาศก็มีน้อยลงด้วย (Neue and Sass, 1993)

ในส่วนของพันธุ์ข้าวนั้นลักษณะทางการเกษตร (Agronomic characteristic) และลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphological characteristic) ของข้าวแต่ละพันธุ์ นับว่ามีบทบาทสำคัญทั้งในแง่การเกิด และการเคลื่อนที่สู่บรรยากาศของก๊าซมีเทน เมื่อต้นข้าวมีการเจริญเติบโต จะมีการเพิ่มน้ำหนักแห้ง และต่อมาเมื่อข้าวอยู่ในระยะออกรวง รากที่ตายแล้วและใบที่แห้งเหี่ยวร่วงหลุดลงสู่ดินซึ่งเป็นแหล่งสารอินทรีย์ ที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงมาก (Schultz et al., 1989) อย่างไรก็ตามลักษณะอื่น ๆ ของต้นข้าวที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการกระจายของรากข้าวมีความสำคัญต่อการเกิดและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวมากเช่นกัน พันธุ์ข้าวที่มีรากจำนวนมากทำให้มีมวลชีวภาพมากขึ้น เป็นแหล่งสารคาร์บอนในขบวนการเกิดก๊าซมีเทน และถ้ามีจำนวนแขนงรากมาก ทำให้เพิ่มพื้นที่ Aerenchyma และเป็นทางผ่านของก๊าซมีเทนขึ้นสู่อากาศมากขึ้น และลักษณะการแตกกอของต้นข้าว นั้นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีการแตกกอสูงและมีรากยาวจะปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าพันธุ์ข้าวพันธุ์ใหม่ต้นเตี้ย ประมาณ 30% (Neue et al., 1994) จำนวนแขนงของต้นข้าว ที่แตกกอมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวโดยเฉพาะในระยะข้าวแตกกอและระยะก่อนเจริญพันธ์ และแขนงของต้นข้าวที่มีอายุมากปล่อยออกก๊าซมีเทนมากกว่าแขนงต้นข้าวที่มีอายุอ่อนกว่าในต้นเดียวกัน (Kimura, 1992) ส่วนข้าวพันธุ์ที่มีต้นค่อนข้างเตี้ยมักจะมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าพันธุ์ที่มีต้นสูง (Lindau et al., 1995)

การเขตกรรมที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

ในนาที่มีน้ำขัง ก่อนการปลูกข้าว เมื่อมีการการไถพรวน การคราด การทำเทือก หรือการหว่านข้าวและดำนา ทำให้ดินนาขณะที่มีน้ำขังได้รับความกระทบกระเทือนเป็นการเร่งให้ก๊าซมีเทนที่อยู่ในรูปฟองอากาศใต้ดินเคลื่อนที่ผ่านน้ำออกสู่บรรยากาศ ได้หลังการปลูกข้าว เมื่อมีการปฏิบัติใน การใส่ปุ๋ยพ่นสารเคมีหรือกำจัดวัชพืช ก็เป็นการเร่งให้ก๊าซปลดปล่อยสู่อากาศเร็วขึ้น

วิธีการปลูกข้าวที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เท่าที่มีการศึกษาพบว่าการปลูกข้าวโดยการหว่านข้าวแห้ง มีก๊าซมีเทนเกิดน้อยกว่าการปลูกโดยวิธีปักดำ หรือการหว่านข้าวน้ำตม เพราะการหว่านข้าวแห้ง การเตรียมดินก็ทำน้อยครั้ง ความชื้นดินต่ำ หรือไม่ชุ่มน้ำ หลังข้าวงอกแล้วระยะเวลาหนึ่ง จึงปล่อยน้ำเข้านา ทำให้ลดระยะเวลาน้ำท่วมขังลง เป็นผลทำให้การลดลงของค่า Eh ของดินไม่ถึงระดับที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน

การลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

จากการศึกษาถึงขบวนการเกิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเกิดและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว มีปัจจัยหลายประการเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ภูมิอากาศ อุณหภูมิ แหล่งอินทรียวัตถุในดิน คุณสมบัติของดิน และลักษณะของพันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกตลอดจนการจัดการดินและพืช ดังนั้นในการกำหนดวิธีการในการลดก๊าซมีเทน จึงไม่สามารถกำหนดได้ชัดเจนเป็นแนวทางอย่างทั่วไปได้ เทคโนโลยีที่นำมาใช้จะมีความเหมาะสมเฉพาะเจาะจงในแต่ละพื้นที่สำหรับเท่านั้น และสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงได้แก่เทคโนโลยีที่นำมาใช้จะต้องไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิต ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตและสิ่งแวดล้อม และต้องเป็นที่ยอมรับของสังคม

จากรายงานผลการวิจัยตามโครงการ Interregional Research Program on Methane Emission from Rice Fields ของ IRRI (IRRI, 2000b) ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่าง 5 ประเทศที่ปลูกข้าวในเอเชีย ได้สรุปชัดเจนว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีปริมาณมากที่สุด ในนาข้าวชลประทาน มีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดประมาณ 200-300 กก./ตรม./วัน และมีอัตราสูงสุดถึง 500 กก./ตรม./วัน เนื่องจากมีน้ำขังตลอดเวลา ในนาข้าวน้ำลึกมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีอัตรา 100 กก./ตรม./วัน เพราะมีน้ำขังเป็นเวลานาน ส่วนข้าวนาน้ำฝนมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำสุด ประมาณ 50 กก./ตรม./วัน เนื่องจากมีช่วงเวลาน้ำขังในนาสั้นกว่านาชลประทาน อาจมีการขาดน้ำบางระยะ ขึ้นอยู่กับปริมาณของฝนในแต่ละพื้นที่

ซึ่งจากสถานการณ์ที่พลเมืองของโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ประเทศต่างๆ ของโลกพยายามเพิ่มพื้นที่ชลประทานมากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิตต่อพื้นที่ ในการเพิ่มผลผลิตข้าวให้เพียงพอกับความต้องการของพลเมืองโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ข้าวนาชลประทานจึงเป็นเป้าหมายแรกที่ควรดำเนินการลดก๊าซมีเทน สำหรับข้าวนาน้ำฝนมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อย ส่วนข้าวนาน้ำลึกมีพื้นที่เพียงไม่ถึง 10% ของพื้นที่นาทั้งหมด จึงยังอาจไม่จำเป็น ประกอบกับการใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ยังไม่เหมาะสมที่จะดำเนินการในสถานการณ์ปัจจุบัน

และจากผลการวิจัยในหลาย ๆ ประเด็นปัญหาตามโครงการดังกล่าว (IRRI, 2000a) เห็นว่ามีผลการวิจัยบางประเด็นสามารถใช้เป็นกลยุทธ์ในการพัฒนาเป็นเทคโนโลยีลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวได้ คือ

1. การปล่อยให้น้ำในนาแห้งชั่วระยะเวลาสั้น ๆ ทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนลดลงโดยไม่กระทบต่อผลผลิตข้าว

2. พันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูง (High yielding variety) พันธุ์ที่มีอัตราการไหลของสารอาหารออกจากราก (Root exudation) ต่ำ จะมีผลทำให้เกิดก๊าซมีเทนในอัตราต่ำด้วย

3. การปลูกข้าวในดินที่มีธาตุอาหารเพียงพอ โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ทำให้รากข้าวมีอัตราการปล่อยสารอาหารออกจากรากต่ำ

4. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการย่อยสลายแล้วในนาข้าว เช่นการใส่ในรูปปุ๋ยหมักสามารถใช้บำรุงดินได้ และจะช่วยลดก๊าซมีเทนได้มาก

5. การใช้สารยับยั้งขบวนการ (Nitrification Inhibitor) ช่วยให้ทำการปลดปล่อยก๊าซมีเทนลดน้อยลงได้

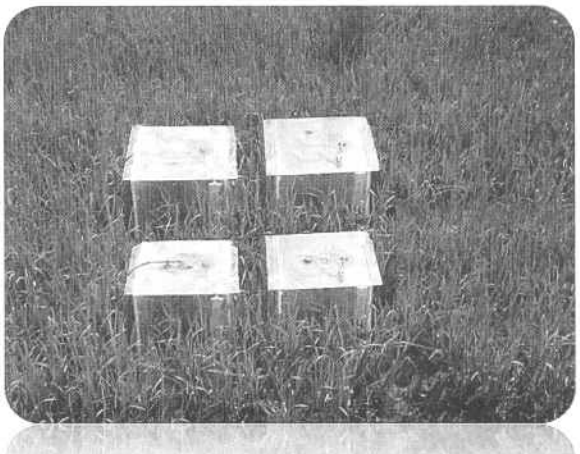
6. การปลูกข้าวจากเมล็ดโดยตรงแทนการปักดำ มีผลทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนลดลง โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตข้าว

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในอัตราสูง ได้แก่รูปแบบการท่วมขังของน้ำในนาและการใช้อินทรียวัตถุ ส่วนปัจจัยอื่น ๆ เช่นชนิดของดิน อุณหภูมิ วิธีการปฏิบัติในการปลูกข้าวหรือพันธุ์ข้าว เป็นปัจจัยที่สำคัญน้อย ดังนั้นจึงมุ่งเน้นแนะนำเทคโนโลยี

การปลูกข้าว เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวชลประทานร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ที่มีการปฏิบัติพื้นฐานแบบต่าง ๆ 3 แบบ คือ การปล่อยน้ำท่วมขังนาตลอดฤดูและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ การระบายน้ำออกช่วงกลางฤดูและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และการปล่อยน้ำท่วมขังนาตลอดฤดูและไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์

สรุป

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยเฉพาะเรื่องก๊าซมีเทนควรดำเนินการต่อไป โดยเน้นการ ใช้วิธีการวัดก๊าซที่มาตรฐานเพื่อให้ได้ข้อมูลอัตราการปลดปล่อยก๊าซต่อพื้นที่ (Emission factor) ที่ถูกต้อง ตลอดจนต้องสร้างฐานข้อมูลที่ถูกต้อง เพื่อนำไปประกอบการประเมินการปล่อยออกก๊าซมีเทนของ



ประเทศให้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น ในขณะเดียวกันควรศึกษาหาวิธีการควบคุมการปล่อยออกก๊าซและการลดการปลดปล่อย ก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่ประหยัดและถูกต้อง ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตและสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมกับปัญหาเรื่องก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

คมชัดลึก. (2550). **แผนแม่บท 5 ประการ คนไทยร่วมพิทักษ์โลก**. เอกสารออนไลน์ : http://www.komchadluek.net/2007/10/05/q010_155205.php.

IRRI-International Rice Research Institute. (2000a). **Rice Production, Methane Emissions, and Global Warming: Links and Effects**. The final report of the project "the Interregional Research Program on Methane Emission from Rice Fields" Funded by UNDP/GEF/IRRI. 14 p.

IRRI- International Rice Research Institute. (2000b). **Interregional Research Program on Methane Emission from Rice Fields: Terminal Report**, submitted to United Nation Development Program/Global Environment Facility (UNDP/GEF), November 2000. 69 p.

Jermsawatdipong, P., L. Kunnoot and N. Chareonsilp. (1999). **A Survey of Literature on Methane Emission from Paddy Fields in Thailand**. Report submitted to The Thailand Research Fund. Contract No. PDG3/1999. 55 p.

Kimura, M. (1992). **Methane Emission from Paddy Soils in Japan and Thailand**. Batjes NH, Bridgss EM (eds) World inventory of soil emission potentials. WISE Rep 2, International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen, Netherlands, pp 43-79

Lindau, C.W., P.K. Bollich and R.D. DeLaune. (1995). Effect of rice variety on methane emission from Louisiana ice. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, 54:109-114.

Neue, H-U., R. Lantin, R. Wassmann, J.B. Aduna, C.R. Alberto, M.F. Andales. (1994). **Methane Emission from Rice Soils of the Philippines**. In: CH4 and N2O. National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Japan, pp 55-63.

Neue, H.U. and R. Sass. (1993). **Trace Gas Emissions from Rice Fields**. IRRI-EPA Annual Meeting. In IRRI, Los Banos, Philippines. 1-3 September 1993.

Schutz, H., A. Holzapfel-Pschorn, R. Conrad, H. Rennenberg and W. Seiler. (1989). A Three-year continuous record on the influence of daytime season and fertilize Treatment on methane emission rates from an ltalian rice paddy soil. J. **Geophys.Res**.94: 6405-6416.

Thailand Environment Institute (TEI), (1994). **Thailand's Country Study on Climate Change 1990: Mitigation Options, Climate Change Scenarios,Vulnerability and Adaptation**. Submitted to U.S. Country Studies Programme and Environmental Policy and Planning.