



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินตามหลักของการผลิตทางเกษตรดีที่เหมาะสม การผลิตเกษตรอินทรีย์ และการจัดการน้ำ ในพื้นที่ป่าลูกข้าว”

โดย รศ. ดร. ภัทรา เพ่งธรรมกirti และคณะ

14 พฤษภาคม 2554

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินตามหลักของการผลิตทางเกษตรดีที่เหมาะสม การผลิตเกษตรอินทรีย์ และการจัดการน้ำ ในพื้นที่ป่าลูกข้าว”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. รศ. ดร. ภัทรฯ เพ่งธรรมกิจติ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 2. รศ. ดร. ชยាមร วัฒนศิริ | สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช |
| 3. ดร. เครือมาศ สมัครการ | คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 4. รศ. ดร. ตุลวิทย์ สถาปนารุ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 5. ผศ. ดร. ประไฟพิศ ชัยรัตน์มโนกร | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |

ชุดโครงการ "พัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ความตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม
และยุทธศาสตร์ลดโลกร้อน"

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

Executive summary	1
บทคัดย่อ	5
Abstract	7
<u>เนื้อหางานวิจัย</u>	
1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	9
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	11
3. สถานการณ์และข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการเพาะปลูกข้าวตามแนวทาง เกษตรอินทรีย์และเกษตรดีที่เหมาะสม	12
4. ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับเกษตรกรที่ร่วมโครงการวิจัยและข้อมูลของกลุ่ม เกษตรกร	23
5. ข้อมูลเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวปัจจุบันที่มี 1	28
6. การเกิดก้าชเรือนกระจกจากนาข้าว ปัจจัยที่มีผล และการควบคุม	30
7. ความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าว	41
8. บัญชีcarbon	44
9. ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแบบจำลองการปล่อยก้าชเรือนกระจกและการกัก เก็บcarbonในพื้นที่เกษตร	48
<u>รายละเอียดงานวิจัยและผลการศึกษา</u>	
1. ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา	55
2. กิจกรรมแนะนำโครงการและการมีส่วนร่วมของเกษตรกรต่อโครงการวิจัย	60
3. วิธีการศึกษา	61
4. ผลการศึกษาและวิจารณ์	
■ คุณลักษณะดินในพื้นที่ศึกษา	72
■ ปริมาณฝนและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา	73
■ การเจริญเติบโตของต้นข้าว	75
■ ผลผลิตข้าวและน้ำหนักเมล็ดต่อกรง	80
■ มวลชีวภาพรวมของข้าว	81
■ ปริมาณก้าชเรือนกระจกที่ปล่อยจากพื้นที่ศึกษา	83
■ ปริมาณการบอนอินทรีย์ในดินนาที่ปลูกข้าวฐานแบบต่างๆ	101
■ บัญชีcarbon งบประมาณ (carbon budget) และบัญชีcarbon ในดิน (soil carbon budget) ของนาข้าวที่ศึกษา	104
■ ต้นทุนการผลิตและผลตอบแทน	112

■ ผลโดยรวมของการศึกษาภาคสนาม	116
■ การคาดการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนารูปแบบต่างๆ และการกักเก็บคาร์บอนในดินนาที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง DNDC	118
5. ข้อเสนอการจัดการเกษตรที่ลดก๊าซเรือนกระจกจากงานศึกษา	146
6. ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะของงานศึกษา	147
7. สรุปผลการศึกษา	149
8. เอกสารอ้างอิง	151
9. ภาคผนวก	
1) ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	159
2) ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง DNDC จัดรูปแบบตามรูปแบบของข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลจากการปลูกข้าวของงานศึกษานี้	164
3) วิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซ	173
4) ข้อแนะนำในการปลูกข้าวเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก	174

โครงการ “ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินตามหลักของการผลิตทางเกษตรดีที่เหมาะสม การผลิตเกษตรอินทรีย์ และการจัดการน้ำในพื้นที่ปัลูกข้าว”

รายงานฉบับสมบูรณ์

Executive summary

ภาคเกษตรกรรมมีบทบาทในการเป็นแหล่งลดก๊าซเรือนกระจกได้ โดยสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตร เวทีการประชุมระหว่างประเทศเพื่อจัดทำกติกาใหม่ในการจัดการสภาพภูมิอากาศหลังปี ค.ศ. 2012 มีการพิจารณาภาคเกษตรกรรมในหัวข้อการลดก๊าซเรือนกระจกจากรายสาขาและอาจเกี่ยวโยงถึงหัวข้อการดำเนินงานเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศ (NAMAs) โดยมีแนวทางส่งเสริมการเกษตรยั่งยืน ดังนั้น งานศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่ปัลูกข้าวตามแนวทางเกษตรต่างๆ ได้แก่ เกษตรอินทรีย์ เกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) และนาเคมีทั่วไป โดยดำเนินการร่วมกับการจัดการน้ำ (การระบายน้ำกลางฤดูปัลูกข้าว) เพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจกำหนดแนวทางหรือกิจกรรมการลดก๊าซเรือนกระจกของภาคเกษตรกรรมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

งานศึกษานี้ประกอบด้วย (1) การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว และ (2) การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดินโดยใช้บัญชีcarbon และการวัดปริมาณcarbon ในดินโดยตรง โดยประเมินผลร่วมกับผลเชิงเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ งานศึกษาภาคสนาม ที่ดำเนินการศึกษาการปัลูกข้าว 2 รอบ ในระยะเวลา 1 ปี และการคาดการณ์สถานการณ์ด้วยแบบจำลองในระยะเวลา 20 ปี

ผลการศึกษาในภาคสนาม

1. ข้อมูลพื้นฐาน ผลผลิตข้าว และต้นทุนและผลตอบแทนการปัลูกข้าว

พื้นที่ศึกษามีการดำเนินการปัลูกข้าวตามรูปแบบนาเคมีทั่วไปและนาอินทรีย์ต่อเนื่องกว่า 20 ปี และ 9 ปี ตามลำดับ ดินในพื้นที่ศึกษามีเนื้อดินค่อนข้างหยาบโดยมีอนุภาคขนาดใหญ่เป็นหลัก แต่นาอินทรีย้มีความอุดมสมบูรณ์ดินดีกว่านาเคมี การปัลูกข้าว 2 รอบที่ศึกษา คือ รอบที่ 1 นาปรัง (มีนาคม-มิถุนายน) และรอบที่ 2 นาปี (กันยายน-ธันวาคม)

นาเคมีมีแนวโน้มที่ผลผลิตข้าวสูงกว่านาแบบ GAP ในแปลงที่ขังน้ำตลอด ซึ่งเป็นผลจากอัตราการใส่ปุ๋ยที่สูงกว่า และฤดูกาลปัลูกไม่มีผลต่อผลผลิตข้าวของนาทั้งสองรูปแบบนี้ ในขณะนาอินทรีย์ที่ปัลกรอบที่ 1 ให้ผลผลิตข้าวที่ต่ำกว่านาที่ใส่ปุ๋ยเคมี แต่ให้ผลผลิตข้าวสูงที่สุดสำหรับการปัลูกข้าวรอบที่ 2 ซึ่งอาจจะเป็นเพราะต้นข้าวไม่ได้รับผลกระทบจากปริมาณฝนที่ต่ำมาก การจัดการน้ำไม่มีผลทางสถิติต่อผลผลิตข้าว แต่มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตข้าวต่ำลงเฉพาะการปัลูกข้าวนาปรัง

ผลของรูปแบบนาที่มีต่อมวลชีวภาพรวมของข้าวพบว่านาแบบ GAP มีแนวโน้มให้ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมของข้าวที่สูงกว่านาอินทรีย์และนาเคมี โดยเฉพาะในการปลูกข้าวรอบที่ 2 ส่วนการจัดการน้ำมีแนวโน้มให้มวลชีวภาพรวมของข้าวต่ำลง แต่มีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะการปลูกข้าวรอบที่ 2 ซึ่งเป็นเพรываемมวลชีวภาพรวมของข้าวที่ค่อนข้างต่ำของนาเคมีที่มีการจัดการน้ำ

นาอินทรีย์มีต้นทุนการปลูกข้าวที่สูงกว่านาที่ใช้ปุ๋ยเคมี เพราะมีต้นทุนปุ๋ยอินทรีย์ที่สูง ส่วนนาแบบ GAP มีต้นทุนต่ำกว่านาเคมี เพราะใส่ปุ๋ยและสารเคมีกิจกรรมในปริมาณที่ต่ำกว่า การจัดการน้ำมีผลทำให้ต้นทุนการปลูกข้าวสูงขึ้นจากค่าน้ำมันและแรงงานในการสูบน้ำ แต่พบเฉพาะการปลูกข้าวรอบที่ 2 ผลกระทบกำไรและผลตอบแทนการลงทุนของการปลูกข้าวลดลงปีพบว่านาแบบ GAP ที่จัดการน้ำมีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ นาเคมีและนาแบบ GAP ที่ขังน้ำตลอด ในขณะที่นาอินทรีย์และนาเคมีที่จัดการน้ำมีผลตอบแทนที่ต่ำ เพราะต้นทุนปุ๋ยอินทรีย์หรือผลผลิตข้าวที่ต่ำ

2. การปลดปล่อยก้าชเรือนกระจากนาข้าวรูปแบบต่าง ๆ

นาทุกรูปแบบที่ศึกษามีปริมาณการปลดปล่อยก้าชมีเทนทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่นาอินทรีย์มีแนวโน้มการปลดปล่อยก้าชมีเทนที่สูงกว่านาเคมีและนาแบบ GAP ซึ่งเป็นผลจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนนาแบบ GAP มีแนวโน้มการปลดปล่อยก้าชมีเทนที่สูงกว่านาเคมี เพราะมีการเจริญของต้นข้าวและมวลชีวภาพรวมที่สูงกว่า แม้ว่ามีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่าก็ตาม โดยอาจเป็นอัตราการใส่ปุ๋ยที่เพียงพอแล้วกับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ส่วนการจัดการน้ำช่วยลดการปลดปล่อยก้าชมีเทนของนาทุกรูปแบบที่ศึกษา โดยเฉพาะนาอินทรีย์และนาแบบ GAP ที่จัดการน้ำมีการปลดปล่อยก้าชมีเทนที่ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับนาเคมีที่ขังน้ำตลอด

งานศึกษานี้พบว่าอัตราการปลดปล่อยก้าชในตรัสรอกไซด์มีความสัมพันธ์กับการใส่ปุ๋ย นาอินทรีย์มีแนวโน้มการปลดปล่อยก้าชในตรัสรอกไซด์ที่ต่ำกว่านาเคมีเล็กน้อย ส่วนนาแบบ GAP ในการปลูกข้าวน้ำปีที่ได้ปรับวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีร้อนแรกโดยการไถกลบตามแบบนาเคมี ช่วยลดการปลดปล่อยก้าชในตรัสรอกไซด์ได้ดี ผลการจัดการน้ำมีแนวโน้มเพิ่มการปลดปล่อยก้าชในตรัสรอกไซด์ เพราะมีการเติมอากาศในดินจึงเพิ่มปริมาณใน terrestrial และทำให้ปลดปล่อยก้าชนิดนี้เพิ่มขึ้นหลังจากน้ำเข้านาอีกครั้ง

ศาสตร์ภัณฑ์ในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) เป็นผลรวมระหว่างก้าชมีเทนและในตรัสรอกไซด์ โดยพบว่าก้าชมีเทนเป็นตัวกำหนดค่า GWP ของพื้นที่ศึกษา ผลของรูปแบบนาและการจัดการน้ำจึงสอดคล้องกับการปลดปล่อยก้าชมีเทน โดยนาอินทรีย์มีค่า GWP ที่สูงกว่านาแบบ GAP และนาเคมี ตามลำดับ แต่การจัดการน้ำของนาอินทรีย์และนาแบบ GAP ช่วยลดค่า GWP ให้ใกล้เคียงหรือต่ำกว่านาเคมีที่ขังน้ำตลอด ผลที่ได้ชี้ว่าการระบายน้ำกลางฤดูปลูกเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดการปลดปล่อยก้าชเรือนกระจากนาข้าวอินทรีย์และแบบ GAP

การปลดปล่อยก้าชควรบอนได้ออกไซด์ในการปลูกข้าวรอบที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกันตลอดฤดู เพาะปลูกและมีค่าที่สูงขึ้นมากในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว ซึ่งเป็นเพรະการหยุดขั้นน้ำในนาทำให้มีการเติมออกซิเจนให้กับดิน จากนั้นการปลดปล่อยก้าชลดลงตามเวลาที่ความชื้นดินต่ำลงในช่วงพักนา ค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยและปริมาณก้าชควรบอนได้ออกไซด์ในช่วงปลูกข้าวและพักนาพบว่านา

อินทรีย์มีการปล่อยก๊าซที่สูงที่สุด นาเคมีและนาแบบ GAP มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการจัดการนำ้าไม่มีผลต่อการปล่อยก๊าซcarbon dioxide ได้อย่างดี

3. การกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าวรูปแบบต่าง ๆ

การบอนอินทรีย์ในดินนาที่ตรวจวัดโดยตรง

ปริมาณการบอนอินทรีย์ทั้งหมดและการบอนอินทรีย์รูปต่างๆ ในดินนาอินทรีย์มีค่าสูงกว่านาเคมีและนาแบบ GAP ซึ่งเกิดจากการสะสมของอินทรีย์ตั้งแต่ปัจจุบัน (ปัจจัยอินทรีย์) ที่ใส่ในนาอินทรีย์ต่อเนื่องกว่า 9 ปี โดยผลที่ได้ชี้ว่านาอินทรีย์สามารถกักเก็บการบอนในดินได้มากกว่านาเคมีและนาแบบ GAP ที่มีปริมาณการบอนอินทรีย์ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามไม่พบผลของการจัดการนำ้าที่มีต่อปริมาณการบอนอินทรีย์ในดินในรอบปีที่ศึกษา ซึ่งเป็นเพราะ (1) การเปลี่ยนแปลงปริมาณ SOC ต้องใช้เวลาที่ยาวนานหลายปี และ (2) การจัดการนำ้าส่งผลต่อปริมาณมวลชีวภาพที่คืนกลับสู่ดินนาไม่มากนัก

บัญชีการบอนทั้งหมดและบัญชีการบอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าว

การพิจารณาบัญชีการบอนทั้งหมดของการปลูกข้าวแต่ละรอบหรือในรอบ 1 ปี พบว่าทุกรูปแบบนามีการสะสมการบอนในระบบปลูก ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับบัญชีการบอนในดินที่พบว่าการปลูกข้าวช่วยสะสมการบอนในดิน ผลที่ได้ชี้ว่าต้นข้าวสามารถสะสมการบอนในมวลชีวภาพได้ดีและมวลชีวภาพที่ได้จากการบอนในดินที่ปลูกข้าวมีปริมาณที่มากกว่า เมื่อเทียบกับการสูญเสียการบอนจากพื้นที่ ทั้งนี้ยังพบว่านาอินทรีย์มีการสะสมการบอนได้ดีกว่านาเคมีและนาแบบ GAP เพราะเพิ่มปริมาณการบอนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนการจัดการนำ้ามีผลไม่มากนักต่อการสะสมการบอนในนา โดยพบว่านาที่มีการจัดการนำ้ามีค่าการสะสมการบอนใกล้เคียงกับนาที่ขังนำ้าตลอด ยกเว้นนาเคมีที่การจัดการนำ้า ทั้งนี้เป็นที่มาสังเกตว่านาแบบ GAP มีการสะสมการบอนทั้งหมดและในดินที่สูงกว่านาเคมี ซึ่งเป็นผลจากปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมดที่สูงกว่าของนาแบบ GAP แม้ว่ามีการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงกว่านาเคมีก็ตาม

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า GWP ของบัญชีการบอนในดินจากการปลูกข้าวแต่ละรอบหรือในรอบ 1 ปี พบว่าการปลูกข้าวมีค่า GWP สูตรที่แสดงว่าการปลูกข้าวก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในทุกรูปแบบนาที่ศึกษา โดยเป็นผลจากการปล่อยระหว่างปลูกข้าว ผลการศึกษานี้ยังแสดงว่ารูปแบบการปลูกข้าวและการจัดการนำ้าสามารถลดค่า GWP ในบัญชีการบอนในดินได้ โดยการปลูกข้าวแบบเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการจัดการนำ้า และการปลูกข้าวตามแบบเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ช่วยลดค่า GWP ได้

4. ผลสรุปในภาคสนาม

ผลจากการศึกษาในภาคสนามนี้สนับสนุนว่าการปลูกข้าวตามแนวเกษตรอินทรีย์และเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ส่งเสริมการกักเก็บการบอนในดินได้และมีผลต่อผลผลิตข้าวและผลเชิงเศรษฐศาสตร์ไม่มากนัก โดยเฉพาะนาอินทรีย์ที่ควรดำเนินการร่วมกับการระบายน้ำกลางฤดูปลูกซึ่งจะช่วยบรรเทาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ในขณะที่นาเคมีที่มีการจัดการนำ้าสามารถลดการปล่อย

ก้าวเรื่องจากจากพื้นที่ปลูกข้าวได้ดี แต่ไม่ช่วยสมควรบอนในดิน อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและผลตอบแทนการปลูกข้าว จึงควรศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนขึ้น

ผลการศึกษาจากแบบจำลอง DNDC

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวและการสะสมคาร์บอนในดินโดยใช้แบบจำลอง DNDC สรุปได้ว่านาเคมีทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงที่สุด (ในกรณีนาเคมีมีการจัดการน้ำ) และได้ผลผลิตจากการเพาะปลูกในปริมาณสูง แต่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเช่นกัน ส่วนนาอินทรีย์ให้ปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกับการทำนาแบบเดิม และมีปริมาณการสะสมอินทรีย์คาร์บอนลดลงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.06) แต่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 2 อิทธิพลของการจัดการน้ำแสดงให้เห็นชัดเจนในการจัดการทำนาแบบ GAP ซึ่งการจัดการน้ำทำให้การสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินลดลงประมาณร้อยละ 0.4 และผลผลิตลดลงร้อยละ 0.7 แต่ทำให้ค่า GWP_s สูงขึ้นร้อยละ 1.2

ผลจากการประเมินด้วยแบบจำลองให้ผลที่สอดคล้องกับข้อมูลภาคสนาม โดยชี้ให้เห็นว่านาอินทรีย์ที่มีการจัดการน้ำเป็นวิธีการจัดการนาที่เหมาะสมในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน (การสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในพื้นที่สูง) รักษาปริมาณผลผลิต และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม ส่วนนา GAP ไม่มีการจัดการน้ำเป็นอีกทางหนึ่งของการจัดการทำนาที่นำเสนอไปเนื่องจากให้ผลผลิตสูง (มากกว่าการทำนาเคมีแบบไม่มีการจัดการน้ำ) และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมได้มากเมื่อเทียบกับการทำนาแบบตั้งเดิม (นาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ)

ข้อเสนอรูปแบบการเกษตรในพื้นที่ปลูกข้าวที่เหมาะสมจากการศึกษา

ผลการศึกษานี้สนับสนุนว่าการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำและแนวทางเกษตรดีที่เหมาะสม เป็นแนวทางที่ดีในการบรรเทาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการสะสมคาร์บอนในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ:	RDG5230022
ชื่อโครงการ:	ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินตามหลักของการผลิตทางเกษตรดีที่เหมาะสม การผลิตเกษตรอินทรีย์และการจัดการน้ำในพื้นที่ป่าลูกข้าว
ชื่อผู้วิจัย:	ภัทรฯ เพ่งธรรมกิริต ¹ , ขยายพร วัฒนศิริ ² , เครือมาศ สมัครการ ³ , ตุลวิทย์ สถาปนารุ ¹ , ประไพบูลย์ ชัยรัตน์โนกร ¹
Email address:	fsciptp@ku.ac.th
ระยะเวลาโครงการ:	15 กันยายน 2552 – 14 พฤษภาคม 2554

งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่ป่าลูกข้าว โดยเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบนา (เกษตรอินทรีย์ เกษตรดีที่เหมาะสม และนาเคมีทั่วไป) ร่วมกับการจัดการน้ำ และดำเนินการศึกษาการปลูกข้าว 2 รอบ รวมเป็นเวลา 1 ปี ผลการศึกษาในภาคสนามพบว่านาอินทรีย์ส่งผลให้เกิดการลดปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงเพรากการใช้ปุ๋ย อินทรีย์ การลดปริมาณปุ๋ยและไก่กลบปุ๋ยลงดินในนาแบบ GAP ทำให้มีการปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์ที่ต่ำกว่านาเคมีและนาอินทรีย์ การจัดการน้ำที่มีการระบายน้ำกลางที่ดินป่าลูกมีผลช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ นาอินทรีย์ที่ระบายน้ำกลางที่ดินป่าลูกมีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนที่ใกล้เคียงกับนาเคมีทั่วไปและนาแบบ GAP แม้ว่าการระบายน้ำทำให้ก๊าซในตระสอกรไซด์ถูกปล่อยเพิ่มขึ้นสำหรับทุกรูปแบบนาที่ศึกษา รูปแบบนาที่มีการสะさまรับอนในดินได้ดีมีลำดับดังนี้ คือ นาอินทรีย์ > นาแบบ GAP > นาเคมี และมีผลมากกว่าการระบายน้ำกลางที่ดินป่าลูก ผลกระทบบัญชีcarbonในดินนี้สอดคล้องกับปริมาณcarbonอินทรีย์ในดินที่ได้จากการวัดจริงในพื้นที่ศึกษาที่พบว่านาอินทรีย์ที่ดำเนินการมากว่า 9 ปี มีปริมาณcarbonในดินสูงกว่านาที่ใช้ปุ๋ยเคมี คิดเป็นร้อยละ >21 ส่วนนาแบบ GAP มีการสะสมcarbonในดินที่มากกว่านาเคมี เพราะปริมาณมวลชีวภาพของต้นข้าวที่คงตัวในดินที่มากกว่านั้นเอง อย่างไรก็ตาม ค่า GWP ของบัญชีcarbonในดินนาที่ศึกษาแสดงว่าการปลูกข้าวในลักษณะนี้ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน แต่นาอินทรีย์ที่มีการจัดการน้ำและนาแบบ GAP ช่วยลดหรือให้ค่าที่ใกล้เคียงกับนาเคมีที่ขั้นนำตลอดได้ ผลจากการศึกษาในภาคสนามนี้สนับสนุนว่าการทำนาอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มการกักเก็บcarbonในดินได้และไม่มีผลต่อผลผลิตข้าว แต่ลดผลตอบแทนการปลูกข้าวบ้าง ส่วนการปลูกข้าวตามแนวเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ช่วยส่งเสริมการสะสมcarbonในดินได้มากกว่านาเคมีทั่วไปเล็กน้อย แต่ไม่มีผลมากนักต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้นาเคมีที่มีการจัดการน้ำสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพื้นที่ป่าลูกข้าวได้ แต่ไม่ช่วยสะสมcarbonในดิน อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและผลตอบแทนการปลูกข้าว จึงควรศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนขึ้น

ผลการประเมินด้วยแบบจำลอง DNDC แสดงว่านาเคมีที่ไม่จัดการนำทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงที่สุดและได้ผลผลิตจากการเพาะปลูกในปริมาณสูง แต่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สุด เช่นกัน ส่วนนาอินทรีย์ให้ปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกับการทำนาแบบเดิมและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 2 แต่มีปริมาณการสะสมอินทรีย์คาร์บอนลดลงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.06) อิทธิพลของการจัดการนำแสดงให้เห็นชัดเจนในการจัดการทำนาแบบ GAP ซึ่งการจัดการนำทำให้การสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินลดลงประมาณร้อยละ 0.4 และผลผลิตลดลงร้อยละ 0.7 แต่ทำให้ค่า GWPs สูงขึ้นร้อยละ 1.2 ทั้งนี้ผลจากการประเมินซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลภาคสนามชี้ให้เห็นว่านาอินทรีย์ซึ่งมีการจัดการนำเป็นวิธีการจัดการนาที่เหมาะสมในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน (การสะสมอินทรีย์คาร์บอนในพื้นที่สูง) รักษาปริมาณผลผลิต และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม ส่วนนา GAP ไม่มีการจัดการนำเป็นอีกทางหนึ่งของการจัดการนาที่นำสันใจเนื่องจากให้ผลผลิตสูง (มากกว่าการทำนาเคมีแบบไม่มีการจัดการนำ) และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมได้มากเมื่อเทียบกับการทำนาแบบดั้งเดิม (นาเคมีไม่มีการจัดการนำ)

คำหลัก: รูปแบบการเกษตร, แบบจำลอง DNDC, การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก, นาข้าว, การกักเก็บคาร์บอนในดิน, การจัดการนำ

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

³ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Abstract

Project Code:	RDG5230022
Project Title:	Potential on mitigating greenhouse gas emission and soil carbon sequestration by good agricultural practice, organic agriculture, and water management in paddy rice field
Investigator:	Patthra Penghamkeerati ¹ , Chayaporn Wattanasiri ² , Kruamas Smakgahn ³ , Tunlawit Satapanajaru ¹ , Prapaipid Chairattanamanokorn ¹
Email Address:	fsciptp@ku.ac.th
Project Duration:	15 September 2009 – 14 May 2011

This study aims to mitigation greenhouse gas (GHG) emission and enhancing soil carbon sequestration in paddy rice field by comparing different agricultural practices (organic farming practice, good agricultural practice [GAP] and chemical farming practice) with water management in two cropping seasons for 1 year. Results from field investigation showed that organic practice had a high methane emission, due to organic fertilizer application. Reducing chemical fertilizer rate and fertilizer incorporating into soil in GAP reduced nitrous oxide emission, compared to chemical and organic practices. But, water drainage increased nitrous oxide emission for all the studied agricultural practices. Practices that can store soil carbon were in an order of organic > GAP > chemical fields, and the effect of practices were more pronounced than water management. Result from soil carbon budget was in agreement with the soil organic carbon (SOC) measured in the field. Organic field with 9 years conversion showed a higher SOC (>21%) than chemical fields. In addition, GAP field had a greater soil C storage than chemical field, due to higher rice residue biomass. Despite global warming potential (GWP) from soil C budget indicated that all studied agricultural practices caused a global warming, organic practice with water management (OW) and GAP could reduced GWP value to be lower or closer to chemical practice with water management (CW). Field observations suggested that OW practice could mitigate GHG emission and promoting soil carbon sequestration with no effect on rice yield, but reduced investment return. GAP had a slightly higher soil C sequestration than chemical farming, but was not much reduced GHG emission. CW practice reduced GHG emission, but had adverse effects on soil C storage, rice yield and investment return, which needed further investigation for better understanding.

The DNDC model simulation showed that chemical practice with no water management (CC) provided the highest SOC and high rice yield, but resulted in highest GHG emission. In comparison with the CC practice, organic practice also had a high yield as chemical practice and reduced GHG emission by 2%, but slightly decreased SOC (0.06%). The water management effect was considerably observed in GAP with water management (GW) by decreasing SOC (0.4%) and rice yield, (0.7%) and enhancing GWP_s (1.2%), when compared with GAP with no water management (GC). The results from model simulation agreed with field observation data and suggested organic rice production with water management is the best option for SOC stock in rice soil, remain high rice grain yield, and mitigate greenhouse gases emission. In addition, GAP rice production can be able apply as the second candidate for greenhouse gases mitigation with remain rice grain yield when compared to conventional rice production.

Keywords: Agricultural practices, DNDC model, GHG mitigation, paddy rice field, soil carbon sequestration, water management

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Science, Kasetsart University

² School of Agricultural Exsention and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat Open University

³ Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University

เนื้อหางานวิจัย

ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินตามหลักของการผลิตทางเกษตรดีที่เหมาะสม การผลิตเกษตรอินทรีย์ และการจัดการน้ำในพื้นที่ป่าลูกข้าว

ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ความเคลื่อนไหวของภาคเกษตรกรรมในข้อตกลงฉบับใหม่หลังปี ค.ศ. 2012

ในเวทีการประชุมระหว่างประเทศเพื่อจัดทำกติกาใหม่ในการจัดการสภาพภูมิอากาศหลังปี ค.ศ. 2012 ภาคเกษตรกรรมได้รับความสำคัญในประเด็นเรื่องความมั่นคงทางอาหาร (food security) และการบรรเทาความยากจน (poverty reductions) รวมถึงประเด็นเรื่องการเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจะมีการพิจารณาจัดเป็นหัวข้อเรื่องการกำหนดเป็นแหล่งลดก๊าซเรือนกระจก ขณะเดียวกันหัวข้อเรื่องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยมี 2 เรื่องที่มีความเกี่ยวโยงกับภาคเกษตรกรรม คือ เรื่องการดำเนินงานเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศ (Nationally appropriate mitigation actions by developing countries หรือ NAMAs) ที่เป็นประเด็นการเสนอให้พิจารณาบทบาทของภาคเกษตรกรรมในการลดก๊าซเรือนกระจกและการกักเก็บคาร์บอน และเรื่องการลดก๊าซเรือนกระจกรายสาขา (Cooperative sectoral approach and sector-specific actions) ที่กล่าวถึงการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการลดก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตรกรรม

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรกรรมของไทยและความเป็นไปได้ในการลดก๊าซเรือนกระจกของนาข้าว

ภาคเกษตรกรรมมีบทบาทที่ซับซ้อนต่อการเกิดภาวะโลกร้อนโดยเป็นทั้งแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแหล่งเก็บสะสมcarbon ซึ่งปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของโลกมีปริมาณร้อยละ 10-12 และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรและความต้องการอาหารที่สูงขึ้น ส่วนของไทยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณร้อยละ 24 (ข้อมูลปี 2546) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ประมาณร้อยละ 60 และ 88 ของปริมาณการปล่อย CH_4 และ N_2O ทั้งหมด และนาข้าวเป็นแหล่งปล่อย CH_4 และ N_2O ที่สำคัญของภาคเกษตรกรรมเป็นร้อยละ 82 และ 92 ของปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4 และ N_2O ของภาคการผลิตนี้ (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2006; Chidthaisong, 2008)

แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวสามารถดำเนินการได้ 2 ทางคือ (1) ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว และ (2) กักเก็บcarbon ในดิน ในปัจจุบันมีการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางจัดการที่เหมาะสมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว เช่น การจัดการน้ำ การเลือกชนิดปุ๋ยเคมีและช่วงเวลาการใส่ปุ๋ย การใส่สารอินทรีย์หรือปุ๋ยอินทรีย์ การทึบฟางหรือตอซังในนาข้าว เป็น

ตัน ซึ่งพบว่าการกำหนดกิจกรรมการเกษตรข้างต้นที่เหมาะสมจะช่วยลดการปล่อย CH₄ จากนาข้าวได้ ซึ่งแนวทางหนึ่งที่ได้รับการเสนอโดย UNFCCC (Smith et al., 2007) และ The International Food Policy Research Institute (IFPRI, 2009) คือ การจัดการน้ำในนาข้าวโดยการลดระยะเวลาการขังน้ำ โดยเฉพาะ mid-season drainage ที่สามารถลดการปล่อย CH₄ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ก็มีความเสี่ยงที่ระหว่างน้ำแห้ง สภาพที่มีออกซิเจนเพิ่มขึ้นของดินนาจะส่งเสริมกระบวนการในตริฟิเคลชั่นและดีไนตริฟิเคลชั่นที่มีบทบาทในการเพิ่มการปล่อย N₂O ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของไทยโดย Towprayoon et al. (2005) พบว่าการจัดการน้ำ (การระบายน้ำระหว่างการเพาะปลูกและการลดระยะเวลาขังน้ำ) ช่วยลดการปล่อย CH₄ ในนาข้าวได้ดี แต่ช่วงหลังระบายน้ำและช่วงแรกของการขังน้ำใหม่ พบว่า N₂O ถูกปล่อยออกมากขึ้น นอกจากนี้มีงานศึกษาถึงผลของการเติมวัสดุอินทรีย์ เช่น พาง ตอซัง ปุ๋ยอินทรีย์ ที่พบว่าวัสดุอินทรีย์มีบทบาทในการส่งเสริมการปล่อย CH₄ ในอัตราที่สูงขึ้น เนื่องจากวัสดุอินทรีย์เหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ที่ผลิต CH₄ (methanogen) นั่นเอง van Denier der Gon and Neue (1995) พบว่าปุ๋ยพืชสดเพิ่มการปล่อย CH₄ เมื่อเทียบกับการใส่พางข้าว และการไถกลบพางข้าวส่งเสริมการปล่อย CH₄ มากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยเคมี (Yagi and Minami, 1990) แต่มีงานศึกษาที่พบว่าการเติมปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (แอมโมเนียมซัลเฟต) ช่วยลดการปล่อย CH₄ และค่าอัตราส่วนการปล่อย CH₄ ต่อผลผลิตข้าวเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์หรือปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (มนตรีและคณะ, 2548)

งานวิจัยในระยะหลังมีการศึกษาถึงความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าวว่านาข้าวมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะปลูกพืชไรซ์nidอิน หรือ เทียบกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) เริ่มต้น (Huang et al., 2010; Sahrawat et al., 2005; Zhang et al., 2007) นอกจากนี้กิจกรรมการเกษตรเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินด้วย เช่น แปลงนาที่ได้รับปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ (farmyard manure) ต่อเนื่องเป็นเวลานานมีปริมาณ SOC ที่เพิ่มได้ดี นอกจากการจัดการนาข้าวให้เหมาะสมจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนได้แล้ว มีงานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) พบว่า แปลงนาที่ลดเวลาขังน้ำร่วมกับการทิ้งพางข้าวในนา มีการสูญเสียคาร์บอนจากระบบที่ต่ำกว่าแปลงนาที่มีน้ำท่วมขังตลอดการเพาะปลูกและนำพางข้าวออกจากแปลง

การประชุมในเวทีเจ้าโลกร้อนมีการเสนอประเด็นให้พิจารณาบทบาทของภาคเกษตรกรรมในการลดก๊าซเรือนกระจกและการกักเก็บคาร์บอนในการดำเนินงานเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศ โดยให้การส่งเสริมการทำเกษตรในรูปแบบของเกษตรยั่งยืน (sustainable agriculture) ซึ่งมีวิธีดำเนินการหลายรูปแบบ เช่น เกษตรเชิงอนุรักษ์ (conservation agriculture) เกษตรอินทรีย์ (organic agriculture) และการเกษตรดีที่เหมาะสม (good agricultural practice; GAP) เกษตรยั่งยืนมีแนวทางการดำเนินการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน การลดการไถพรวนดินทำให้โครงสร้างดินอยู่ในสภาพที่ดีต่อการเติบโตของจุลินทรีย์และพืช การจัดการที่ดีของเศษวัสดุการเกษตร (ไม่เผาตอซังและเศษพืชในพื้นที่ปลูก) การปรับปรุงระบบการปลูกพืช (เช่น การปลูกพืชแซม การปลูกพืชคลุมดิน) การลดการใช้ปุ๋ยและสารเคมี เป็นต้น โดยการเกษตรเหล่านี้ยังเป็นแนวทาง

ที่มีศักยภาพที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้บนพื้นที่เกษตรเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการกักเก็บคาร์บอนสู่ดิน ซึ่งมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการเกษตรเชิงอนุรักษ์มีบทบาทในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและยังช่วยกักเก็บคาร์บอนในดินในรูปของอินทรีย้วัตถุในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยทั่วไปในระยะ 10 ปีแรกของการทำเกษตรตามแนวทางเกษตรเชิงอนุรักษ์ ดินจะสามารถกักเก็บคาร์บอนได้กว่า 1.8 ตัน CO₂ ต่อเฮกเตอร์ ต่อปี (Conservation Agriculture Carbon Offset Consultation, 2008)

ประเทศไทยได้ส่งเสริมให้การเกษตรอินทรีย์เป็นวาระแห่งชาติพร้อมส่งเสริมการเกษตรดีที่เหมาะสมเมื่อปี พ.ศ. 2547 เพื่อสนับสนุนแนวทางการผลิตอาหารปลอดภัยโดยได้มีการรณรงค์การเกษตรเชิงอนุรักษ์ของภาครัฐทำให้เพิ่มพื้นที่เกษตรในลักษณะนี้และมีข้อมูลพื้นที่เกษตรที่เป็นระบบยิ่งขึ้น ดังนั้นการส่งเสริมการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยใช้แนวทางเกษตรเหล่านี้สามารถวางแผนการดำเนินงานระยะสั้นและระยะปานกลางและมีศักยภาพเชิงต้นทุนได้เมื่อเบรียบเที่ยบกับวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกเชิงเทคโนโลยี เช่น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งจำเป็นต้องวิจัยและพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางการจัดการในระยะยาว

แนวคิดของงานศึกษา

การปรับวิธีการจัดการเกษตรในแนวทางเกษตรอินทรีย์และเกษตรดีที่เหมาะสมในพื้นที่นาข้าว น่าจะมีความเป็นไปได้ในการลดก๊าซเรือนกระจก โดยเป็นแนวทางที่ส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนจากการใส่วัสดุอินทรีย์ และหากดำเนินการร่วมกับการจัดการน้ำจะยิ่งช่วยบรรเทาการปล่อยก๊าซ CH₄ จากนาข้าวได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้น การใช้พื้นที่นาข้าวเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงมีศักยภาพสูงโดยเฉพาะพื้นที่เกษตรของไทยที่ส่วนใหญ่เป็นนาข้าว โครงการวิจัยนี้จึงเสนอการศึกษาศักยภาพของ การกักเก็บคาร์บอนและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้เพื่อเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ ประกอบการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจกที่ไทยสามารถดำเนินงานได้โดยศักยภาพและการเงินได้เองให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล การพัฒนาแนวคิดเรื่องcarbon เครดิตจากภาคเกษตร และการพัฒนาแนวโน้มรายสั่งเสริมการปลูกข้าวที่ผลิตคาร์บอนต่ำ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากผู้ดิน ต้นทุนการผลิต และผลผลิตข้าวจากพื้นที่ปลูกข้าวในรูปแบบวิธีการจัดการเกษตรแบบต่างๆ คือ เกษตรดีที่เหมาะสม เกษตรอินทรีย์ การจัดการน้ำ และการทำนาแบบตั้งเดิมในระดับแปลงนา
- เพื่อคาดการณ์ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ในอนาคต (20 ปี) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระดับพื้นที่

สถานการณ์และข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการเพาะปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์และเกษตรดีที่เหมาะสม

เนื้อที่เพาะปลูกข้าวในประเทศไทยในปี 2550 มีเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 66,681,000 ไร่ มีผลผลิตประมาณ 32,099 ตันต่อปี และมีผลผลิตต่อไร่ประมาณ 481 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศไทยต่างๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวเป็นอันดับต้นๆ ของภูมิภาค (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008 และจากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) โดยแบ่งการปลูกข้าวเป็นการปลูกข้าวแบบนาปี และนาปรัง สำหรับข้าวนาปีเป็นที่นิยมเพาะปลูก โดยมีพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศในปี 2550 อยู่ที่ 57.42 ล้านไร่ ได้ผลผลิต 23.39 ล้านตันข้าวเปลือก นอกจากนี้เป็นการปลูกข้าวนานาปรัง 9.91 ล้านไร่ ได้ผลผลิต 6.79 ล้านตันข้าวเปลือก ในพื้นที่ศึกษาคือจังหวัดฉะเชิงเทรา มีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณร้อยละ 51 ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมด โดยเป็นพื้นที่ปลูกข้าวนานาปีสูงถึง 839,908 ไร่ และมีพื้นที่ปลูกข้าวนานาปรังประมาณ 359,803 ไร่

เกษตรอินทรีย์

เกษตรอินทรีย์ (Organic agriculture) หมายถึงระบบการผลิตที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช และ เป็นระบบที่ปฏิบัติตามเงื่อนไขในมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท., 2548) โดยมาตรฐานเกษตรอินทรีย์นั้น เป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้นโดยคณะกรรมการมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) ตามแนวทางมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ขั้นต่ำของสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federation of Organic Agriculture Movement หรือ IFOAM) โดยมีมาตรฐานครอบคลุมในเรื่องการผลิตพืชอินทรีย์ การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูป ผลิตภัณฑ์อินทรีย์ การเก็บผลผลิตจากธรรมชาติ การผลิตปัจจัยการผลิตเพื่อการค้า การเพาะเลี้ยงสัตว์นำอินทรีย์ และรายการอาหารอินทรีย์

นอกจากนี้เกษตรอินทรีย์หมายรวมถึงเกษตรธรรมชาติและเกษตรนิเวศน์ โดยมีหลักการและความมุ่งหมายที่สำคัญดังนี้

- (1) พัฒนาระบบการผลิตไปสู่แนวทางเกษตรผสมผสานที่มีความหลากหลายของพืชและสัตว์
- (2) พัฒนาระบบการผลิตที่พึ่งพาตนเองในเรื่องของอินทรีย์วัตถุและชาตุอาหารในฟาร์มหรือในแปลงการผลิต
- (3) พื้นฟูและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติ โดยใช้ทรัพยากรในฟาร์มมาหมุนเวียนให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- (4) รักษาความสมดุลของระบบนิเวศน์ในฟาร์มและความยั่งยืนของระบบนิเวศน์โดยรวม
- (5) ป้องกันเหล็กเลี้ยงการปฏิบัติที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- (6) สนับสนุนระบบการผลิตและกระบวนการจัดการทุกขั้นตอนที่คำนึงถึงหลักมนุษยธรรม
- (7) ยึดหลักการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปที่เป็นวิธีการทำงานชุมชน ประยุกต์พลังงานและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

การปลูกข้าวแบบเกษตรอินทรีย์ (วิธีรี, 2545)

การทำนาอินทรีย์ใช้หลักการตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ทั่วไป โดยมีขั้นตอนหลักก่อนการเก็บเกี่ยวของนาอินทรีย์ดังนี้

- การเตรียมแปลงปลูกและการตากล้า

การเตรียมแปลงปลูกข้าวตามวิธีการเกษตรอินทรีย์ มีขั้นตอน ดังนี้

- 1) **การไถดะ** เป็นการเตรียมดินก่อนการปลูกข้าว และเตรียมดินสำหรับการปลูกพืชเป็นปุ๋ยพืชสด โดยทำการไถกลบฟาง ปุ๋ยคอก (ได้จากมูลวัว ควาย หรือ หมู) ปุ๋ยหมักที่ส่องในแปลงนา และวัชพืช วิธีการนี้ยังเป็นการกำจัดวัชพืชที่เจริญเติบโตในช่วงฤดูแล้ง (หลังการเก็บเกี่ยว) อีกด้วย โดยช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการไถดะคือเมื่อเริ่มมีฝนตก และดินมีความชื้นลึกประมาณ 15-20 ซม. อย่างไรก็ตามถ้าหากต้องการกำจัดวัชพืชเมื่อไถดะแล้วต้องขังน้ำสูง 5-10 ซม. ในแปลงนานาประมาน 14 วัน เพื่อให้เศษวัชพืชหรือฟางเน่าเปื่อย
- 2) **การปลูกพืชเพื่อทำปุ๋ยพืชสด และการไถกลบพืช ก่อนการปลูกข้าว** เป็นการปลูกพืชคลุมดินไม่ให้หน้าดินแห้งจนเกินไปและเป็นการปรับปรุงดิน โดยเฉพาะเมื่อใช้พืชตระกูลตัว เช่น ถั่วเขียว หรือ ถั่วพร้า เป็นปุ๋ยพืชสด เพราะสามารถตั้งร่องในโตรเจนจากอากาศได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินโดยการไถกลบเศษชาดพืชที่ปลูกเป็นปุ๋ยพืชสด ซึ่งชาดพืชนี้จะย่อยสลายเป็นอิฐมัสให้แก่ดิน หลังจากปลูกแล้วจะทำการไถกลบเพื่อตัดพันพืชสดให้ชาดพืชย่อยสลายเร็วขึ้น และเป็นการกำจัดวัชพืชบางส่วนที่อาจหลงเหลือจากการไถดะครั้งแรก โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการไถกลบคือช่วงที่พืชออกดอกได้ร้อยละ 50 เพราะเป็นช่วงที่พืชมีปริมาณในโตรเจนสูงสุด หลังจากการไถกลบควรทำให้ดินชุ่มน้ำอยู่ตลอดเวลา โดยขังน้ำ 1 คืน และ ปล่อยน้ำออก กิ้งไว้ 10 วัน การหมักชาดพืชสดจะใช้เวลา 15-20 วัน
- 3) **การไถแปร และ การคราด** มีจุดประสงค์เพื่อให้ดินร่วนซุยและย่อยก้อนดินให้มีขนาดเล็กลงรวมทั้งเป็นการกำจัดวัชพืช ป้องกันไม่ให้วัชพืชเกิดขึ้นเร็ว ทั้งยังเป็นการปรับพื้นที่ดินในแปลงนาให้เรียบสม่ำเสมอ กัน ทำให้การปักดำได้สะดวกขึ้น
- 4) **เทคนิคการเตรียมแปลงตากล้า** เป็นการเตรียมต้นกล้าสำหรับการปักดำ โดยแปลงต้นกล้าควรเป็นแปลงที่มีแสงแดดสม่ำเสมอ ไม่มีความมีร่มเงา เป็นแปลงที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีการใช้ในการเพาะปลูกทุกปี นอกจากนี้ควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำ มีการระบายน้ำเข้าออกได้ดี

- การเตรียมพันธุ์ข้าวและการปลูกข้าว มีขั้นตอนหลัก ดังนี้

- 1) การเตรียมพันธุ์ข้าวสำหรับตากล้า เป็นการเตรียมพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพไปปลูก จากเมล็ดข้าวที่คัดพันธุ์ไว้ก่อนล่วงหน้า โดยห้ามใช้เมล็ดพันธุ์ที่คลุกราดเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างเด็ดขาด โดยจะนำเมล็ดพันธุ์ข้าวนั่นมาแซ่น้ำ (หรือหมักข้าว) จากนั้นนำไปห่วงแห้ง คือการห่วงในช่วงไม่มีน้ำแต่ดินยังมีความชื้นอยู่บ้าง โดยหลังห่วงกว่าเมล็ดข้าวจะต้องใช้กิ่งไม้หรือวัสดุที่มีน้ำหนักมากลึงทับเมล็ดข้าวที่ห่วงเพื่อให้ข้าวได้รับความชื้นจากดิน
- 2) การตากล้าและการดูแล เป็นการปลูกต้นกล้าสำหรับเตรียมไปดำเนิน โดยหลังจากการห่วงให้ขังน้ำไว้ 1 คืน แล้วค่อยระบายน้ำออกเพื่อป้องกันการระจูกตัวของต้นกล้า และต้องมีการจัดการดินให้ดินแตกตะกอนก่อนการห่วงและอย่าให้ดินแข็งจนเกินไป เพื่อให้เมล็ดข้าวไม่ผงลึกและง่ายต่อการถอนต้นกล้า เมื่อต้นกล้า長อกได้ 7 วัน หรือสูงประมาณ 7-10 ซม. ควรปล่อยน้ำเข้าแปลงนาให้สูงเกือบทั่วอยอดเพื่อให้ต้นกล้ายึดตัว
- 3) การถอนกล้าและการเตรียมกล้า ต้นกล้าที่萌芽นำไปดำเนินมีอายุประมาณ 30 วัน สูงประมาณ 40 ซม. สีเขียวตลอดต้น มีใบประมาณ 5-6 ใบ ต้นเดี่ยว ก้านใบสั้น มีรากมากและมีขนาดใหญ่ ก่อนนำกล้าไปปักดำควรมีการตัดปลายใบให้กล้ามีความยาวประมาณ 5-10 ซม. เพื่อลดการติดโรค
- 4) การปักดำ เป็นการปลูกต้นกล้าในแปลงนา ก่อนการปักดำ 1 สัปดาห์ควรปล่อยน้ำเข้าสู่แปลง เพื่อให้ดินนุ่ม และเมื่อปักดำไปแล้วอาจจะให้มีการระบายน้ำออกให้เหลือประมาณ 10 ซม. โดยระยะห่างของการปักดำควรจะอยู่ที่ 25×25 ซม. หรือ 30×30 ซม. ขึ้นอยู่กับพื้นที่ และควรปักดำให้รากจะประมาณ 2-3 ซม. และปักให้เสียง โดยให้ปลายไปตามทิศทางลง ทำมุมประมาณ 60 องศาจากพื้นดิน
- 5) การทำนาห่วง เป็นการปลูกข้าวในกรณีที่ฝนไม่ตกตามฤดูกาล การทำนาห่วงต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่มีรากพืชมากและต้องมีฟางข้าวเพียงพอสำหรับคลุมแปลงนา

- การจัดการน้ำ

เป็นการควบคุมให้น้ำเพียงพอสำหรับการปลูกข้าว และป้องกันน้ำที่ปนเปื้อนสารเคมีจากแปลงนาข้างเคียง รวมถึงเป็นการควบคุมรากพืชและศัตรูข้าว โดยควรมีการทำคันดีที่สูงที่น้อยกว่า 1 เมตร และมีการควบคุมระดับน้ำในแปลงนาในแต่ละช่วงอายุของต้นข้าว ถ้าเป็นไปได้ควรปลูกไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นบนคันนา เพื่อเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ

- การจัดการวัชพืช

เพื่อป้องกันและควบคุมศัตรูพืชให้อยู่ในระดับที่ไม่แข่งขันกับต้นข้าวและลดภัยในการเก็บเกี่ยว โดยมีหลักการสำคัญคือห้ามใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชทุกชนิดในแปลงนาหรือคันดินข้างแปลงนา แต่ให้ใช้วิธีเขตกรรม (การไถ การปลูก และการควบคุมระดับน้ำ) และการคุ้มฟาง

- การจัดการศัตรูพืช

เพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืชไม่ให้ทำลายต้นข้าวและผลผลิตในระดับที่ ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ โดยมีหลักการสำคัญดังนี้คือ ห้ามใช้สารเคมีสังเคราะห์ทุกชนิดหากมีความจำเป็นอนุญาตให้ใช้สารสกัดจากพืช เช่น สะเดา ข้าว ตะไคร้หอม ใบแคนฟร์ง เป็นต้น รักษาสมดุลนิเวศทางการเกษตรและเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพโดยส่งเสริมการเผยแพร่ขยายปริมาณของแมลงที่มีประโยชน์ เช่น ตัวहा ตัวเบียน และศัตรูธรรมชาติ เพื่อช่วยควบคุมแมลงและสัตว์ศัตรูข้าว การปลูกพืชขับไล่แมลงบกคันนา เช่น ตะไคร้หอม การปฏิบัติต้านเขตรรม เช่น การเตรียมแปลง กำหนดช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสมใช้อัตราเมล็ดและระยะปลูกที่เหมาะสม การปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อตัดวงจรการระบาดของโรค แมลง และสัตว์ศัตรูข้าว การรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสมดุล การทำให้ต้นข้าวแข็งแรง เช่นใช้ข้าวพันธุ์ต้านทาน เพื่อให้สามารถต้านทานโรคและแมลงได้ ใช้วิธีกล เช่น ใช้แสงไฟล่อ ใช้กับดัก ใช้กาวนหนีียว หรือสมุนไพรในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช ศึกษาดูว่าในระบบนิเวศน์น้ำข้าวมีสิ่งมีชีวิตชนิดใดที่เป็นประโยชน์หรือเป็นโทษอะไรบ้างและสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีวงศ์ต่อย่างไร เพื่อจะได้สร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งปรับปรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุเพื่อให้ต้นข้าวแข็งแรง

- การใช้ปุ๋ยอินทรีย์

ในการทำการเกษตรอินทรีย์ควรหลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยเคมีสังเคราะห์ทุกชนิด และพยายามแสวงหาปุ๋ยอินทรีย์จากการธรรมชาติมาใช้อย่างสม่ำเสมอ แต่เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ธรรมชาติแบบทุกชนิดมีความเข้มข้นของธาตุอาหารค่อนข้างจำกัดจึงต้องใช้ในปริมาณที่สูงมาก และอาจมีไม่พอเพียง สำหรับการปลูกข้าวอินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์จากการธรรมชาติที่ควรใช้ อาทิ เช่น

- ปุ๋ยกอกหรือปุ๋ยมูลสัตว์ ได้แก่มูลสัตว์ต่างๆ ซึ่งอาจนำมาจากภายนอก หรือจัดการผลิตขึ้นในบริเวณไร่นา นอกจากนี้ห้องนาในชนบทหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวแล้วมักจะปล่อยให้เป็นที่เลี้ยงสัตว์ โดยให้แทะเล้มตอซังและหญ้าต่างๆ มูลสัตว์ที่ถ่ายออกมานำไปปนกับเศษชากรืച

- ปุ๋ยหมัก ควรจัดทำในพื้นที่นาหรือบริเวณที่อยู่ไม่ห่างจากแปลงนามากนัก เพื่อความสะดวกในการใช้ โดยควรใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมักเพื่อช่วยการย่อยสลายได้เร็วขึ้น และเก็บรักษาให้ถูกต้องเพื่อลดการสูญเสียธาตุอาหาร

- ปุ๋ยพืชสด ควรเลือกชนิดที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ควรปลูกก่อนการปักดำข้าวในระยะเวลาพอสมควร เพื่อให้ต้นปุ๋ยพืชสดมีช่วงการเจริญเติบโตเพียงพอที่จะผลิตมวลพืชสดได้มากและมีความเข้มข้นของธาตุในโตรเจนสูงและไตกลบตันปุ๋ยพืชสดก่อนการปลูกข้าว ตามกำหนดเวลา เช่น โสนอพริกัน (*Sesbania rostrata*) ควรปลูกก่อนปักดำข้าวประมาณ 70 วัน โดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ประมาณ 7 กิโลกรัมต่อไร่ หากจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสช่วยเร่งการเจริญเติบโต โดยแนะนำให้ใช้หินฟอสเฟตบดละเอียดใส่ตอนเตรียมดินปลูก แล้วไถกลบต้นโสนขณะมีอายุประมาณ 50-55 วัน หรือก่อนการปักดำข้าวประมาณ 15 วัน

- การใช้อินทรีย์วัตถุบางอย่างทดแทนปุ๋ยเคมี

ถ้าจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินข้างต้นแล้วยังพบว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ไม่เพียงพอหรือขาดธาตุอาหารที่สำคัญบางชนิดไป สามารถนำอินทรีย์วัตถุจากธรรมชาติต่อไปนี้ทดแทนปุ๋ยเคมีบางชนิดได้คือ แหล่งราชุในโตรเจน: เช่น แหنแดง สาหร่ายสีน้ำเงินแกรมเขียว กาลเมล็ดสะเดา เลือดสัตว์แห้ง กระดูกป่น เป็นต้น แหล่งราชุฟอสฟอรัส: เช่น หินฟอสเฟต กระดูกป่น นูลไก่ นูลคำงดาว กาลเมล็ดพีช ขี้เต้าไม้ สาหร่ายทะเล เป็นต้น แหล่งราชุโพแทสเซียม: เช่น ขี้เต้า และหินปูนบางชนิด แหล่งราชุแคลเซียม: เช่น ปูนขาว โดโลไมท์ เปลือกหอยป่น กระดูกป่น เป็นต้น

- การจัดการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว

เก็บเกี่ยวหลังข้าวออกดอก ประมาณ 30 วัน สังเกตจากเมล็ดในรวงข้าวส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นสีฟาง เรียกว่าระยะข้าวผลับพึง การตากข้าวเมล็ดข้าวมีความชื้นประมาณร้อยละ 18–24 จำเป็นต้องลดความชื้นลงให้เหลือร้อยละ 14 หรือต่ำกว่า เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปแปรสภาพ หรือเก็บรักษา และมีคุณภาพการสืด การตากข้าวแบ่งออกเป็น 2 วิธี

- ตากเมล็ดข้าวเปลือกที่นวดจากเครื่องเกี่ยววด โดยเกลี่ยให้มีความหนาประมาณ 5 ซม. ในสภาพที่แดดรัศมีเป็นเวลา 1-2 วัน หมั่นพลิกกลับเมล็ดข้าวประมาณวันละ 3-4 ครั้ง นอกจากการตากเมล็ดบนลานแล้วสามารถตากเมล็ดข้าวเปลือก โดยการบรรจุกระสอบขนาดบรรจุ 40 – 60 กิโลกรัม ตากแดดเป็นเวลา 5 – 9 วัน และพลิกกระสอบวันละ 2 ครั้ง จะช่วยลดความชื้นในเมล็ดได้ประมาณร้อยละ 14

- การตากฟอนข้าวแบบสุ่มซังในนา หรือแขวนประมาณ 2-3 แดด อย่าให้เมล็ดข้าวเปียกน้ำ หรือเปื้อนโคลน

- การเก็บรักษาผลผลิต

ก่อนนำเมล็ดข้าวไปเก็บรักษา ควรลดความชื้นให้ต่ำกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาด้วยวิธีจัดสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม เป็นต้นว่า เก็บในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ การใช้ภาชนะเก็บที่มีดีไซด์หรืออาจใช้เทคนิคการใช้ก้าชาร์บอนไดออกไซด์ ในการเก็บรักษา การเก็บในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำจะป้องกันการเจริญเติบโตของโรคและแมลงได้

- การบรรจุหีบห่อ

ควรบรรจุในถุงขนาดเล็กตั้งแต่ 1 กิโลกรัมถึง 5 กิโลกรัม โดยใช้วิธีอัดก้าชาร์บอนไดออกไซด์หรือก้าชเฉื่อย หรือเก็บในสภาพสูญญากาศ

การเกษตรดีที่เหมาะสม (Good Agricultural Practice, GAP) (กรรมการข้าว, มปป.)

ความหมายโดยทั่วไป

การเกษตรดีที่เหมาะสมหรือเกษตรกรรมภายใต้ระบบการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี เป็นเกษตรกรรมที่เน้นการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีให้ได้มาตรฐานทั้งในด้านการผลิตและผลิตผล เพื่อนำไปสู่มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ และเพื่อส่งเสริมความเชื่อมั่นในสินค้าทางการเกษตรโดยครอบคลุมดังนี้

1. มีการจัดสุขาลักษณะของฟาร์ม
2. มีการจัดการเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการเกษตร
3. มีการจัดการปัจจัยทางการผลิต
4. มีการปฏิบัติและควบคุมการผลิต
5. มีการบันทึกและควบคุมเอกสาร

การทำราูปแบบเกษตรดีที่เหมาะสม ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้นโยบายคุณภาพข้าวของกรรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ว่า “เราจะผลิตข้าวเปลือกที่มีคุณภาพและได้มาตรฐานเป็นที่พึงพอใจของคุ้มค่าและผู้บริโภค” โดยเป็นระบบการทำเกษตรที่มีการจัดการตั้งแต่การเตรียมพื้นที่ การเพาะปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังเก็บเกี่ยว ซึ่งเกษตรกรต้องมีการบันทึกการปฏิบัติงานทุกขั้นตอน กรมวิชาการเกษตรได้ให้ความหมายของคำว่า “เกษตรดีที่เหมาะสม” โดยมีความหมายว่า เป็นแนวทางปฏิบัติในการทำการเกษตรกรรม เพื่อให้ได้ผลผลิตคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของตลาด ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ให้ผลผลิตคุ้มค่าการลงทุน กระบวนการผลิตปลอดภัย ต่อเกษตรกร ผลผลิตที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดสามารถตรวจสอบและสอบทานได้ เกิดความยั่งยืนทางการเกษตร และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นและสิ่งแวดล้อม

การปลูกข้าวตามแนวทางการเกษตรดีที่เหมาะสม

มาตรฐานสินค้าทางการเกษตรและอาหารแห่งชาตินี้ ครอบคลุมการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี สำหรับการผลิตข้าวที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza Sativa L.* อุํญในวงศ์ *Gramineae* หรือ *Ooaceae* ในทุกขั้นตอนการผลิตที่ดำเนินการโดยเกษตรกร โดยการทำแบบ GAP จะใกล้เคียงกับการทำตามที่ทั่วไป ทั้งทางด้านการเตรียมแปลง การไถ การปลูกต้นกล้า การปักชำ การหว่าน แต่จะมีหลักเกณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้น เกณฑ์ที่กำหนดหลักของนา GAP ก่อนการเก็บเกี่ยว มีดังนี้

- แหล่งน้ำ

นำที่ใช้ต้องได้จากแหล่งที่ไม่มีสภาพแวดล้อมซึ่งก่อให้เกิดการปนเปื้อนน้ำตุ้นตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

- พื้นที่ปลูก

ต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่มีวัตถุอันตรายที่จะทำให้เกิดการตกค้างหรือปนเปื้อนในข้าว

- การใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร

ให้ใช้ตามคำแนะนำของกรรมการข้าวหรือกรรมวิชาการเกษตร และคำแนะนำในฉลากที่ขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องกับกรรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ห้ามใช้วัตถุอันตรายที่ระบุในทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรที่ห้ามใช้ และในกรณีที่ผลิตเพื่อการส่งออก ห้ามใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรที่ประเทศคู่ค้าห้ามใช้

- การจัดการคุณภาพการผลิตก่อนการเก็บเกี่ยว

การผลิตเพื่อให้ได้ข้าวเปลือกตรงตามพันธุ์ ข้าวเปลือกต้องมีคุณภาพดังนี้ กลุ่มนาข้าวทั่วไป มีข้าวพันธุ์อื่น ปนได้ไม่เกินร้อยละ 5 ในจำนวนนี้มีเมล็ดข้าวแดงปนได้ไม่เกินร้อยละ 2 กลุ่มข้าวหอมมะลิ มีข้าวพันธุ์อื่น ปนได้ไม่เกินร้อยละ 2 ในจำนวนนี้มีเมล็ดข้าวแดงปนได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยพิจารณาจากการเลือกเมล็ดที่มีคุณภาพตรงตามพันธุ์และมาจากแหล่งผลิตที่เชื่อถือได้ และการจัดการการปลูกและดูแลเพื่อลดปริมาณข้าวเรือและข้าวพันธุ์อื่นที่ปน ต้องมีการบันทึกข้อมูล

จำนวนต้นข้าวในแปลง กลุ่มนาข้าวทั่วไป จำนวนต้นข้าวพันธุ์อื่นปนที่ยอมให้มีได้ไม่เกินร้อยละ 3 กลุ่มข้าวหอมมะลิ จำนวนต้นข้าวพันธุ์อื่น ปนที่ยอมให้มีได้ไม่เกินร้อยละ 2

- การป้องกัน การกำจัดศัตรูพืช และความเสียหายของผลผลิตจากศัตรูพืช

สำรวจการเข้าทำลายของศัตรูพืชที่มีผลต่อข้าว ทำการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและข้าวซึ่งพืชอย่างมีประสิทธิภาพตามคำแนะนำของกรรมการข้าว หากใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรให้ใช้ตามที่ระบุข้างต้น ผลผลิตที่ได้จะต้องไม่มีโรคพืชและการทำลายของแมลงมากกว่าร้อยละ 10

จากข้อมูลของศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวแพร่ ปี 2553 ได้สรุประบบการผลิตข้าวแบบ GAP ตามชนิดของการทำนาปีและการทำนาปรัง โดยแยกตามเดือนที่ปลูกได้ดังนี้

ฤดูนาปรัง

มกราคม

ข้อกำหนดที่ 1 แหล่งน้ำ: นำที่ใช้ ต้องได้จากแหล่งที่ไม่มีสภาพแวดล้อมซึ่งก่อให้เกิดการปนเปื้อน

ข้อกำหนดที่ 2 พื้นที่ปลูก: ต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่มีวัตถุอันตราย หรือบริเวณใกล้เคียงแปลงปลูกข้าว โดยเดือนมกราคมเป็นช่วงเตรียมวางแผนการผลิต เตรียมเมล็ดพันธุ์และเตรียมดิน

คำแนะนำสำหรับเกษตรกรเรื่องการเตรียมเมล็ดพันธุ์

- ใช้เมล็ดพันธุ์คุณภาพดี จากแหล่งที่เชื่อถือได้ เช่น กรมการข้าว ศูนย์ข้าวชุมชน หรือจากเอกชนที่น่าเชื่อถือ โดยมีพันธุ์ปนไม่เกินร้อยละ 0.5 และมีความคงทนกว่าร้อยละ 80
- เตรียมดินให้เหมาะสมเพื่อป้องกันข้าวเรื้อรัง และข้าววัชพืช โดยไกด์ตามดินทึ่งไว้ 7-15 วันแล้วจึงไกแปร ทำลายวัชพืชทั่งอกขั้นมาอย่างน้อย 2 ครั้ง กรณีที่มีข้าววัชพืชระบาดมาก ควรปลูกด้วยวิธีปักดำหรือหยอดroyเป็นแพะ ระยะห่างข้าวหมักฟางอย่างน้อย 2 สัปดาห์ จึงคราดและทำเทือก

กุมภาพันธ์

ข้อกำหนดที่ 3 การใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร: หากมีการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรุข้าวให้ใช้ตามคำแนะนำหรืออ้างอิงคำแนะนำของกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หรือตามคำแนะนำในลักษณะที่ขึ้นทะเบียน กับกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และใช้สารเคมีที่ไม่ใช้สารต้องห้ามตามรายการที่ประกาศโดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สารเคมีที่อนุญาตให้ใช้ตามรายการที่ประเทศคู่ค้าอนุญาตให้ใช้เท่านั้น

เดือนนี้เป็นช่วงการปลูกและใส่ปุ๋ยข้าว โดยปลูกข้าวโดยวิธีการหว่าน หรือปักดำ โดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 20 กก.ต่อไร่ (หว่าน) และ 7 กก.ต่อไร่ (ปักดำ) เพื่อให้ประหยัดค่าใช้จ่ายควรใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ โดยเลือกปุ๋ยให้เหมาะสมกับชนิดดินและชนิดของข้าวที่ปลูก ทำการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 หลังข้าวงอก 20-30 วัน สำหรับนาหว่านและนาปักดำ ใส่ก่อนปักดำแล้วคราดกลบหรือใส่ปุ๋ยหลังจากปักดำ 7-10 วัน

มีนาคม

ข้อกำหนดที่ 4 การผลิตให้ได้ข้าวเปลือกคุณภาพตรงตามพันธุ์: ใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่มีเมล็ดพันธุ์ปน หรือ ปนได้ไม่เกินร้อยละ 5 และต้องมีข้าวเรือและ/หรือข้าวปน น้อยกว่า 40 ตันต่อไร่ โดยเดือนนี้เป็นช่วงการใส่ปุ๋ย ครั้งที่ 2 และการตรวจแปลงเพื่อกำจัดข้าวปน คำแนะนำสำหรับการใส่ปุ๋ยข้าว เพื่อให้ประหยัดค่าใช้จ่ายควรใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ โดยเลือกปุ๋ยให้เหมาะสมกับชนิดของดินและชนิดของข้าวที่ปลูก และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ใส่ในระยะที่ข้าวเริ่มแตกกอเต็มที่

คำแนะนำสำหรับการกำจัดข้าวปนทำโดยสำรวจแปลงนา 2-3 ครั้ง ในระยะแตกกอ ออกรวง และก่อนเก็บเกี่ยว เมื่อพบข้าวปนในแปลงให้ตัดพันธุ์ปนออกจากแปลง โดยการถอนออกทั้งกอ

เมษายน

ข้อกำหนดที่ 5 การจัดการเพื่อให้ได้ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพสีดีได้ปริมาณตันข้าว ไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 และการใส่ปุ๋ยเคมีทุกครั้ง เกษตรกรต้องกำจัดวัชพืชในนา ก่อน และปิดกั้นคันนาให้เรียบร้อยถ้าใส่ปุ๋ยอัตราตามคำแนะนำแล้ว จะไม่มีโรคแมลงรบกวน หรือมีน้อยมาก ไม่ต้องใช้สารเคมี และรักษาระดับน้ำในแปลงนาที่ 10-15 ซม. ในระยะข้าวสร้างรวงอ่อน ระยะข้าวออกดอก จนถึงข้าวโน้มรวง เพราะถ้าหากเมล็ดข้าวจะลีบ

เดือนนี้เป็นช่วงการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 โดยใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำที่ระยะข้าวสร้างรวงอ่อน หรือเมื่อจับดูข้อสุดท้ายของต้นจะเริ่มแข็งเป็นไต

พฤติกรรม

ข้อกำหนดที่ 6 การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว: เก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะพลับพลึง หรือเมื่อวงข้าวมีสีเหลืองสุกไม่น้อยกว่า 3 ใน 4 ของความยาวร่วง การเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร/รถ เก็บเกี่ยวต้องทำความสะอาดก่อนลงเก็บเกี่ยว อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวจะต้องไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผลิตผล ข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณร้อยละ 14 แต่ถ้าข้าวเปลือกมีความชื้นสูงการตากข้าวนานตากทุกครั้งต้องมีวัสดุวางรองกองข้าวไม่ให้เมล็ดข้าวแตกพื้นelanataโดยตรง โดยสถานที่เก็บรักษาต้องสะอาด มีอากาศถ่ายเทได้ สามารถป้องกันการปนเปื้อนจากวัตถุแปลกปลอม วัตถุอันตรายและสัตว์พาหะนำโรค

ช่วงนี้เป็นช่วงใกล้เก็บเกี่ยวข้าวนานปรัง คำแนะนำสำหรับช่วงเก็บเกี่ยว คือ เก็บเกี่ยวข้าวในระยะพลับพลึง ระยะน้ำออกก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน เพื่อให้แปลงนาแห้งและข้าวสุกแก่อย่างสม่ำเสมอ ทำความสะอาดรถเกี่ยวข้าวก่อนลงพื้นที่เก็บเกี่ยว เพื่อกำจัดข้าวพันธุ์อื่นที่ตกค้างอยู่ในเครื่องจักร และทำความสะอาดเครื่องนวดข้าว ทุกครั้ง ป้องกันการปนเปื้อนของข้าวพันธุ์อื่น

ภัยคุกคาม

ข้อกำหนดที่ 7 ผลผลิตปลอดจากศัตรูพืช: สำรวจการเข้าทำลายของศัตรูพืชและป้องกันกำจัดตามคำแนะนำในขณะที่ข้าวยังอยู่ในแปลงนาและโรงเก็บผลผลิต ผลผลิตที่ได้ต้องไม่มีโรคพืชและการทำลายของแมลง มากกว่าร้อยละ 10

คำแนะนำสำหรับการป้องกันกำจัดศัตรุข้าวที่เหมาะสม คือ การนำหินที่เหมาะสมมาปีก 2 ครั้ง เท่านั้น เพราะจะปลูกในเวลาที่เหมาะสมและเก็บเกี่ยวในช่วงที่ไม่มีฝน ผลผลิตจะแห้ง ข้าวไม่เปียก ควรลงพื้นที่สำรวจแปลงนาอย่างสม่ำเสมอ หากพบแมลงศัตรูธรรมชาติ เช่น แมลงมุน มน เขียวดูดไข่ ด้วงเต่า แมลงปอ ปริมาณมากไม่ควรพ่นสารเคมี และควรศึกษาการป้องกันกำจัดโรคแมลงโดยวิธีผสมผสาน (IPM)

ข้อกำหนดที่ 8 การบันทึกข้อมูล: มีการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการใช้วัตถุอันตราย ทางการเกษตรทุกครั้งที่ใช้ มีการบันทึกข้อมูลแหล่งที่มาของเมล็ดพันธุ์ การเตรียมดิน การกำจัดข้าวป่น และการลดความชื้นของข้าวเปลือก

เดือนนี้เป็นเดือนที่ต้องเตรียมดิน และวางแผนการปลูกข้าวในฤดูนาปี จึงควรเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง และ/หรือ ข้าวไวต่อช่วงแสงจากแหล่งเมล็ดพันธุ์ดี และเตรียมดินไถดี ไถแปร คราด และทำเทือก

ฤดูนาปี

กระบวนการ

ข้อกำหนดที่ 1 แหล่งน้ำ: น้ำที่ใช้ ต้องได้จากแหล่งที่ไม่มีสภาพแวดล้อมซึ่งก่อให้เกิดการปนเปื้อน

ข้อกำหนดที่ 2 พื้นที่ปลูก: ต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่มีวัตถุอันตรายที่อยู่ใกล้และปูกลูกข้าว ซึ่งจะทำให้เกิดการตอกค้างหรือปะเปื้อนในผลิตผล

เดือนนี้เป็นช่วงปลูกสำหรับฤดูนาปี คำแนะนำสำหรับเกษตรกรเรื่องการเตรียมเมล็ดพันธุ์ คือใช้เมล็ดพันธุ์คุณภาพดี จากแหล่งที่เชื่อถือได้ เช่น กรมการข้าว ศูนย์ข้าวชุมชน หรือจากเอกสารที่นำเชื่อถือ โดยมีพันธุ์ปันไม่เกิน ร้อยละ 0.5 และมีความคงทนกว่าร้อยละ 80 สามารถปลูกข้าวโดยการหัวน (เมล็ดพันธุ์ 20 กก./ไร่) หรือ ปักดำ (7-10 กก./ไร่) ควรปลูกด้วยวิธีปักดำ หรือ หยด รอยเป็นแต่

สิงหาคม

ข้อกำหนดที่ 3 การใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร: หากมีการใช้ให้ใช้ตามคำแนะนำ หรืออ้างอิงคำแนะนำของกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ต้องใช้สารเคมีที่ไม่ใช้สารต้องห้ามตามรายการที่ประกาศโดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สารเคมีที่อนุญาตให้ใช้ตามรายการเคมีที่ประเทศไทยคุ้มครองอนุญาตให้ใช้

เดือนนี้เป็นช่วงการใส่ปุ๋ย คำแนะนำสำหรับการใส่ปุ๋ยข้าว เพื่อให้ประยุกต์ใช้จ่ายควรใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด โดยข้าวนาปี (ไวต่อช่วงแสง) ใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง เดือนสิงหาคมนี้ใส่ปุ๋ยครั้งแรกโดยครั้งที่ 1 ใส่หลังหว่านข้าว 20-30 วัน หรือหลังปักดำข้าว 7-10 วัน และ ครั้งที่ 2 ใส่เมื่อข้าวแตกกอสูงสุด (สำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงเท่านั้น)

กันยายน

ข้อกำหนดที่ 4 การผลิตให้ได้ข้าวเปลือกคุณภาพตรงตามพันธุ์: ใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่มีเมล็ดพันธุ์อื่นปนหรือปันไม่เกินร้อยละ 5 ต้องมีข้าวเรือและ/หรือข้าวป่น น้อยกว่า 40 ตันต่อไร่

เดือนนี้เป็นช่วงการใส่ปุ๋ยและการตรวจแปลงเพื่อกำจัดข้าวป่น โดยคำแนะนำสำหรับการใส่ปุ๋ยข้าว คือ ข้าวนาปี (ข้าวไวต่อช่วงแสง) ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่อข้าวสร้างรวงอ่อน โดยสังเกตจากต้นข้าวข้อสุดท้ายเริ่มแข็งเป็นไต และข้าวนาปรัง (ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง) ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 เมื่อระยะข้าวสร้างรวงอ่อนเช่นกัน

คำแนะนำสำหรับการกำจัดข้าวป่น คือ ควรสำรวจแปลงนา 2-3 ครั้ง ในระยะแตกกอ ออกรวง และก่อนเก็บเกี่ยว เมื่อพบข้าวป่นในแปลงให้ตัดพันธุ์ปันออกจากแปลง โดยการถอนออกทั้งกอ

ตุลาคม

ข้อกำหนดที่ 5 การจัดการเพื่อให้ได้ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพสีดีได้ปริมาณตันข้าวไม่น้อยกว่าร้อยละ 40: การใส่ปุ๋ยเคมีทุกครั้ง เกษตรกรต้องกำจัดวัชพืชในนา ก่อน และปิดกันคันนาให้เรียบร้อย ก้าใส่ปุ๋ยอัตราตามคำแนะนำแล้ว จะไม่มีโรคแมลงรบกวนหรือมีน้อยมาก ไม่ต้องใช้สารเคมี และระยะข้าวสร้างรวงอ่อน ระยะข้าวออกดอก จนถึงข้าวโน้มรวง ต้องมีน้ำขังในระดับ 10-15 ซม. ถ้าน้ำแห้ง เมล็ดข้าวจะลีบ

เดือนนี้เป็นช่วงการตรวจเปล่งดูแลการระบาดของโรคและแมลง จึงให้ลงพื้นที่ เดินตรวจรอบๆ แปลงอย่างสม่ำเสมอ ถ้าสังเกตเห็นการระบาดของโรคหรือแมลงให้ตรวจสอบทุกวัน หากการระบาดขยายวงกว้างออกไปให้รีบใช้สารเคมีกำจัดศัตรุข้าวทันที โดยใช้ตามวิธีและอัตราที่แนะนำ ให้ระวังในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมข้าว สังเกตต้นข้าวหลังน้ำลด 2-3 วันก่อนพื้นฟูข้าว โดยข้าวมีอาการดังนี้ 1) ถ้าต้นข้าวยังคงมีสีเหลือง และอาการโกร穆ลงให้ใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 5-10 กก./ไร่ และ 2) ถ้าต้นข้าวแตกใบใหม่ หรือใบข้าวมีสีเขียวเข้ม ห้ามใส่ปุ๋ยได้ ฯ เพราะจะทำให้เกิดอาการເຟ່ອใบและมีการระบาดของโรคและแมลงเพิ่มขึ้น

พฤศจิกายน

ข้อกำหนดที่ 6 การเก็บเกี่ยวและการปฎิบัติหลังการเก็บเกี่ยว: เก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะพลับพลึง หรือเมื่อวงข้าวมีสีเหลืองสุกไม่น้อยกว่า 3 ใน 4 ของความยาววง เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร/รถเก็บเกี่ยวต้องทำความสะอาดก่อนลงเก็บเกี่ยว อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวจะต้องไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผลิตผล ข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณ ร้อยละ 14-15 ถ้าข้าวเปลือกมีความชื้นสูงการตากข้าวบนลานตากทุกครั้งต้องมีวัสดุวางรองกองข้าวไม่ให้เมล็ดข้าวแตกพื้นลานหากโดยตรง สถานที่เก็บรักษาต้องสะอาด มีอากาศถ่ายเทได้ดี สามารถป้องกันการปนเปื้อนจากวัตถุแปลกปลอม วัตถุอันตรายและสัตว์พาหะนำโรค

ช่วงนี้เป็นช่วงใกล้เก็บเกี่ยวข้าวนาปี คำแนะนำสำหรับช่วงเก็บเกี่ยว คือ เก็บเกี่ยวข้าวในระยะพลับพลึง ระยะน้ำออกก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน เพื่อให้เปล่งนาแห้งและข้าวสุกแก่อย่างสม่ำเสมอ ทำความสะอาดรถเกี่ยวข้าวก่อนลงพื้นที่เก็บเกี่ยว ทำความสะอาดเครื่องนวดข้าว ทุกครั้ง ป้องกันการปนเปื้อนของข้าวพันธุ์อื่น

ธันวาคม

ข้อกำหนดที่ 7 ผลผลิตปลอดจากศัตรูพืช: สำรวจการเข้าทำลายของศัตรูพืชและป้องกันกำจัดตามคำแนะนำในขณะที่ข้าวยังอยู่ในแปลงนาและโรงเก็บผลผลิต และผลผลิตที่ได้ต้องไม่มีโรคพืชและการทำลายของแมลงมากกว่าร้อยละ 10

คำแนะนำสำหรับการป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่เหมาะสม: การปลูกข้าวนานปรัง ไม่ควรปลูกในช่วงเดือน พฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม เพราะข้าวจะกรบท้อกากหน้าทำให้ข้าวตายได้ และควรหลีกเลี่ยงการใช้พันธุ์ข้าวที่ไม่ทนทานต่ออากาศหนาว นอกจากนี้ ควรสำรวจแปลงนาอย่างสม่ำเสมอ โดยหากพบแมลงศัตรูธรรมชาติ (เช่น แมงมุม มนุษย์ดูดไ胥 ด้วงเต่า แมลงปอ) จำนวนมาก ไม่ควรพ่นสารเคมี กรณีต้องมีการพ่นสารเคมี ควรศึกษารายละเอียดและปรึกษาเจ้าหน้าที่เกษตรในพื้นที่ เพื่อให้การฉีดพ่นสารเคมีเป็นไปอย่างถูกต้องและเหมาะสม และเพื่อไม่มีสารเคมีตกค้างในผลผลิตข้าวหลังการเก็บเกี่ยว

ข้อกำหนดที่ 8 การบันทึกข้อมูล: มีการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรทุกครั้งที่ใช้ มีการบันทึกข้อมูลแหล่งที่มาของเมล็ดพันธุ์ การเตรียมดิน การกำจัดข้าวป่น และการลดความชื้นของข้าวเปลือก

ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรที่ร่วมโครงการวิจัยและข้อมูลของกลุ่มเกษตรกร

1. ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรที่ร่วมโครงการ

เกษตรกรที่ร่วมโครงการ คือ นางสอิง สุริยา โดยปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองประธานกลุ่มเกษตรอินทรีย์อำเภอสนาสามชัยเขต (จ.ฉะเชิงเทรา) มีพื้นที่ถือครอง畝พะที่เป็นที่นาทั้งหมด 54.5 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ส่วนตัวจำนวน 42.5 ไร่ และเป็นพื้นที่จำนวน 12 ไร่ โดยพื้นที่ส่วนหนึ่งเคยแบ่งเช่าให้ผู้อื่นทำนาจำนวนประมาณ 15 ไร่ ซึ่งมีรูปแบบการทำนาเป็นนาเคมี ในปี พ.ศ. 2544 เกษตรกรได้ปรับพื้นที่บางส่วน จำนวน 35 ไร่ เพื่อดำเนินการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ และในปี พ.ศ. 2550 ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์จากสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) โดยมีรหัส คือ ACT-IFOAM EU 834/2007 รวมเวลาที่เกษตรกรมีการทำนาแบบเกษตรอินทรีย์มาแล้วประมาณ 9 ปี พันธุ์ข้าวที่ปลูกคือ ข้าวมะลิแดง ข้าวหอมนิล ข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวเหนียว ในพื้นที่นาไม่เคยปลูกพืชชนิดอื่น โดยปกติเกษตรกรจะทำนาปีละ 1 ครั้งในช่วงฤดูฝน (นาปี) โดยจะเริ่มทำการไถกลบตั้งแต่เดือนพฤษภาคม หวานกล้ำเดือนมิถุนายน ดำเนินกรกฏาคมและสิงหาคม และเริ่มเก็บเกี่ยวเดือนพฤษจิกายน

งานศึกษานี้ได้ขอความร่วมมือจากเกษตรกรที่ร่วมโครงการ โดยใช้พื้นที่นาอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานกับ มกท. ในการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ และพื้นที่ศึกษาที่ดำเนินการปลูกข้าวแบบนาเคมีทั่วไปและนาแบบ GAP ของงานศึกษานี้ ได้ขอใช้พื้นที่บางส่วนของเกษตรกรที่ร่วมโครงการ ที่เคยเป็นพื้นที่ที่แบ่งให้ผู้อื่นเช่าและมีการปลูกข้าวแบบนาเคมีทั่วไป อย่างไรก็ตาม พื้นที่นาที่ใช้ศึกษาการปลูกข้าวตามแนวทาง GAP ของงานศึกษานี้ ไม่ได้เป็นพื้นที่ที่ขึ้นทะเบียนตามแนวทาง GAP เพราะการทำนาข้าวในรูปแบบ GAP นั้นเป็นระบบที่ค่อนข้างใหม่ และจากการตรวจสอบข้อมูลจากการข้าว (ที่รับขึ้นทะเบียน GAP) พบว่าพื้นที่ที่ได้รับการรับรอง GAP ในตำบลคุ้ยายหมี เป็นพื้นที่ห่างออกไปจากพื้นที่นาอินทรีย์ที่ใช้ศึกษาข้างตัน และไม่มีแหล่งน้ำที่เพียงพอสำหรับทำการปลูกข้าวในช่วงนาปรัง (ฤดูแล้ง) ของงานศึกษานี้ ดังนั้น จึงไม่สามารถเลือกนาแบบ GAP จากพื้นที่ที่ขึ้นทะเบียนแล้วได้ ด้วยเหตุนี้ จึงขอใช้พื้นที่นาที่ดำเนินการแบบนาเคมีทั่วไปแทน และปรับแนวทางการปลูกข้าวเป็นแบบ GAP

2. ข้อมูลกลุ่มเกษตรอินทรีย์ อำเภอสนาสามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

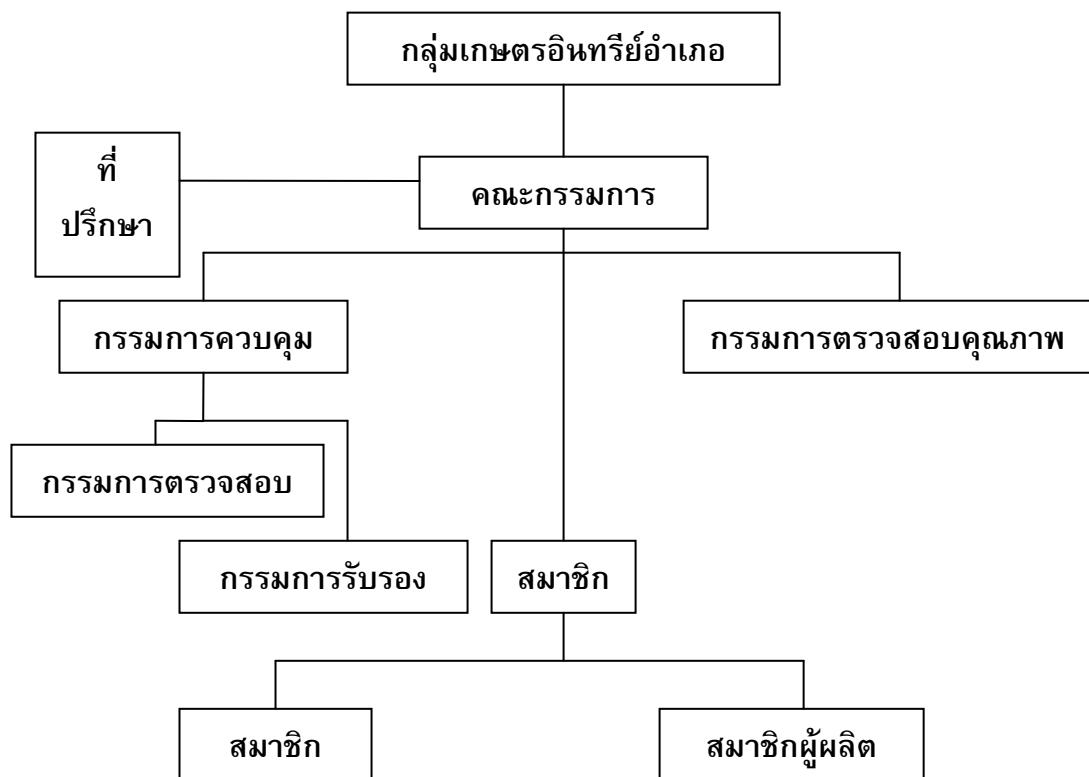
2.1 ภูมิหลังองค์กร

กลุ่มเกษตรอินทรีย์ อำเภอสนาสามชัยเขต (จ.ฉะเชิงเทรา) ตั้งอยู่เลขที่ 58 หมู่ที่ 2 บ้านบางพะเนียง ต.คุ้ยายหมี อ.สนาสามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา ก่อตั้งเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2544 มีวัตถุประสงค์หลักในการส่งเสริมให้สมาชิกได้ปรับเปลี่ยนระบบการเกษตรเข้าสู่ระบบเกษตรกรรมยั่งยืนโดยเน้นการ

ผลิตข้าวเหลืองประทิวอินทรีเป็นหลักในเบื้องต้น และขยายสู่การผลิตพืชเกษตรอินทรีย์อื่นๆต่อไป โดยสมาชิกปี พ.ศ. 2550 มีจำนวนทั้งสิ้น 17 ราย ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 397 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกข้าว อินทรีย์จำนวน 295 ไร่ พันธุ์ข้าวที่ปลูกคือ ข้าวมะลิแดง ข้าวมะลิ 105 และข้าวเหลืองประทิว

กลุ่มเกษตรอินทรีย์ได้ใช้มาตรฐานที่สรุปสาระสำคัญมาตราฐานของสำนักงานมาตรฐาน เกษตรอินทรีย์ (มกท.) เพื่อการตรวจสอบฟาร์มเกษตรอินทรีย์ภายในกลุ่มที่มีมาตรฐาน ดังนั้น จึงทำ ให้มาตรฐานภายในกลุ่มจึงทัดเทียมกับมาตรฐานของ มกท. นอกจากนี้ยังเพิ่มมาตรฐานทางการจัดการ ของกระบวนการกลุ่มเข้าไปเพื่อให้กระบวนการทำงานร่วมกันเป็นไปอย่างเข้มข้น นอกจากนี้ทางกลุ่ม ยังได้จัดหาปัจจัยการผลิตให้แก่สมาชิกด้วย เช่น พันธุ์ข้าวเหลืองประทิว พันธุ์ข้าวมะลิแดง เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยพืชสด และอื่นๆ

2.2 โครงสร้างกลุ่ม



ภาพที่ 1 ผังองค์กรของกลุ่มเกษตรอินทรีย์ จำกัด สนานชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

2.3 สรุปขั้นตอนการตรวจและรับรองฟาร์มเกษตรอินทรีย์

2.3.1 การรับสมัคร

เกษตรกรที่สนใจเข้าร่วมโครงการให้กรอกแบบฟอร์มเอกสารที่กกลุ่มกำหนดโดยแยกเป็น สมาชิกทั่วไปซึ่งยังไม่ขอรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์จากภายนอกกลุ่มแต่เป็นการใช้ระบบควบคุม ภายในของกลุ่ม และสมาชิกที่ขอรับรองมาตรฐานภายนอก เมื่อกรรมการกลุ่มได้รับใบสมัครเรียบร้อย แล้วจะตรวจสอบความเรียบร้อยของใบสมัคร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลงนามของสมาชิกผู้สมัครในสัญญา ข้อตกลง แผนการผลิตประจำปี และแผนผังฟาร์ม

2.3.2 การมอบหมายตรวจ

เมื่อกรรมการได้รับเอกสารการสมัครหรือการต่ออายุสมาชิกแล้ว จะวางแผนการตรวจและ รับรองฟาร์มประจำปีแล้วจึงทำการมอบหมายการตรวจแก่กรรมการฝ่ายตรวจฟาร์มที่ผ่านการฝึกอบรม แล้ว โดยในการจัดสรรการตรวจฟาร์ม ผู้ตรวจฟาร์มจะต้องไม่ตรวจฟาร์มของตัวเอง หรือญาติพี่น้อง โดยตรงอันได้แก่ สามี ภรรยา ลูก พ่อ แม่ พี่ น้อง เป็นต้น

2.3.3 การตรวจฟาร์ม

เมื่อกรรมการได้รับมอบหมายการตรวจแล้ว ต้องดำเนินการตรวจภายใน 7 วัน และจะต้อง ทำการรายงานให้กรรมการรับรองฟาร์มของกลุ่มภายใน 7 วัน การตรวจฟาร์มจะทำอย่างน้อย ปีละ 2 ครั้ง ครอบคลุมทั้งพืชที่เพาะปลูกและยุ่งชาว ที่เก็บผลผลิต ที่เก็บเมล็ดพันธุ์ และที่เก็บวัสดุ/เครื่องมือ การเกษตรด้วย

2.3.4 การรับรองฟาร์ม

การรับรองฟาร์มจะจัดประชุมเพื่อพิจารณารับรองฟาร์มภายใน 30 วันหลังจากที่ได้รับ รายงานการตรวจฟาร์ม และจัดทำรายงานผลการรับรองแจ้งไปยังสมาชิกทุกคน

2.3.5 การลงทะเบียนมาตรฐาน

ในกรณีมีการตรวจพบว่าสมาชิกผู้ผลิตมีการลงทะเบียนมาตรฐาน กรรมการรับรองฟาร์มจะ กำหนดบทลงโทษที่เหมาะสม เช่น การตักเตือน ระงับการรับซื้อผลผลิตในราคาย่อมถอย ขยายเวลา ปรับเปลี่ยน ให้ออกจากโครงการฯ หรือมาตรการอื่นๆที่เหมาะสม

2.3.6 การอุทธรณ์

สมาชิกผู้ผลิตที่ถูกกรรมการรับรองฟาร์มพิจารณาลงโทษ สมาชิกผู้ผลิตมีสิทธิ์ที่จะอุทธรณ์ คำตัดสินของกรรมการ เมื่อมีการอุทธรณ์ ให้กรรมการจัดการประชุมเพื่อทบทวนคำตัดสินอีกครั้งหนึ่ง

ภายใน 30 วัน หลังจากที่ได้รับคำอุทธรณ์ แต่ในช่วงอุทธรณ์ให้ถือว่าคำตัดสินเก่าของกรรมการยังมีผลบังคับใช้

2.4 กิจกรรมสนับสนุนการทำเกษตรอินทรีย์

กลุ่มเกษตรอินทรีย์ อำเภอสามัคคีเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา จะร่วมกันจัดกิจกรรมสนับสนุนการทำเกษตรอินทรีย์ให้กับผู้สมัครและสมาชิกโครงการ ร่วมกับองค์กรสนับสนุน ซึ่งผู้สมัครจะต้องเข้าร่วมกิจกรรมต่างๆ อย่างต่อเนื่องโดยขาดได้ไม่เกินปีละ 3 ครั้ง กิจกรรมสนับสนุนได้แก่

2.4.1 การฝึกอบรมมาตรฐานเกษตรอินทรีย์

กลุ่มฯจะจัดให้มีการฝึกอบรมเรื่องมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ให้กับผู้สมัครและสมาชิกอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หรือตามความจำเป็น โดยการอบรมจะมีเนื้อหาเกี่ยวกับ ความสำคัญของการตรวจสอบร่องมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มหา.) และมาตรฐาน-EU ในเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของสมาชิกและระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับสมาชิกในการจัดทำเอกสารฟาร์ม

2.4.2 การฝึกอบรมเทคนิคเกษตรอินทรีย์

กลุ่มฯจะมีการฝึกอบรมเทคนิคเกษตรอินทรีย์ให้กับผู้สมัครและสมาชิกอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

- การปรับปรุงบำรุงดินในระบบเกษตรอินทรีย์
- การทำปุ๋ยหมัก
- การวางแผนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์
- การป้องกันกำจัดศัตรูพืชแบบเกษตรอินทรีย์
- การปรับปรุงเมล็ดพันธุ์ การคัดพันธุ์
- การเพิ่มผลผลิตในระบบเกษตรอินทรีย์
- การวางแผนการผลิต
- การอนุรักษ์พื้นพูนพันธุกรรมพืชท้องถิ่น

2.4.3 การจัดทัศนศึกษาดูงาน

ทางกลุ่มฯ จะจัดให้มีการศึกษาดูงานในบางโอกาสตามความเหมาะสม เกี่ยวกับความรู้ หรือทักษะการทำเกษตรอินทรีย์

2.4.4 การจัดทำปัจจัยการผลิต

กลุ่มฯ มีนโยบายที่จะจัดทำปัจจัยการผลิตให้กับสมาชิก อันได้แก่

- เมล็ดพันธุ์ กิงพันธุ์หรือท่อนพันธุ์พืช

- ปุ๋ยอินทรีย์หรือวัตถุดิบในการทำปุ๋ยอินทรีย์
- กระสอบ ถุง หรือภาชนะบรรจุผลผลิต

3. ข้อมูลเกษตรกรที่ขึ้นทะเบียนตามแนวทางเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ของตำบลคุ้ยายหมี อำเภอสนมชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

การปลูกข้าวในรูปแบบ GAP นั้นเป็นระบบที่ค่อนข้างใหม่ในพื้นที่ศึกษา (ต.คุ้ยายหมี อ.สนมชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา) และเป็นโครงการที่ขึ้นทะเบียนกับหน่วยงานราชการ และยังไม่มีการก่อตั้งเป็นกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตข้าวระบบ GAP โดยเกษตรกรที่ต้องการขึ้นทะเบียน สามารถยื่นขอขึ้นทะเบียน เป็นรายๆ กับหน่วยราชการ และต้องเตรียมข้อมูลตามแบบฟอร์มที่กำหนดโดยหน่วยงาน จากนั้นหน่วยงานจะส่งเจ้าหน้าที่มาตรวจประเมินพื้นที่และการดำเนินการปลูกข้าวของเกษตรกรรายนั้นๆ หากผ่านการประเมินจะได้ขึ้นทะเบียนเป็นนาแบบ GAP

ผลสรุปการตรวจประเมินเพื่อรับรองการผลิตข้าวตามแนวทาง GAP ปี พ.ศ. 2552 บริเวณพื้นที่ศึกษา ต.คุ้ยายหมี อ.สนมชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา พบว่า เกษตรกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP แล้ว มีทั้งสิ้น 24 ราย และครอบคลุมพื้นที่ 281 ไร่

พันธุ์ข้าวปทุมธานี 1

พันธุ์ข้าวที่เลือกในงานศึกษาฯ คือ พันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมปลูกสำหรับนาปรัง เพราะเป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง และออกดอกเมื่อข้าวมีระยะเวลากาจเจริญเติบโตและให้ผลผลิตตามอายุ ดังนั้น จึงสามารถปลูกและให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี หรือปลูกได้ในฤดูนาปรัง

พันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 เป็น ข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง อายุ 110 -115 วัน โดยมีลักษณะเด่น คือ มีกลิ่นหอม คุณภาพข้าวสุกเหมือนข้าวขาวดอกมะลิ 105 และต้านทานโรคไขม้าและโรคขบขี้แห้งได้ดี แต่ไม่ทนต่ออากาศหนาวเย็นในช่วงข้าวตั้งท้องและออกดอก จึงไม่เหมาะสมที่จะปลูกฤดูนาปรังในเขตภาคเหนือ เพราะจะระเหบอากาศร้อนจัดในช่วงข้าวออกดอก ทำให้คุณภาพการสีต่ำ



ภาพที่ 2 พันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 (กรมการข้าว, 2553)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 (กรรมการข้าว, 2553)

ชื่อพันธุ์	- ปทุมธานี 1 (Pathum Thani 1)
ชนิด	- ข้าวเจ้า
คุณสมบัติพื้นฐาน	- BKNA6-18-3-2 / PTT85061-86-3-2-1
ประวัติพันธุ์	- ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ BKNA6-18-3-2 กับสายพันธุ์ PTT85061-86-3-2-1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ในปี พ.ศ. 2533 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ PTT90071-93-8-1-1
การรับรองพันธุ์	- คณะกรรมการวิจัยและพัฒนาการมหาวิชาการเกษตร มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2543
ลักษณะประจำพันธุ์	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 104-133 ซม. - ไม่ไวต่อช่วงแสง - อายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 104-126 วัน - ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวมีขีน ก้านใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาว ทำมุน 45° กับคอรวง รวงอยู่ใต้ใบธง - เมล็ดข้าวเปลือกสีฟ้าง มีขีน มีหางเล็กน้อย - ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 3-4 สัปดาห์ - เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = $2.1 \times 7.6 \times 1.7$ มิลลิเมตร - ปริมาณโภเมล็ด 15-19 % - คุณภาพข้าวสารสูง นุ่มเหนียว มีกลิ่นหอมอ่อน
ผลผลิต	- ประมาณ 650-774 กิโลกรัมต่อไร่
ลักษณะเด่น	<ul style="list-style-type: none"> - ผลผลิตสูง - คุณภาพเมล็ดคล้ายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 - ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว - ต้านทานโรคใหม่ และโรคขอบใบแห้ง
ข้อควรระวัง	- ค่อนข้างอ่อนแองเพลี้ยจักจันสีเขียว โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม
พื้นที่แนะนำ	- เขตชลประทานในภาคกลาง

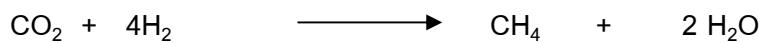
การเกิดกําชเรือนกระจากนาข้าว ปัจจัยที่มีผล และการควบคุม

กิจกรรมการทำนาแบบน้ำขังเป็นวิธีการปลูกข้าวที่นิยมดำเนินการในหลายประเทศในภูมิภาคเอเชีย รวมถึงประเทศไทย การขังน้ำในพื้นที่นาจะทำให้เกิดสภาพไร้อากาศ ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นข้าว แต่ในขณะเดียวกันเป็นกลไกตามธรรมชาติที่มีผลต่อการเกิดกําชเรือนกระจาก โดยกําชเรือนกระจากที่สำคัญ คือ กําชมีเทนและกําชในตัวสอกไซด์ กระบวนการเกิดกําชเรือนกระจากนาข้าวและปัจจัยที่มีผลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การปล่อยกําชเรือนกระจากนาข้าว

กําชมีเทน

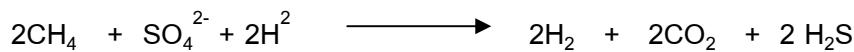
ปกติการทำนาปลูกข้าวจะทำการขังน้ำไว้ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก เนื่องจากเป็นสภาพที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของข้าว แต่ในขณะเดียวกันสภาพนี้เหมาะสมกับการเกิดกําชมีเทนจากนาข้าวด้วยเช่นกัน (Denier van der Gon, 1996) มีเทนเป็นกําชเรือนกระจากที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่ออกซิเจนจำกัด ที่เรียกว่า เมทานโเจน (methanogens) ซึ่งจะย่อยสลายอินทรีย์สารเพื่อผลิตพลังงานในการดำรงชีวิตและกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์นี้จะเกิดมีเทนด้วย วิธีการหลักในการเกิดมีเทนจากนาข้าวที่นำท่วมขังคือเกิดขบวนการรีดักชั่นของคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยไฮโดรเจน โดยมีกรดไขมันหรือแอลกออลเป็นตัวให้ไฮโดรเจน และเกิดขบวนการทราบเมทิเลชั่นของกรดเอทานอยอิกหรือเมทานอลโดยกิจกรรมทั้งหมดเกิดขึ้นจากการของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน (IPCC, 1996) ดังปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



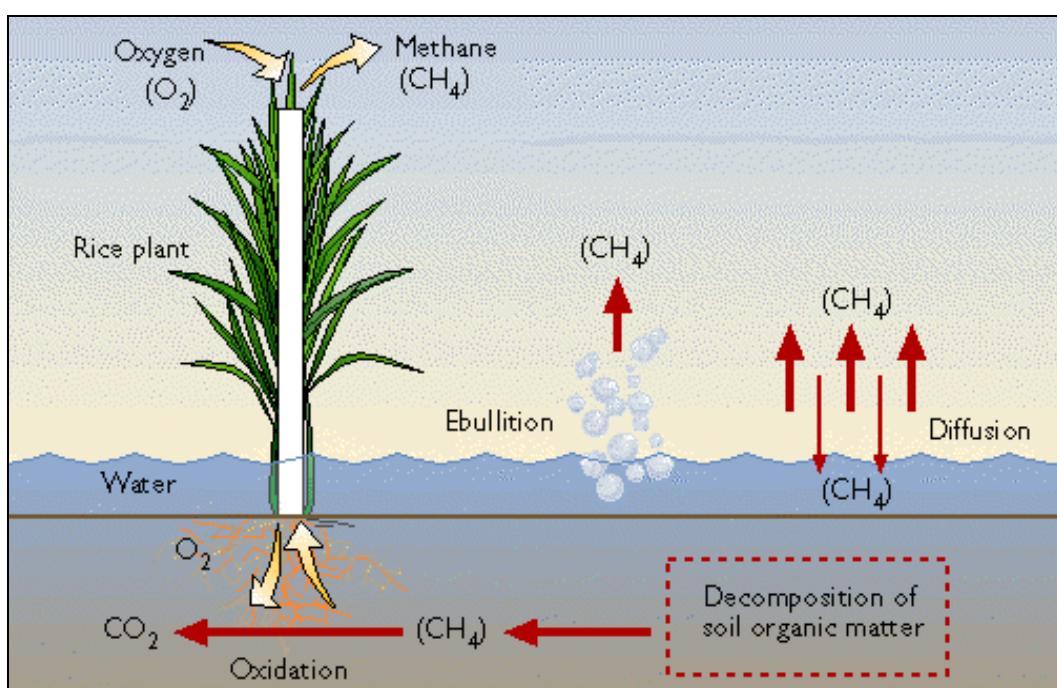
ในดินนาบริเวณที่ได้รับออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของมีเทนทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นกําชเรือนกระจากอีกชนิดหนึ่งปล่อยสู่บรรยากาศ ปฏิกิริยานี้เกิดจากการทำงานของมีเทนออกซิไดซิงแบคทีเรีย (CH_4 -oxidizing bacteria) โดยแบคทีเรียชนิดนี้ต้องการสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนในการดำรงชีพและมีความสามารถในการใช้มีเทนเป็นแหล่งพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Hutsh, 2001) ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของมีเทนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์จึงเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณรอยต่อของบริเวณดินที่ได้รับออกซิเจนและไม่ได้รับออกซิเจน (aerobic/anaerobic interfaces) เท่านั้น ซึ่งบริเวณนี้คือบริเวณรากข้าวและบริเวณชั้นบนสุดของดินที่เกิดนำท่วมขังนั้นเอง ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของมีเทนเป็นดังนี้



นอกจากนี้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของมีเทนสามารถเชื่อมต่อกับการเกิดปฏิกิริยาเรดักชั่นของซัลเฟสในดินซึ่งเกิดในสภาพที่ดินไว้ร้ออกซิเจน ดังสมการต่อไปนี้



เมื่อเกิดมีเทนขึ้นในดินที่อยู่ในสภาวะไร้อากาศแล้ว มีเทนเหล่านั้นจะถูกปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศด้วย 3 วิธีหลักๆ (ภาพที่ 3) ได้แก่ (1) การแตกกระจายของมีเทนบริเวณผิวน้ำซึ่งอาศัยหลักการความแตกต่างกันของความเข้มข้นของมีเทนระหว่างดินและน้ำที่ท่วมขังดินนั้น (2) การเกิดฟองกําชลอขึ้นสู่บรรยากาศ และ (3) การลำเลียงผ่านลำต้นพื้นและใบพืช (Rogers and Whitman, 1991) ซึ่งการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศโดยการเกิดฟองกําชลอขึ้นสู่บรรยากาศโดยตรงและการปล่อยสู่บรรยากาศผ่านต้นพืชนั้นเป็นเส้นทางสำคัญในการเพิ่มปริมาณมีเทนสู่บรรยากาศ และพบว่าการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศมากกว่า 90% ของการเกิดมีเทนทั้งหมดในฤดูกาลเพาะปลูกนั้นถูกส่งผ่านทางต้นและใบพืช ส่วนการปล่อยมีเทนโดยตรงในรูปของฟองกําชอนั้นเกิดขึ้นน้อยกว่า 10 % (Denier van der Gon, 1996)

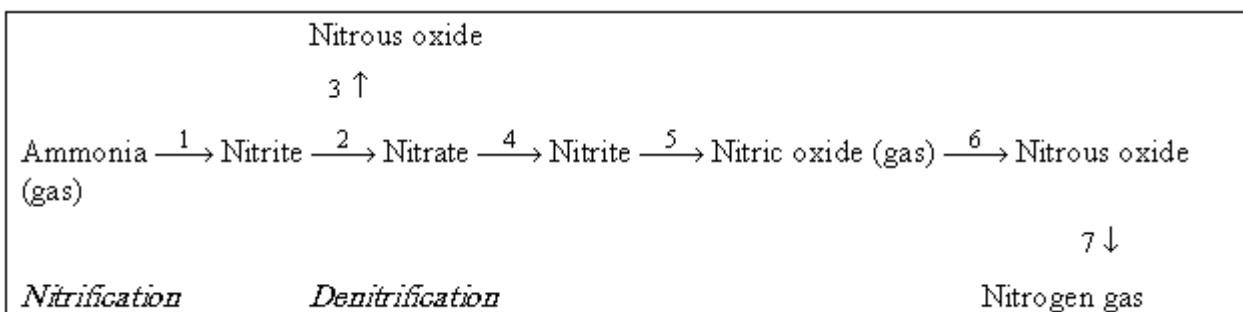


ภาพที่ 3 การเกิดกําชมีเทนในนาข้าว (Winne, 2010)

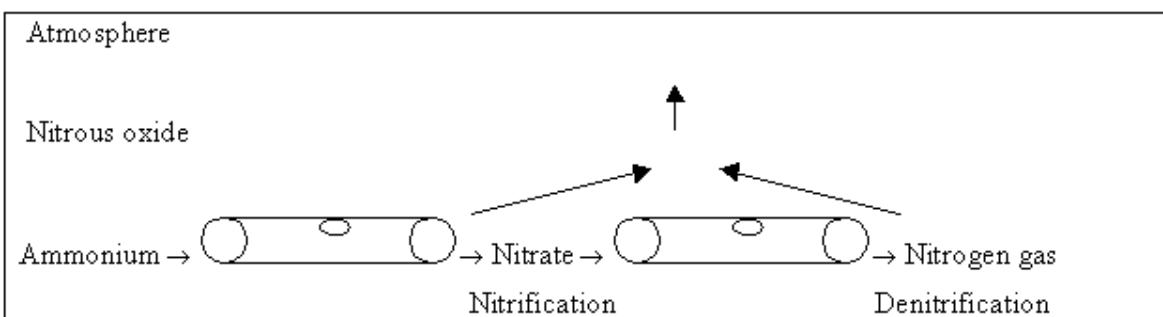
กําชในตรัสรอกไซด์

กําชในตรัสรอกไซด์เกิดจากปฏิกิริยาในตริพิเคชั่นและดีไนตริพิเคชั่น ซึ่งปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาทั้งสองแบบนี้ คือ จุลินทรีย์และสารเคมีตั้งต้น (ในเตรตและไนไตรต์) ในดินที่มีออกซิเจนจำกัด ปฏิกิริยาในตริพิเคชั่นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของแอมโมเนียมให้เกิดเป็นไนไตรต์และไนเตรตซึ่งจะถูกเรียกว่าซัลเฟตต์ต่อไปเป็นในตรัสรอกไซด์และกําชในโตรเจนโดยปฏิกิริยาดีไนตริพิเคชั่น ซึ่งปฏิกิริยาดี

ในตริพิเคชั่นนี้เป็นการรีดิวเซ็ฟกําชีนในโตรเจนไปเป็นในตัวสอกไซด์โดยผ่านในโตรเจนโมโนออกไซด์ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพไร้อากาศ ดังนั้นในตัวสอกไซด์และในโตรเจนโมโนออกไซด์จะถูกปล่อยสู่บรรยากาศได้ก็ต่อเมื่อเกิดปฏิกิริยาดีในตริพิเคชั่นที่สมบูรณ์ ตัวควบคุมการเกิดปฏิกิริยาดีในตริพิเคชั่น ได้แก่ ปริมาณออกซิเจน คาร์บอน อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณน้ำ และความเข้มข้นของในไตรต์ ในเตรต์ และในตัวสอกไซด์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีในตริพิเคชั่นได้ดี คือ ดินที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 6 ถึง 8 อุณหภูมิสูงกว่า 10°C มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 (Bouwman, 1996) นอกจากนี้ในตัวสอกไซด์ยังสามารถเกิดจากการทำงานของไตรเฟอร์ดีในตริพิเคชั่น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงของในตริพิเคชั่นอีกด้วย ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นการเกิดออกซิเดชั่นของ NH_3 ไปเป็น NO_2^- จากนั้นจะเกิดรีดักชั่นของ NO_2^- ไปเป็น N_2O



ภาพที่ 4 การเกิดกําชีนในตัวสอกไซด์จากการกระบวนการในตริพิเคชั่นและดีในตริพิเคชั่น (MAF, 2010)



ภาพที่ 5 การเกิดกําชีนในตัวสอกไซด์จากการกระบวนการในตริพิเคชั่นและดีในตริพิเคชั่นตามแนวคิด

The Holes in the Pipes (MAF, 2010)

ในพื้นที่ปลูกข้าวหนึ้นในตัวสอกไซด์มักจะเกิดจากพื้นที่ที่ไม่ถูกน้ำขังและเกิดขึ้นหลังจากฤดูกาลปลูกข้าว (Chen et al., 2000) จากสถิติพบว่าในตัวสอกไซด์ถูกปล่อยจากภาคเกษตรประมาณมากกว่าร้อยละ 75 ของในตัวสอกไซด์จากการกระทำของมนุษย์ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีตัวเลขที่แน่นอนเนื่องการเกิดในตัวสอกไซด์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการ เช่น การใช้ปุ๋ยในโตรเจน การไถพรวน นอกจากนี้ระบบการจัดการน้ำและการระบายน้ำส่งผลต่อสภาพการทำงานของจุลินทรีย์ในดินนาเช่นกัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก้าชเรือนกระจก

ระบบนิเวศการทำข้าว

ระบบนิเวศการทำปลูกข้าวแบ่งประเภทตามการจัดการน้ำได้ 4 ประเภท ได้แก่ (1) การทำนาโดยอาศัยน้ำจากระบบชลประทาน (2) การทำนาโดยอาศัยน้ำจากน้ำฝน (3) การทำนาน้ำลึก (น้ำท่วมขังสูงกว่าปกติโดยข้าวยึดลำต้นสูงขึ้นตามระดับน้ำที่ท่วมขังหรือเรียกว่าข้าวขึ้นน้ำ) และ (4) การทำนาโดยไม่ใช้น้ำ (เป็นการทำนาในที่สูง โดยเฉพาะตามเชิงเขา หรือที่เรียกว่าการปลูกข้าวไร่)

การปลูกข้าวในรูปแบบที่ 1-3 เป็นลักษณะที่มีการขังน้ำระหว่างการเพาะปลูก จึงทำให้เกิด สภาวะที่เอื้อต่อการปล่อยก้าชเรือนกระจกจากนาข้าว ในขณะที่การปลูกข้าวรูปแบบที่ 4 ซึ่งเป็นการปลูกข้าวไร่น้ำเป็นระบบนิเวศการปลูกข้าวแบบไม่มีการขังน้ำ ดังนั้นจึงไม่เกิดภาวะการขาดออกซิเจน ในเดือน ส่งผลให้สภาพแวดล้อมในเดือนไม่เหมาะสมกับกิจกรรมของจุลินทรีย์เมทาโนเจนที่เป็นต้นเหตุของ การเกิดก้าชมีเทนในเดือนน้ำ จึงถือได้ว่าสภาพการปลูกข้าวไร่น้ำมีการเกิดก้าชมีเทนน้อยมากหรือไม่มี ก้าชมีเทนเกิดขึ้นเลย

พันธุ์ข้าวและการเจริญเติบโต

เมื่อก้าชมีเทนถูกผลิตขึ้นในนาข้าวที่มีการขังน้ำแล้ว พบราก้าชมีเทนกว่าร้อยละ 90 จะถูก ลำเลียงจากเดือนน้ำขึ้นสู่บรรยายกาศผ่านต้นข้าว และส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 10 จะถูกปล่อยขึ้นสู่ บรรยายกาศ โดยการกระจายและการแตกเป็นฟองก้าชในชั้นรอยต่อระหว่างอากาศและน้ำ (Butterbach-Bahl *et al.*, 1997, IPCC, 1996) ด้วยเหตุนี้ พันธุ์ข้าวและการเจริญเติบโตของข้าวแต่ละ พันธุ์ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราและปริมาณการปล่อยก้าชเรือนกระจก โดยอิทธิพลของต้นข้าว ต่อการเกิดก้าชมีเทนขึ้นกับธาตุอาหารที่ต้นข้าวผลิตให้แก่จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน เช่น สารคัดหลั่งจาก รากข้าว เศษชากรากข้าว ชีวมวลหั้งหมด และชีวมวลที่เหลือจากถุงกาลที่ผ่านมาและถูกไถกลบลงใน ดิน โดยธรรมชาติแล้วก้าชมีเทนถูกลำเลียงจากเดือนผ่านเนื้อเยื่ออ่อนเรนไครม่าของข้าว ซึ่งทิศทางการ เคลื่อนที่ของก้าชมีเทนจากเดือนสู่อากาศเป็นเส้นทางตรงกันข้ามกับเส้นทางการลำเลียงออกซิเจนสู่เดือน นา ดังนั้นจึงมีพื้นที่บางส่วนของระบบ rak เป็นเส้นทางสำหรับลำเลียงก้าชมีเทนและพื้นที่โดยรอบ rak บางส่วนได้รับออกซิเจนและอยู่ในสภาพที่ถูกออกซิไดซ์ ซึ่งได้แก่ส่วนที่เรียกว่าไรโซเฟีย (IPCC, 1996)

ปัจจัยต่างๆของข้าว ได้แก่ ความสูงและน้ำหนักของลำต้น น้ำหนัก ซึ่งว่าง และปริมาตรของ ราก จำนวนภายใน และผลผลิต เป็นต้น เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการปล่อยก้าชมีเทนจากนาข้าว อีกทั้งการปล่อยก้าชมีเทนจากนาข้าวในแต่ระยะของการเจริญเติบโตของต้นข้าวจะมีปริมาณต่างกันซึ่ง โดยธรรมชาติของเดือนที่มีน้ำขังตลอดถุงกาลมากจะมีก้าชมีเทนเกิดขึ้นสูงในช่วงการเจริญทางลำต้น และจะเพิ่มขึ้นสูงสุดอีกรอบในช่วงข้าว panicle differentiation ซึ่งในช่วงนี้มีการเจริญเติบโตที่ส่วนราก อย่างรวดเร็ว จากนั้นก้าชมีเทนจะคงที่ในระยะ reproduction stage และลดลงเมื่อถึงช่วงที่ข้าวตั้งท้อง late grain filling (Yagi and Minami, 1994, Buendia *et al.*, 1997, Towprayoon *et al.*, 1993)

ชีวมวลของข้าวเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบทางบวกต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว โดยดินจะปล่อยก๊าซมีเทนสูงเมื่อชีวมวลของข้าวในพื้นที่เพาะปลูกนั้นสูง (Yagi and Minami, 1994, Mitra *et al.*, 1999) ซึ่งผลกระทบนี้เกิดขึ้นจากปริมาณสารอินทรีย์จากข้าวและสารอินทรีย์จากต้นข้าวที่ถูกย่อยสลายเป็นสารตั้งต้นของการผลิตก๊าซมีเทนในดินนา ซ่องทางลำเลียงก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในดินนานั้นส่วนใหญ่มักถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศผ่านทางเนื้อเยื่อเจริญของต้นข้าวและระบบระบายน้ำอย่างตันข้าว จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่บ่งชี้ถึงขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางต้นพืชและพื้นที่ที่สามารถลำเลียงก๊าซสู่บรรยากาศด้วย คือข้าวอายุน้อยมักมีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นต่ำ ประสิทธิภาพการลำเลียงก๊าซสู่บรรยากาศจึงต่ำไปด้วย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงแหล่งพลังงานของกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน

การเรียงตัวของระบบระบายน้ำ เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่ใช้ประกอบการประเมินปริมาณก๊าซมีเทนและเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลำเลียงก๊าซมีเทนผ่านระบบเนื้อเยื่อเจริญของต้นข้าว (Butterbach-Bahl *et al.*, 1997, Singh *et al.*, 1998) ซึ่งจากรายงานของ Yagi *et al.* (1997) ได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ว่าการลดผลอิทธิพลของต้นข้าวที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนในดินนาได้นั้นควรเลือกปลูกข้าวชนิดที่รากข้าวปล่อยสารคัดหลังน้อย (สารคัดหลังจากรากข้าวซึ่งประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอนอันเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์) เลือกข้าวชนิดที่มีการระบบลำเลียงต่ำ และระบบระบายน้ำสามารถทำให้ก๊าซออกซิเจนแพร่กระจายได้ง่ายซึ่งจะทำให้ก๊าซมีเทนถูกเปลี่ยนรูปไป (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบระบายน้ำเยื่อเจริญของระบบระบายน้ำและลำต้น) อีกทั้งมีความจำเป็นต้องเลือกพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูง ซึ่งพันธุ์ข้าวประเภทนี้การเจริญส่วนลำต้นและรากมีปริมาณต่ำทำให้เศษซากอินทรีย์จากต้นข้าวหลงเหลืออยู่ในพื้นที่เพาะปลูกน้อย

คุณลักษณะและสภาพของดิน

ดินมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจก โดยคุณสมบัติทางเคมีและทางพิสิกส์ของดินเป็นปัจจัยควบคุมการเกิดก๊าซมีเทน อันได้แก่ (1) ปริมาณตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอน (2) ความสามารถในการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในดิน และ (3) ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (van Bodegom *et al.*, 2000) จากการที่ก๊าซมีเทนเกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์สารของจุลินทรีย์ในดินนานั้น ขังเพื่อนำไปเป็นพลังงานในการดำรงชีพ จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าในดินนาที่มีอินทรีย์สารปริมาณสูงจะทำให้เกิดมีเทนมากกว่าดินนาที่มีอินทรีย์สารต่ำ (Yagi and Minami, 1990, Wang *et al.*, 1993a, Yagi and Minami, 1994)

เนื้อดินและค่าความเป็นกรดด่างของดินมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันและมีอิทธิพลต่อการเกิดมีเทน เนื้อดินประเภทดินเหนียวจะมีค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่าเนื้อดินร่วนปนทราย และมีความสามารถในการเก็บกักมีเทนที่เกิดขึ้นในดินน้ำขัง ทำให้เนื้อดินที่ละเอียดจะทำให้เกิดการปล่อยมีเทนออกสู่บรรยากาศต่ำกว่าดินที่มีเนื้อหยาบกว่า (Wang *et al.*, 1993a)

ดินที่อยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนน้อยจะมีผลทำให้เกิดสภาพรีดกัชซึ่งจะมีค่าสภาพออกซิเดชั่นรีดกัชชั่น (soil Eh) ต่ำ ซึ่งมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เมทาโนเจนิกและการปล่อยก๊าซ

มีเทนจากดินนั้น (Khalil, 1993) ซึ่งจากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสภาพออกซิเดชั่นรีดักชันที่เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเกิดก๊าซมีเทนในดินเริ่มต้นที่ประมาณ -150 ถึง -160 มิลลิโวลต์ และค่าสูงสุดที่ทำให้เกิดมีเทนคือ -230 มิลลิโวลต์โดยประมาณ นอกจากนี้ยังพบว่าสภาพออกซิเดชั่นรีดักชันแปรผันกับการเกิดก๊าซมีเทนจากดินด้วย (Wang *et al.*, 1993a) สำหรับสภาพออกซิเดชั่นรีดักชันที่เหมาะสมกับการเกิดก๊าซในตระสอกไซด์นั้นอยู่ในช่วง +120 และ +250 มิลลิโวลต์ หากสภาพออกซิเดชั่นรีดักชันในดินมีค่าสูงกว่า +250 มิลลิโวลต์หรือต่ำกว่า +120 มิลลิโวลต์จะเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมกับการเกิดก๊าซในตระสอกไซด์หรือจะเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้นสภาพออกซิเดชั่นรีดักชันที่เหมาะสมกับการเกิดก๊าซมีเทนและในตระสอกไซด์ในขณะเดียวกันคือช่วง +120 และ -170 mV (Yu *et al.*, 2001)

ความชื้นในดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซในตระสอกไซด์จากนาข้าว ซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากในช่วงที่มีการระบายน้ำออกและการใส่ปุ๋ยในโตรเจนกับนาข้าว โดยหากมีการระบายน้ำออกจากนาข้าวร่วมด้วยการใส่ปุ๋ยในโตรเจนพร้อมกันจะทำให้ก๊าซในตระสอกไซด์มีปริมาณสูงขึ้น ในขณะที่การขังน้ำในดินนาจะทำให้ปริมาณก๊าซในตระสอกไซด์มีปริมาณลดลง เพราะปริมาณน้ำในดินหรือความชื้นสูงจะทำให้ความสามารถที่ออกซิเจนจะผ่านเข้าสู่เนื้อดินนั้นเกิดขึ้นต่ำ การเปลี่ยนแปลงแอนโนเนียมเป็นไนเตรตเกิดได้ช้าหรือต่ำลง ทำให้เกิดในตระสอกไซด์น้อยลงนั่นเอง

เนื้อดินเหนียวมักปล่อยก๊าซในตระสอกไซด์ต่ำกว่าเนื้อดินประเทกติดนทรีย์อ่อนร่วนเนื่องจากดินเหนียวมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดภาวะที่ดินไวร้ออกซิเจนได้มากกว่าและยานานกว่าเนื้อดินร่วนและดินทรีย์ นอกจากนี้คุณสมบัติของดินปัจจัยอื่นๆ เช่น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินอาจส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในตริฟิเคลชันและดีในตริฟิเคลชันด้วย (Bouwman *et al.*, 1993) และยังพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองปฏิกิริยาคือ 30 ถึง 35°C แต่หากอุณหภูมิต่ำกว่า 5°C จะไม่พบรการเกิดปฏิกิริยาในตริฟิเคลชันเลย (Amon *et al.*, 2000)

การจัดการน้ำและการระบายน้ำในนาข้าว

การระบายน้ำจากแปลงนาในระหว่างการเพาะปลูกข้าวและการจัดการด้านการเกษตรหลายปัจจัย สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ โดยปกติแล้ว เกษตรกรจะระบายน้ำออกจากนาข้าวในช่วงที่ราชข้าวอยู่ในสภาวะอันเป็นพิษที่เกิดจากสภาวะรีดักชันเกิดขึ้นอย่างเต็มที่ เนื่องจากการขังน้ำเป็นระยะเวลานาน โดยดินนาที่ขังน้ำจะเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์อย่างสลายอินทรีย์สารเช่นกรดอินทรีย์และชาตุเหล็กทำให้ดินนาอยู่ในสภาวะเป็นพิษต่อการเจริญของข้าว ซึ่งจะสังเกตได้จากลักษณะใบและลำต้นมีลักษณะมีสีเหลือง

จากการวิจัยที่ผ่านมารายงานไว้ว่าการทำให้พื้นที่ปลูกข้าวมีการระบายน้ำดีหรือมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาเป็นระยะสั้นๆ ในระหว่างฤดูกาลเพาะปลูก สามารถช่วยลดก๊าซมีเทนและไม่ทำให้ผลผลิตลดลง (Sass *et al.*, 1992, Sass *et al.*, 1994) แต่หากนาข้าวมีการขังน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูกนั้นจะมีการเกิดก๊าซมีเทนมากกว่าการจัดการน้ำในแปลงนาแบบระบายน้ำออก (ไม่ว่าจะมีการระบายน้ำกี่ครั้งหรือระบายน้ำออกในระยะสั้นๆ หรือยาวนานกี่ตาม) (Sass *et al.*, 1992, Yagi *et al.*, 1996, Bronson *et al.*, 1997, Lu *et al.*, 2000b, Towprayoon, 2005)

แม้ว่าการระบายน้ำทำให้ก้ามีเทนที่เกิดจากดินนาลลดลงแต่ในขณะเดียวกันน้ำการระบายน้ำเป็นการเปิดโอกาสติดน้ำได้รับก้าซออกซิเจนซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะเกิดปฏิกิริยาในตริฟิเคลชั่นและดีในตริฟิชั่นสูงขึ้น ดังนั้นจึงอาจส่งผลให้มีก้าซในตรัสเพิ่มขึ้นในช่วงการระบายน้ำออกจากแปลงนา (Corton et al., 2000, Zheng et al., 2000b, Ghosh et al., 2003) จึงจะเห็นได้ว่าแม้ว่าการจัดการน้ำจะทำให้สามารถลดการปล่อยก้าซเรือนกระจากตัวหนึ่งคือมีเทนลงได้ แต่ในขณะเดียวกันการจัดการน้ำเพื่อลดก้ามีเทนนั้นจะก่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมกับการเกิดก้าซในตรัสออกไซด์ซึ่งเป็นก้าซเรือนกระจากอีกด้วยหนึ่งเช่นกัน (Cai et al., 1997, Zheng et al., 2000a)

ปัจจัยเกี่ยวกับการจัดการการเพาะปลูก

(1) การใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูกและมีอิทธิพลต่อการปล่อยก้ามีเทนจากนาข้าวอย่างมาก ซึ่งได้มีรายงานจาก Lindua et al. (1990, 1991, 1993, 1994) ว่าการใช้ปุ๋ยยุเรียมในการปลูกข้าวนั้นจะทำให้มีก้ามีเทนเกิดขึ้นสูงกว่าแปลงปลูกข้าวที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ส่วนปุ๋ยประเภทอื่นๆ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดก้ามีเทนเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยที่มีปริมาณในโตรเจนสูง แต่หากปุ๋ยในโตรเจนนั้นมีองค์ประกอบของซัลเฟตและโพแทสเซียม จะทำให้เกิดก้ามีเทนในปริมาณต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยยุเรียมร้อยละ 55 และ 59 ตามลำดับ (Lindua et al., 1994) อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยเคมีบางประเภทสามารถลดการเกิดก้ามีเทนจากนาข้าวได้ โดยเฉพาะที่มีองค์ประกอบของซัลเฟต (Cai et al., 1997) โดยพบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในปริมาณ 120 กิโลกรัมในโตรเจนต่อเฮกตาร์พบว่า ก้ามีเทนลดลงประมาณร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับการปลูกข้าวโดยใช้ปุ๋ยยุเรียม (Cortón et al., 2000) ส่วนการทำนาข้าวโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (ชนิดที่ผ่านการหมักแล้ว) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีนั้นมีแนวโน้มลดก้ามีเทนได้ประมาณร้อยละ 19 ถึง 59 เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ส่วนร่วมกับปุ๋ยเคมี (Zheng et al., 2000b)

อิทธิพลของการใช้ปุ๋ยที่มีต่อการเกิดก้าซในตรัสออกไซด์นั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบของปุ๋ยในโตรเจนที่ใช้ ซึ่งพบว่าปริมาณในโตรเจนที่ใส่ลงไปในนาในรูปปุ๋ยเคมีนั้นส่งเสริมให้มีการเกิดก้าซในตรัสออกไซด์สูงขึ้นและการเกิดก้าซในตรัสออกไซด์นี้ขึ้นอยู่กับปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่ใช้ในนาข้าวนั้น (Cai et al., 1997) และเมื่อเทียบกับการทำนาปลูกข้าวที่ไม่ใช้ปุ๋ยในโตรเจนแล้วพบว่าสามารถลดปริมาณในตรัสออกไซด์ได้ถึง 3.7 ± 1.5 เท่าของการทำนาแบบใช้ปุ๋ยในโตรเจน (Zheng et al., 2000a) ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบของแอมโมเนียมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาในตริฟิเคลชั่นสูงขึ้น (Amon et al., 2000) ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยแอมโมเนียมในเตรต (NH_4NO_3) และโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) และโมเนียมฟอสเฟต ($(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$) และปุ๋ยยุเรียนนั้นล้วนทำให้เกิดก้าซในตรัสออกไซด์จากดินนาสูงขึ้น เนื่องจากทำให้เกิดปฏิกิริยาในตริฟิเคลชั่นสูงขึ้นนั่นเอง (Ji et al., 1999) จากรายงานการวิจัยของ Lida et al. (1990) และ Bronson (1994) รายงานว่าปริมาณก้าซในตรัสออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการทำนาข้าวโดยใช้ปุ๋ยยุเรียมและปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตนั้นจะเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 0.1 ของปริมาณปุ๋ยที่

ใช้ ส่วนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีนั้นมักจะทำให้เกิดก้าชในตระสօอกไซด์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Zheng *et al.*, 2000b) เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มีองค์ประกอบของไนโตรเจนในปริมาณสูง

(2) การใช้เศษสัดเหลือใช้เป็นปุ๋ยหรือปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูก

เศษสัดเหลือใช้จากการทำงานได้แก่ ฟางข้าวและอินทรีย์วัตถุอื่นๆ เมื่อถูกไก่พวนลงสู่ดินที่ใช้ปลูกข้าวแล้วจะเป็นตัวเพิ่มธาตุอาหารให้กับดินซึ่งจากการทดลองของ Yagi and Minami (1990) รายงานว่า อินทรีย์วัตถุเหล่านี้ มีอิทธิพลในการเกิดก้าชมีเทนจากนาข้าวคือทำให้ปริมาณก้าชมีเทนสูง กว่าการปลูกข้าวที่ไม่ใช้อินทรีย์วัตถุหรือปุ๋ยอินทรีย์ทั้งนี้ อัตราการเพิ่มขึ้นของก้าชมีเทนนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของอินทรีย์วัตถุที่ใช้ในการเพาะปลูก (Jerm sawatdipong *et al.*, 1994, Lindua *et al.*, 1993, Nagroho *et al.*, 1994a) การใส่ฟางข้าวลงในดินนานั้นทำให้การเจริญเติบโตในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นในช่วงแรกของการเพาะปลูกลดลงแต่กลับส่งเสริมให้เกิดก้าชมีเทนสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงนี้จะเกิดการย่อยสลายฟางข้าวในดินภายใต้สภาพอากาศซึ่งเป็นปัจจัยส่งเสริมต่อการผลิตก้าชมีเทนให้สูงขึ้น 1-3 เท่า ซึ่งเกิดจากการเพิ่มธาตุคาร์บอนในดินอันเนื่องมาจากการใส่ฟางข้าวนั่นเอง นอกจากนี้ การไถกลบอินทรีย์วัตถุสัดฯ นิดเดียวในดินหาก่อนการเพาะปลูกข้าวในปริมาณสูงก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการเพิ่มปริมาณก้าชมีเทนเช่นกัน (Charoensilp, 1996, Katoh *et al.*, 1999b)

องค์ประกอบและความสามารถในการย่อยสลายเศษสัดเหลือใช้จากการเกษตรเหล่านี้ อาจจะทำให้เกิดก้าชในตระสօอกไซด์สูงขึ้นด้วย ซึ่งจากการรายงานการวิจัยพบว่า เมื่อมีเศษสัดเหลือใช้จากการเกษตรอยู่บนพื้นที่เพาะปลูกจะทำให้เกิดก้าชในตระสօอกไซด์สูงกว่าการไถกลบเศษสัดเหล่านั้นผสมลงในดินชั้นบนเนื่องจากเศษสัดเหลือใช้ที่อยู่บนพื้นดินนั้นเกิดการย่อยสลายในเวลาต่อมมา (Bouwman, 1996) ส่วนการใส่เมล็ดสัตว์จะทำให้ดินได้รับธาตุในตระสօอกไซด์สูง (Li *et al.*, 1996) แต่ในทางกลับกันในการวิจัยของ Ji *et al.* (1999) พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้มูลสัตว์ลงในดินนั้นอาจทำให้ก้าชในตระสօอกไซด์จากปฏิกิริยาในตระพิเศษนั้นและปฏิกิริยาดีในตระพิเศษนั้นต่ำลง ได้เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุนั้นใช้ออกซิเจนสูง

(3) ไก่พวน

การไก่พวนที่ระดับความลึกต่างๆ นั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพและทางเคมีของดิน หากมีการไก่พวนดินลึกมากจะทำให้ปริมาณธาตุเหล็กที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้และธาตุแมกนีเซียมที่เกิดปฏิกิริยาได้กชั้นได้ง่ายมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบของดินที่ถูกไก่พวนนั้นถูกชะออกมานะและสะสมในชั้นล่างของดินที่ถูกไก่พวนนั้น (Yanagisawa, 1978 in Yagi *et al.*, 1997) ส่วนดินที่ไม่ได้ไก่พวนอาจเกิดผลกระทบเช่นเดียวกับดินที่มีเศษชาจากอินทรีย์วัตถุบนพื้นผิว และอาจส่งผลให้เกิดก้าชมีเทนและการปล่อยก้าชมีเทนจากดินน้อยลง (Yagi *et al.*, 1997) ส่วนการใส่ปุ๋ยในตระสօอกไซด์โดยไม่มีการไก่พวนดินจะทำให้เกิดก้าชในตระสօอกไซด์สูง (Zheng *et al.*, 2000b)

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงวิธีการไถพรวนดินจากสภาพการเพาะปลูกปัจจุบัน คือ ไถพรวนดินให้น้อยลง จะทำให้เกิดก้าชในตรสอกรไซด์จากการเพาะปลูกน้อยลง เนื่องจากเกิดการย่อยสลายซึ่งทำให้เกิดธาตุในโตรเจนน้อยลง อีกทั้งเป็นการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินด้วย (Li *et al.*, 1996) ทั้งนี้ระดับความลึกในการไถพรวนดินมีผลต่อการเกิดก้าชในตรสอกรไซด์จากการเพาะปลูกเช่นกัน กล่าวคือการไถพรวนดินลงไปลึกมากจะทำให้ก้าชออกซิเจนในบรรยายกาศสามารถลดลงสูงสุดในระดับลึกได้จึงทำให้มีการเกิดก้าชในตรสอกรไซด์ลดลงได้ (Ji *et al.*, 1999) และจากการวิจัยของ Sitaula *et al.* (2000) ในประเทศนอร์เวย์ได้รายงานไว้ว่าการไถพรวนดินโดยใช้รถแทรคเตอร์ซึ่งทำให้เกิดการระบกวนดินคือการทำให้ดินเกิดการอัดแน่น ซึ่งว่างในดินลดลงทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของก้าชในดินลดลง ดังนั้นจึงทำให้ดินลึกมีปริมาณออกซิเจนต่ำจึงส่งผลให้เกิดสภาพไว้ออกซิเจนซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาในตริฟิเคชันสูงส่งผลให้เกิดก้าชในตรสอกรไซด์สูงขึ้นได้

แนวทางการลดการปล่อยก้าชเรือนกระจกในนาข้าว

การลดการปล่อยก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวมีการเสนอแนวทางหลากหลายวิธี โดยวิธีที่ได้รับสนใจอย่างมาก ได้แก่ การจัดการน้ำ ชนิดและการใส่ปุ๋ย และการจัดการตอซัง (เศษซากพืช) แต่อย่างไรก็ตาม การเลือกวิธีการจัดการการปล่อยก้าชเรือนกระจกในนาข้าวต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติที่ต้องไม่ขัดต่อวิถีชีวิตหรือรูปแบบการทำงานของเกษตรกรในพื้นที่ ในงานศึกษาได้เสนอแนวทางการลดก้าชเรือนกระจกที่มีประสิทธิภาพ คือ การจัดการน้ำ ดังนี้

การเปลี่ยนรูปแบบการจัดการน้ำ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก้าชเรือนกระจก โดยเฉพาะในช่วงประมาณการ การจัดการน้ำพอจำเป็นได้เป็น (1) การระบายน้ำระหว่างฤดูเพาะปลูก (mid-season drainage) เป็นการระบายน้ำครั้งเดียวในช่วงการเพาะปลูก ซึ่งอาจเป็นในช่วงการเจริญเติบโตส่วนลำต้นของข้าว (vegetative stage) โดยเฉพาะช่วงแตกกอสูงสุด (maximum tillering stage) หรือในช่วงการสีบพันธุ์ (reproductive stage) เช่น ช่วงกำเนิดช่อดอก (stage of panicle initiation) ช่วงดอกบาน (flowering stage) เป็นต้น และ (2) การระบายน้ำหลายครั้งระหว่างการเพาะปลูก (multiple drainage) ซึ่งอาจเป็นการระบายน้ำทั้งสองช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าว ก็ได้ แต่ทั้งนี้ การระบายน้ำในบางช่วงมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าว โดยอาจเป็นทั้งผลที่เพิ่มและผลที่ลดปริมาณผลผลิตก็ได้ ตารางที่ 2 ได้รวบรวมช่วงเวลาการระบายน้ำแบบระหว่างฤดูเพาะปลูกข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2 การระบายน้ำระหว่างฤดูเพาะปลูก (mid-season drainage) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	ช่วงระบายน้ำ	ระยะเวลาระบายน้ำ (วัน)
Corton et al. (2000)	ก่อนระยะกำเนิดซ่อดอก/ระยะสร้างรวงอ่อน	7-10
Minamikawa and Sakai (2005)	หลังปักดำ 83 วัน	4
Khind and Ponnampерuma (1981)	หลังปลูก 6 สัปดาห์	14
Neue (1997)	หลังปลูก 18-40 วัน (ระยะระหว่างการแตกกอ [mid tillering])	ไม่ระบุ
Tabbal et al. (2002)	ระยะแตกกอสูงสุด	7
Cabangon et al. (2003)	ระยะแตกกอสูงสุด	7-15
Bouman et al. (2000)	ระยะระหว่างหลังการแตกกอสูงสุด แต่ก่อนระยะกำเนิดซ่อดอก/ระยะสร้างรวงอ่อน	7-14
Babu et al. (2005)	หลังปักดำ 30 และ/หรือ 60 วัน	10-15
Belder (2005)	ก่อนระยะกำเนิดซ่อดอก/ข้าวสร้างรวงอ่อน	10-12
Towprayoon et al. (2005)	ระยะออกดอก (หลังปลูก 73 วัน)	7-10
Smakgahn et al. (2003)	ระยะออกดอก (หลังปลูก 64 วัน)	6
สายพิน (2546)	ช่วงระยะการเจริญเติบโตช่วงสีบพันธุ์	เวลาสั้นๆ

งานวิจัยของ Sass et al. (1992) ที่ประเทศสหรัฐอเมริกาเปรียบเทียบการจัดการน้ำในนาข้าวโดยจัดการน้ำแบบรายนาอย่างแยกจากแปลงนาหลายครั้งในฤดูกาลเพาะปลูก (multiple aeration) กับการจัดการน้ำแบบปกติคือไม่มีการระบายน้ำออกจากแปลงนาระหว่างฤดูกาลเพาะปลูกโดยพิจารณาด้วยตัวชี้วัดลงถึงร้อยละ 90 โดยได้ผลผลิตเท่ากัน และการวิจัยของ Corton et al. (2000) ก็ได้ผลเช่นเดียวกันคือพบว่าการระบายน้ำออกจากแปลงนาในระหว่างฤดูกาลเพาะปลูกนั้นสามารถลดก้าชมีเทนได้ถึงร้อยละ 92 ดังนั้นจึงแนะนำให้เกษตรกรทำงานข้าวแบบมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาในระหว่างการเพาะปลูกเพื่อเป้าหมายในการลดก้าชมีเทนที่จะเกิดขึ้น และช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายน้ำออกจากแปลงนาที่สามารถลดก้าชมีเทนแต่ไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อข้าวคือการระบายน้ำออกจากแปลงนากลางฤดูกาลเพาะปลูกในระยะเวลา 7-10 วัน หรือในช่วงต้นข้าวตั้งท้องที่ต้นข้าวได้รับธาตุในโตรเจนจากปุ๋ยเต็มที่แล้ว

แม้ว่าการระบายน้ำในระหว่างการเพาะปลูกข้าวจะช่วยลดปริมาณก้าชเรือนกระจกได้ดี แต่สภาวะของดินหลังการระบายน้ำที่มีปริมาณก้าชออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น จะส่งเสริมการเกิดก้าชในตระสออกแบบไชร์ดและทำให้ปริมาณในตระสออกแบบไชร์ดในนาเพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ การระบายน้ำจึงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดก้าชมีเทน แต่ก็ถูกหอนศักยภาพการลดการปล่อยก้าชเรือนกระจกด้วยปริมาณในตระสออกแบบไชร์ดที่สูงขึ้น เรียกว่า trade-off effect ดังนั้นการระบายน้ำจึงควรกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ควบคุมการปล่อยก้าชมีเทน แต่น้ำในพื้นที่นา yang มีเพียงพอที่จะควบคุมการเพิ่มในตระสออกแบบไชร์ดนั่นเอง

ความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าว

รูปแบบการปลูกข้าวแบบนำขังมีความเป็นไปได้ที่จะสะสม carbon ในดินได้ดีกว่าการปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นที่เป็นพืชไร่ เนื่องจากการขังนำข้าวจะลดกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์ตั้งแต่ในดิน เพาะสภาวะที่ไร้อากาศหรือมีออกซิเจนจำกัดนั้น จุลินทรีย์ดินย่อยสลายอินทรีย์ตั้งแต่ในอัตราที่ช้ากว่าในสภาวะที่มีอากาศ ทำให้อินทรีย์ตั้งแต่สมในดินได้ดีกว่า นาข้าวจึงมีศักยภาพในการกักเก็บ carbon ในดินได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะปลูกพืชไร่องค์นิดอื่นหรือเทียบกับปริมาณ carbon อินทรีย์ในดิน (SOC) เริ่มต้น (Huang et al., 2010; Sahrawat et al., 2005; Zhang et al., 2007) Pan and Zhao (2005) พบว่าอัตราการกักเก็บcarbon ในนาข้าวของจีนประมาณ 0.1 - 2 ตัน carbon ต่ำเขกแตร์ต่อปี และการศึกษาของ Huang et al. (2010) พบว่า แปลงนาที่ปลูกข้าวนาน 27 ปี มีปริมาณ SOC เพิ่มขึ้นร้อยละ 28.8 จากปริมาณ SOC เริ่มต้น ทั้งนี้ การปลูกข้าวต่อเนื่องในรอบปี ส่งเสริมการกักเก็บcarbon ในดินที่สูงกว่าการปลูกข้าวสลับกับพืชไร่องค์นิดอื่น หรือการปลูกพืชไร่องค์นิดอื่นหรือเดียว (Sahrawat et al., 2005) เพาะสภาวะที่ดินมีอากาศจำกัดต่อเนื่องรายงานว่าการปลูกข้าวสลับการปลูกพืชไร่

คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) จัดทำรายงานแนวทาง IPCC สำหรับบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติ ค.ศ. 2006 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) โดยมีข้อมูลส่วนหนึ่งเกี่ยวกับการประเมินการกักเก็บcarbon ในพื้นที่เพาะปลูก รวมถึงพื้นที่เพาะปลูกข้าว มีเนื้อหาที่กล่าวเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงcarbon ในดินเกษตรที่แบ่งได้เป็นพื้นที่เพาะปลูกพืชเกษตรต่างๆ ได้แก่ การปลูกพืชไร่ทั่วไป การปลูกข้าว การปลูกพืชยืนต้น เป็นต้น ตารางที่ 3 แสดงค่ากลาง (default value) ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณcarbon ในดิน โดยพบว่าการปลูกข้าวแบบนาขังนำที่ต่อเนื่องจะส่งเสริมการสะสมcarbon ในดินได้ดี โดยมีค่ากลางของการเปลี่ยนแปลงcarbon ในดินที่ 1.10 ซึ่งค่าที่กำหนดนี้หมายถึงcarbon ในดินมีการสะสมเพิ่มขึ้นจากสภาวะเริ่มต้น (ค่ากลาง = 1.00) ในขณะที่การปลูกพืชไร่องค์นิดอื่นๆ (ที่ไม่มีนาขัง) จะลดปริมาณcarbon ในดิน โดยอัตราลดลงมากหรือน้อยขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ ตัวอย่างเช่น สำหรับประเทศไทยที่อยู่ในเขตร้อนชื้น (tropical country) ที่มีปริมาณฝนต่อปีในระดับปานกลางถึงสูง มีค่ากลางการสะสมcarbon ในดินที่ 0.48 ซึ่งหมายถึงปริมาณcarbon ในดินลดลงภายใต้การเพาะปลูกพืชไร่นั่นเอง

ตารางที่ 3 ค่ากลางการเปลี่ยนแปลงかる์บอนในดินของพื้นที่เพาะปลูกต่างๆ ที่ดำเนินการต่อเนื่องอย่างน้อย 20 ปี (Lasco et al., 2006)

RELATIVE STOCK CHANGE FACTORS (F_{LU} , F_{MG} , AND F_t) (OVER 20 YEARS) FOR DIFFERENT MANAGEMENT ACTIVITIES ON CROPLAND						
Factor value type	Level	Temper-ature regime	Moist-ure regime ¹	IPCC defaults	Error ^{2,3}	Description
Land use (F_{LU})	Long-term cultivated	Temperate/ Boreal	Dry	0.80	± 9%	Represents area that has been continuously managed for >20 yrs, to predominantly annual crops. Input and tillage factors are also applied to estimate carbon stock changes. Land-use factor was estimated relative to use of full tillage and nominal ('medium') carbon input levels.
			Moist	0.69	± 12%	
		Tropical	Dry	0.58	± 61%	
			Moist/ Wet	0.48	± 46%	
		Tropical montane ⁴	n/a	0.64	± 50%	
Land use (F_{LU})	Paddy rice	All	Dry and Moist/ Wet	1.10	± 50%	Long-term (> 20 year) annual cropping of wetlands (paddy rice). Can include double-cropping with non-flooded crops. For paddy rice, tillage and input factors are not used.
Land use (F_{LU})	Perennial/ Tree Crop	All	Dry and Moist/ Wet	1.00	± 50%	Long-term perennial tree crops such as fruit and nut trees, coffee and cacao.
Land use (F_{LU})	Set aside (< 20 yrs)	Temperate/ Boreal and Tropical	Dry	0.93	± 11%	Represents temporary set aside of annually cropland (e.g., conservation reserves) or other idle cropland that has been revegetated with perennial grasses.
			Moist/ Wet	0.82	± 17%	
		Tropical montane ⁴	n/a	0.88	± 50%	
Tillage (F_{MG})	Full	All	Dry and Moist/ Wet	1.00	NA	Substantial soil disturbance with full inversion and/or frequent (within year) tillage operations. At planting time, little (e.g., <30%) of the surface is covered by residues.
Tillage (F_{MG})	Reduced	Temperate/ Boreal	Dry	1.02	± 6%	Primary and/or secondary tillage but with reduced soil disturbance (usually shallow and without full soil inversion). Normally leaves surface with >30% coverage by residues at planting.
			Moist	1.08	± 5%	
		Tropical	Dry	1.09	± 9%	
			Moist/ Wet	1.15	± 8%	
		Tropical montane ⁴	n/a	1.09	± 50%	
Tillage (F_{MG})	No-till	Temperate/ Boreal	Dry	1.10	± 5%	Direct seeding without primary tillage, with only minimal soil disturbance in the seeding zone. Herbicides are typically used for weed control.
			Moist	1.15	± 4%	
		Tropical	Dry	1.17	± 8%	
			Moist/ Wet	1.22	± 7%	
		Tropical montane ⁴	n/a	1.16	± 50%	

นอกจากนี้กิจกรรมการเกษตรเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินด้วย เช่น แปลงนาที่ได้รับปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ (farmyard manure) ต่อเนื่องเป็นเวลาระยะหนึ่ง ปริมาณ SOC ที่เพิ่มมากที่สุด คือ ร้อยละ 61.6 เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) และการใช้เชิงปุ๋ยเคมี โดยการกระจายตัวของ SOC ในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยมูลสัตว์พบ SOC ในรูปที่เสถียรสูงอีกด้วย ซึ่งแสดงถึงการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดินที่ดี (Huang et al., 2010) แต่ในระหว่างน้ำแห้ง (นอกฤดูทำนา) ดินที่ใส่ฟางข้าวมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าดินที่ไม่ใส่ฟางข้าว (Minamikawa and Sakai, 2007) และยังพบว่าแปลงนาที่ลดเวลาขังน้ำร่วมกับการทิ้งฟางข้าวในนา มีการสูญเสียคาร์บอนจากระบบที่ต่ำกว่าแปลงนาที่มีน้ำท่วมขังตลอดการเพาะปลูกและนำฟางข้าวออกจากแปลง ดังนั้น การจัดการนาข้าวให้เหมาะสมเป็นการส่งเสริมการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนนั่นเอง

บัญชีคาร์บอน (carbon budget)

บัญชีคาร์บอนในระบบวิเคราะห์นั้น ๆ หรือพื้นที่เพาะปลูก เป็นการจำแนกปริมาณคาร์บอนที่ได้รับเข้าสู่ระบบและปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากระบบ เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนในระบบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นลดลง หรือไม่เปลี่ยนแปลง การจัดทำบัญชีคาร์บอนของระบบวิเคราะห์ได้หลายวิธี แต่ในงานศึกษานี้ทำการศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าว จึงขออธิบายบัญชีคาร์บอนของนาข้าวด้วยสมการต่อไปนี้

$$\Delta C \text{ or NEE} = NPP - R_H - CH_4$$

NEE = net ecosystem exchange (เป็นผลผลิตสุทธิของระบบวิเคราะห์ศึกษา)

NPP = net primary productivity (เป็นผลผลิตสุทธิของผู้ผลิตในระบบวิเคราะห์ศึกษา ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่เจริญเติบโตในแปลงทดลองทั้งในส่วนเหนือดินและใต้ดิน)

R_H = soil heterotrophic respiration (การหายใจของจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ใช้อินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งพลังงาน)

CH_4 = ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกจากระบบวิเคราะห์ศึกษา (นาข้าว)

ค่า NPP เป็นปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ โดยคิดจากผลรวมของปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของระบบที่ศึกษา ในกรณีนี้ คือ มวลชีวภาพของต้นข้าวและพืชอื่น ๆ ในพื้นที่เพาะปลูก เช่น วัชพืช สาหร่าย เป็นต้น ทั้งในส่วนเหนือดินและใต้ดิน (above- and below-ground biomass) และค่า R_H เป็นปริมาณคาร์บอนที่ออกจากระบบที่ศึกษา โดยเป็นการสูญเสียคาร์บอนผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งหาได้หลายวิธี แต่ในงานศึกษานี้จะประเมินจากความสัมพันธ์กับการหายใจทั้งหมดของดิน (soil respiration; R_S) และการหายใจของรากพืช (root respiration; R_r)

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิดนิหรือการหายใจของดิน เป็นผลรวมของการหายใจของรากพืชและจุลินทรีย์ดินในกลุ่มที่ใช้อินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งพลังงาน โดยแสดงดังสมการต่อไปนี้

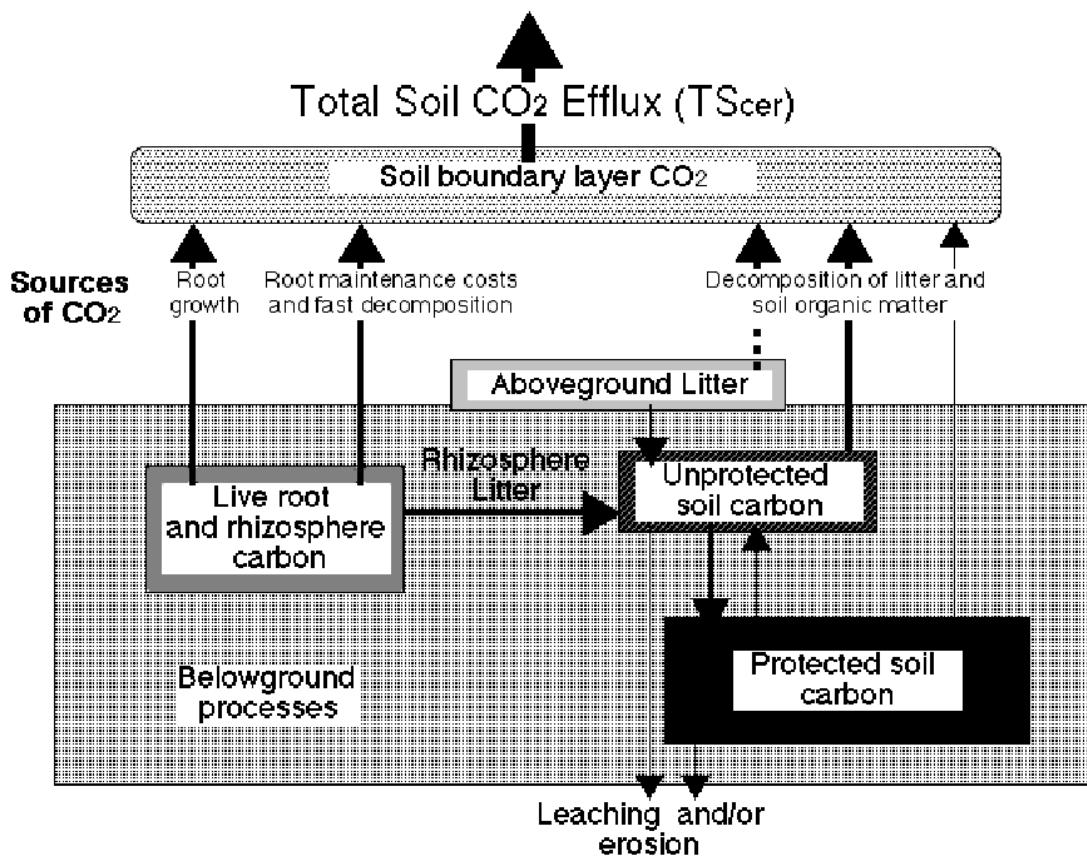
$$R_S = R_H + R_r$$

ค่า R_H เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ (1) อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter) (2) เศษซากพืชที่ใส่ในดิน (plant litter) และ (3) สารอินทรีย์ที่ปล่อยจากรากพืช (root exudate และ rhizodeposition) (ภาพที่ 6) โดยอินทรีย์วัตถุจากรากพืชนี้มักถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์บริเวณรากพืช (rhizosphere microorganisms) ด้วยเหตุนี้ จึงมีการจำแนก R_H เป็นการหายใจของจุลินทรีย์ดินบริเวณรากพืช (rhizosphere respiration; R_{rhizo}) และจุ

ลินทรีดินที่ห่างจากรากพืช (non-rhizosphere respiration; $R_{\text{non-rhizo}}$) ที่อาจวัดได้จากดินที่ไม่ปลูกพืช (bare soil) ดังสมการต่อไปนี้

$$R_H = R_{\text{rhizo}} + R_{\text{non-rhizo}}$$

$$R_S = R_{\text{rhizo}} + R_{\text{non-rhizo}} + R_r$$



ภาพที่ 6 แหล่งกำเนิดของการปล่อยก๊าซcarbon dioxideจากผิวดิน (Hanson et al., 2000)

อย่างไรก็ตาม การแยกวัดค่า R_r และ R_{rhizo} เพียงอย่างเดียวทำได้ยาก โดยเฉพาะการวัดโดยตรงในพื้นที่ งานศึกษาที่เกี่ยวข้องได้ประเมินสัดส่วนระหว่างค่า R_r , R_{rhizo} และ $R_{\text{non-rhizo}}$ ซึ่งโดยมากทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการและอาจใช้เทคนิคชั้นสูง เช่น carbon isotope (¹⁴C) งานวิจัย Kuzyakov (2002) พบว่าการหายใจของรากพืชคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 40-50 ของปริมาณการปล่อยcarbon dioxideที่เกี่ยวข้องกับราก การรวมรวมข้อมูลเกี่ยวกับสัดส่วนของ R_r , R_{rhizo} และ $R_{\text{non-rhizo}}$ ต่อ R_S แสดงดังตารางที่ 4

ดังนั้น การประเมินค่า R_H จึงทำได้โดยการวัดปริมาณกําชคาํร์บอนไคออกไซด์ที่ปล่อยจากผิวดินระหว่างแคลตันข้าว (R_S) ซึ่งเป็นผลรวมของ R_H และ R_r (การหายใจของรากพืช) เพื่อให้ได้ผลของสารอินทรีย์ที่ปล่อยจากการพืชระหว่างการปลูกข้าวร่วมด้วย แทนการเก็บตัวอย่างกําชจากผิวดินของแปลงที่ไม่ปลูกข้าว (bare soil) ที่แสดงค่า $R_{non-rhizo}$ เท่านั้น

ตารางที่ 4 สัดส่วนของ R_r , $R_r + R_{rhizo}$ และ $R_{non-rhizo}$ ต่อ R_S ในพื้นที่เพาะปลูกพืชต่างๆ

ชนิดพืช	% of R_S			ที่มา
	R_r	$R_r + R_{rhizo}$	$R_{non-rhizo}$	
ข้าวโพด	8-19	18-40	51-82	Sapronova and Kuzyakov (2007)
พื้นที่เก่าและพืชไร่	20.3			Hanson et al. (2000)
ข้าว		33-51	53-67	ดัดแปลงจาก Iqbal (2009)
ข้าว				
ช่วงน้ำขัง	10-30			ดัดแปลงจาก Zou et al. (2004)
ช่วงระบายน้ำ	40			

จากนั้น ทำการหาค่า R_H โดยการนำค่า R_S ที่วัดได้มาคำนวณกับค่าสัมประสิทธิ์ (β) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_r และการหายใจดิน ดังนั้น การคำนวณหาปริมาณ R_H ทำโดยคูณปริมาณ R_S กับ $(1 - \beta)$ อ้างอิงตามหลักการคำนวณที่ปรับปรุงจาก Zou et al. (2004)

$$R_H = (1 - \beta) (R_S)$$

การทำบัญชีคาร์บอนของพื้นที่ปลูกข้าว แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงปลูกข้าว (ที่มีการขังน้ำ) และช่วงพักนา (ที่พื้นที่ปลูกไว้และไม่ขังน้ำ) รายการบัญชีคาร์บอนอ้างอิงตามวิธีของ Minamikawa and Sakai (2007) ที่มีรายละเอียดดังนี้

- ช่วงปลูกข้าว (growing period)

บัญชีคาร์บอนของนาข้าวช่วงขังน้ำ มีส่วนเพิ่มเติมจากบัญชีคาร์บอนในช่วงพักนาหรือพื้นที่ปลูกพืชไร่โดยทั่วไป (upland crops) เพราะมีช่วงเวลาที่ขังน้ำในนาที่ทำให้คาร์บอนสูญเสียจากพื้นที่ปลูกในรูปของกําชมีเทน ($R_{methane}$) ดังนั้น การทำบัญชีคาร์บอนจึงเพิ่มค่า $R_{methane}$ ในสมการคำนวณ

$$\Delta C = NPP - R_{H \text{ (carbon dioxide)}} - R_{methane}$$

- ปริมาณคาร์บอนที่ได้รับเข้าสู่พื้นที่ปลูก คือ ปริมาณคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุที่ใส่ในแปลงนาทดลอง ได้แก่ คาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นข้าว (ส่วนเหนือดินและใต้ดิน) ที่เหลืออยู่ในพื้นที่ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตอซังและراكข้าว) เศษซากพืช (ข้าว) ที่ด้วยระหว่างการปลูกข้าว สารอินทรีย์ที่ปล่อยจากรากข้าว (exudate) และปุ๋ยอินทรีย์
- ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ปลูก ได้แก่ ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของจุลินทรีย์ดิน (heterotrophic respiration; R_H)

- ช่วงพักนา (fallow period)

บัญชีคาร์บอนของนาข้าวช่วงพักนาใช้สมการต่อไปนี้ในการคำนวณ

$$\Delta C = NPP - R_H$$

- ปริมาณคาร์บอนที่ได้รับเข้าสู่พื้นที่ปลูก ได้แก่ มวลชีวภาพของต้นข้าวที่โตจากตอซังหรือออกใหม่ (ratoon) และวัชพืช
- ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ปลูก ได้แก่ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด (การหายใจองค์เดียว)

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแบบจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตร

ปัจจุบันมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายแบบจำลองถูกนำมาใช้ในการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการเกษตรรวมทั้งจากนาข้าว เพื่อประโยชน์ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของโลก อย่างไรก็ตามการประเมินโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์จะแม่นยำหรือไม่ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูก ได้แก่ คุณสมบัติของดิน ภูมิอากาศ และรูปแบบการเพาะปลูก ซึ่งปัญหาในการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พบมากได้แก่ ข้อมูลที่มีความจำเป็นต้องใช้สำหรับการประเมินไม่เพียงพอ หรือ ขาดคุณภาพ

แบบจำลองที่ให้ผลการประเมินค่อนข้างแม่นยำในการศึกษาที่ผ่านมาได้แก่

- DNDC model (Li, 1992)
- Methane Emissions from Rice EcoSystems (MERES) model (Matthews et al., 2000a) - The empirical model developed by Huang et al., (1998)
- Methane Emission Model (MEM) (Cao et al., 1995)
- Simulation of production in anaerobic rice soils by a simple two- pool model (SOM) (Lu et al., 2000b)

1) Semi-empirical model (Huang et al., 1998a, Sass et al., 2000)

The empirical model (Huang et al., 1998) ถูกสร้างขึ้นเพื่อประเมินการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวภายใต้เงื่อนไขที่มีการขังน้ำในนาข้าวเท่านั้น (flooded conditions) แบบจำลองคำนวณมีเทนโดยพิจารณาเงื่อนไขของต้นข้าวเป็นหลัก และอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยรอง โดยสมมติฐานของแบบจำลองคือธาตุอาหารหรือพลังงานของ methanogenic bacteria ได้มาจากต้นข้าวและการเติมอินทรีย์วัตถุในการปลูกข้าว อัตราการเกิดก๊าซมีเทนในดินนาน้ำขังจึงถูกประเมินมาจากพลังงานหรือธาตุอาหารที่ methanogenic จะได้รับ และประเมินจากปัจจัยอันเกิดจากสิ่งแวดล้อม ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยออกมานั้นถูกควบคุมด้วยระดับการเจริญเติบโตของต้นข้าวและพัฒนาการด้านการเจริญเติบโตของต้นข้าว ปริมาณก๊าซมีเทนที่จะปล่อยออกมายังดินนี้สูงหากกาศสามารถประเมินได้จากอัตราการเกิดมีเทนและส่วนที่ถูกปล่อยออก ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการประเมินมีเทนโดยใช้แบบจำลองนี้ได้แก่ ผลผลิตสุทธิของข้าว ปัจจัยด้านพันธุ์ข้าว โครงสร้างเนื้อดิน อุณหภูมิ ดินและอินทรีย์วัตถุที่ใช้ในการปลูกข้าว ในแบบจำลองนี้ค่าออกซิเดชันรีดักชัน (soil Eh) ของดินเป็นปัจจัยหลักที่บ่งชี้ถึงสภาพะของดินที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ซึ่งแบบจำลองนี้คำนวณค่าออกซิเดชันรีดักชันในดินโดยใช้ค่า -150 mV เป็นหลักเนื่องจากเป็นค่าที่ดินมีสภาพะเหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทนมากที่สุดซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ Wang et al., 1993 ทั้งนี้การลดลงของค่าออกซิเดชันรีดักชันในดินหลังจากดินถูกขังน้ำจะอยู่ในรูป exponential function ซึ่งอ้างอิงตามข้อมูลงานวิจัยของ Lewis 1996

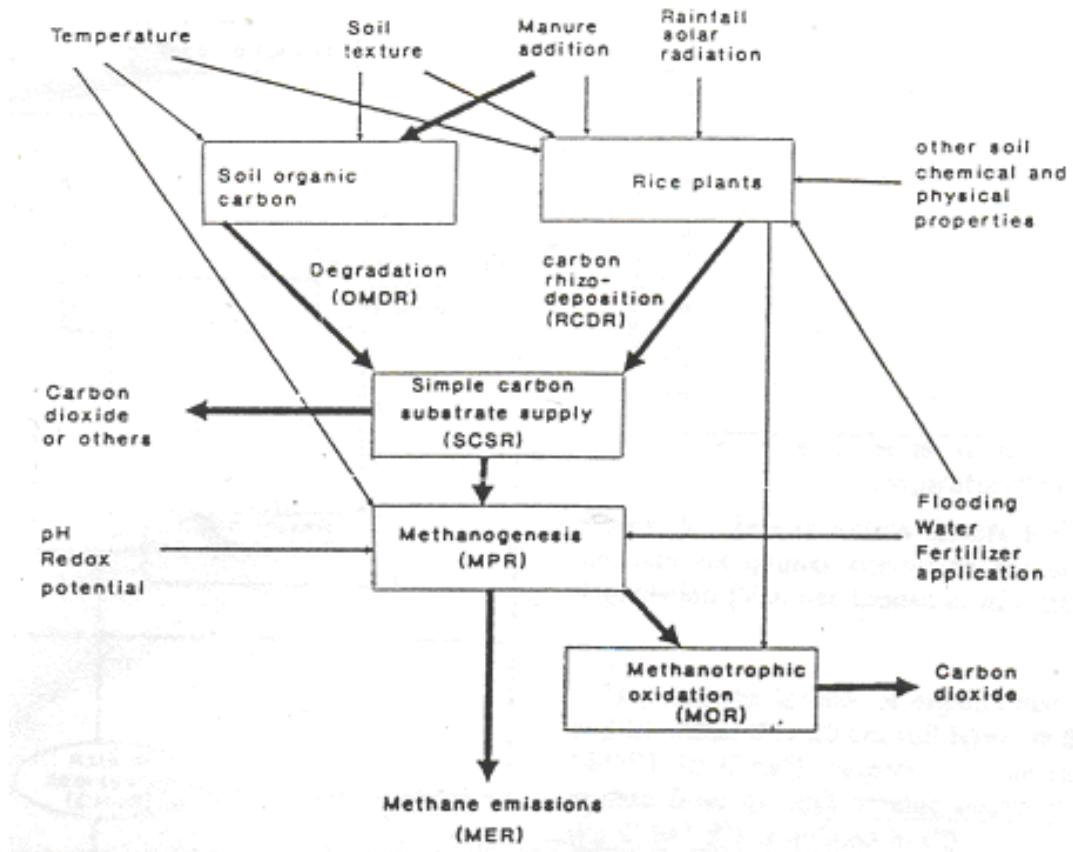
แบบจำลองนี้ได้ใช้เพื่อจำลองการประเมินการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในประเทศไทย หรือเมริกาและหลายแห่งทั่วโลก จากผลการจำลองพบว่าแบบจำลองนี้สามารถประเมินการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ โดยอาศัยปัจจัยนำเข้าซึ่งได้แก่ผลผลิตสุทธิของการปลูกข้าว คุณลักษณะพันธุ์ข้าว เนื้อดิน อุณหภูมิของดิน และการใช้อินทรีย์วัตถุในการปลูกข้าว แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ยังคงจำเป็นต้องทดสอบเพื่อจำลองการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวในบริเวณอื่นๆอย่างกว้างขวางและมีความจำเป็นต้องปรับปรุงในบางส่วน อาทิการประเมินการเกิดก๊าซมีเทนในดินนาที่ไม่ถูกขังน้ำ เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลการจำลองที่แม่นยำมากขึ้น

2) Methane Emission Model (MEM) (Cao et al., 1995)

แบบจำลอง MEM สามารถอธิบายการเกิดก๊าซมีเทนและการออกซิไดซ์ของก๊าซมีเทนในนาข้าวได้ โดยในแบบจำลองนี้ประเมินก๊าซมีเทนในระบบนิเวศการปลูกข้าวโดยพิจารณาการเจริญเติบโตของต้นข้าว และการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ปลูกข้าวเป็นองค์ประกอบหลัก อัตราการเกิดก๊าซมีเทนขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มปริมาณสารคาร์บอนจากอินทรีย์วัตถุจากการทับถมกันของรากข้าว และจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

ก๊าซออกซิเจนที่เคลื่อนที่จากอากาศลงสู่ดินนาเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของต้นข้าว และส่งผลต่อการออกซิเดชั่นของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศประเมินได้จากสมดุลระหว่างการเกิดก๊าซมีเทนและก๊าซมีเทนที่ถูกออกซิไดซ์ ภาพที่ 7 อธิบายหลักการทำงานของแบบจำลอง MEM โดยแสดงรูปแบบการปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลักคือการบ่อนและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเกิดมีเทน โดยลูกศรหนาแสดงถึงเส้นทางการไหลของธาตุคาร์บอนและเส้นทางแสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดมีเทน

ในการใช้แบบจำลอง MEM เพื่อจำลองการปล่อยก๊าซมีเทนนั้น ค่าคาร์บอนอินทรีย์ได้มาจากการ 3 แหล่งที่เกิดจากการย่อยสลาย โดยพลังงานหรือธาตุอาหารของ methanogens ได้มาจากอินทรีย์สารที่รากข้าวปล่อยออกมา (root exudates) และเนื้อเยื่อของรากข้าวที่ตายแล้ว อัตราการเกิดก๊าซมีเทนขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมของ methanogens การเกิดก๊าซมีเทนจึงคำนวณจากรูปแบบของแหล่งพลังงานและปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ methanogens ซึ่งได้แก่ ค่าออกซิเดชั่นรีดักชันในดิน ค่าปฏิกิริยาดิน อุณหภูมิดิน ระดับน้ำ และการใช้ปุ๋ย อย่างไรก็ตามแบบจำลอง MEM ยังมีข้อบกพร่องในการประเมินก๊าซมีเทนในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของข้าว การพัฒนาแบบจำลองนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็นโดยจำเป็นต้องทราบให้แน่ชัดถึงแหล่งที่มาของแหล่งพลังงานหรืออาหารสำหรับ methanogens ที่มาจากการต้นข้าว การลำเลียงออกซิเจนในต้นข้าวในดินน้ำขัง และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์มีเทน และผลกระทบของการระบายน้ำออกจากนาข้าวรวมถึงการนำน้ำเข้าขังอีกรังส์ต่อการเกิดและการออกซิไดซ์ของมีเทน



ภาพที่ 7 อธิบายหลักการทำงานของ Methane emission model (MEM).

3) A simple two- pool model (SOM) (Lu et al., 2000b)

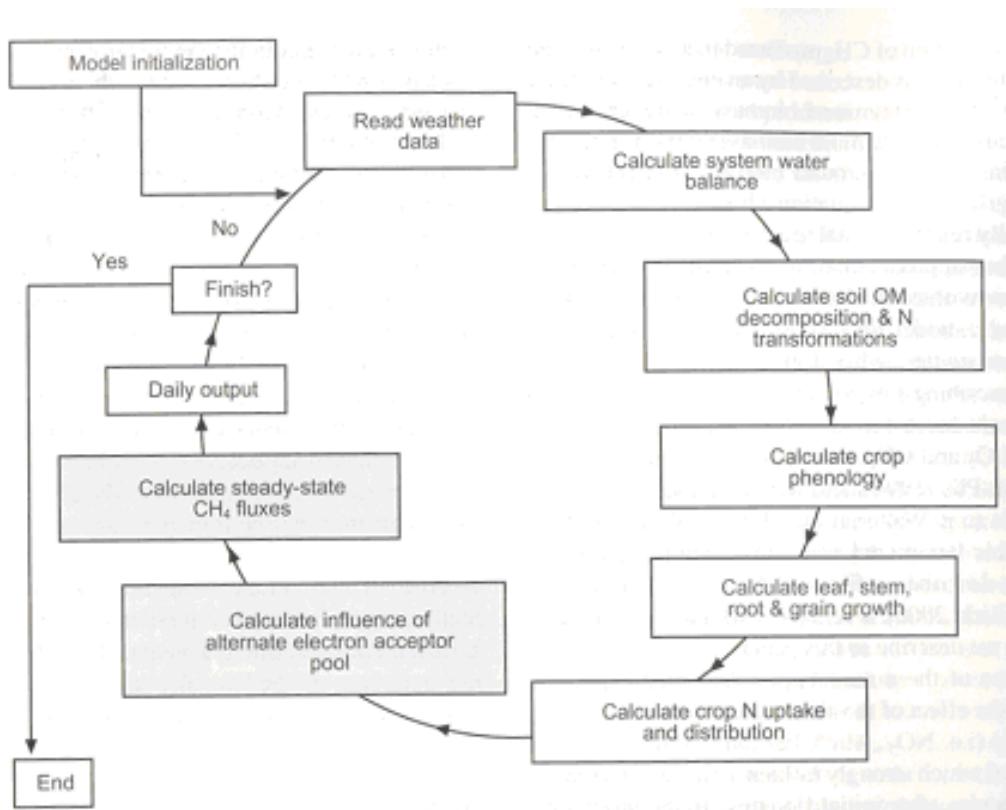
A simple two-pool model สร้างขึ้นเพื่อจำลองการเกิดกําชมีเทนในการบ่มดินในสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งการเกิดกําชมีเทนสอดคล้องกับแหล่งปริมาณอินทรีย์ตถุที่หลากหลายแบบจำลองอาศัยการประเมินจากจำนวนการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ตถุโดยจุลินทรีย์เป็นหลัก ซึ่งโดยปกติกําชมีเทนเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยอะซิเตท กลูโคส และฟางข้าว การเกิดแหล่งอาหารสำหรับ methanogenesis เหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่จะนำไปสู่การย่อยสลายคาร์บอนในภาวะไร้อากาศ ซึ่งอัตราการย่อยสลายคาร์บอนนี้ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาความเข้มข้นของแหล่งอาหาร และปริมาณชีวมวลของจุลินทรีย์ในระบบ

จากการทดลองบ่มดินนี้ให้เห็นว่าการเกิดกําชมีเทนนั้นขึ้นอยู่กับกิจกรรมในองค์ประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในเดือนเท่านั้น ในแบบจำลองนี้ คาร์บอนอินทรีย์ในเดือนนั้นได้มาจากการบ่มดิน 2 แหล่ง คือแหล่ง F คือเกิดจากการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว และ แหล่ง S เกิดจากการย่อยสลายในอัตราที่ช้า อะซิเตทและกลูโคสซึ่งเป็นตัวกลางที่จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นมีเทนภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจนนั้น มาจากแหล่ง F (>yoy สลายรวดเร็ว) ในขณะที่เซลลูลอสและสิ่งอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงเซลลูลอสได้มาจากแหล่ง S (>yoy สลายช้า) มีเทน peak แรกที่เกิดขึ้นในระบบเกิดจากการย่อยสลายของแหล่ง F ซึ่งหมายถึงอะซิเตทและกลูโคสในขณะที่ช่วงท้ายของการเกิดมีเทนนั้นได้แหล่งคาร์บอนอินทรีย์จากแหล่ง S ซึ่งมาจากพากเซลลูลอส

แบบจำลองนี้ได้พิจารณาถึงอิทธิพลของชีวมวลของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดมีเทนในดินนาในสภาพที่มีอินทรีย์วัตถุสูง และพบว่าการจำลองการเกิดมีเทนโดยใช้แบบจำลองนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณการย่อยสลายอินทรีย์สารโดย $r^2 = 0.61$ ถึง 0.91 แบบจำลองนี้สามารถประเมินการเกิดมีเทนช้าไปช้ามากภายใต้เงื่อนไขที่มีการควบคุมแหล่งพลังงานแก่จุลินทรีย์และอยู่ภายใต้สภาพไร้อากาศ และหากใช้แบบจำลองนี้จำลองการเกิดมีเทนในระดับ field-scale จะเป็นต้องควบคุมค่าแหล่งพลังงานแก่จุลินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนในดินค่า electron-acceptor re-oxidation และค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เนื้อดิน เป็นต้น

4) Methane Emissions from Rice EcoSystems (MERES) model (Matthews et al., 2000a)

แบบจำลอง Methane Emissions in Rice EcoSystems (MERES) เป็นแบบจำลองแบบ process based model ที่สามารถจำลองการย่อยสลายอินทรีย์สารในดินเพื่อประเมินแหล่งพลังงานสำหรับ methanogenesis ซึ่งทำการทำงานของแบบจำลอง CERES-Rice crop มาเชื่อมโยงในการจำลองเพื่อประเมินความเข้มข้นของมีเทนและปริมาณออกซิเจนในดินน้ำขัง แบบจำลองนี้คำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเป็นอัตราของแหล่งพลังงานที่ให้กับจุลินทรีย์ โดยอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุนั้นได้มาจากอินทรีย์สารที่ปลดปล่อยจากราก และการย่อยสลายของรากที่ตายแล้วในดิน โดยอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์สารที่เหลือทิ้งไว้ในพื้นที่ปลูก อุณหภูมิ ค่าความชื้นในดิน และอัตราการบ่อนท่อในโตรเจน อินทรีย์สารที่ปลดปล่อยจากรากประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีหนักไม่เล็กสูง ซึ่งปริมาณการบอนทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาจากรากมักสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของรากและชีวมวล(แห้ง)เห็นอีกด้วย ดังนั้นเศษวัสดุที่เหลือทิ้งไว้ในพื้นที่ถือว่ามีแนวโน้มเป็นแหล่งพลังงานสำหรับ methanogenesis ภาพที่ 8 แสดงโครงสร้างการทำงานของแบบจำลอง MERES ในวงจรการคำนวณแต่ละรอบจะคำนวณในหนึ่งรอบวัน โดยจะคำนวณอินทรีย์สารจากรากตายแล้วและอินทรีย์สารที่ปลดปล่อยจากราก ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการจำลองโดยใช้แบบจำลองได้ปรับปรุงมาจากแบบจำลอง CERES-Rice นี้คือค่า alternative electron acceptor และค่าความเข้มข้นของมีเทน รวมถึงปริมาณออกซิเจนในดิน ปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองโดยใช้แบบจำลองนี้คือ การจัดการน้ำ ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยอนินทรีย์ และการประเมินการเปลี่ยนแปลงของในโตรเจน



ภาพที่ 8 Schematic diagram of the structure of the MERES crop/soil model.

5) The DNDC model (Denitrification – Decomposition) (Li et al., 1992, 1994, 1996, 2000).

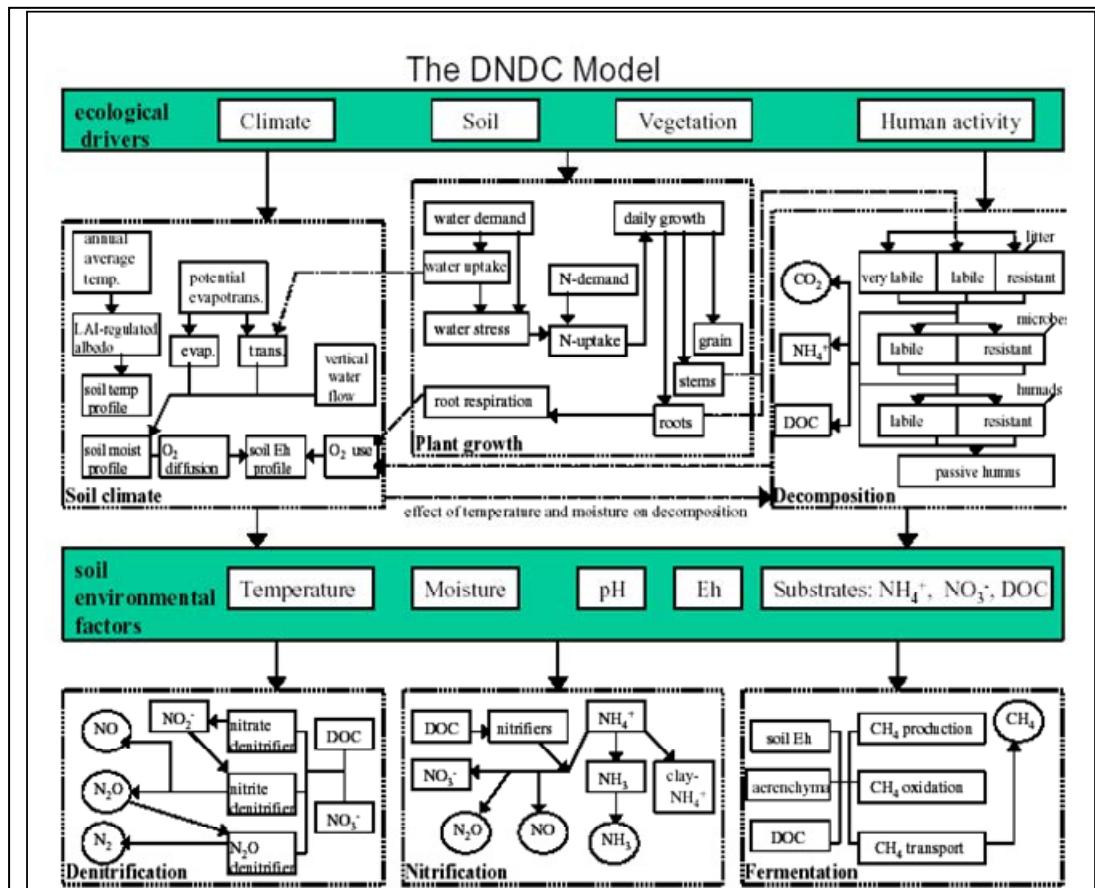
The DNDC model

Denitrification-Decomposition (DNDC) model เป็น process based model ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประเมินชีวเคมีของคาร์บอนและไนโตรเจนในดิน โดยโมเดลประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้นของชีวเคมีพื้นฐานและกระบวนการทางธารณ์เคมี ซึ่งโมเดลสร้างขึ้นโดยมีองค์ประกอบ 2 องค์ประกอบ 1) องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วยโมเดลย่อย (sub-models) ด้านดิน ภูมิอากาศ การเจริญเติบโตของพืช และ ขบวนการ decomposition ซึ่งสามารถคาดการณ์อุณหภูมิดิน ความชื้นของดิน ค่าความเป็นกรดด่าง และความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆ ในดิน sub-models ต่างๆ เหล่านี้ทำงานโดยอ้างอิง ลักษณะนิเวศวิทยาของพื้นที่ รวมถึงสภาพภูมิอากาศ ลักษณะพืช และกิจกรรมในการเพาะปลูกจาก การกระทำของมนุษย์ 2) องค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วย denitrification และ fermentation sub-models ซึ่งคาดการณ์การเกิด NO, N₂O, N₂, CH₄ และ NH₃ fluxes โดยอาศัยการประมวลผลข้อมูลจากข้อมูลสภาพแวดล้อมในดินของพื้นที่ศึกษา

การคำนวณคาร์บอนอินทรีย์ในดินนั้นคำนวณจากองค์ประกอบ 4 องค์ประกอบหลักได้แก่ 1) เชษชากรพืช 2) microbial biomass 3) humus และ 4) passive humus ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมี องค์ประกอบย่อยประมาณ 2-3 องค์ประกอบซึ่งมีความแตกต่างกันของอัตรา decomposition โดย

อัตราการ decomposition รายวันในแต่ละองค์ประกอบจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินได้แก่ ปริมาณอนุภาคดินเนื้ยา ปริมาณไนโตรเจน อุณหภูมิดิน ความชื้นในดิน และเมื่อคาร์บอนอินทรีย์ถูกย่อยสลาย คาร์บอนอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกําชقرارบอนไดออกไซด์สูญเสียออกจากดินสู่บรรยากาศ Dissolved organic carbon (DOC) เป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิด decomposition และสามารถเปลี่ยนแปลงรูปได้โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการประเมินผลของโมเดลประกอบด้วยองค์ประกอบทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ศึกษา 4 ด้าน ได้แก่ ปัจจัยด้านภูมิอากาศ ดิน พืช และการเขตกรรมจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้ (มีรายละเอียดของข้อมูลแต่ละด้าน ดังแสดงในรูปด้านล่าง) เป็นปัจจัยนำเข้าสู่โมเดลเพื่อเป็นพื้นฐานของการประเมินการเปลี่ยนแปลง (การคาดการณ์) ควรบอน และไนโตรเจนในพื้นที่การเกษตร โดยโมเดลสามารถคาดการณ์ทั้งในระดับเจาะจงพื้นที่ (site) และระดับพื้นที่ขนาดใหญ่ (regional) เช่นพื้นที่ทั่วประเทศ ซึ่งความแม่นยำของการคาดการณ์โดยโมเดลนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 ด้าน



ภาพที่ 9 Biogeochemical model of the DNDC model (University of New Hampshire, 2003)

งานวิจัยนี้จะนำแบบจำลอง DNDC มาใช้ในการ simulate เพื่อประเมินความสามารถในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ประเภทที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ) จากนาข้าวและประเมินศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของการปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากแบบจำลองสามารถแสดงผลได้ละเอียดถึงระดับข้อมูลรายวันของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ ในพื้นที่ได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงธาตุคาร์บอนในดิน เป็นต้น ซึ่งสามารถนำผลดังกล่าวมาพิจารณาประกอบในการวิเคราะห์ข้อมูลได้มากกว่าการเก็บตัวอย่างข้อมูลภาคสนามเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการเก็บข้อมูลภาคสนามมีข้อจำกัดอยู่พอสมควร นอกจากนี้แบบจำลองดังกล่าวยังสามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นๆ ได้ หากมีข้อมูลนำเข้าที่เพียงพอเหมาะสม

รายละเอียดงานวิจัยและผลการศึกษา

1. ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา

สภาพทั่วไป

ที่ตั้ง ตำบลคุ้ยายหมีเป็นหนึ่งในจำนวน 4 ตำบลของอำเภอสนมชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา อยู่ห่างจากที่ว่าการอำเภอสนมชัยเขต 9 กิโลเมตร (พิกัด $13^{\circ}39'30''N$ และ $101^{\circ}26'18''E$) มีพื้นที่ทั้งหมด 159 ตารางกิโลเมตร โดยมีอาณาเขตติดต่อกับตำบลต่างๆ ดังนี้ (ภาพที่ 10-11)

ทิศเหนือ	ติดต่อด้วยถนน อำเภอพนมสารคาม	จังหวัดฉะเชิงเทรา
ทิศใต้	ติดต่อด้วยถนน อำเภอสนมชัยเขต	จังหวัดฉะเชิงเทรา
ทิศตะวันออก	ติดต่อด้วยถนน อำเภอสนมชัยเขต	จังหวัดฉะเชิงเทรา
ทิศตะวันตก	ติดต่อด้วยถนน อำเภอพนมสารคาม	จังหวัดฉะเชิงเทรา

เขตการปกครอง ตำบลคุ้ยายหมี ประกอบด้วย 17 หมู่บ้าน ได้แก่

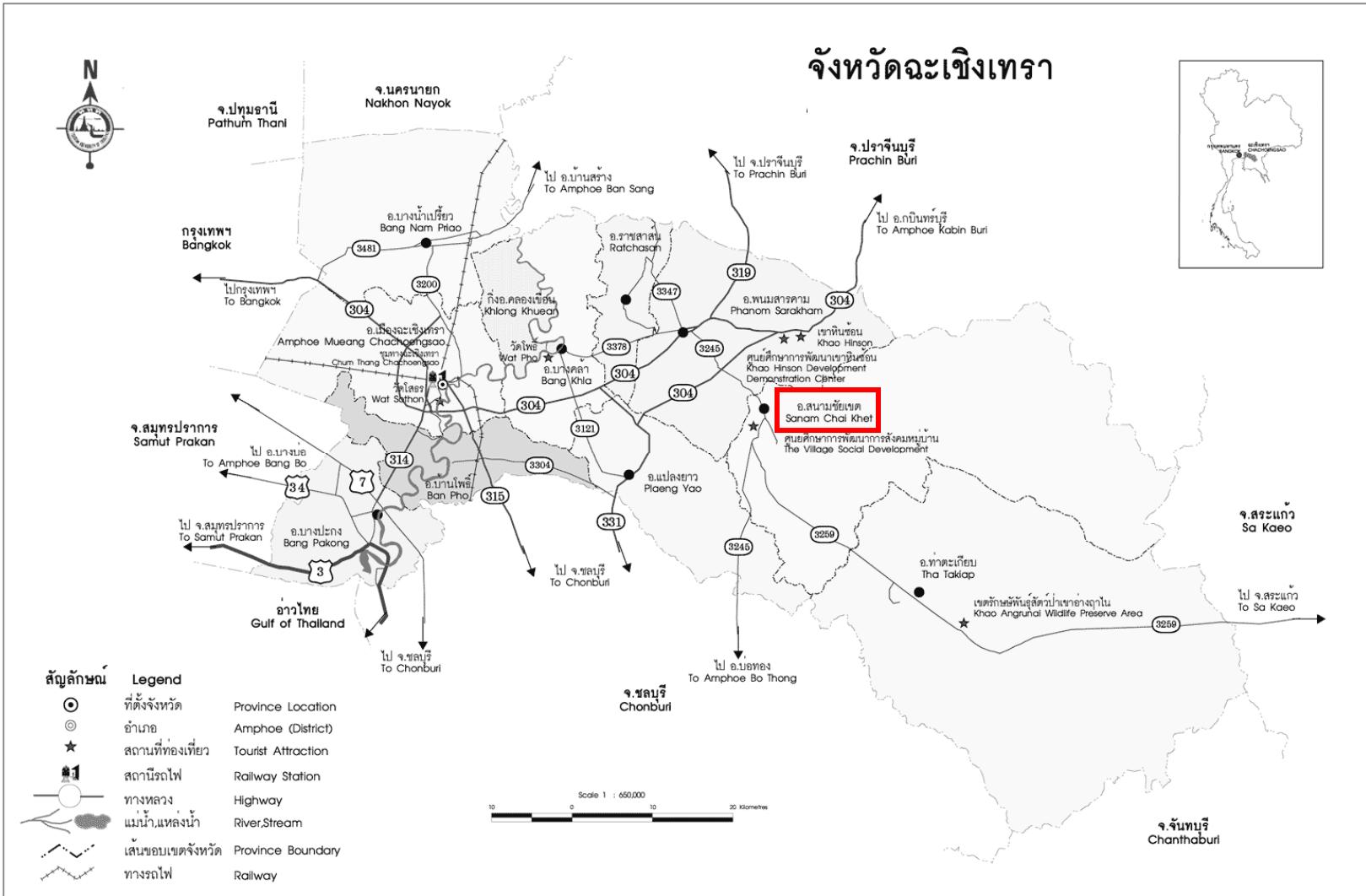
หมู่ที่ 1 บ้านบางมะเพ่อง	หมู่ที่ 2 บ้านบางพะเนียง	หมู่ที่ 3 บ้านดอนท่านา
หมู่ที่ 4 บ้านโนนงาม	หมู่ที่ 5 บ้านสระไม้แดง	หมู่ที่ 6 บ้านยางแดง
หมู่ที่ 7 บ้านวังไทร	หมู่ที่ 8 บ้านหนองยาง	หมู่ที่ 9 บ้านท่าม่วง
หมู่ที่ 10 บ้านอ่างทอง	หมู่ที่ 11 บ้านอ่างตาดึง	หมู่ที่ 12 บ้านป่าอีแทน
หมู่ที่ 13 บ้านโพธิ์ทอง	หมู่ที่ 14 บ้านบึงตะเข้	หมู่ที่ 15 บ้านห้วยกบ
หมู่ที่ 16 บ้านโพธิ์งาม	หมู่ที่ 17 บ้านเนินทราย	

ด้านโครงสร้างพื้นฐาน

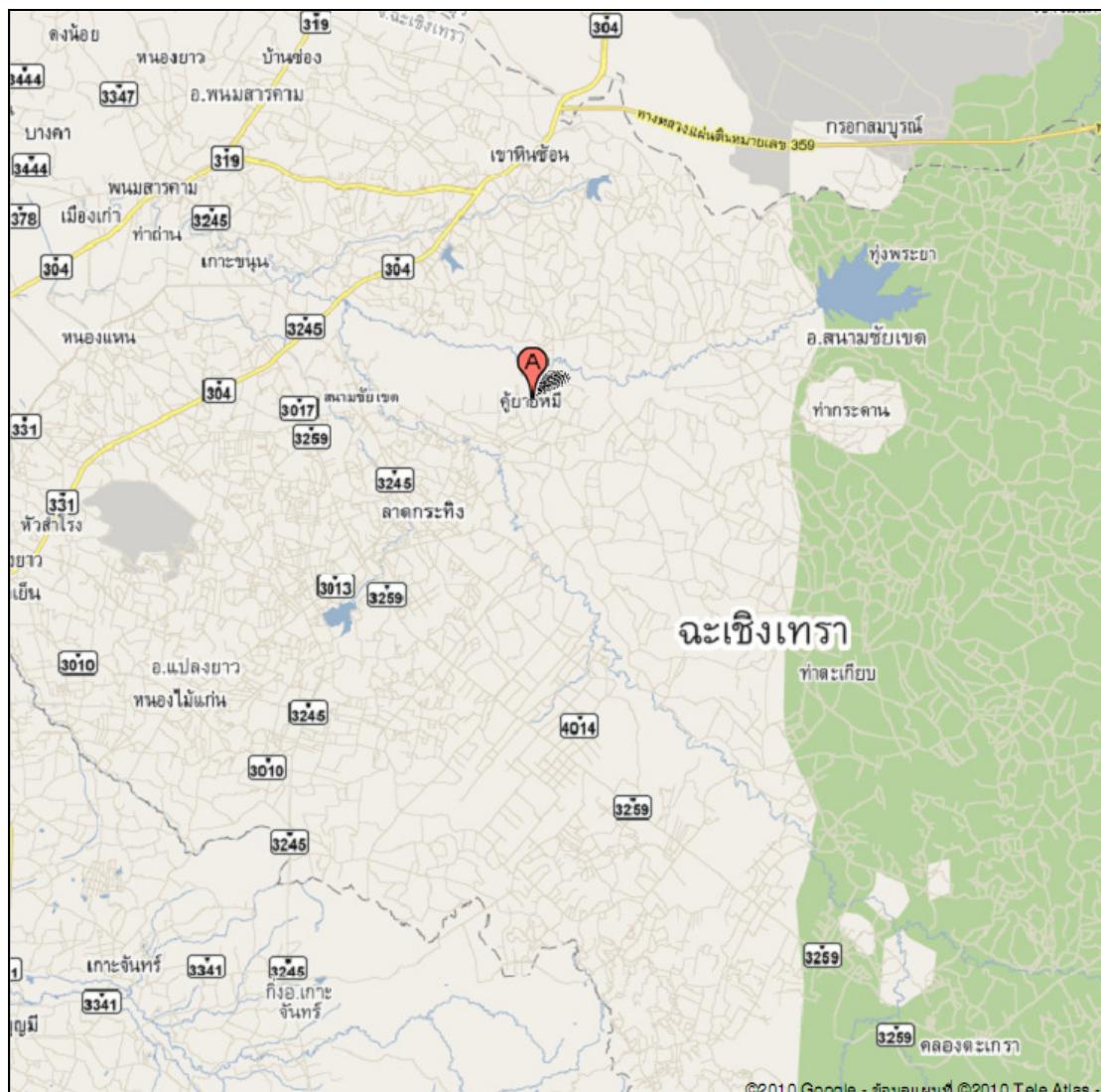
ตำบลคุ้ยายหมีมีระบบบริการสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานพอเพียงต่อความต้องการของประชาชนภายในตำบล ได้แก่ ถนน ระบบไฟฟ้า ประปา แต่ยังขาดระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล และโทรศัพท์สาธารณะ โดยส่วนใหญ่ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่

ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ตำบลคุ้ยายหมี มีทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญ ได้แก่ คลองสียัด คลองระบบ บึงด้วน หนอง หนอง บึงตะกุด หนองแก่น หนองสองสิ้ง หนองหอย บึงฉลุด ห้วยนาบตันยาง บึงสระไม้แดง บึงโสม หนองยาง ห้วยสาระผ่า อ่างตาดึง หนองแฟบ



ภาพที่ 10 แผนที่ตั้งจังหวัดฉะเชิงเทรา



ภาพที่ 11 แผนที่ที่ตั้งของตำบลคุ้ย้ายหมี อำเภอสนานชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

ด้านเศรษฐกิจ

ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ได้แก่ ทำนา ทำสวน ทำไร่ เลี้ยงสัตว์ พืชที่ปลูกมาก ได้แก่ มันสำปะหลัง ยูคาลิปตัส สับปะรด ยางพารา อาชีพอื่นๆ ได้แก่ รับจ้างทั่วไป และทำงานโรงงานอุตสาหกรรมนอกพื้นที่

ด้านสังคม การศึกษา ศาสนา ศิลปวัฒนธรรม

- ตำบลคุ้ยายหมี มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 10,672 คน โดยเป็นชาย 5,415 คน และเป็นหญิง 5,257 คน มีความหนาแน่นเฉลี่ย 67.12 คน/ตารางกิโลเมตร มีจำนวนครัวเรือนทั้งสิ้น 2,870 ครัวเรือน (ข้อมูล ณ วันที่ 31 มกราคม 2551, ข้อมูลอ้างอิงจาก อบต.คุ้ยายหมี อ.สนมชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา)

ตารางที่ 5 จำนวนประชากรในเขต อบต.คุ้ยายหมี (พ.ศ.2545-2551)

ปี	ชาย (คน)	หญิง (คน)	รวม (คน)	ข้อมูล ณ วันที่
2545	7,218	7,150	14,368	-
2546	6,422	6,085	12,507	-
2547	7,144	6,579	13,723	31 ธ.ค.47
2548	5,346	5,200	10,546	31 ธ.ค.48
2549	5,391	5,201	10,592	30 มิ.ย..49
2550	5,390	5,211	10,601	31 มี.ค.50
2551	5,415	5,257	10,672	31 ม.ค.51

ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศ

พื้นที่มีลักษณะเป็นที่ดอน ที่ราบสัลบกันไปจนถึงที่ราบลุ่ม แม่น้ำจะมีลักษณะลาดเอียงเล็กน้อยทางทิศตะวันออก ในฤดูฝนอากาศค่อนข้างเย็นชั่วชืน ฝนตกชุก จากสถิติของสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดฉะเชิงเทรา พ.ศ. 2546 พื้นที่อำเภอสนมชัยเขตมี ฝนตก 130 วัน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 27.5 องศาเซลเซียส เดือนที่มีอุณหภูมิร้อนที่สุดคือเดือนมีนาคม อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.5 องศาเซลเซียส ความชื้นเฉลี่ย ร้อยละ 75 มีแสงแดดเฉลี่ย 5.9 ชั่วโมงต่อวัน ปริมาณน้ำฝน 1,367.7 มิลลิเมตร และมีน้ำระเหยเฉลี่ยเพียงวันละ 4.5 มิลลิเมตร ซึ่งนับว่าเป็นพื้นที่ที่มีความชื้นชึ้นดีและอากาศไม่ร้อนจัดมากเมื่อเทียบกับพื้นที่อื่นในเขตภาคกลาง

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา (ต.คุ้ยายหมี อ.สนมชัยเขต) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เฉพาะเจาะจงยังไม่มีการบันทึกเป็นฐานข้อมูล จึงต้องใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของจังหวัดฉะเชิงเทราเป็นประกอบข้อมูลในโครงการวิจัย

จังหวัดจะเชิงเทรา มีลักษณะสภาพภูมิอากาศเป็นแบบเขตเมืองร้อน หรืออากรร้อนชั้นแรก เส้นศูนย์สูตร อุณหภูมิจะสูงเกือบตลอดปี โดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม เดือนเมษายน จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด และเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ เดือนธันวาคม ฤดูกาลแบ่งออกเป็น 3 ฤดู

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์-กลางเดือนพฤษภาคม โดยมีลมตะวันออก และลมฝ่ายใต้พัดผ่าน อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย $35-37^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย $25-27^{\circ}\text{C}$ ปริมาณฝนตกเฉลี่ย 200-330 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นฤดูกาลที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชไร่ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวในระยะสั้นๆ

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดผ่านมีฝนตกหนักบางพื้นที่ ส่วนมากบริเวณเทือกเขาด้านอำเภอสนมชัยเขต และอำเภอท่าตะเกียบ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย $31-33^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย $23-25^{\circ}\text{C}$ ปริมาณฝนตกเฉลี่ย 1,000-1,200 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นฤดูกาลที่เหมาะสมแก่การทำนาและปลูกไม้ผล

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม-กลางเดือนกุมภาพันธ์ โดยมีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่าน อากาศเย็นและแห้ง อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย $30-32^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย $20-23^{\circ}\text{C}$ ปริมาณฝนตกเฉลี่ย 50-100 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นฤดูกาลที่เหมาะสมแก่การปลูกผักสวนครัว ฝนที่ตกในจังหวัดจะเชิงเทรา แบ่งเป็น 4 ชนิด

ฝนพาร้อน ซึ่งตกอย่างเด่นชัดในช่วงต้นหรือปลายฤดูฝน โดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคม เมษายนและต้นเดือนพฤษภาคม

ฝนฤดูหนาว ฝนชนิดนี้จะตกในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่าน คือตั้งแต่ปลายเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม

ฝนพายุหมุน เป็นฝนที่ตกเป็นครั้งคราวในจังหวัดจะเชิงเทรา ซึ่งปรากฏขึ้นบ่อยครั้งในช่วงปลายฤดูฝน

ฝนแนวอากาศ เป็นฝนที่ตกในจังหวัดจะเชิงเทราไม่บ่อยครั้งนัก แต่ปรากฏในช่วงผลัดเปลี่ยนฤดู

ฝนฤดูหนาว เป็นฝนที่ตกลงมาเห็นเด่นชัดมากในช่วงฤดูฝนของจังหวัดจะเชิงเทรา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในท้องที่อำเภอสนมชัยเขตและอำเภอท่าตะเกียบ ตั้งแต่ปลายเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม

การกระจายของฝน: ปริมาณน้ำฝนที่ตกตลอดปีใน พ.ศ. 2532-2539 และ 2548-2552 พบว่า เดือนที่มีฝนตกมากที่สุด คือ เดือนกันยายน ซึ่งมีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมพายุหมุนพัดผ่าน เดือนที่มีฝนตกน้อย คือ เดือนธันวาคมและมกราคม เนื่องจากท้องที่อำเภอบางปะกง ติดผึ้งทะเลวัว ถึง 12 กิโลเมตร จังหวัดจะเชิงเทราจึงได้รับอิทธิพลจากลมบก ลมทะเล และประกอบกับตั้งอยู่ในเขตมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ด้วย ดังนั้นจึงมีฝนตกปริมาณเพียงตามฤดูกาล ความชื้นใกล้เคียงกันกับจังหวัดชายทะเลฝั่งตะวันออกด้วยกัน

ลมที่พัดผ่านอยู่ในเขตจังหวัดจะเชิงเทรา และจังหวัดใกล้เคียง จะแตกต่างกันทั้งด้านความเร็ว และทิศทาง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ ลมประจำฤดู ลมประจำเวลา ลมประจำถิ่น และลมแปรปรวน

2. กิจกรรมแนะนำโครงการและการมีส่วนร่วมของเกษตรกรต่อโครงการวิจัย

โครงการวิจัยมีการจัดกิจกรรมในพื้นที่ศึกษา เพื่อแนะนำโครงการเกี่ยวกับความสำคัญและเหตุผลในการดำเนินโครงการวิจัย และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับการดำเนินงานของโครงการวิจัยระหว่างนักวิจัยและเกษตรกร พร้อมทั้งหารือร่วมกับเกษตรกรในพื้นที่เกี่ยวกับรายละเอียดการดำเนินการ และส่งเสริมให้เกิดความเข้าใจและการมีส่วนร่วมของเกษตรกร โดยมี คุณ สุปราณี จงดีไพบูล ผู้อำนวยการฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณัง (ฝ่าย 3) สำนักงานสนับสนุนการวิจัย (สกว.) นักวิจัยในโครงการ ข้าราชการจากหน่วยราชการที่เกี่ยวข้อง เช่น เจ้าหน้าที่จากศูนย์วิจัยข้าว จ.ฉะเชิงเทรา และ คุณวิรัตน์ ศรีเจริญ เกษตรอำเภอสนมชัยเขต และเกษตรกรในพื้นที่ เข้าร่วมกิจกรรมดังกล่าว โดยมีเกษตรกรผู้สนใจเข้ารับฟังจำนวน 20 คน เมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน 2552 ณ ศาลาเฉลิมพระเกียรติบ้านป่าอ้อแทน หมู่ 12 ต.คุ้ยายหมี อ.สนมชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา



ภาพที่ 12 การเข้าเยี่ยมพื้นที่ศึกษาของงานวิจัย

3. วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

ทำการเลือกพื้นที่ศึกษา โดยประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและติดต่อโดยตรงกับเกษตรกร เพื่อหาพื้นที่ที่เป็นตัวแทนตามวิธีการเกษตรดีที่เหมาะสม เกษตรอินทรีย์ และเกษตรแบบดั้งเดิม และศึกษาร่วมกับการจัดการน้ำในแปลงนาซึ่งใช้แบบการระบายน้ำออกกลางฤดูปลูก (mid-season drainage) โดยเลือกแปลงนารูปแบบเกษตรอินทรีย์ในพื้นที่ อ.สนา�ชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา ซึ่งมีพื้นที่นาที่ขึ้นทะเบียนกับสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) รหัส ACT-IFOAM EU 834/2007 ตั้งแต่ พ.ศ. 2550

งานวิจัยนี้ศึกษาพื้นที่นาที่ทำเกษตรในรูปแบบนาเคมีหรือนาอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งตั้งอยู่ในหมู่ 12 บ้านป่าอีแทน ตำบลคุ้ย้ายหมี อำเภอสนา�ชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา (ภาพที่ 13 และ 14) และรายละเอียดของเกษตรที่ร่วมโครงการและกลุ่มเกษตรกรแสดงในหัวข้อ “ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับเกษตรกรที่ร่วมโครงการฯ”

การวางแผนการทดลองและการปลูกข้าว

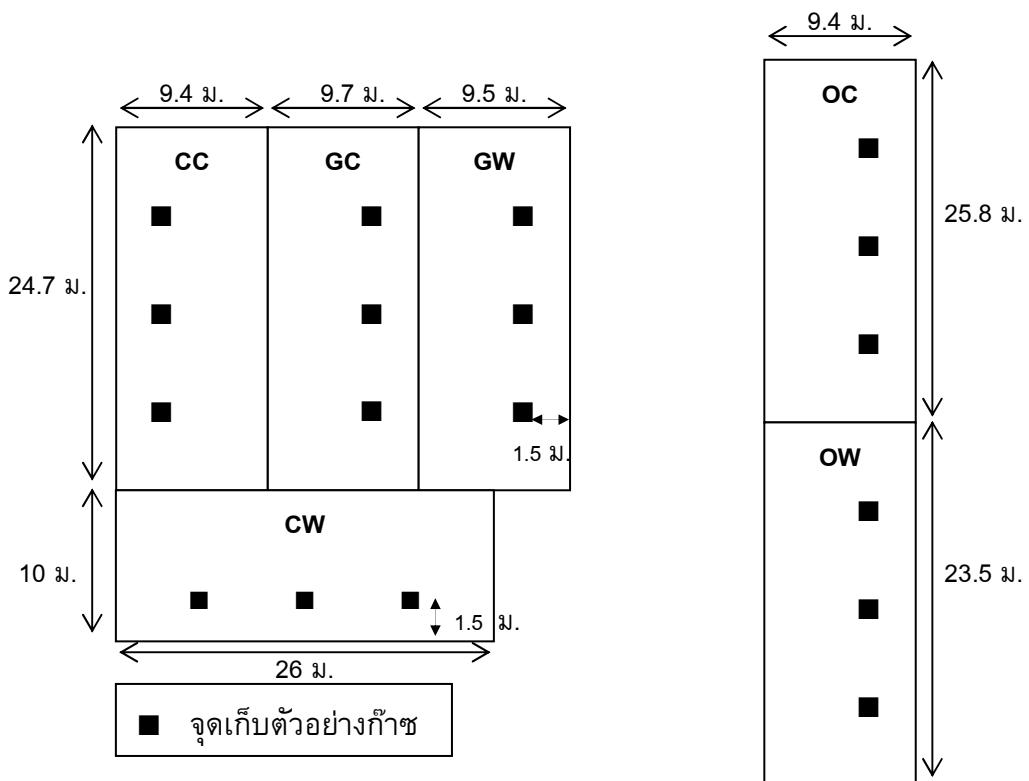
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการปลูกข้าวในรอบ 1 ปี ที่มีการปลูกข้าวจำนวน 2 รอบ คือ รอบที่ 1 (นาปรัง) และรอบที่ 2 (นาปี) และเก็บตัวอย่างรวมถึงช่วงพักนา แผนการทดลองเป็นแบบ split plot design จำนวน 3 ชั้น ในพื้นที่นาที่อยู่ใกล้เคียงกันสำหรับนารูปแบบต่างๆ ที่ศึกษา (ภาพที่ 15 และ 16) โดยแปลงทดลองสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 ถูกปรับเพื่อลดความผันแปรของพื้นที่ เลือกปลูกข้าวพันธุ์ปุ่มранนี 1 เนื่องจากเป็นพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวซึ่งแสง ทำให้สามารถปลูกได้ทั้งช่วงนาปีและนาปรัง และเป็นพันธุ์หนึ่งที่นิยมในพื้นที่ตำบลคุ้ย้ายหมี จังหวัดฉะเชิงเทรา รูปแบบการปลูกข้าวในงานศึกษานี้ มี 3 แบบ ได้แก่ (1) นาแบบเคมีทั่วไป (conventional practice, C) (2) นาแบบเกษตรดีที่เหมาะสม (good agricultural practice, G) และ (3) นาแบบเกษตรอินทรีย์ (organic farming, O) และมีการจัดการน้ำ 2 แบบ คือ ขังน้ำตลอดการเพาะปลูก (continuous flooding) และระบายน้ำช่วงกลางฤดูเพาะปลูก (mid-season drainage) กิจกรรมการปลูกข้าวตามรูปแบบเกษตรวิธีการต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6 และ 7 การปลูกข้าวเป็นแบบการดำเนินลักษณะแตก โดยมีระยะห่างระหว่างจับข้าวประมาณ 20-23 ซม. และหนึ่งจับประกอบด้วยต้นข้าวประมาณ 2-3 ต้น โดยการเพาะปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) ทำการปักชำวันที่ 8-9 มีนาคม 2553 และ 6-8 กันยายน 2553 สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี)



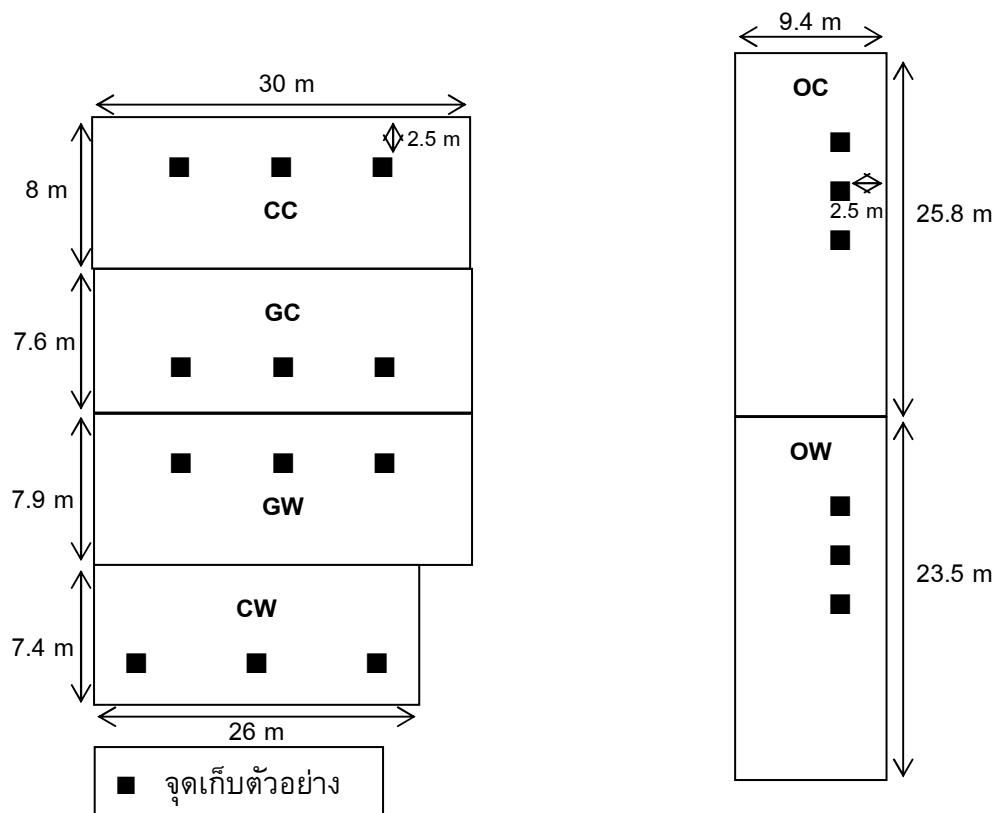
ภาพที่ 13 แปลงนาที่ใช้ศึกษาที่ปลูกตามรูปแบบนาเคมีทั่วไปและแบบการเกษตรดีที่เหมาะสม
ที่ อ.สนา�ชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา



ภาพที่ 14 แปลงนาที่ปลูกตามรูปแบบเกษตรอินทรีย์ ที่ อ.สนา�ชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา



ภาพที่ 15 แผนผัง ขนาดแปลงทดลง และจุดเก็บตัวอย่างก้าช สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1



ภาพที่ 16 แผนผัง ขนาดแปลงทดลง และจุดเก็บตัวอย่างก้าช สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2

CC : นาเคมีทั่วไป (C) และไม่มีการจัดการน้ำ (control, C)

CW : นาเคมีทั่วไป (C) และมีการจัดการน้ำ (water management, W)

GC : นาเกษตรดีที่เหมาะสม (G) และไม่มีการจัดการน้ำ (C)

GW : นาเกษตรดีที่เหมาะสม (G) และมีการจัดการน้ำ (W)

OC : นาเกษตรอินทรีย์ (O) และไม่มีการจัดการน้ำ (C)

OW : นาเกษตรอินทรีย์ (O) และมีการจัดการน้ำ (W)

ตารางที่ 6 แผนการปลูกข้าวตามเกษตรรูปแบบต่างๆ สำหรับการปลูกข้าวของงานศึกษา

กิจกรรม	นาเคมี	นาแบบเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP)	นาอินทรีย์
การเตรียมพื้นที่	-ทำคันนา ไถนา -ไถหมักฟาง -ไถ คราด	-ทำคันนา ไถนา -ไถหมักฟาง -ไถ คราด	-ทำคันนา ไถนา -ไถหมักฟาง -ไถ คราด
การเพาะปลูก	ปักดำโดยใช้ตันกล้าอยู่ไม่เกิน 35 วัน มีระยะปักดำระหว่างต้นและแคล ประมาณ 20-23 ซม.	ปักดำโดยใช้ตันกล้าอยู่ไม่เกิน 35 วัน มีระยะปักดำระหว่างต้นและแคล ประมาณ 20-23 ซม.	ปักดำโดยใช้ตันกล้าอยู่ไม่เกิน 35 วัน มีระยะปักดำระหว่างต้นและแคล ประมาณ 20-23 ซม.
การใส่ปุ๋ย	<ul style="list-style-type: none"> - ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 ก่อนปัก ดำแล้วคราดกลบ สูตร 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ (ตารางที่ 8) - ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 2 เมื่อต้นข้าวอยู่ในระยะแตกกอ (หลังปักดำ 2 สัปดาห์) ด้วยปุ๋ยหยุ่นเรีย (46-0-0) อัตรา 10 กก./ไร่ (ตารางที่ 8) - ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 3 เมื่อต้นข้าวอยู่ในระยะข้าวสร้างรวง อ่อนหรือเริ่มกำเนิดช่อดอก (หลังปักดำ 40-42 วัน) ด้วยปุ๋ยหยุ่นเรีย (46-0-0) อัตรา 10 กก./ไร่ 	<ul style="list-style-type: none"> - ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยหลังปักดำไม่เกิน 15 วัน (ใส่วันที่ 15 สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) และก่อนปักดำและคราดกลบสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี)) สูตร 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ - ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 2 เมื่อต้นข้าวอยู่ในระยะข้าวสร้างรวง อ่อนหรือเริ่มกำเนิดช่อดอก (หลังจากปักดำ 38-43 วัน) ด้วยปุ๋ยหยุ่นเรีย (46-0-0) อัตรา 10 กก./ไร่ 	<ul style="list-style-type: none"> - ใส่ปุ๋ยหมักครั้งที่ 1 ก่อนปัก ดำแล้วคราดกลบ อัตรา 454 กิโลกรัมต่อไร่ โดยนำหนักแห้ง (คุณลักษณะปุ๋ยหมักแสดงดังตารางที่ 9) - ใส่ปุ๋ยหมักครั้งที่ 2 หลังจากปักดำ 36-38 วัน อัตรา 454 กิโลกรัมต่อไร่ โดยนำหนักแห้ง

ตารางที่ 7 การจัดการน้ำในแปลงนา

กิจกรรม	การขังน้ำ	ชุดจัดการน้ำ
การจัดการน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> - ขังน้ำตลอดฤดูปลูก - ปล่อยให้น้ำแห้งก่อนเก็บเกี่ยว 8-10 วัน 	<ul style="list-style-type: none"> - ขังน้ำในช่วงปลูก แต่มีการระบายน้ำกลางฤดูประมาณ 7 วัน (1 ครั้ง) ระหว่างระยะแตกกอสูงสุด (tillerering) และระยะกำเนิดซอดอก (panicle initiation) สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และระยะออกดอก (flowering) สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 - ปล่อยให้น้ำแห้งก่อนเก็บเกี่ยว 8-10 วัน

ตารางที่ 8 รายละเอียดปุ๋ยเคมีที่ใช้ในงานศึกษานี้

ยี่ห้อ	ธาตุอาหารรับรอง	ร้อยละ	ธาตุอาหารรอง /สารพิษ	ร้อยละ
ปุ๋ยสูตรเสริม 15-15-15	ไนโตรเจน (N) ฟอสฟेट (P_2O_5) โพแทสที่ละลายน้ำ (K_2O)	15 15 15	แคลเซียม (CaO)	3.5
ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0	ไนโตรเจน (N) ฟอสฟेट (P_2O_5) โพแทสที่ละลายน้ำ (K_2O)	46 0 0	ไบยูเรท	< 1

ตารางที่ 9 คุณลักษณะปุ๋ยหมัก (ปุ๋ยอินทรีย์) ที่ใช้ในงานศึกษานี้

คุณลักษณะทางเคมี	ปริมาณ			
pH			7	
ไนโตรเจนทั้งหมด	ร้อยละ	1.84	โดยนำหนักแห้ง	
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ร้อยละ	0.76	โดยนำหนักแห้ง	
โพแทสเซียมทั้งหมด	ร้อยละ	1.4	โดยนำหนักแห้ง	
คาร์บอนอินทรีย์	ร้อยละ	16.8	โดยนำหนักแห้ง	
C/N		9:1		

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินถูกเก็บที่ดินชั้นบนแบบสุ่มเก็บผสมรวม (composite sample) โดยเก็บตัวอย่างก่อน และหลังการเพาะปลูกในแต่ละรอบ ทำการเก็บดิน 10-15 ตัวอย่างต่อแปลง ที่ความลึก 0-20 ซม. จากผิวดิน ด้วย soil core นำตัวอย่างดินมาผสมรวมกันเป็นตัวอย่างแบบ composite จากนั้นผึ่งลมแห้งบด และร่อนตัวอย่างดินด้วยตะแกรงที่มีรูพรุนขนาด 2 มม. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของดิน ตัวอย่างดินเริ่มต้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์จำแนกเนื้อดิน ค่าความเป็นกรดด่างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินหรือคาร์บอนอินทรีย์ (soil organic carbon, SOC) รูปต่างๆ ของ SOC ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณโพแทสเซียม ตาม Methods for Soil Analysis ของ Soil Science Society of America (1996) หรือวิธีตามกองเกษตรเคมี และส่วนตัวอย่างดินหลังเก็บเกี่ยวจะวิเคราะห์ SOC และรูปต่างๆ ของ SOC ตัวอย่างดินถูกเก็บเพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นดินในระดับความลึก 0-20 ซม. จากผิวดินด้วยวิธี core method (Blake and Hartge, 1986)

ดินตัวอย่างที่เก็บในพื้นที่ศึกษานำมาวิเคราะห์หาปริมาณ SOC ด้วยวิธี tube digestion และคาร์บอนในรูปพาร์ติคูลาร์ (particulate organic carbon; POM-C) และคาร์บอนที่อยู่ร่วมกับอนินทรีย์สารในดิน (mineral-associated organic carbon; MaOM-C) วิเคราะห์โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมตาฟอสเฟต เข้มข้น 5 กรัมตอลิตร ปริมาณ 30 มล. ในดินตัวอย่าง 10 กรัม เขย่าเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ร่อนด้วยตะแกรงที่มีรูพรุนขนาด 53 ไมครอน ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรง คือ POM และส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรง คือ MaOM ที่อยู่ร่วมกับอนุภาคดินขนาด silt และ clay จากนั้nob แห้งด้วยตู้อบ hot-air ที่ 70°C จนแห้ง ชั่งน้ำหนัก MaOM ที่แห้งแล้ว และวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในแต่ละส่วน

การเก็บตัวอย่างก๊าซเรือนกระจกและการวัดพารามิเตอร์ประกอบต่างๆ

การเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน (CH_4) และไนโตรโซออกไซด์ (N_2O) ทำโดยติดตั้งฐานสแตนเลสขนาด $60 \times 60 \times 10$ ซม. ลงดินลึกประมาณ 5 ซม. และสูงจากดินประมาณ 5 ซม. ฐานถูกเจาะช่องขนาด 2 ซม. จำนวน 8 ช่อง เพื่อให้น้ำในแปลงน้ำระบายน้ำได้อิสระระหว่างในและนอกฐาน และทิ้งฐานไว้ติดต่อกันเพาะปลูก การเก็บก๊าซตัวอย่างทำโดยวางกล่องพลาสติกแบบอะครีลิคใส ขนาด $60 \times 60 \times 85$ ซม. บนฐานสแตนเลส โดยครอบตันข้าวที่ปลูกในพื้นที่ศึกษา โดยมีระยะห่างจากขอบแปลงประมาณ 1.5-2.5 เมตร ส่วนการเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทำโดยติดตั้งกล่องพลาสติกแบบอะครีลิคสีดำ ขนาด $20 \times 20 \times 35$ ซม. ที่ระหว่างแต่ละตันข้าว ให้ลึกลงดิน 5 ซม. ที่ขอบกล่องด้านล่างเจาะรู เพื่อให้น้ำระบายน้ำออกได้อิสระ และการเก็บตัวอย่างทำโดยปิดฝากล่องที่ติดตั้งพัดลมและเจาะรูที่ฝาเพื่อวัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่องได้ กล่องเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 17 และ 18 การเก็บตัวอย่าง ก๊าซทำโดยนำหลอดฉีดยาเก็บก๊าซจากภายในกล่องเก็บตัวอย่างและบรรจุลงในหลอดสูญญากาศที่ปิดด้วยจุกยางและยึดด้วยฝาอ่อนนุ่ม เนื่องจากการปิดทับฝาขาดเก็บตัวอย่างด้วยพาราฟิล์ม ตัวอย่างอากาศในกล่องถูกเก็บทุก 30 นาที ในช่วงเวลาระหว่าง 12:00-14:00 น. โดยรายละเอียดวิธีการเก็บตัวอย่าง ก๊าซแสดงในภาคผนวก ตัวอย่างก๊าซถูกเก็บตลอดเวลาการเพาะปลูก โดยเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง แต่ช่วงการเพาะปลูกที่มีการมีการระบายน้ำเก็บตัวอย่างทุก 1-2 วัน ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เก็บต่อเนื่องในช่วงพักนา (หลังเก็บเกี่ยวผลผลิต) ความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas

Chromatograph (GC) ตามสภาวะในการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 10 และคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซจากผิวดิน (ตันข้าวและ/หรือดิน) ในหน่วยมิลลิกรัมหรือไมโครกรัม ตารางเมตร⁻¹ ชั่วโมง⁻¹ ดังสมการต่อไปนี้ และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดคำนวณจากพื้นที่ได้กราฟของอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด (Towprayoon et al., 2005) ทั้งนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำการคำนวณแบ่งเป็นช่วงปลูกข้าว (ช่วงก่อน peak การปล่อยก๊าซ) และช่วงพักนา

$$F = 0.714Sh(273/(273 + T))$$

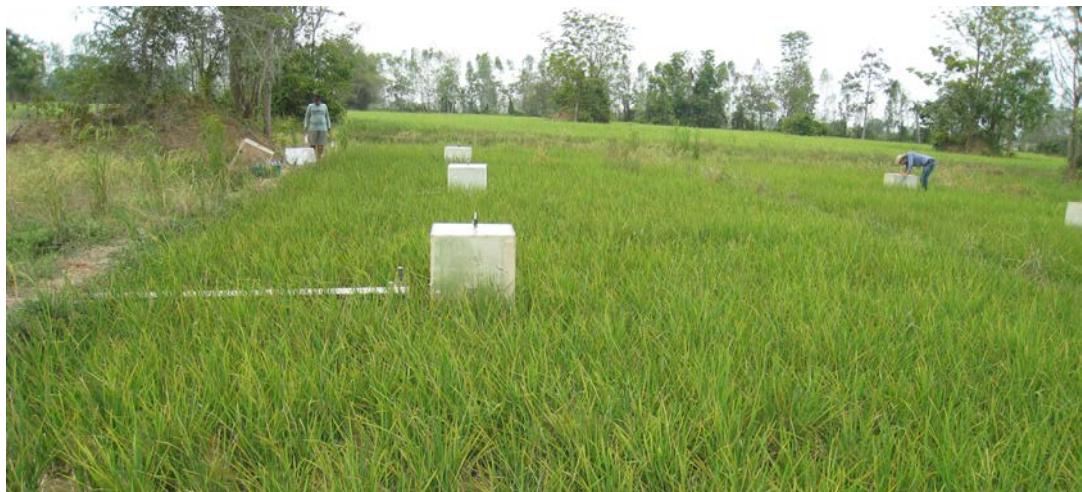
กำหนดให้ F = อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน ($\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); S = ความชันของกราฟระหว่างความเข้มข้นก๊าซกับเวลา; h = ความสูงจากผิวดินหรือหัวของกล่องเก็บตัวอย่าง และ T = อุณหภูมิภายในกล่องเก็บตัวอย่าง

$$F = \rho(V/A)(dC/dt)$$

กำหนดให้ F = อัตราการปล่อยก๊าซในตรัสถอกไซด์หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); ρ = ความหนาแน่นของก๊าซที่ศึกษา; V = ปริมาณอากาศเหนือผิวดินหรือน้ำ; A = พื้นที่หน้าตัดของกล่องเก็บตัวอย่าง และ dC/dt = อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นก๊าซกับเวลา



ภาพที่ 17 กล่องเก็บก้าชตัวอย่าง (1)



ภาพที่ 18 กล่องเก็บก้าชตัวอย่าง (2)

ตารางที่ 10 วิธีวิเคราะห์กําชเรือนกระจากที่ศึกษา

Gas	CO_2	CH_4	N_2O
Detector / temp.	GC-TCD (Shimadzu 2014) / 105°C	GC-FID (Shimadzu 2014) / 120°C	GC-ECD (Agilent 6890N) / 300°C
Column / temp.	1. Activated Charcoal, 1.5 m x 3 mm ID 2. Porapak Q, 2 m x 3 mm ID / 50°C	Molecular Sieve 5A, 2 m x 3 mm ID / 90°C	GS-Q, 15 m x 0.53 mm ID
Carrier gas	He 40 ml/min	He and H_2 50 ml/min	N_2 16.2 ml/min
Injection temp.	70°C	120°C	-
Oven temp.	-	-	40°C
Inlet temp.	-	-	50°C
Retention time	1.4 min	1.8 min	1.2 min

การเก็บตัวอย่างต้นข้าว

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นข้าวในแปลงนาทดลอง ได้แก่ ความสูงกอ ความยาวใบ จำนวนต้นต่อ กอ และจำนวนใบต่อต้น หลังจากการปักดำประมาณ 1 เดือน และเก็บข้อมูล จำนวน 3 กอต่อ ข้าว ทุก 2-3 สัปดาห์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบรูปแบบการทำนาวิธีต่างๆ

ผลผลิตข้าวและมวลซึ่วภาพของข้าวและวัชพืช

การหาผลผลิตข้าววิธีสูมพื้นที่: การเก็บผลผลิตข้าวเต็ม (ข้าวเต็มเมล็ด) และข้าวลีบ ด้วยวิธีการสูม ทำโดยสูมพื้นที่ขนาด $2 \times 2 \text{ m}^2$ จำนวน 3 จุด ต่อ 1 แปลง (หรือ 3 ข้าว) ทำการเกี่ยวข้าวด้วยแรงคน จากนั้นตากแดดแห้งและมัดเป็นฟ่อน จากนั้นทำการผัดแยกข้าวเต็มและข้าวลีบ ซึ่งหนาน้ำหนักผลผลิตสดที่เก็บเกี่ยว สูมตัวอย่างผลผลิตนำมาหาความชื้น โดยการอบแห้งเพื่อใช้น้ำหนักแห้งของผลผลิตข้าว

การหาผลผลิตข้าววิธีวิเคราะห์องค์ประกอบข้าว: การหาระบปริมาณผลผลิตข้าว (ข้าวเปลือก) ทำโดยนับจำนวนวงต่อ กอ และจำนวน กอต่อ พื้นที่ 1 ตรม. ทำทั้งหมด 3 จุด ต่อ 1 แปลง (3 ข้าว) และเก็บวงสมบูรณ์จำนวน 15 วง ต่อ แปลง (5 วง ต่อ ข้าว) นำมาผึงให้แห้ง คัดเมล็ดข้าวเต็มและเมล็ดลีบ และอบให้แห้งเพื่อนำมาหาหนักเมล็ดดี (ข้าวเต็ม) และนำหนักเมล็ดลีบต่อวงของแต่ละแปลงนาที่ศึกษา รายงานผลผลิตในหน่วยหนักต่อ ไร่ ทำการปรับค่าความชื้นมาตรฐานของข้าวเปลือก (ข้าวเต็ม) ให้เป็น ร้อยละ 14 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณรายได้และผลตอบแทนการลงทุนต่อไป

การเก็บผลผลิตฟางข้าวด้วยวิธีการสูม ทำโดยสูมพื้นที่ขนาด $2 \times 2 \text{ m}^2$ ทำการเก็บฟางข้าว ทั้งหมดในพื้นที่กำหนด จำนวน 3 จุด ต่อ 1 แปลง (หรือ 3 ข้าว) นำฟางข้าวไปวิเคราะห์อบแห้งเพื่อหา หนักฟางแห้ง

การเก็บตัวอย่างตอซังด้วยวิธีสุ่ม ทำโดยสุ่มพื้นที่ขนาด $1 \times 1 \text{ ม}^2$ ทำห้องหมด 3 จุดต่อ 1 แปลง (3 ชั้น) และเก็บตัวอย่างตอซังทั้งหมด ทำการตัดเสมอผิวดิน ในพื้นที่ที่สุ่มไว้ นำตอซังไปอบแห้งเพื่อหน้าแน่นกแห้ง

การเก็บตัวอย่างราก ทำโดยการสุ่มถอนตอซังพร้อมราก ทำห้องหมด 6 กอต่อ 1 แปลง (2 กอต่อชั้น) เก็บภายหลังการปลูกข้าว นำตัวอย่างไปล้างดินออกจากรากให้หมด ผึ่งลมให้แห้ง วัดความเยาวของราก แล้วแยกส่วนรากออกจากส่วนลำต้น นำส่วนรากไปอบแห้งเพื่อหน้าแน่นกแห้ง

การเก็บตัวอย่างวัชพืชทำก่อนการปลูกข้าวรอบต่อไปด้วยวิธีสุ่มเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างตอซัง จำนวน 3 ชั้น ทำการถอนวัชพืชจากดินในพื้นที่ที่สุ่มไว้ นำตัวอย่างไปอบแห้งเพื่อหน้าแน่นกแห้ง

การหน้าแน่นกแห้งผลผลิตข้าวและมวลชีวภาพของข้าว ทำโดยสุ่มตัวอย่างบางส่วนนำเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C จนกระทั้งหน้าแน่นกคงที่ (ประมาณ 48-72 ชั่วโมง) ซึ่งหน้าแน่นกแห้งและคำนวนหาความชื้น แล้วคำนวนหาระบิมาณผลผลิตชีวมวลทั้งหมด และรายงานผลในหน่วยหน้าแน่นมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่ จากนั้นสุ่มตัวอย่างแห้งของมวลชีวภาพบางส่วนที่อบแล้ว นำมาบดให้ละเอียดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในตัวอย่างพืช โดยตัวอย่างถูกอบอีกครั้งก่อนวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 80°C ประมาณ 30 นาที เพื่อไล่ความชื้น แล้ววิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่อง CHNS (Perkin Elmer 2400 series II CHNS/O Analyzer) เลือกทำผลผลิตและมวลชีวภาพของแปลงนาเพียงหนึ่งรูปแบบและกำหนดให้ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในมวลชีวภาพของข้าว ผลผลิตข้าว และวัชพืชในแต่ละรูปแบบนามีค่าใกล้เคียงกัน

การคำนวณต้นทุนการผลิตต่อผลผลิตข้าว

เก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายในการดำเนินการปลูกข้าว ได้แก่ ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าว ค่าปุ๋ย ค่าสารเคมี การเกษตร ค่าน้ำมันในการสูบน้ำ ค่าจ้างในการเตรียมแปลง ดำเนิน และเก็บเกี่ยวผลผลิต เป็นต้น โดยเกษตรกรที่ร่วมโครงการเป็นผู้รวบรวมและบันทึกข้อมูลเหล่านี้ เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการปลูกข้าวที่จำแนกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร โดยข้อมูลที่ไม่สามารถเก็บค่าได้โดยจริงจะอ้างอิงข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ได้จากการสัมภาษณ์ ส่วนราคาผลผลิตข้าวเปลือกอ้างอิงราคាតลาดที่เกษตรกรขายได้จริง ณ ที่นา

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ผลของรูปแบบนาและการจัดการนาที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ผลผลิตข้าว มวลชีวภาพของข้าว ก้าซมีเทน ในตัวสอกไชด์ และคาร์บอนไ/do กไชด์ที่ปล่อยจากพื้นที่ปลูกข้าว และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและรูปต่างๆ ถูกวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

การจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ศึกษา

ทำการจำลองสถานการณ์ที่มีการทำเกษตรตามวิธีต่างๆ เพื่อประเมินผลของการเกษตรดีที่เหมาะสมและการเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ศึกษาในระดับเจาะจงพื้นที่ โดยจะเลือกใช้แบบจำลองที่เหมาะสม คือ Denitrification-Decomposition (DNDC) model ในการคาดการณ์ประมาณ 20 ปี โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับแบบจำลองและขั้นตอนการดำเนินงานคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง DNDC model ซึ่งเป็น process based model และมีรายละเอียดของแบบจำลองดังแสดงในหัวข้อ “ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแบบจำลองฯ”

ข้อมูลนำเข้าสำหรับการทำงานของแบบจำลองหลัก ได้แก่ ข้อมูลพื้นที่ฐานที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา ข้อมูลดิน ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ในอากาศ ข้อมูลการทำเกษตรกรรม ข้อมูลเกี่ยวกับข้าว และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยเก็บข้อมูลทั้งหมดที่มีความจำเป็นสำหรับการทำงานของแบบจำลองดังระบุข้างต้น ทั้งจากพื้นที่ศึกษา และข้อมูลสถิติจากหน่วยงานราชการ จากนั้นเตรียมข้อมูลนำเข้าให้เป็นรูปแบบที่ถูกต้องและเหมาะสมกับการทำงานของแบบจำลอง

ทำการจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการสะสม SOC ด้วยแบบจำลองและเปรียบเทียบกับผลที่ตรวจวัดจากพื้นที่ทำการทดลอง เพื่อพิจารณาความถูกต้องแม่นยำของการทำงานของแบบจำลอง โดยการจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการสะสม SOC โดยใช้แบบจำลองเพื่อทดสอบถึงผลของการเปลี่ยนแปลงการเพาะปลูกในพื้นที่ (ที่การศึกษาครั้งนี้จะแนะนำให้เกษตรกรใช้) เพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียจากการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดการเพาะปลูกต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การสะสม SOC และผลผลิตที่ได้ เพื่อพิจารณาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำเกษตรกรรมที่ยั่งยืน และแสดงผลการศึกษา ได้แก่ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการสะสม SOC ของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการประเมินจากแบบจำลอง

4. ผลการศึกษาและวิจารณ์

รายงานฉบับนี้แสดงผลการศึกษาสำหรับการปลูกข้าวตลดีปีที่ทำการปลูก 2 รอบ คือ รอบที่ 1 (นาปรัง, มีนาคม-มิถุนายน 2553) และรอบที่ 2 (นาปี, กันยายน-ธันวาคม 2553) และศึกษาช่วงพักนา โดยประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้

- การเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ความสูงกอ ความยาวใบ จำนวนใบตอกอ และจำนวนต้น (แขนง) ตอกอ
- ผลผลิตข้าว น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดต่อวงหรือน้ำหนักเมล็ดดีต่อวง และมวลชีวภาพรวมของต้นข้าว
- ปริมาณก้าชเรือนกระจกที่ปล่อยจากพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ก้าชมีเทน ในตรัสรออกไซต์ และคาร์บอนไดออกไซต์
- บัญชีcarbонทั้งหมดและcarbónในดินของการปลูกข้าวรูปแบบต่างๆ
- ต้นทุนและกำไรของการปลูกข้าวรูปแบบที่ศึกษา
- ผลการคาดการณ์การปล่อยก้าชเรือนกระจกและการกักเก็บcarbonในนารูปแบบต่างๆด้วยแบบจำลอง DNDC

ข้อมูลเหล่านี้ถูกประเมินและวิเคราะห์ผลด้วยวิธีทางสถิติ และประมาณผลเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการปลูกข้าวรูปแบบต่างๆร่วมกับการจัดการน้ำ (ระบายน้ำ 1 ครั้ง ระหว่างฤดูปลูก) และจัดทำค่าการปล่อยก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวรูปแบบต่างๆ และบัญชีcarbónในพื้นที่เพาะปลูกข้าวที่ศึกษา โดยตัวบ่งชี้ของทั้งหมด 6 ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย

CC : นาเคมี (chemical farming: C) และไม่มีการจัดการน้ำ (continuous flooding: C)

CW : นาเคมี (C) และมีการจัดการน้ำ (mid-season drainage: W)

GC : นาแบบเกษตรดีที่เหมาะสม (good agricultural practice: G) และไม่มีการจัดการน้ำ (C)

GW : นาแบบ GAP (G) และมีการจัดการน้ำ (W)

OC : นาเกษตรอินทรีย์ (organic farming: O) และไม่มีการจัดการน้ำ (C)

OW : นาเกษตรอินทรีย์ (O) และมีการจัดการน้ำ (W)

คุณลักษณะดินในพื้นที่ศึกษา

คุณลักษณะดินเริ่มต้นของพื้นที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 11 จัดเป็นดินร่วนและดินร่วนปนทราย และมีสภาพเป็นกรด เนื้อดินมีรายเป็นองค์ประกอบหลัก (มากกว่าร้อยละ 50) ทำให้มีคุณสมบัติการระบายน้ำที่ดี มีปริมาณอินทรีย์ต่ำในดินและในโตรเจนที่ปานกลาง แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้แปลงนาอินทรีย์มีปริมาณอินทรีย์ต่ำและธาตุอาหารต่างๆที่สูงกว่าดินในแปลงนาเคมีเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลจากการทำงานอินทรีย์ที่เพิ่มอินทรีย์ต่ำและธาตุอาหารให้กับดิน และ/หรือ อาจเป็นเพราะแปลงนาอินทรีย์มีเนื้อดินที่ละเอียด

กว่าเล็กน้อย ดังเห็นได้จากปริมาณอนุภาคขนาดทรายแบ่ง (silt) และแร่ดินเหนียว (clay) ที่สูงกว่า แปลงนาเคมี นอกจากนี้ยังพบว่านาอินทรีย์มีความหนาแน่นดินที่น้อยกว่านาเคมี ซึ่งชี้ว่าผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อเนื่องช่วยเพิ่มความพรุนดินที่น่าจะส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ ดินสำหรับดินที่มีเนื้อดินที่แน่นและขยายบานนี้

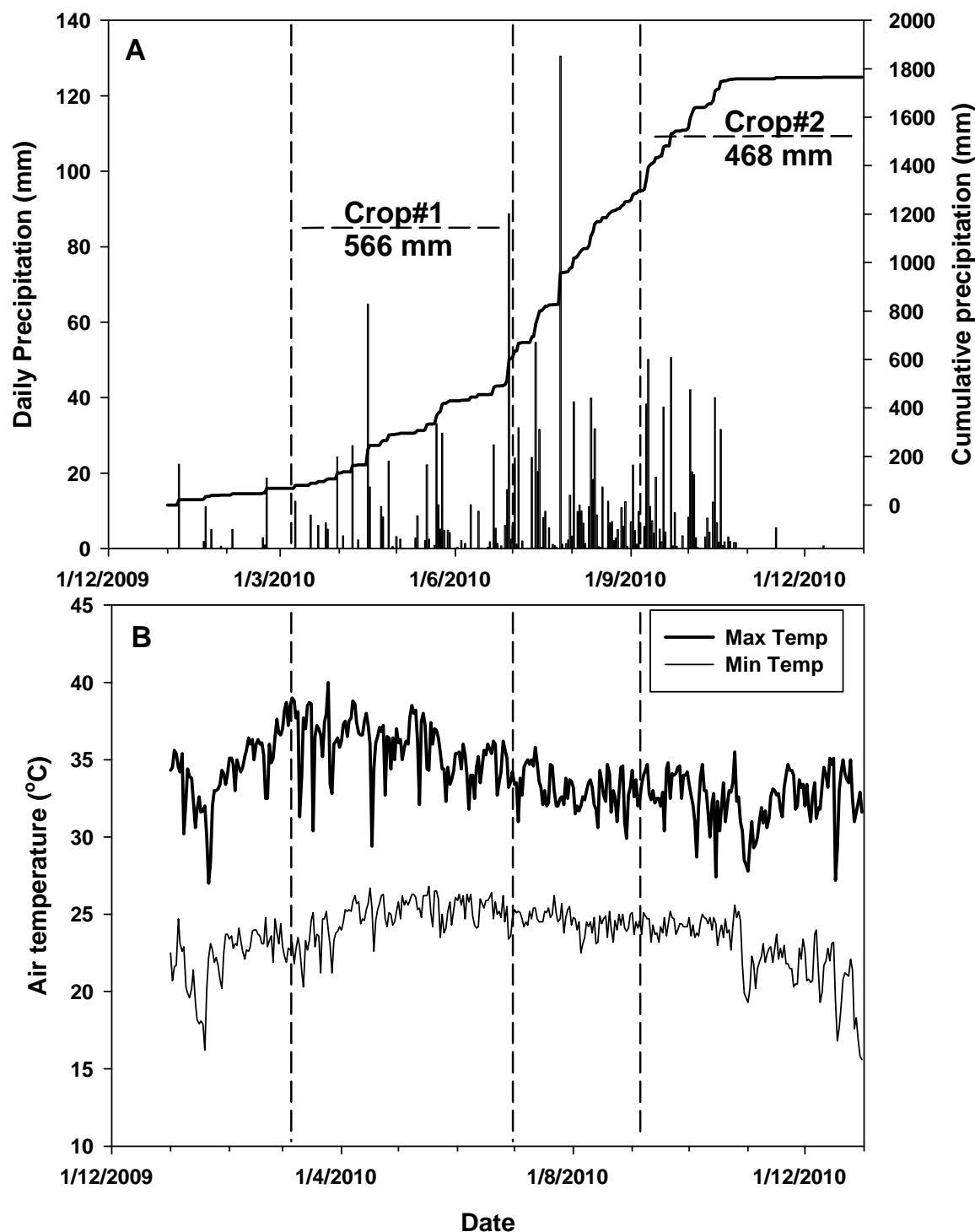
ตารางที่ 11 คุณลักษณะดินเริ่มต้นของพื้นที่ศึกษาในระดับความลึก 0-20 ซม.

พารามิเตอร์ดิน	นาเคมี*	นาอินทรีย์
เนื้อดิน	ร่วนปนทราย	ร่วน
อนุภาคขนาดทราย (sand) (ร้อยละ)	57.6	51.6
อนุภาคขนาดทรายแบ่ง (silt) (ร้อยละ)	30.2	34.4
แร่ดินเหนียว (clay) (ร้อยละ)	12.2	14.0
พีเอช	4.6	4.5
อินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ)	1.37	1.66
ไนโตรเจน (ร้อยละ)	0.068	0.083
ฟอสฟอรัส (ppm)	2	3
โพแทสเซียม (ppm)	10	17
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	3.4	3.2
ความหนาแน่นดิน (กรัมต่อลบ.ซม.)	1.55	1.46

* เป็นแปลงที่ใช้สำหรับศึกษาการปลูกข้าวในรูปแบบนาเคมีและแบบเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ของงานศึกษานี้

ปริมาณฝนและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา

ปริมาณฝนและอุณหภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาในช่วงการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) และ 2 (นาปี) แสดงดังภาพที่ 19 ปริมาณฝนรวมในการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 566 และ 468 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยแม้ว่าการปลูกข้าวรอบที่ 2 มีปริมาณฝนต่ำกว่าการปลูกข้าวรอบที่ 1 แต่ ความถี่ของฝนสูงมากในช่วง 1-2 เดือนแรกหลังการปักดำและฝนทึ่งช่วงหลังจากนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกข้าวรอบที่ 1 ที่ฝนกระจายตัวในช่วงฤดูปลูกข้าว ทั้งนี้เป็นเพราะการปลูกข้าวรอบที่ 1 อุ่นในช่วงฤดูร้อนต่อเนื่องฤดูฝน (มีนาคม-มิถุนายน) ในขณะที่การปลูกข้าวรอบที่ 2 อุ่นในช่วงฤดูฝนต่อเนื่องฤดูหนาว (กันยายน-ธันวาคม) ส่วนอุณหภูมิอากาศของ การปลูกข้าวรอบที่ 1 มีค่าสูงกว่าการปลูกข้าวรอบที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับฤดูกาลของการปลูกข้าวในแต่ละรอบ



ภาพที่ 19 (A) ปริมาณฝนรายวันและปริมาณฝนสะสมตลอดฤดูปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 และ (B) อุณหภูมิอากาศสูงสุดและต่ำสุดในช่วงปี 2554 ที่ศึกษา และเส้นประแสดงช่วงการปลูกข้าวแต่ละรอบ

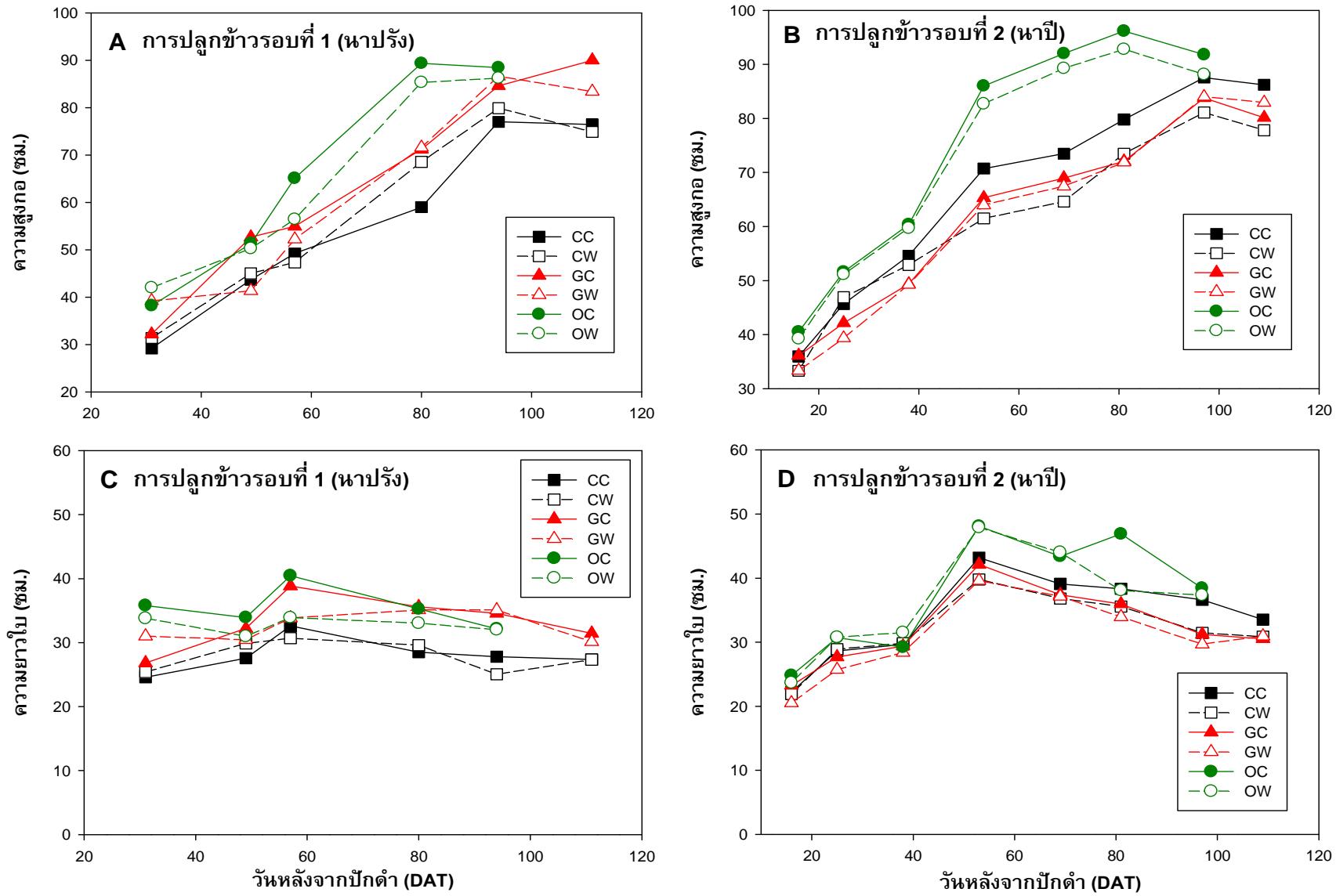
การเจริญเติบโตของต้นข้าว

การเติบโตแนวตั้ง

งานศึกษาได้วัดการเติบโตของต้นข้าวในแนวตั้ง ได้แก่ ความสูงกอและความยาวใบของต้นข้าวในแปลงนารูปแบบต่างๆ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) และรอบที่ 2 (นาปี) (ภาพที่ 20 และตารางที่ 12) โดยผลที่ได้พบว่าการปลูกข้าวทั้งสองรอบให้ผลการเจริญเติบโตในแนวตั้งของต้นข้าวในรูปแบบเดียวกัน คือ แปลงนาอินทรีย์มีแนวโน้มการเจริญเติบโตของต้นข้าวในแนวตั้งที่ดีตั้งแต่ช่วงต้นหลังการปักดำ โดยเฉพาะความสูงกอที่มีค่าสูงสุดหลังปักดำประมาณ 80 วัน สำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบ ซึ่งมีการเจริญในแนวตั้งของต้นข้าวที่เร็กว่าแปลงนาเคมีและนาแบบเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) (ที่พับในช่วง 94-97 วันหลังปักดำ) ทั้งนี้นาอินทรีย์มีความสูงกอและความยาวใบเฉลี่ยลดลงดูปลูกข้าวที่สูงกวاناเคมีและนาแบบ GAP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะดินในแปลงนาอินทรีย์มีความอุดมสมบูรณ์ที่ดีกว่า (ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารที่สูงกว่า) นาเคมีและนาแบบ GAP (ตารางที่ 11) ทำให้ต้นข้าวสามารถดึงธาตุอาหารมาใช้ได้ดีและมีการเจริญเติบโตที่ดีตั้งแต่ช่วงแรกหลังการปักดำ การเจริญเติบโตในแนวตั้งที่ดีของนาอินทรีย์มีผลที่ชัดเจนในการปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี) ที่อยู่ในช่วงฤดูฝนต่อเนื่องกันหนา โดยผลที่ได้ชี้ว่าต้นข้าวในนาอินทรีย์มีความทนต่อความถี่ของฝนและปริมาณฝนที่มากในช่วงแรกของการปลูกข้าวรอบนี้ได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับนาเคมีและนาแบบ GAP นอกจากนี้ ต้นข้าวในนาเคมีและนาอินทรีย์มีการตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศ โดยอุณหภูมิอากาศที่สูงในช่วงการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อนต่อเนื่องกันหนา ทำให้การเจริญเติบโตแนวตั้งของต้นข้าวที่ต่ำกว่าการปลูกข้าวรอบที่ 2 ที่อุณหภูมิอากาศต่ำกว่า

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตในแนวตั้งของต้นข้าวในนาเคมีและนาแบบ GAP พบร่ว่านาเคมีและนาแบบ GAP มีการเจริญของต้นข้าวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ใน การปลูกข้าวรอบที่ 2 ในขณะที่นาแบบ GAP มีการเจริญที่ดีกวاناเคมีในการปลูกข้าวรอบที่ 1 (ตารางที่ 12) โดยผลที่ได้นำมาจากช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยเคมีในแปลงนาแบบ GAP ที่แตกต่างกันในแต่ละรอบการปลูกข้าว โดยในการปลูกข้าวรอบที่ 1 นาแบบ GAP ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรกหลังการปักดำ 2 สัปดาห์ โดยเป็นการหว่านปุ๋ยเคมีในแปลงนา ทำให้ปุ๋ยคงอยู่ที่ผิวดิน แต่ในการปลูกข้าวรอบที่ 2 ทำการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรกก่อนการปักดำและไกคราดปุ๋ยลงดินในลักษณะเดียวกันนาเคมี ซึ่ง การศึกษานี้ทำการปรับเวลาการใส่ปุ๋ยเคมีในนาแบบ GAP เพราะนาแบบ GAP มีการปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์ที่สูงกวاناเคมีในการปลูกข้าวรอบที่ 1 (ข้อมูลในหัวข้อ “ก๊าซในตระสอกรไซด์”) โดยคาดว่าเกิดจากวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรกที่หว่านปุ๋ย ทำให้ปุ๋ยคงค้างที่ผิวดิน และทำให้ปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์ได้สูงกว่ารูปแบบการใส่ปุ๋ยครั้งแรกของนาเคมีที่หว่านปุ๋ยและไกคราดลงดิน

ส่วนการจัดการนำ้ำที่ทำการระบายน้ำระหว่างฤดูปลูกมีผลทำให้ความสูงกอเฉลี่ยและความยาวใบเฉลี่ยลดลง ($p<0.05$) ยกเว้นความสูงกอเฉลี่ยในการปลูกข้าวรอบที่ 1 (ตารางที่ 12) อย่างไรก็ตาม ผลของรูปแบบการปลูกข้าวมีผลต่อการเจริญเติบโตแนวตั้งของต้นข้าวที่ชัดเจนมากกว่าผลของการระบายน้ำสำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบที่ศึกษา (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 (A&B) ความสูงกอและ (C&D) ความยาวใบเฉี่ยของต้นข้าวในแปลงนารูปแบบต่างๆ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) และ 2 (นาปี)

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตต่างๆของต้นข้าวตลอดฤดูปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) และรอบที่ 2 (นาปี)

รูปแบบนา	การขังน้ำตลอด	การระบายน้ำระหว่าง	ค่าเฉลี่ย	การขังน้ำตลอด	การระบายน้ำระหว่าง	ค่าเฉลี่ย	
	(ไม่จัดการน้ำ; C)	การปลูก (จัดการน้ำ; W)		(ไม่จัดการน้ำ; C)	การปลูก (จัดการน้ำ; W)		
การปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง)				การปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี)			
ความสูงกอ (ซม.)				ความสูงกอ (ซม.)			
นาเคมี (C)	57.88 c ¹	59.96 c	58.92 c²	66.59 b	61.46 c	64.01 b	
นาแบบ GAP (G)	65.03 b	64.25 b	64.63 b	62.25 c	61.54 c	61.89 b	
นาอินทรีย์ (O)	69.24 a	66.21 b	67.73 a	74.72 a	72.38 a	73.55 a	
ค่าเฉลี่ย	63.69 a	63.30 a		67.51 a	64.77 b		
ความยาวใบ (ซม.)				ความยาวใบ (ซม.)			
นาเคมี	28.35 c	28.19 c	28.27 b	33.90 b	31.89 c	32.89 b	
นาแบบ GAP	33.75 b	32.72 b	33.24 a	32.20 c	30.74 c	31.47 b	
นาอินทรีย์	35.48 a	32.64 b	34.06 a	37.69 a	36.35 a	37.02 a	
ค่าเฉลี่ย	32.34 a	31.09 b		34.43 a	32.82 b		
จำนวนต้น (แขนง) ต่อ กอ				จำนวนต้น (แขนง) ต่อ กอ			
นาเคมี	14.08 bc	12.65 bc	13.39 b	13.95 a	12.92 a	13.43 a	
นาแบบ GAP	16.56 a	14.45 ab	15.52 a	14.08 a	14.29 a	14.19 a	
นาอินทรีย์	13.59 bc	11.87 c	12.94 b	12.94 a	13.05 a	13.00 a	
ค่าเฉลี่ย	14.75 a	13.17 b		13.69 a	13.44 a		
จำนวนใบต่อ กอ				จำนวนใบต่อ กอ			
นาเคมี	52.24 ab	45.63 b	48.93 b	47.53 a	44.78 a	46.14 a	
นาแบบ GAP	59.33 a	49.94 ab	54.63 a	51.50 a	49.76 a	50.63 a	
นาอินทรีย์	48.43 b	35.17 c	41.80 c	42.99 a	42.42 a	42.71 a	
ค่าเฉลี่ย	53.65 a	44.12 b		47.56 a	45.82 a		

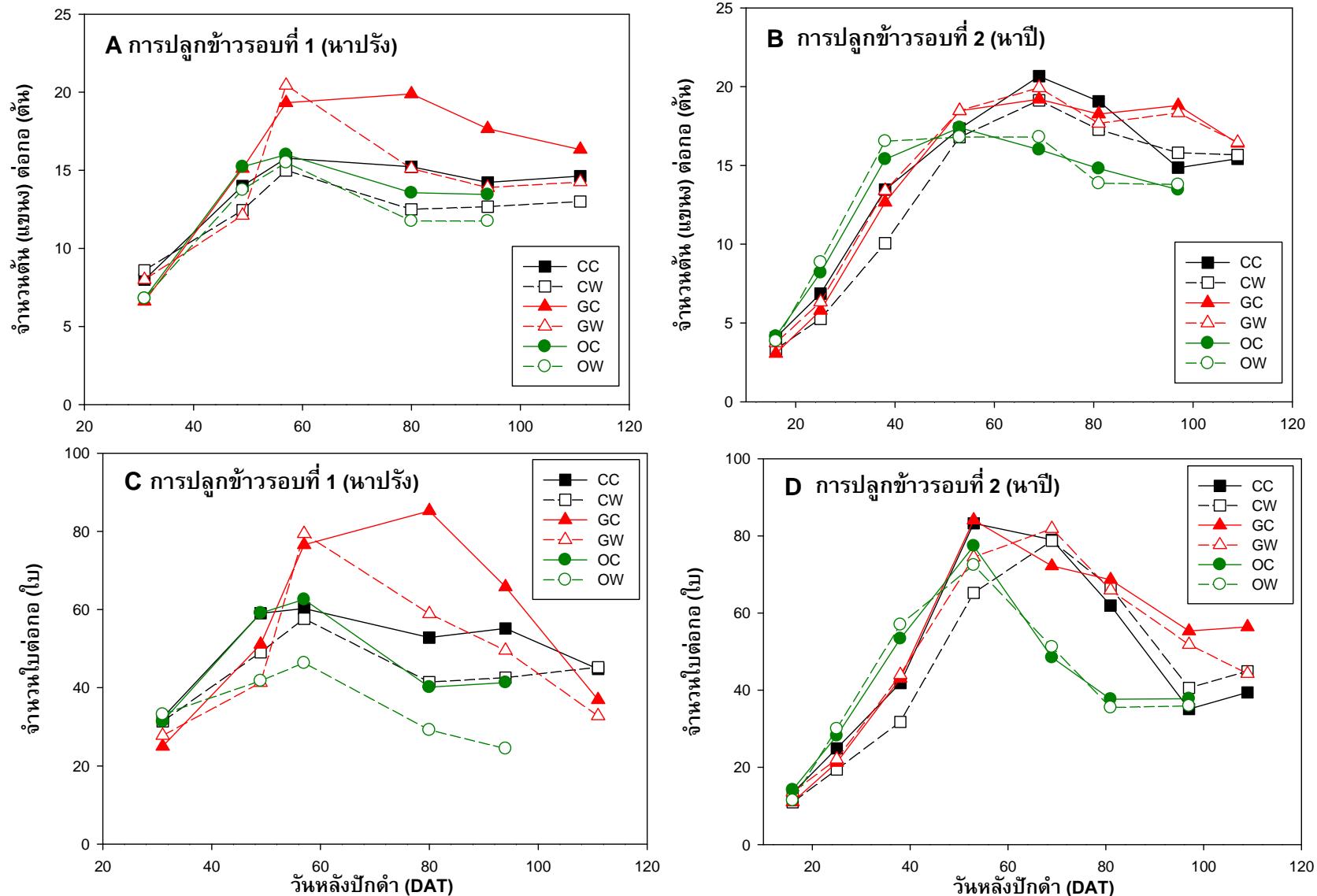
¹ การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างตัวรับทดสอบ (ตัวธรรมชาติ) ได้แก่ CC, CW, GC, GW, OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Duncan's multiple range test; ² การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างรูปแบบนาและระหว่างการจัดการน้ำ (ตัวเข้ม)

การขยายตัวด้านข้างของต้นข้าวและกอข้าว

งานศึกษาได้ศึกษาการขยายตัวด้านข้างของต้นข้าวและกอข้าว โดยนับจำนวนต้น (แขนง) ต่อ กอและจำนวนใบต่อ กอ ในแปลงนารูปแบบต่างๆ (ตารางที่ 12 และภาพที่ 21) ผลที่ได้พบว่าจำนวนต้น ต่อ กอ และจำนวนใบต่อ กอ มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่าที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการปลูก จากนั้นจะลดลงจนถึงก่อนเวลาเก็บเกี่ยวทุกแปลงนาทดลองสำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบ (ภาพที่ 21) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงจำนวนต้นและจำนวนใบต่อ กอ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 พบว่า นาอินทรีย์มีการแตกกอสูงสุดที่เร็วที่สุด ส่วนนาเคมีและนาแบบ GAP มีการแตกกอสูงสุดที่ช้ากว่านา อินทรีย์ แต่อยู่ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการเจริญในแนวตั้งของต้นข้าวของนา อินทรีย์ที่เร็วกว่านารูปแบบอื่นที่ศึกษา อย่างไรก็ตามไม่พบรูปแบบการเจริญด้านข้างที่ชัดเจนสำหรับ การปลูกข้าวรอบที่ 1

การศึกษาผลของรูปแบบนาที่มีต่อการขยายตัวด้านข้างของต้นข้าวพบว่าในการปลูกข้าวรอบที่ 1 นาแบบ GAP มีจำนวนต้นต่อ กอ และจำนวนใบต่อ กอ เล็กที่สุด แต่ต่อไปจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ($p<0.05$) โดยเป็นที่น่าสังเกตว่านาแบบ GAP มีการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่น้อยกว่านา เคมี แต่ยังให้การเติบโตด้านข้างที่ดี ผลที่ได้นี้น่าจะเกิดจากเวลาการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ที่แตกต่างกัน โดย นาเคมีใส่ปุ๋ยในแปลงและไถคราดก่อนการปักชำ ในขณะที่นาแบบ GAP ใส่ปุ๋ยหลังการปักชำ 2 สัปดาห์ ซึ่งคาดว่าเกี่ยวข้องกับความสามารถในการใช้ปุ๋ยของต้นกล้าในช่วงแรกของการเติบโต อย่างไรก็ตามในการปลูกข้าวรอบที่ 2 ได้ทำการปรับวิธีการใส่ปุ๋ยเมื่อครั้งที่ 1 ของนาแบบ GAP โดย ทำให้สอดคล้องกับวิธีการตามนาเคมี พบร่วมกันว่านาแบบ GAP มีแนวโน้มที่ค่าเฉลี่ยจำนวนต้น และจำนวนใบต่อ กอ สูงกว่านารูปแบบอื่น แต่ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การจัดการน้ำในการปลูกข้าวรอบที่ 1 มีผลทำให้จำนวนต้นและจำนวนใบต่อ กอลดลง ($p<0.05$) แต่การจัดการน้ำไม่มีผลต่อค่าทั้งสองสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 ($p>0.05$) (ตารางที่ 12) ผลที่ได้ชี้ว่าต้นกล้าปลูกข้าวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระดับผลกระทบของการจัดการน้ำที่มีต่อการขยายตัว ด้านข้างของต้นข้าว โดยในการปลูกข้าวรอบที่ 1 ที่เริ่มปลูกในช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิอากาศสูง การ ระบายน้ำกลางฤดูปลูกข้าวมีผลทำให้ชลodor หรือลดการเจริญด้านข้างของต้นข้าว เมื่อเปรียบเทียบกับ ต้นข้าวในนาที่ขังน้ำกลางฤดูปลูก ในขณะที่การปลูกข้าวรอบที่ 2 ที่เริ่มปลูกในช่วงฤดูฝนที่มีอุณหภูมิ อากาศต่ำกว่า การระบายน้ำกลางฤดูปลูกข้าวไม่ส่งผลเสียต่อการขยายตัวด้านข้างของต้นข้าว



ภาพที่ 21 (A&B) จำนวนต้นหรือแขนงต่อ กอ และ (C&D) จำนวนใบต่อ กอ ในแปลงนารูปแบบต่างๆ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) และรอบที่ 2 (นาปี)

ภาพรวมการเจริญเติบโตของต้นข้าวและกอข้าว

โดยรวม ต้นข้าวในนาอินทรีย์มีการเติบโตในแนวตั้งได้ดีและมีอัตราการเติบโตของต้นข้าวที่เร็วกว่านาเคมีและ GAP สำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบ และข้อมูลจากการสังเกตพบว่านาอินทรีย์มีการออกรวงที่เร็วและสม่ำเสมอทั้งแปลง โดยทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวดำเนินการก่อนนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีประมาณ 2 สัปดาห์สำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบที่ศึกษา อย่างไรก็ตามการเจริญด้านข้างของต้นข้าวในนาอินทรีย์ขึ้นกับฤดูกาลปลูก โดยการปลูกข้าวรอบที่ 2 ไม่มีผลต่อการแตกกอ ในขณะที่การปลูกข้าวรอบที่ 1 เกิดการแตกกอน้อยกว่านารูปแบบอื่น ส่วนผลของการระบายน้ำระหว่างการปลูกขึ้นกับฤดูกาลเช่นเดียวกัน โดยมีผลลดการเจริญเติบโตของต้นข้าวในทุกปัจจัยที่ศึกษาเฉพาะการปลูกข้าวรอบที่ 1

นาแบบ GAP มีการเติบโตของต้นข้าวที่ดีในแนวตั้งและข้าวมีแตกกอได้ดี ทั้งจำนวนต้นและใบสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และเมื่อปรับรูปแบบการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 ให้สอดคล้องกับนาเคมีในการปลูกข้าวรอบที่ 2 พบร่วมกับการเจริญในด้านต่างๆที่ไม่แตกต่างจากนาเคมี ส่วนการระบายน้ำกลางฤดูปลูกไม่มีผลต่อการเจริญในแนวตั้งของต้นข้าว แต่ผลที่มีต่อการขยายตัวด้านข้างขึ้นกับฤดูกาลปลูก โดยการระบายน้ำกลางฤดูปลูกมีแนวโน้มทำให้การเจริญด้านข้างของต้นข้าวลดลงเฉพาะการปลูกข้าวรอบที่ 1

ต้นข้าวในนาเคมีมีการแตกกอและเพิ่มจำนวนใบของกอได้ดีกว่าการเติบโตแนวตั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับนาอินทรีย์ และการระบายน้ำมีผลต่อการเจริญของต้นข้าวที่แตกต่างกันขึ้นกับฤดูกาล โดยการปลูกข้าวรอบที่ 1 มีผลทำให้การแตกกอของต้นข้าวลดลงในลักษณะเดียวกับนาแบบ GAP ในขณะที่การปลูกข้าวรอบที่ 2 พบร่วมกับการระบายน้ำลดการเจริญในแนวตั้งของต้นข้าว ซึ่งต่างจากนาแบบ GAP และนาอินทรีย์ที่การระบายน้ำในฤดูนี้ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว

ผลผลิตข้าวและน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง

ผลผลิตข้าวในงานศึกษานี้ได้จากการคำนวณของข้อมูลจำนวนรวงต่อ กอ จำนวน กอ ต่อพื้นที่ และน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงของแต่ละแปลงนาที่ศึกษา ทั้งนี้เป็นเพราะการเก็บตัวอย่างผลผลิตข้าวจากพื้นที่ทั้งหมดของแปลงและจากแปลงย่อย ($2 \times 2 \text{ m}^2$) ให้ผลที่มีความแปรปรวนและได้ผลผลิตที่ต่ำซึ่งเป็นเพราะการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) มีปัญหาผลผลิตข้าวสูงเสียอย่างมากจากการทำลายของศัตรุพืช (นก) ในพื้นที่ และทำให้ผลผลิตข้าวที่เก็บได้จากพื้นที่ไม่ได้สะท้อนถึงผลของตารับทดลองที่ศึกษา ด้วยเหตุนี้ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมารวเคราะห์ผล (ข้อมูลไม่แสดง) และในการวิเคราะห์ผลผลิตข้าวสำหรับรอบที่ 2 (นาปี) จึงขอใช้วิธีการเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลการปลูกข้าวทั้งสองรอบ

ผลผลิตข้าวและน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงแสดงดังตารางที่ 13 โดยค่าเฉลี่ยของผลผลิตข้าวของงานศึกษานี้เท่ากับ 714 และ 885 กิโลกรัมต่อไร่ (ความชื้นร้อยละ 14) สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตข้าวพันธุ์ปุทุมธานี 1 ของจังหวัดฉะเชิงเทราที่ปลูกในช่วงนาปรัง

ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 730 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553a) พบว่าผลผลิตข้าวน้ำปรัง (การปลูกข้าวรอบที่ 1) ของงานศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจังหวัดเล็กน้อย และการสอบถามจากเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาที่ปลูกข้าวปุ่มนานี 1 พบว่ามีผลผลิตข้าวทั้งสองฤดูปลูกในช่วง 700-800 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับงานศึกษานี้ ทั้งนี้ผลของรูปแบบการปลูกข้าวที่มีต่อผลผลิตข้าวแตกต่างกันระหว่างรอบการปลูก โดยการปลูกข้าวรอบที่ 1 พบว่านาอินทรีย์ให้ผลผลิตข้าวที่ต่ำกว่านาแบบ GAP และนาเคมี ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุหนึ่งคือนาอินทรีย์มีจำนวนต้นต่อกรอน้ำหนักเมล็ดดีต่อรองใกล้เคียงกับนารูปแบบอื่นๆ ในขณะที่การปลูกข้าวรอบที่ 2 พบว่านาอินทรีย์ให้ผลผลิตข้าวที่สูงที่สุด ซึ่งเป็นเพราะจำนวนต้นต่อกรของนาอินทรีย์ไม่ต่างจากนารูปแบบอื่น ประกอบกับมีน้ำหนักเมล็ดดีต่อรองที่สูงในการปลูกข้าวรอบที่ 2 นี้ การพิจารณาผลผลิตข้าวของนาเคมีและนาแบบ GAP พบว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวของนาแบบ GAP มีแนวโน้มค่าที่สูงกว่านาเคมีสำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบ ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการเติบโตของต้นข้าวที่จำนวนต้นต่อกรของนาแบบ GAP ที่สูงกว่านาเคมี (ตารางที่ 12) นอกจากนี้ผลผลิตข้าวของนาเคมีและนาแบบ GAP ของการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน จึงเป็นที่น่าสนใจว่าผลผลิตข้าวของนาอินทรีย์ให้ผลที่ดีในการปลูกข้าวรอบที่ 2 โดยคาดว่าเป็นเพราะการเจริญเติบโตที่รวดเร็วในช่วงแรกของต้นข้าวในนาอินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบกับนาเคมีและนาแบบ GAP ทำให้ต้นข้าวไม่ได้รับผลกระทบจากความถี่และปริมาณฝนที่ต่ำมากในช่วงแรกของการปลูกข้าวในฤดูนี้ ต้นข้าวจึงแข็งแรงและให้ผลผลิตที่ดี

การระบายน้ำระหว่างฤดูปลูกไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ต่อผลผลิตข้าว แต่มีแนวโน้มที่ทำให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้นหรือต่ำลงตามแต่ฤดูกาลเพาะปลูก (ตารางที่ 13) โดยการระบายน้ำกลางฤดูปลูกมีแนวโน้มที่ลดผลผลิตข้าวในการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) จาก 742 เป็น 686 กิโลกรัมต่อไร่ (ไม่แตกต่างทางสถิติ) ซึ่งสาเหตุหนึ่งเกิดจากการระบายน้ำกลางฤดูปลูกทำให้จำนวนต้นต่อกรลดลงจาก 14.75 เป็น 13.17 ต้น (ตารางที่ 12) แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ดดีต่อรอง (1.145 และ 1.165 กรัม) (ตารางที่ 13) ในขณะที่การระบายน้ำกลางฤดูปลูกไม่มีผลต่อผลผลิตข้าวที่ปลูกรอบที่ 2 (นาปี) คือมีผลผลิตข้าวเท่ากับ 883 และ 886 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็น เพราะจำนวนต้นข้าวต่อกรและน้ำหนักเมล็ดดีต่อรองไม่แตกต่างกันระหว่างรูปแบบการจัดการน้ำทั้งสองแบบที่ศึกษา โดยอยู่ที่ 13.44 และ 13.69 ต้นต่อกร และ 1.956 และ 1.964 กรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 12 และ 13)

มวลชีวภาพรวมของข้าว

มวลชีวภาพรวมของข้าวที่พิจารณาเป็นผลรวมของผลผลิตข้าว ข้าวลีบ ฟาง ตอซัง และรากผลของรูปแบบนาที่มีต่อมวลชีวภาพรวมของข้าวแสดงดังตารางที่ 13 โดยมีแนวโน้มที่สอดคล้องกันคือ นาแบบ GAP มีแนวโน้มให้ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมของข้าวที่สูงกว่านาอินทรีย์และนาเคมีโดยเฉพาะในการปลูกข้าวรอบที่ 2 ($p<0.05$) ส่วนการระบายน้ำมีแนวโน้มให้มวลชีวภาพรวมของข้าวต่ำลง แต่มีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะการปลูกข้าวรอบที่ 2 ซึ่งเป็นเพราะมวลชีวภาพรวมของข้าวที่ค่อนข้างต่ำของนาเคมีที่มีการระบายน้ำกลางฤดูปลูก (แบล็ง CW)

ตารางที่ 13 ผลผลิตข้าวและองค์ประกอบข้าวสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) และรอบที่ 2 (นาปี)

รูปแบบนา	การขังน้ำต่ำลด (ไม่จัดการน้ำ; C)	การระบายน้ำ ระหว่างการปลูก (จัดการน้ำ; W)	ค่าเฉลี่ย	การขังน้ำต่ำลด (ไม่จัดการน้ำ; C)	การระบายน้ำ ระหว่างการปลูก (จัดการน้ำ; W)	ค่าเฉลี่ย
การปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง)				การปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี)		
----- ผลผลิตข้าว ¹ (กิโลกรัมต่อไร่) -----						----- ผลผลิตข้าว ¹ (กิโลกรัมต่อไร่) -----
นาเคมี (C)	794 a ²	619 a	719 ab³	764 b	734 b	749 b
นาแบบ GAP (G)	767 a	806 a	785 a	738 b	797 b	771 b
นาอินทรีย์ (O)	678 a	633 a	652 b	1,111 a	1,219 a	1,154 a
ค่าเฉลี่ย	742 a	686 a		883 a	886 a	
----- น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง (กรัม โดยน้ำหนักแห้ง) -----				----- น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง (กรัม โดยน้ำหนักแห้ง) -----		
นาเคมี	1.229 ab	1.077 b	1.153 a	1.653 c	1.552 c	1.604 b
นาแบบ GAP	1.062 b	1.280 a	1.168 a	1.495 c	1.646 c	1.579 b
นาอินทรีย์	1.145 ab	1.144 ab	1.144 a	2.629 b	2.946 a	2.756 a
ค่าเฉลี่ย	1.145 a	1.165 a		1.964 a	1.956 a	
---- มวลชีวภาพรวมของข้าว (กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่) ----				---- มวลชีวภาพรวมของข้าว (กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่) ----		
นาเคมี	1,754 ab	1,643 ab	1,699 a	2,141 a	1,933 b	2,037 b
นาแบบ GAP	1,842 a	1,803 ab	1,823 a	2,215 a	2,258 a	2,236 a
นาอินทรีย์	1,740 ab	1,609 b	1,675 a	2,151 a	2,155 a	2,153 ab
ค่าเฉลี่ย	1,779 a	1,685 a		2,169 a	2,115 b	

¹ ผลผลิตข้าว = ผลคำนวณจากน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง จำนวนรวงต่อไร่ และจำนวนกอต่อ ตรม. และเป็นผลผลิตข้าวเปลือกที่ความชื้นร้อยละ 14

² การเปรียบเทียบทางสติที่ระหว่างตัวรับทดลอง (ตัวธรรมชาติ) ได้แก่ CC, CW, GC, GW, OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Duncan's multiple range test (DMRT)

³ การเปรียบเทียบทางสติที่ระหว่างรูปแบบนาและระหว่างการจัดการน้ำ (ตัวเข้ม)

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากพื้นที่ศึกษา

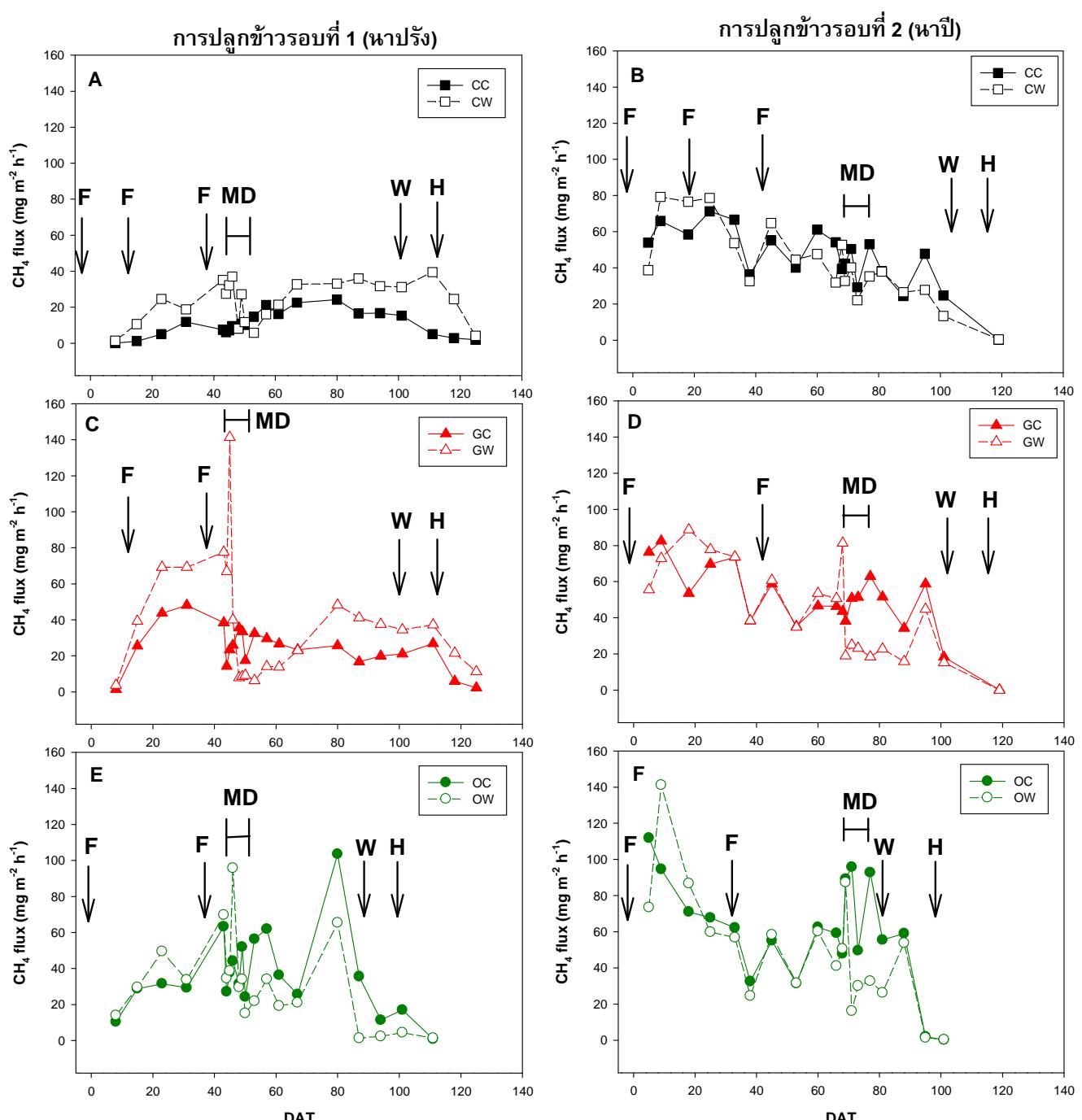
ก๊าซมีเทน (CH_4)

(1) อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก (methane flux during growing season)

- รูปแบบอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนของแปลงนาที่มีการจัดการต่างๆ

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกในแปลงนาชุดแบบต่างๆ ของงานศึกษานี้แสดงดังภาพที่ 22 โดยการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงแรกหลังการปักดำกล้าประมาณ 40 วัน แตกต่างกันตามฤดู การปลูกข้าว การปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) ที่เริ่มปลูกในฤดูร้อนที่อุณหภูมิอากาศสูงและปริมาณฝนน้อยพบว่าอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละรูปแบบการปลูกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลา ซึ่งเป็น เพราะก่อนปักดำ ดินนาค่อนข้างแห้ง เพราะอยู่ในช่วงฤดูแล้ง แต่หลังจากการปักดำแล้ว ทำการขังน้ำในแปลงนาและเพิ่มระดับน้ำตามการเติบโตของต้นข้าว และรักษาระดับน้ำที่ระดับ 5-10 ซม. โดยหลังจากการขังน้ำแล้ว ดินในแปลงนาค่อยๆ เกิดสภาพที่ออกซิเจนจำกัด (anaerobic condition) ซึ่งเป็นสภาวะเหมาะสมให้จุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนทำงานได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ก๊าซมีเทนถูกปล่อยมากขึ้นตามเวลาที่ปลูกข้าว อย่างไรก็ตาม การปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี) ที่เริ่มปลูกในฤดูฝนที่อุณหภูมิอากาศต่ำ และปริมาณฝนมาก พบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนมีอัตราที่สูงตั้งแต่ช่วงแรกของการปลูกข้าว ทั้งนี้เป็นเพราะเริ่มปลูกข้าวในช่วงฤดูฝน และมีน้ำขังในแปลงนาตั้งแต่ก่อนการปักดำ ทำให้เกิดสภาวะที่ออกซิเจนในดินจำกัดยานานกว่าการปลูกข้าวรอบที่ 1 ด้วยเหตุนี้จึงมีการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงตั้งแต่ช่วงแรกของการปลูกข้าว นอกจากนี้การปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงแรกของการปลูกข้าวยังเกิดจาก (1) การไถกลบตอซังในแปลงนาทดลองเป็นการเพิ่มแหล่งอินทรีย์ต่ำ (คาร์บอน) ที่สำคัญสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ รวมถึงกลุ่มผลิตมีเทนด้วย และ (2) การใส่ปุ๋ยเพิ่มธาตุอาหารในแปลงนาในช่วงแรกของการปักดำ จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์และราดพืชโดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในนาอินทรีย์ที่เป็นทั้งการเพิ่มอินทรีย์ต่ำและธาตุอาหารพืช

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนของแปลงนาอินทรีย์ที่มีการขังน้ำตลอดฤดูปลูก (OC) พบว่ามีค่าที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนในวันที่ 70-80 หลังการปักดำสำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบ ซึ่งเป็นช่วงที่ข้าวออกดอกและร่วง (ภาพที่ 22E&F) ในระยะเวลาเจริญเติบโตนี้ راكข้าวจะปล่อยคาร์บอนบริเวณรากเพื่อกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์บริเวณราก โดยคาร์บอนที่ปล่อยจากรากข้าวจะส่งเสริมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้างนั้นเอง อย่างไรก็ตาม ไม่พบการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงสุดเช่นนี้ในแปลงนาเดียวและนาแบบ GAP (ภาพที่ 22A-D) ทั้งนี้ จากการสังเกตการเจริญเติบโตของต้นข้าวระหว่างการเก็บตัวอย่างพบว่า การอกรวงของนาอินทรีย์ค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงนา ในขณะที่แปลงนาเดียวและนาแบบ GAP การอกรวงไม่สม่ำเสมอและค่อยๆ ออกเป็นหย่อมๆ ซึ่งน่าจะเป็นผลกระทบของการใส่ปุ๋ยเคมีในแปลงนาที่ทำโดยการหัวน้ำปุ๋ย และภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวแล้ว อัตราการปล่อยมีเทนทุกแปลงนาทดลองมีค่าลดลงใกล้ 0 $mg\ m^{-2}\ h^{-1}$ ซึ่งแสดงว่าเกือบไม่มีการปล่อยก๊าซมีเทนหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวแล้ว



ภาพที่ 22 อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละแปลงนาทัดลงสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง, A&C&E) และรอบที่ 2 (นาปี, B&D&F) (F = การใส่ปุ๋ย; MD = การระบายน้ำกลางทตดูปลูก; W = การสูบน้ำเข้าแปลงนาครั้ง สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว และ H = การเก็บเกี่ยว)

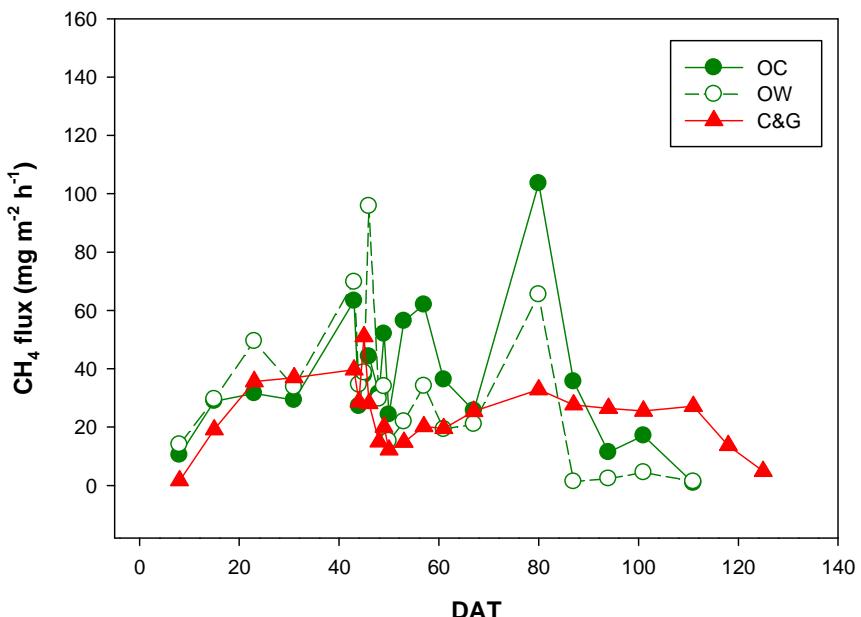
สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 เป็นที่น่าสังเกตว่าการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงแรกหลังปักดำ (0-43 วัน) มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนระหว่างแปลงนาเคมีและนาแบบ GAP ที่แตกต่างค่อนข้างกว้าง ในขณะที่ช่วงหลัง 43-125 วันหลังการปักดำ อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนระหว่างแปลงนาทั้งสองรูปแบบ มีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 22A&C) ซึ่งในช่วงแรกหลังการปักดำ แม้ว่ามีการใส่ปุ๋ยเคมีในปริมาณและ ระยะเวลาที่ต่างกัน แต่ผลของปุ๋ยเคมีไม่น่าจะมีอิทธิพลมากนักต่อการปล่อยก๊าซมีเทนที่พบ และยัง เป็นที่น่าสังเกตอีกว่าอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากแปลงนาที่มีการขังน้ำตลอดฤดูปลูก (CC และ GC) และแปลงนาที่มีการระบายน้ำกลางฤดูปลูก (CW และ GW) ที่แตกต่างกันมากในตลอดฤดูปลูกข้าว โดยแปลงนา CW และ GW มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าแปลงนา CC และ GC ทั้งที่จริงแล้ว ในช่วงแรกก่อนการระบายน้ำ อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนระหว่างแปลงทั้งสองคราวใกล้เคียงกัน ดังเช่นที่เห็นได้ในแปลงนาอินทรีย์ที่พบว่าอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างแปลงนาที่ขังน้ำตลอดฤดูปลูก (OC) และที่มีการระบายน้ำกลางฤดูปลูก (OW) (ภาพที่ 22E) สาเหตุของความผันแปร ของอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากแปลงนาเคมีและนาแบบ GAP น่าจะเกิดจากอิทธิพลของปริมาณ อินทรีย์วัตถุในดินและสภาพน้ำในนาที่ผันแปรในแปลงนาทดลอง โดยหลังการปรับพื้นที่และปักดำแล้ว ปริมาณคาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายง่าย (readily available carbon หรือ labile carbon) มีความผันแปร สูง จึงทำให้มีความแตกต่างกันในการปล่อยก๊าซมีเทนจากแปลงนาทดลองที่ศึกษานั้นเอง (พัชรีและคณะ, 2547) ในขณะที่แปลงนาอินทรีย์ คุณลักษณะดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุเริ่มต้นระหว่างแปลง OC และ OW ใกล้เคียงกัน และ/หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงนาทำให้มีอินทรีย์วัตถุในปริมาณมากจนไม่พบ ความแตกต่างระหว่างแปลงนาทั้งสอง จึงทำให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันระหว่างแปลง OC และ OW ในช่วงแรกของการปักดำ (ก่อนการระบายน้ำกลางฤดูปลูก)

ดังนั้นในการปลูกข้าวรอบที่ 1 ที่พบปัญหาความผันแปรของก๊าซมีเทนระหว่างแปลงนาที่ใส่ ปุ๋ยเคมีทั้งสองรูปแบบ การวิเคราะห์ผลอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนและการคำนวนปริมาณก๊าซมีเทนที่ ปล่อยทั้งหมดตลอดฤดูปลูก จะใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างแปลงนาเคมีและนาแบบ GAP (C&G) เพื่อ เปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูกของแปลงนาอินทรีย์กับนาที่ใช้ ปุ๋ยเคมี และภาพที่ 23 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากแปลงนาเคมีและนาแบบ GAP (C&G) ที่เปรียบเทียบกับอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากแปลงนาอินทรีย์ทั้งที่ขังน้ำตลอดและมีการ จัดการน้ำ

ทั้งนี้ การปลูกข้าวรอบที่ 2 ทำการปรับพื้นที่เพื่อลดปัญหาความผันแปรของก๊าซมีเทนจากการ ปลูกข้าวรอบที่ 1 และผลที่ได้พบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนระหว่างแปลงที่มีการขังน้ำตลอดและมีการ ระบายน้ำกลางฤดูปลูกมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงแรกก่อนมีดำเนินการจัดการน้ำ (ภาพที่ 22B&D&F)

การระบายน้ำระหว่างฤดูปลูกของแปลงนา CW GW และ OW ในช่วงวันที่ 43-50 หรือ 67-74 หลังการปักดำของการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ พบร่วมกับแปลงนาที่มีการระบายน้ำระหว่างฤดู ปลูกมีการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นทันทีหลังการระบายน้ำประมาณ 1-2 วัน โดยสังเกตได้ชัดเจนใน แปลง GW และ OW ผลที่ได้นี้เป็นเพราะระยะเวลาสั้นๆหลังการระบายน้ำแล้ว ทำให้ (1) ก๊าซมีเทนที่ ยังคงค้างอยู่ในดินสามารถระบายนอกสู่บรรยากาศหนึ่งอีกครั้ง ไม่ต้องผ่านการแพร่

(diffusion) หรือการผุดเป็นฟองอากาศ (bubbling) ผ่านชั้นนำ ซึ่งเป็นการลด diffusion barrier ของก้าซมีเทนในชั้นดิน (Miyata et al., 2000) และ (2) ดินยังไม่อยู่ในสภาวะแօโรบิก (aerobic condition) ที่เพียงพอ (ก้าซออกซิเจนจำกัด) จะทำให้ก้าซมีเทนที่อยู่ในดินไม่เกิดการออกซิเดชัน ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงทำให้พบอัตราการปล่อยก้าซมีเทนที่สูงทันทีที่ระบายน้ำนั้นเอง ผลเช่นนี้ยังพบในงานศึกษาที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น Han et al. (2005) พบการปล่อยก้าซมีเทนที่สูงทันทีหลังการระบายน้ำจากแปลงนาทดลอง Gon et al. (1996) รายงานว่าการปล่อยก้าซมีเทนมีค่าสูงมากหลังการระบายน้ำ เมื่อน้ำในรูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) ของดินนาถูกอากาศเข้าแทนที่ แต่ก่อนที่ดินจะเริ่มแตกเป็นร่อง และงานศึกษาของ Miyata et al. (2000) ที่พบการปล่อยก้าซมีเทนระหว่างการระบายน้ำจากแปลงนาที่สูงกว่าช่วงที่ขังน้ำ ร้อยละ 28



ภาพที่ 23 ค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก้าซมีเทนจากแปลงนาเคมีและนาแบบ GAP (C&G) และอัตราการปล่อยก้าซมีเทนจากแปลงนาอินทรีย์ทั้งที่ขังน้ำตลอดและมีการจัดการนำ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง)

การระบายน้ำกลางๆ ปลูกช่วยลดอัตราการปล่อยก้าซมีเทนในแปลงนาอินทรีย์ช่วงหลังการระบายน้ำแล้ว คือ ตั้งแต่ 50 วันหลังการปลูกข้าวรอบที่ 1 (ภาพที่ 22E) หรือตั้งแต่วันที่ 67 หลังการปลูกข้าวรอบที่ 2 (ภาพที่ 22F) ทั้งนี้การปรับช่วงเวลาการระบายน้ำกลางๆ ปลูกจากช่วงก่อนกำหนดชุดดอก (การปลูกข้าวรอบที่ 1) เป็นช่วงข้าวออกดอก (การปลูกข้าวรอบที่ 2) ทำให้ลดการปล่อยก้าซมีเทนในช่วงข้าวออกดอกได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 22F) อีกทั้งไม่ส่งผลเสียต่อผลผลิตข้าวและการเจริญด้านต่างๆ ของต้นข้าวด้วย (ตารางที่ 12-13) ส่วนแปลงนาเคมีและนาแบบ GAP พoSังเกตเห็นผลของ การระบายน้ำในแปลงนาทั้งสองชั้น กัน แม้ว่าจะมีความผันแปรของพื้นที่ศึกษา ก็ตาม โดยเห็นได้ว่าระหว่างและหลังการระบายน้ำกลางๆ ปลูกแล้ว แปลงนา CW และ GW มีแนวโน้มของอัตราการปล่อยก้าซมีเทนที่ต่ำกว่าแปลงนา CC และ GC ตามลำดับ โดยสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 เห็นผลได้จนถึง

วันที่ 61-67 หลังการปักจำ (ภาพที่ 22A&C) และสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 เห็นผลของการระบายน้ำที่ชัดเจนในแปลงนาแบบ GAP มากกว่านาเคมี (ภาพที่ 22B&D)

- รูปแบบนาและการจัดการน้ำที่มีผลต่ออัตราการปล่อยก๊าซมีเทน

ผลการเปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูปลูกข้าวสำหรับแปลงนารูปแบบต่างๆ แสดงดังภาพที่ 23 และตารางที่ 14-15 โดยพบว่าแปลง OC มีอัตราการปล่อยก๊าzmีเทนที่สูงกว่าแปลง OW และแปลงนาเคมีและแบบ GAP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบ การที่แปลง OC มีการปล่อยก๊าzmีเทนที่สูงกว่านาเคมีและแบบ GAP หรือค่าเฉลี่ยของนา C&G สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะการเพาะปลูกแบบนาอินทรีย์มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้เพิ่มปริมาณอินทรีย์ติดตัวให้แก่ดิน และปริมาณอินทรีย์ติดตัวที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน ด้วยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมีเทน (สภาวะไร้อากาศจากการขังน้ำ) และการมีแหล่งคาร์บอนที่เพียงพอแก่จุลินทรีย์ จึงเป็นเหตุให้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตมีเทนทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มการปล่อยก๊าzmีเทนจากแปลงนานั้นเอง ดังเห็นได้จากการปลดปล่อยก๊าzmีเทนของนาอินทรีย์ที่มีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับนาเคมีและแบบ GAP หรือนา C&G

ผลของการระบายน้ำในแปลงนาอินทรีย์ (OW) มีผลลดอัตราการปล่อยก๊าzmีเทนของแปลงนาอินทรีย์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับแปลง OC (ตารางที่ 14-15) โดยการระบายน้ำกากลาภฤดูปลูกเป็นการเติมอากาศให้กับดินนาเป็นเวลาสั้นๆ ทำให้ค่าศักย์ไฟฟาร์ดอกร์ดินนาสูงขึ้น และทำให้สภาวะไม่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน จึงทำให้ปล่อยก๊าzmีเทนลดลงในระหว่างและหลังการระบายน้ำกากลาภฤดูปลูกนั้นเอง (Towprayoon, 2005) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงนาเคมีและแบบ GAP พบร่วงการระบายน้ำกากลาภฤดูปลูกทำให้อัตราการปล่อยก๊าzmีเทนเฉลี่ยใกล้เคียงกันระหว่างแปลง OW และ CC หรือ GC สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 และช่วยลดความแตกต่างของอัตราการปล่อยก๊าzmีเทนเฉลี่ยของแปลง OW และนา C&G สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 ได้อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการระบายน้ำมีผลช่วยลดอัตราการปล่อยก๊าzmีเทนเฉลี่ยของนาแบบเคมีและแบบ GAP แต่ผลที่ได้ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกข้าว ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด และปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต สำหรับการปลูกข้าว รอบที่ 1 (นาปรัง) ระหว่างแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี (C&G) และปุ๋ยอินทรีย์ (O)

รูปแบบนา	อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ย ($\text{mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
ค่าเฉลี่ยนาเคมีและแบบ GAP (C&G)	22.14 b ¹
นาอินทรีย์-ขังน้ำตตลอดฤดู (OC)	39.37 a
นาอินทรีย์-ระบายน้ำกลางฤดู (OW)	30.27 b
ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูก ($\text{g m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$)	
ค่าเฉลี่ยนาเคมีและแบบ GAP	66.93 a (0) ²
นาอินทรีย์-ขังน้ำตตลอดฤดู	91.79 a (37%) (0) ³
นาอินทรีย์-ระบายน้ำกลางฤดู	73.03 a (9%) (-20%)
ปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต (g kg grain^{-1})	
ค่าเฉลี่ยนาเคมีและแบบ GAP	168.01 a (-)
นาอินทรีย์-ขังน้ำตตลอดฤดู	251.89 a (50%) (-)
นาอินทรีย์-ระบายน้ำกลางฤดู	217.93 a (30%) (-8.6%)

¹ การเปรียบเทียบท่างสถิติระหว่างตัวบ่งชี้ต่อหน่วยผลผลิต โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Duncan's multiple range test (DMRT)

² ความแตกต่างของปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูกหรือปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต (ร้อยละ) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยนาเคมีและแบบ GAP (C&G)

³ ความแตกต่างของปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูกหรือปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต (ร้อยละ) เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงนาอินทรีย์ที่ขังน้ำตตลอดฤดูปลูก (OC)

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกข้าวและปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี)

รูปแบบนา	การขึ้นนำตตลอด (ไม่จัดการนำ; C)	การระบายน้ำระหว่างการ ปลูก (มีจัดการนำ; W)	ค่าเฉลี่ย
อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ย ($\text{mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)			
นาเคมี (C)	45.25 b ¹	41.24 b	43.21 b²
นาแบบ GAP (G)	49.48 b	42.51 b	46.09 b
นาอินทรีย์ (O)	60.08 a	47.14 b	53.73 a
ค่าเฉลี่ย	51.48 a	43.53 b	
ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูก ($\text{g m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$)			
นาเคมี (C)	124.03 a	116.37 a	120.20 a
นาแบบ GAP (G)	131.73 a	121.17 a	126.45 a
นาอินทรีย์ (O)	137.57 a	123.10 a	130.33 a
ค่าเฉลี่ย	131.11 a	120.21 a	
ปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต (g kg grain^{-1})			
นาเคมี (C)	302.23 ab	295.17 ab	298.70 a
นาแบบ GAP (G)	332.33 a	282.83 ab	307.58 a
นาอินทรีย์ (O)	230.37 ab	187.83 b	209.10 a
ค่าเฉลี่ย	288.31 a	255.28 a	

¹ การเปรียบเทียบทางสกิดิตระหว่างตัวรับทดลองทั้ง 6 ตัวรับ (ตัวธรรมชาติ) ได้แก่ CC, CW, GC, GW, OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Duncan's multiple range test (DMRT)

² การเปรียบเทียบทางสกิดิตระหว่างรูปแบบนาและระหว่างการจัดการนำ (ตัวเข้ม)

(2) ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูก (total methane emission)

ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูกของแปลงนาทุกรูปแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 14-15 แม้ว่าแปลงนาทุกรูปแบบที่ศึกษามีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีแนวโน้มที่แปลงนา OC ปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดสูงกว่าแปลงนา OW และแปลงนาเคมีและแบบ GAP ซึ่งสอดคล้องกับที่พบในอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูปลูก

การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซมีเทนสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 พบร่วมกับกลุ่ม OC และ OW มีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดสูงกว่าแปลง C&G ที่ร้อยละ 37 และ 9 ตามลำดับ และสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 พบร่วมกับกลุ่ม OC มีการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดสูงกว่าแปลง CC ร้อยละ 11 แต่มีค่าที่ใกล้เคียงกันระหว่างแปลงนา OW และ CC ส่วนผลกระทบการระบายน้ำกลางถูกปิดกั้นของการปลูกข้าวรอบที่ 2 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติสำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดของนาทุกรูปแบบที่ศึกษา แต่มีแนวโน้มในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดสำหรับทุกรูปแบบนาที่ศึกษา (ได้แก่ นาเคมีนาแบบ GAP และนาอินทรีย์) (ตารางที่ 15) โดยเฉพาะผลของการระบายน้ำกลางถูกปิดกั้นทำให้แปลงนา OW มีการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าแปลงนา OC อุบัติร้อยละ 11 และ 20 สำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบที่ศึกษา

ทั้งนี้ สาเหตุที่ไม่พบความแตกต่างของรูปแบบนาต่อปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดน่าจะเกิดจาก (1) จำนวนวันในการปลูกข้าวที่สั้นกว่าของนาอินทรีย์ (98 วัน) เมื่อเปรียบเทียบกับนาเคมีและแบบ GAP (115 วัน) (2) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในแปลงนาอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่ผ่านการหมักแล้ว จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ย่อยสลายง่ายถูกย่อยสลายและลดปริมาณลงระหว่างชั้นตอนการหมักปุ๋ย ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงในแปลงนาแล้ว จึงไม่ส่งมากนักต่อการปล่อยก๊าซมีเทน โดยผลที่ได้สนับสนุนโดยงานศึกษาของพัชรีและคณะ (2551a) ที่พบว่าการใส่วัสดุอินทรีย์ที่มีค่า C/N ratio ต่ำกว่า 100 ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดจะมีค่าน้อยกว่าการใส่วัสดุที่มีค่า C/N ratio ที่สูงกว่า และ (3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ใส่ลงในดินนาอินทรีย์ (คิดเฉพาะปริมาณคาร์บอนในตอซัง راكข้าว สารอินทรีย์ จากรากพืช เศษชาตตันข้าวที่ตายระหว่างการปลูก และปุ๋ยอินทรีย์) มีค่าแตกต่างจากปริมาณที่ใส่ในแปลงนา CC ไม่เกิน 1.7 เท่าในงานศึกษานี้ (ข้อมูลแสดงในหัวข้อบัญชีการบอนฯในส่วนต่อไป) ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของพัชรีและคณะ (2551a) ที่พบว่าแปลงนาที่โลกับตอซังและใส่เมล็ดล้ววหรือปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดร่วมกับเติมสาร พด. 1 มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดไม่แตกต่างจากแปลงนาควบคุมที่โลกับตอซังร่วมกับเติมสาร พด. 1 โดยวัสดุอินทรีย์ที่เติมมีปริมาณคาร์บอน 278.45 หรือ 298.55 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าแปลงควบคุมที่มีค่า 200.64 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็น 1.4 หรือ 1.5 เท่าของแปลงควบคุม

การปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดของพื้นที่ศึกษาที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 66.93 - 91.79 และ 116.37-137.57 g CH₄ m² crop⁻¹ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยมีค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานศึกษาอื่นในประเทศไทย เช่น งานศึกษาของพัชรีและคณะ (2545) ที่รายงานผลการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 20 g CH₄ m² crop⁻¹ สำหรับข้อมูลที่รวมรวมในจังหวัดขอนแก่นระหว่าง พ.ศ. 2542-2547 จำนวน 91 แปลง และ Towprayoon et al. (2005) พบร่วมกับการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดจากแปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในจังหวัดสมุทรสาคร มีค่า 156.79 – 243.55 kg ha⁻¹ crop⁻¹ (คิดเป็น 15.68 - 24.36 g CH₄ m² crop⁻¹) แต่งานศึกษาของพัชรีและคณะ (2551a) ที่วัดการปล่อยก๊าซมีเทนในนาอินทรีย์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆ พบร่วมกับการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดสูงมาก โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 441.45 g CH₄ m² crop⁻¹ ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยพื้นที่ปลูกข้าวในจังหวัดขอนแก่นกว่า 22 เท่าที่เดียว การที่งานศึกษานี้มีการปล่อยก๊าซมีเทนที่

สูง โดยสาเหตุหนึ่งน่าจะเกิดจาก (1) เนื้อดินของพื้นที่ศึกษาที่มีความหยาบ โดยมีอนุภาคขนาดใหญ่ เป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ >50) และงานศึกษาที่เกี่ยวข้องรายงานว่าก้าซมีเทนที่เกิดในดินนาเนื้อหยาบ มีอัตราการปล่อยที่สูงกว่าดินนาเนื้อละเอียดที่ก้าซมีเทนถูกหน่วงไว้ในดินได้ดีและช่วยลดการปล่อยก้าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ (Wang et al., 1993) (2) การไถหมักเศษชาเขียว (ตอซังและراك) ก่อนการปักดำ โดยเศษชาเขียวเหล่านี้มีปริมาณที่ค่อนข้างมาก และการไถกลบจึงเป็นการเติมอินทรีย์ตุลส์ในพื้นที่ศึกษา ทำให้มีการปล่อยก้าซมีเทนที่สูงในทุกรูปแบบนาที่ศึกษา (ไม่ว่าจะเป็นการมีการใส่เฉพาะปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ก็ตาม) เมื่อเปรียบเทียบกับงานศึกษาอื่น และ (3) พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ที่มีความชื้นชื้นดีและอากาศไม่ร้อนจัดมาก เมื่อเทียบกับพื้นที่อื่นในเขตภาคกลาง (ข้อมูลจากอบต. คุ้ยายหมี) จึงน่าจะมีสภาพอากาศที่เอื้อให้เกิดก้าซมีเทนได้ดี และอาจเป็น เพราะพื้นที่ศึกษาอยู่ใกล้พื้นที่ป่า เช่น ป่าอนุรักษ์แควระbum สีบัด และแต่เดิมพื้นที่ใกล้เคียงอุดมสมบูรณ์ด้วยป่าไม้

(3) ปริมาณก้าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิต (methane emission per unit grain)

ปริมาณการปล่อยก้าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตของแปลงนารูปแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 14-15 โดยผลที่ได้แตกต่างกันระหว่างกุฏิการปลูกข้าว ผลจากการปลูกข้าวรอบที่ 1 พบว่าแปลงนา OC มีแนวโน้มที่มีปริมาณการปล่อยก้าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตสูงกว่าแปลงนา OW และค่าเฉลี่ยของนาเคมีและแบบ GAP (C&G) ตามลำดับ แม้ว่าผลที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับที่พบในอัตราการปล่อยก้าซมีเทนเฉลี่ยตลอดกุฏิปลูกและปริมาณการปล่อยก้าซมีเทนทั้งหมดที่มีแนวโน้มสูงในนาอินทรีย์ ในขณะที่ให้ผลผลิตข้าวที่ต่ำกว่า จึงทำให้ปริมาณก้าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตแตกต่างกันชัดเจนยิ่งขึ้น ส่วนการปลูกข้าวรอบที่ 2 ให้ผลที่แตกต่างกัน โดยนาอินทรีย์มีแนวโน้มในการปล่อยก้าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตที่ต่ำกว่านาเคมีและนาแบบ GAP โดยเฉพาะแปลงนา OW ที่มีปล่อยก้าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตต่ำที่สุด โดยนาอินทรีย์มีแนวโน้มการปล่อยก้าซมีเทนที่สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับนารูปแบบอื่นสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 นี้ แต่ให้ผลผลิตข้าวที่สูงกว่า ดังนั้นอัตราส่วนการปล่อยก้าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตจึงให้ผลที่นาอินทรีย์มีค่าอัตราส่วนที่ต่ำกว่านารูปแบบอื่น

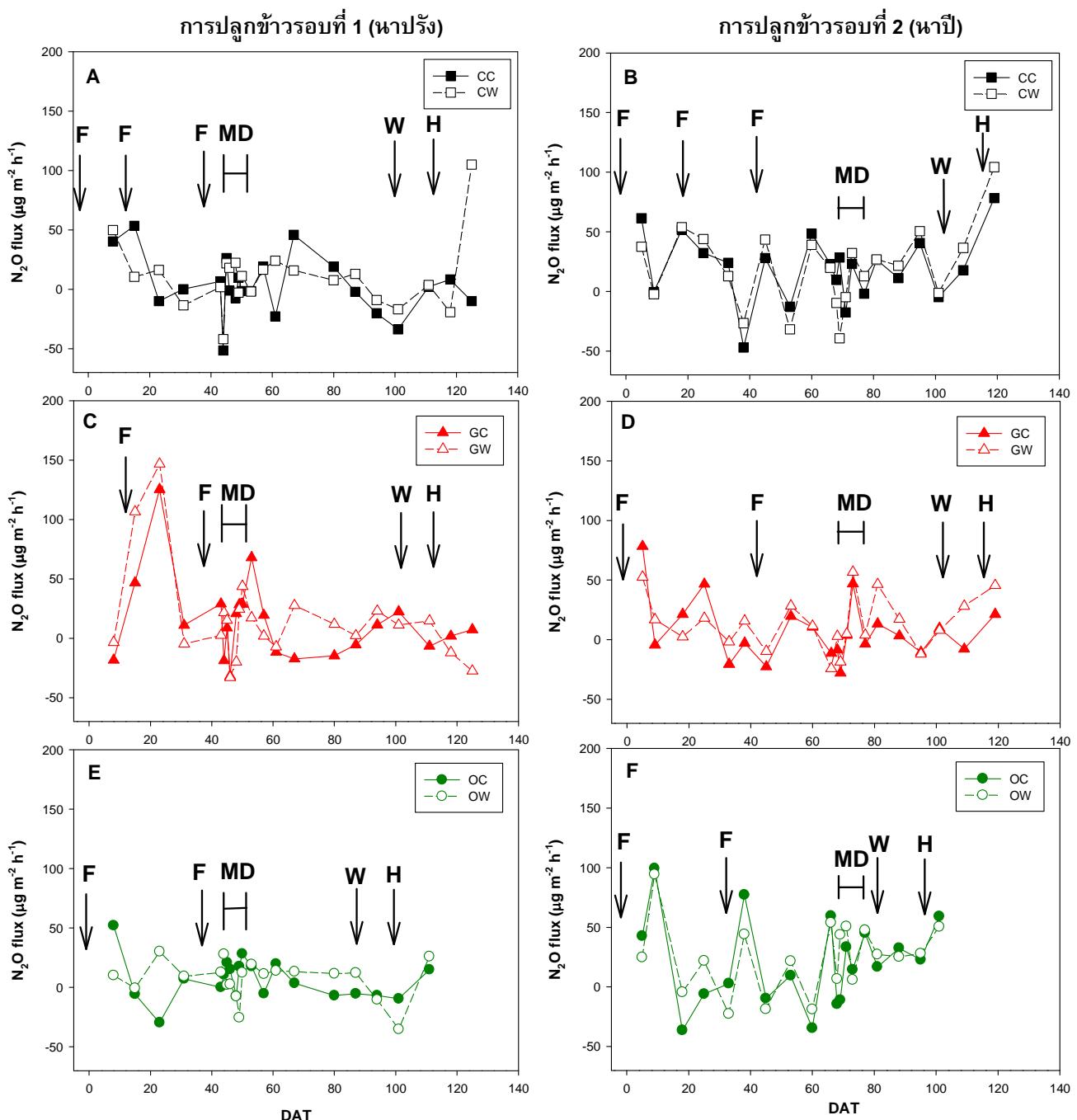
ปริมาณก้าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตของพื้นที่ศึกษาที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 168.01 – 251.89 และ $187.83-332.33 \text{ g CH}_4 \text{ kg grain}^{-1}$ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานศึกษาอื่นในประเทศไทย เช่น งานศึกษาของพัชรีและคณะ (2548) ที่รายงานผลการปล่อยก้าซมีเทนตลอดกุฏิปลูกมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ $40 \text{ g CH}_4 \text{ kg grain}^{-1}$ สำหรับข้อมูลที่รวบรวมในจังหวัดขอนแก่นระหว่าง พ.ศ. 2542-2547 จำนวน 91 แปลง และ Towprayoon et al. (2005) พบว่าการปล่อยก้าซมีเทนทั้งหมดจากแปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในจังหวัดสมุทรสาคร มีค่า $40.5 - 56.0 \text{ g CH}_4 \text{ kg grain}^{-1}$ แต่งานศึกษาของพัชรีและคณะ (2551a) ที่ศึกษาการปล่อยก้าซมีเทนในนาอินทรีย์ที่ไสวสตุอินทรีย์ชนิดต่างๆ พบว่ามีค่าการปล่อยก้าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตสูงมาก โดยมีค่าเฉลี่ยที่ $783.52 \text{ g CH}_4 \text{ m}^2 \text{ crop}^{-1}$ ซึ่งสูงกว่างานศึกษานี้และสูงกว่าค่าเฉลี่ยพื้นที่ปลูกข้าวในจังหวัดขอนแก่นกว่า 20 เท่า

กําชในตัวสอกไซด์ (N_2O)

(1) อัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์ตลอดฤดูปลูก

อัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์ของแปลงนาทดลองต่างๆ ที่ศึกษาแสดงดังภาพที่ 24 ค่าอัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์มีความผันแปรสูงตลอดฤดูปลูกและมีความสัมพันธ์กับการใส่ปุ๋ยโดยพบว่าแปลงนาเคมีและนาอินทรีย์มีอัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์ที่สูงตั้งแต่ช่วงแรกหลังการปักดำ ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่ 1 จากนั้นกําชในตัวสอกไซด์มีอัตราการปล่อยที่ลดลงตามเวลา และเมื่อมีการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 หรือ 3 พบว่ากําชในตัวสอกไซด์มีอัตราการปล่อยที่ตอบสนองกับการใส่ปุ๋ย โดยเฉพาะในการปลูกข้าวรอบที่ 2 ซึ่งเริ่มปลูกในฤดูฝน ทำให้สภาวะดินขึ้นนำเป็นเวลานานก่อนการปลูกข้าว ซึ่งเอื้อให้เกิดสภาวะไร้อากาศในดินที่ดี ส่วนแปลงนาแบบ GAP มีอัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์ที่สูงหลังจากใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 โดยเฉพาะในการปลูกข้าวรอบที่ 1 ที่มีอัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์ที่สูงมาก ซึ่งเป็นเพราะ (1) ช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยที่ใส่ช่วงที่แปลงนามีการขังน้ำแล้วประมาณ 2 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงที่ดินนาอยู่ในสภาวะออกซิเจนจำกัดที่เอื้อต่อการปล่อยในตัวสอกไซด์ผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (2) รูปของปุ๋ยเคมีที่ใส่ครั้งที่ 1 มีองค์ประกอบในโครงสร้างที่อยู่ในรูปไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งพร้อมที่จะเปลี่ยนรูปผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) และปล่อยกําชในตัวสอกไซด์ออกสู่บรรยากาศได้อย่างรวดเร็ว และ (3) วิธีการใส่ปุ๋ยที่เป็นการหว่านที่ผิวน้ำดินสำหรับการใส่ปุ๋ยของแปลงนาแบบ GAP ที่ต่างจากแปลงนาเคมีและนาอินทรีย์ที่ทำการไถกลบปุ๋ยไปกับดินก่อนการปักดำ จึงปุ๋ยที่ผิวน้ำออกซิไดซ์หรือรีดิวช์ไดง่ายและเร็วกว่า และทำให้ปล่อยในตัวสอกไซด์ที่สูงและเร็วตั้งที่พบในงานศึกษานี้ อย่างไรก็ตาม การปลูกข้าวรอบที่ 2 ได้ทำการปรับเวลาการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 ของแปลงนาแบบ GAP ให้สอดคล้องกับนาเคมีพบว่าช่วยลดอัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีค่าอัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์เฉลี่ยที่ต่ำกว่านาเคมีและนาอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, ตารางที่ 16)

ในระหว่างการระบายน้ำกลางฤดูปลูก แปลงนาต่างๆ มีอัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์ใกล้เคียงกัน แต่ความแตกต่างระหว่างแปลงที่ขังน้ำตลอดและแปลงที่มีการระบายน้ำกลางฤดูปลูกพบได้ในช่วงหลังจากที่กดน้ำกลับเข้าแปลงนาทดลองแล้ว โดยสังเกตได้ชัดเจนในแปลงนาแบบ GAP มากกว่าแปลงนาเคมีและนาอินทรีย์ และพบได้ชัดเจนในการปลูกข้าวรอบที่ 1 มากกว่ารอบที่ 2 (ภาพที่ 24) ผลของการระบายน้ำกลางฤดูปลูกที่มีต่อการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์ที่พบ เกิดจากการระบายน้ำช่วงสั้นระหว่างการปลูกเป็นการเติมออกซิเจนให้กับดินนา ทำให้ในโครงสร้างในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) จากปุ๋ยเคมี (ยูเรีย) ถูกออกซิไดซ์เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรท (NO_2^-) และ NO_3^- ตามลำดับ ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) และวายหลังที่ทำการขังน้ำในแปลงนาอีกรอบ จะทำให้ NO_3^- ที่ผลิตขึ้นระหว่างการระบายน้ำขังตัน ถูกรีดิวช์เป็นกําชในตัวสอกไซด์และกําชในโครงสร้างผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ด้วยเหตุนี้ การระบายน้ำจึงทำให้การปล่อยกําชในตัวสอกไซด์เพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ช่นกัน อย่างไรก็ตาม อัตราการปล่อยกําชในตัวสอกไซด์เฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างแปลงที่มีขังน้ำตลอดและมีการระบายน้ำกลางฤดูปลูกสำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบที่ศึกษา ($p>0.05$, ตารางที่ 16)



ภาพที่ 24 การปลดปล่อยก๊าซไนโตรออกไซด์ในตราชอกใช้ดีไนเตรตและแบลนนาಥดลงสำหรับการปลูกข้าวหอมที่ 1 (นาปรัง, A&C&E) และร้อนที่ 2 (นาปี, B&D&F) (F = การใส่ปุ๋ย; MD = การระบายน้ำกลางฤดูปลูก; W = การสูบนำเข้าแบลนนาครั้งสุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว และ H = การเก็บเกี่ยว)

(2) ปริมาณการปล่อยก๊าซในترัสรอกไชร์ททั้งหมดตลอดฤดูปลูก

ปริมาณปล่อยก๊าซในตระสอกรไชร์ททั้งหมดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 16) โดยการปลูกข้าวรอบที่ 1 พบร่วมกับแปลงนาแบบ GAP มีปริมาณการปล่อยก๊าซชนิดนี้สูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงนาเคมี และแปลงนาอินทรีย์มีปริมาณการปล่อยต่ำที่สุด ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากช่วงเวลาและลักษณะการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 และรูปของไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใส่ของแปลงนาแบบ GAP ในขณะที่การปลูกข้าวรอบที่ 2 ที่ปรับเวลาการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 ของนาแบบ GAP ให้สอดคล้องกับนาเคมี ผลที่ได้พบว่านาแบบ GAP มีแนวโน้มการปล่อยก๊าซในตระสอกรไชร์ททั้งหมดต่ำกว่านาเคมีและนาอินทรีย์ ส่วนการระบายน้ำกากလางฤทธิ์ปลูกมีผลส่งเสริมการปล่อยก๊าซในตระสอกรไชร์ททั้งหมดในทุกรูปแบบนาที่ศึกษาในช่วง 1.4-2.5 หรือ 1.1-1.8 เท่าของแปลงที่ขังน้ำตลดฤทธิ์ปลูกสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แต่ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้เป็นเพราะการปล่อยในตระสอกรไชร์ททั้งหมดมีความผันแปรค่อนข้างสูง

การปล่อยก๊าซในตระสอกรไชร์ททั้งหมดของพื้นที่ศึกษาที่มีค่าอยู่ในช่วง 7.46–62.36 หรือ $20.87\text{--}58.59 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$ สำหรับการปลูกข้าวครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วงเดียวกันกับงานศึกษาของ Towprayoon et al. (2005) ที่พบร่วมกับการปล่อยก๊าซชนิดนี้อยู่ในช่วง 0.33-0.51 $\text{kg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ crop}^{-1}$ (คิดเป็น $33\text{--}51 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$)

(3) ปริมาณก๊าซในตระสอกรไชร์ต่อหน่วยผลผลิต

ปริมาณการปล่อยก๊าซในตระสอกรไชร์ต่อหน่วยผลผลิตของแปลงนาอยู่ในรูปแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 16 โดยการปลูกข้าวรอบที่ 1 แปลงนาอินทรีย์มีแนวโน้มการปล่อยก๊าซในตระสอกรไชร์ต่อหน่วยผลผลิตที่ต่ำกว่าแปลงนาเคมีและนาแบบ GAP ตามลำดับ แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่การปลูกข้าวรอบที่ 2 แปลงนาอินทรีย์ยังคงมีปริมาณก๊าซในตระสอกรไชร์ต่อหน่วยผลผลิตที่ต่ำกว่านาเคมี และมีค่าใกล้เคียงกับนาแบบ GAP ($p<0.05$) ซึ่งเป็นเพราะการปล่อยก๊าซในตระสอกรไชร์ที่ต่ำลงของนาแบบ GAP ภายหลังการปรับเวลาและลักษณะการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ทั้งนี้ ผลของการระบายน้ำกากလางฤทธิ์ปลูกมีแนวโน้มส่งเสริมปริมาณก๊าซในตระสอกรไชร์ต่อหน่วยผลผลิตของทุกรูปแบบนาที่ศึกษา ประมาณ 1.2-1.7 เท่า แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก๊าซในตระสออกไซด์ตลดตดคุณภาพข้าวและปริมาณการปล่อยก๊าซในตระสออกไซด์ทั้งหมดตลดตดคุณภาพข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) และรอบที่ 2 (นาปี)

รูปแบบนา	การขึ้นต่อตด (ไม่จัดการหน้า; C)	การระบายน้ำระหว่างการ ปลูก (มีจัดการหน้า; W)	ค่าเฉลี่ย	การขึ้นต่อตด (ไม่จัดการหน้า; C)	การระบายน้ำระหว่างการ ปลูก (มีจัดการหน้า; W)	ค่าเฉลี่ย
การปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง)						
อัตราการปล่อยก๊าซในตระสออกไซด์เฉลี่ย ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)						
นาเคมี (C)	3.41 a ¹	9.48 a	6.44 a²	17.04 a	15.77 a	16.40 a
นาแบบ GAP (G)	14.01 a	17.55 a	15.78 a	6.66 a	12.38 a	9.52 b
นาอินทรีย์ (O)	6.54 a	7.46 a	6.95 a	19.14 a	23.97 a	21.56 a
ค่าเฉลี่ย	8.23 a	11.44 a		14.11 a	17.14 a	
การปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี)						
อัตราการปล่อยก๊าซในตระสออกไซด์เฉลี่ย ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)						
นาเคมี (C)	19.53 ab	27.05 ab	23.29 ab	52.03 a	58.57 a	55.30 a
นาแบบ GAP (G)	41.85 ab	62.36 a	52.11 a	20.87 a	36.63 a	28.75 b
นาอินทรีย์ (O)	7.46 b	18.59 ab	13.02 b	41.57 a	47.40 a	44.48 ab
ค่าเฉลี่ย	22.94 a	36.00 a		38.16 a	47.53 a	
ปริมาณการปล่อยก๊าซในตระสออกไซด์ทั้งหมดตลดตดคุณภาพ ($\text{mg m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$)						
ปริมาณการปล่อยก๊าซในตระสออกไซด์ทั้งหมดตลดตดคุณภาพ ($\text{mg m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$)						
นาเคมี (C)	45.75 a	81.37 a	63.56 a	126.83 a	148.50 a	137.67 a
นาแบบ GAP (G)	101.57 a	143.96 a	122.77 a	52.67 a	85.43 a	69.05 b
นาอินทรีย์ (O)	20.47 a	55.47 a	37.97 a	69.63 a	72.37 a	69.05 b
ค่าเฉลี่ย	55.93 a	93.60 a		83.04 a	102.10 a	
ปริมาณก๊าซในตระสออกไซด์ต่อหน่วยผลผลิต (mg kg grain^{-1})						
ปริมาณก๊าซในตระสออกไซด์ต่อหน่วยผลผลิต (mg kg grain^{-1})						
นาเคมี (C)	45.75 a	81.37 a	63.56 a	126.83 a	148.50 a	137.67 a
นาแบบ GAP (G)	101.57 a	143.96 a	122.77 a	52.67 a	85.43 a	69.05 b
นาอินทรีย์ (O)	20.47 a	55.47 a	37.97 a	69.63 a	72.37 a	69.05 b
ค่าเฉลี่ย	55.93 a	93.60 a		83.04 a	102.10 a	

¹ การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างตัวรับทดสอบ (ตัวธรรมชาติ) ได้แก่ CC, CW, GC, GW, OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Duncan's multiple range test; ² การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างรูปแบบนาและระหว่างการจัดการนา (ตัวเข้ม)

ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (*global warming potentials; GWPs*)

ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (มีเทนและไนตรัสออกไซด์) จากการรูปแบบต่างๆ ถูกนำมาคำนวณเพื่อประเมินค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWPs) ของพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 17 ผลที่ได้พบว่าก๊าซมีเทนเป็นก๊าชหลักที่กำหนดค่า GWPs ของพื้นที่ปลูกข้าวที่ศึกษาทั้งสองรอบของการปลูกข้าว โดยคิดเป็นกว่าร้อยละ 99 ของค่า GWPs ทั้งหมด ดังนั้น ค่า GWPs รวมของนารูปแบบต่างๆ จึงเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลที่พบในการปล่อยก๊าซมีเทนที่ได้อธิบายแล้วข้างต้น โดยเฉพาะสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 ที่แปลงนาที่มีการจัดการน้ำมีค่า GWPs รวมที่ต่ำกว่าแปลงนาแต่ละรูปแบบที่ขังน้ำตลอด (คิดเป็นร้อยละ 6-10) และแปลงนา CC (คิดเป็นร้อยละ 1-6)

เมื่อพิจารณาค่า GWPs รวมของแปลงนาอ้างอิงที่ใช้ค่า GWPs รวมที่เฉลี่ยระหว่างแปลงนาเคมีและ GAP (C&G) สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และค่า GWPs รวมของแปลงนาเคมีที่ขังน้ำตลอด (CC) สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 พบว่าแปลงนาอินทรีย์ที่ขังน้ำตลอด (OC) มีค่า GWPs ที่สูงกว่าแปลงอ้างอิงอยู่ร้อยละ 11 และ 36 ส่วนการระบายน้ำกากลาภถูกปลูกช่วยลดค่า GWPs ของแปลงนาอินทรีย์ได้ประมาณร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับนา OC นอกจากนี้การระบายน้ำกากลาภถูกของแปลงนาอินทรีย์ (OW) ยังช่วยลดค่า GWPs ให้ใกล้เคียงกับนา CC สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 และแม้ว่าการระบายน้ำกากลาภถูกในนาอินทรีย์จะไม่ลดค่า GWPs ให้ต่ำกว่านานาที่ใส่ปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 แต่ช่วยลดความแตกต่างให้น้อยลง คือลดจากร้อยละ 36 เป็น 9 ดังนั้น ผลที่ได้ชี้ว่าการระบายน้ำกากลาภถูกยังคงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของนาข้าวที่ปลูกด้วยวิธีเกษตรอินทรีย์

การพิจารณาค่า GWPs รวมของนาแบบ GAP เปรียบเทียบกับนา CC สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 พบว่าการปลูกข้าวแบบ GAP (GC) มีค่า GWPs รวมที่สูงกว่า แม้ว่ามีประมาณการปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์ที่ต่ำกว่าก็ตาม แต่การจัดการน้ำในนาแบบ GAP (GW) ช่วยลดค่า GWPs ให้ใกล้เคียงกับนา CC ได้เช่นเดียวกับที่พบในการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์

ตารางที่ 17 ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP_s) สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) และรอบที่ 2 (นาปี)

รูปแบบนา	การขังน้ำตลอด		การระบายน้ำ		การขังน้ำตลอด		การระบายน้ำ	
	(C)	ระหว่างการปลูก (W)	(C)	ระหว่างการปลูก (W)	(C)	ระหว่างการปลูก (W)	(C)	ระหว่างการปลูก (W)
การปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง)								การปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี)
นาเคมี (C)	811.8	1,592.3	1,202.0		3,108.3	2,909.6	3,008.9	
นาแบบ GAP (G)	1,736.5	2,554.5	2,145.5		3,293.8	3,029.0	3,161.4	
			ค่าเฉลี่ย	1,673.8		ค่าเฉลี่ย	3,085.2	
นาอินทรีย์ (O)	2,294.8	1,825.5	2,060.1		3,440.1	3,078.5	3,259.3	
ค่าเฉลี่ย				3,280.7		3,005.7		
----- GWP ¹ ของก๊าซมีเทน (g CO ₂ m ⁻² crop ⁻¹) -----								
นาเคมี (C)	5.8	8.1	6.9		15.5	17.5	16.5	
นาแบบ GAP (G)	12.5	18.6	15.5		6.2	10.9	8.6	
			ค่าเฉลี่ย	11.2		ค่าเฉลี่ย	12.5	
นาอินทรีย์ (O)	2.2	5.5	3.9		12.4	14.1	13.3	
ค่าเฉลี่ย					11.4	14.2		
----- GWP ของก๊าซในตัวสออกไซด์ (g CO ₂ m ⁻² crop ⁻¹) -----								
นาเคมี (C)	817.6	1,600.3	1,208.9		3,123.8	2,927.1	3,025.4	
นาแบบ GAP (G)	1,749.0	2,573.1	2,161.0		3,300.0	3,039.9	3,170.0	
			ค่าเฉลี่ย	1,685.0		ค่าเฉลี่ย	3,097.7	
นาอินทรีย์ (O)	2,297.0	1,831.0	2,064.0		3,452.5	3,092.6	3,272.6	
ค่าเฉลี่ย					3,292.1	3,019.9		
----- GWP รวม (g CO ₂ m ⁻² crop ⁻¹) -----								
นาเคมี (C)	817.6	1,600.3	1,208.9		3,123.8	2,927.1	3,025.4	
นาแบบ GAP (G)	1,749.0	2,573.1	2,161.0		3,300.0	3,039.9	3,170.0	
			ค่าเฉลี่ย	1,685.0		ค่าเฉลี่ย	3,097.7	
นาอินทรีย์ (O)	2,297.0	1,831.0	2,064.0		3,452.5	3,092.6	3,272.6	
ค่าเฉลี่ย					3,292.1	3,019.9		

¹ GWP_s CH₄ = 25 และ GWP_s N₂O = 298 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (100 Year time horizon) (Forster et al., 2007)

ก้าวการบอนไดออกไซด์ (CO_2)

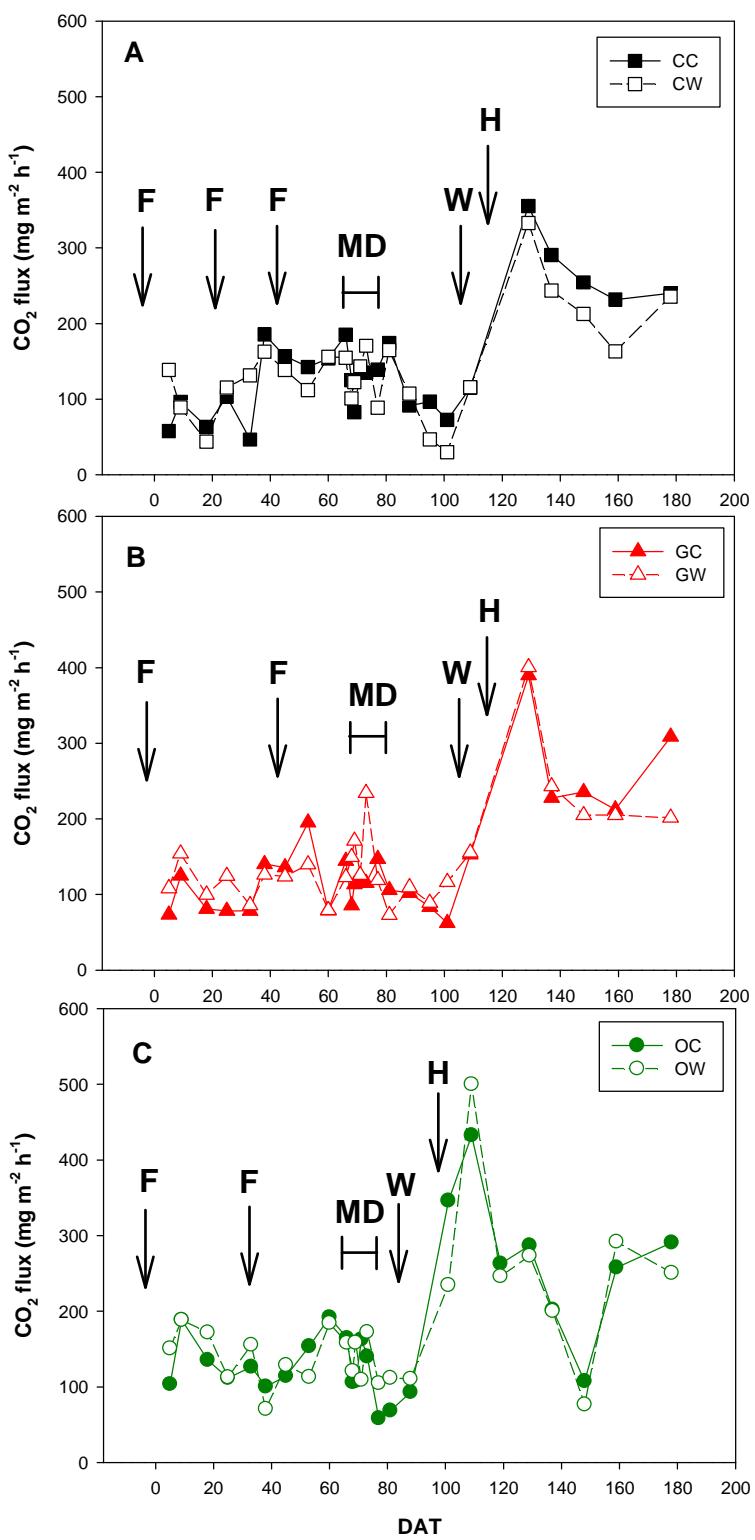
(1) อัตราการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์

อัตราการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ของแปลงนาทดลองต่างๆ ที่ศึกษาสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี) และช่วงพักนาแสดงดังภาพที่ 25 และตารางที่ 18 ค่าอัตราการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ในช่วงปลูกข้าวมีค่าใกล้เคียงกันตลอดฤดูเพาะปลูกและมีค่าที่สูงขึ้นอย่างมากในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว ซึ่งเป็นเพราะการหยุดขั้นนำในนาเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้น้ำไม่ขังบนผิวดิน จึงปล่อยก้าวจากผิวดินไม่ต้องแพร์หรือปล่อยผ่านชั้นน้ำ โดยเฉพาะในช่วงแรกที่หยุดขั้นนำ ซึ่งดินยังมีความชื้นดินที่สูง ในขณะที่ออกซิเจนจากอากาศแพร์เข้าสู่รูรุนดินและทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้อากาศทำงานได้ดี จึงมีการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินในอัตราที่สูง ด้วยเหตุนี้ อัตราการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์จึงมีค่าที่สูงกว่าช่วงปลูกข้าว แต่อัตราการปล่อยก้าวลดลงตามเวลาที่ความชื้นดินต่ำลงในช่วงพักนา

เมื่อพิจารณาอัตราการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ในช่วงปลูกข้าวและช่วงพักนา พบว่า รูปแบบน้ำและการระบายน้ำไม่มีผลทางสถิติต่ออัตราการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์เฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลา ($p>0.05$) แม้ว่าในช่วงการปลูกข้าวมีแนวโน้มที่อัตราปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ของนาอินทรีย์มีค่าที่สูงกว่านาเคมีและแบบ GAP หรือแปลงที่มีการระบายน้ำกลางฤดูปลูกมีแนวโน้มที่ให้อัตราการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าแปลงที่ขั้นนำตลอดในช่วงการปลูกข้าว แต่มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าในช่วงพักนาปกติ (ตารางที่ 18) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ระหว่างช่วงปลูกข้าวและช่วงพักนา พบว่านาอินทรีย์มีอัตราการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ที่สูงกว่านาเคมีและนาแบบ GAP ($p<0.05$) แต่ยังคงไม่พบผลของการระบายน้ำ ($p>0.05$)

(2) ปริมาณการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ทั้งหมดตลอดฤดูปลูกข้าวและช่วงพักนา

ปริมาณการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ทั้งหมดในช่วงปลูกข้าวรอบที่ 2 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ในรูปแบบนาต่างๆ ที่ศึกษา แต่ผลของรูปแบบนาพบได้ในช่วงพักนาและผลรวมปริมาณการปล่อยก้าวทั้งสองช่วง ($p<0.05$) (ตารางที่ 18) เมื่อพิจารณาผลรวมการปล่อยก้าวการบอนไดออกไซด์ตลอดเวลาที่ศึกษา พบว่านาอินทรีย์มีปริมาณการปล่อยก้าวชนิดนี้สูงที่สุด ในขณะที่นาแบบ GAP และนาเคมีมีปริมาณการปล่อยก้าวทั้งหมดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของนาอินทรีย์ที่เป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้กับดิน และช่วยกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ดินให้มากขึ้น ส่วนการระบายน้ำกลางฤดูปลูกไม่มีผลต่อปริมาณก้าวการบอนไดออกไซด์ทั้งหมด สำหรับแต่ละช่วงเวลาที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม การที่ไม่พบความแตกต่างของรูปแบบนาในช่วงปลูกข้าว น่าจะเกิดจากจำนวนวันในการปลูกข้าวที่สั้นกว่าถึง 17 วัน ของนาอินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบกับนาเคมีและแบบ GAP ร่วมกับอัตราการปล่อยก้าวที่ไม่แตกต่างกันมากนักระหว่างนาอินทรีย์กับนารูปแบบอื่นที่ศึกษา



ภาพที่ 25 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละแปลงนาทัดลงสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี) และช่วงพักนา (F = การใส่ปุ๋ย; MD = การระบายน้ำกลางฤดูปลูก; W = การสูบน้ำเข้าแปลงนาครั้งสุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว และ H = การเก็บเกี่ยว)

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอน dioxide ตลอดฤดูปลูกข้าวและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอน dioxide ทั้งหมดตลอดฤดูปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี) และช่วงพักนา

รูปแบบนา	การขังน้ำตลอด (ไม่จัดการห้า; C)	การระบายน้ำระหว่างการ ปลูก (มีจัดการห้า; W)	ค่าเฉลี่ย	การขังน้ำตลอด (ไม่จัดการห้า; C)	การระบายน้ำระหว่างการ ปลูก (มีจัดการห้า; W)	ค่าเฉลี่ย
อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอน dioxide เฉลี่ย ($\text{mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)				ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอน dioxide ทั้งหมด (g m^{-2})		
ช่วงปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี) ¹				ช่วงปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี) ¹		
นาเคมี (C)	118.11 a ²	118.71 a	118.41 a³	236.60 a	228.22 a	232.41 a
นาแบบ GAP (G)	110.63 a	125.67 a	118.22 a	223.68 a	242.01 a	232.85 a
นาอินทรีย์ (O)	126.05 a	136.22 a	131.19 a	210.25 a	226.09 a	218.17 a
ค่าเฉลี่ย	117.87 a	126.50 a		223.51 a	232.11 a	
ช่วงพักนา				ช่วงพักนา		
นาเคมี (C)	270.85 a	237.77 a	253.70 a	418.58 ab	363.83 b	391.21 b
นาแบบ GAP (G)	272.34 a	254.53 a	263.43 a	428.48 ab	401.10 ab	414.79 ab
นาอินทรีย์ (O)	272.59 a	259.03 a	265.64 a	553.71 a	531.96 ab	542.83 a
ค่าเฉลี่ย	272.02 a	251.52 a		466.92 a	432.30 a	
อัตราการปล่อยเฉลี่ยระหว่างช่วงปลูกข้าวและช่วงพักนา				ปริมาณการปล่อยรวม		
นาเคมี (C)	146.76 b	143.22 b	145.02 b	714.33 a	649.11 a	681.72 b
นาแบบ GAP (G)	143.44 b	151.44 ab	147.47 b	708.08 a	703.61 a	705.85 ab
นาอินทรีย์ (O)	168.24 ab	172.34 a	170.32 a	816.52 a	814.58 a	815.55 a
ค่าเฉลี่ย	152.56 a	155.63 a		746.31 a	722.43 a	

¹ ช่วงการปลูกข้าวคิดเฉพาะปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอน dioxide จากการหายใจของจุลินทรีย์ดิน โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $(0.8 \times \text{ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอน dioxide ทั้งหมด}) \times 0.8$ ช่วงการปลูกข้าว

² การเปรียบเทียบทางสกัดติดต่อระหว่างตัวรับทดสอบ (ตัวธรรมชาติ) ได้แก่ CC, CW, GC, GW, OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Duncan's multiple range test

³ การเปรียบเทียบทางสกัดติดต่อระหว่างรูปแบบนาและระหว่างการจัดการห้า (ตัวเข้ม)

ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินนาทีปลูกข้าวรูปแบบต่างๆ

ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (SOC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รูปต่างๆ ในดินนาของแต่ละรูปแบบการปลูกข้าวตลอดปีที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 19 ผลที่ได้พบว่าปริมาณ SOC ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รูปพาร์ทิกุเลต (particulate organic carbon: POM-C) และรูปที่อยู่ร่วมกับอินทรีย์วัตถุ (mineral-associate organic carbon: MaOM-C) ต่อหน่วยน้ำหนักดิน (ในหน่วย g C 100 g⁻¹ soil) ในดินนาอินทรีย์มีค่าสูงกว่านาเคมีและนาแบบ GAP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งเป็นเพราะนาอินทรีย์มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ จึงเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและเพิ่มปริมาณในห้องสองรูปแบบการปลูกข้าวที่ศึกษา ทั้งนี้ การที่เห็นผลการสะสมcarbonบนอินทรีย์ที่ชัดเจนของพื้นที่นาอินทรีย์ เป็น เพราะพื้นที่ศึกษาได้ดำเนินการปลูกข้าวในรูปแบบนาอินทรีย์มากกว่า 9 ปีแล้ว โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ SOC ของนาเคมีและนาแบบ GAP พบร้านาอินทรีย์สะสมcarbonได้มากกว่าร้อยละ 21.2 และ 27.2 ตามลำดับ (ตารางที่ 19) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Huang et al. (2010) ที่พบว่าปริมาณ SOC เพิ่มขึ้นร้อยละ 28.8 จากค่าเริ่มต้นหลังการปลูกข้าวนาน 27 ปี

สัดส่วน POM-C ต่อ SOC และสัดส่วน MaOM-C ต่อ SOC (g C 100 g⁻¹ SOC) ของนา รูปแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 19 โดยห้องสองสัดส่วนเป็นค่าที่แสดงการกระจายตัวของคาร์บอนอินทรีย์ว่าสะสมอยู่ในรูปใด และโดยมากมักใช้เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตั้งแต่ช่วงแรกของการศึกษาที่อาจยังไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณ SOC เท่าไหร่นัก ผลการศึกษาพบว่าcarbonบนอินทรีย์ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในรูปของ MaOM-C เป็นหลัก (ร้อยละ >90) เพราะcarbonบนอินทรีย์ในรูปนี้มักมีความเสถียรสูงและอยู่ร่วมกับอนุภาคดินในขนาดทรายแป้งและแร่ดินเหนียว จึงทำให้ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้ยาก ส่วนอัตราส่วน POM-C ต่อ SOC มีค่าไม่สูงนักในงานศึกษานี้ (ร้อยละ <10) แต่สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลง SOC จากการเติมอินทรีย์วัตถุให้กับดินได้โดยพบว่าอัตราส่วน POM-C ต่อ SOC ในดินนาอินทรีย์มีแนวโน้มที่สูงกว่านาเคมีและนาแบบ GAP แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งผลที่ได้นี้แสดงว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของนาอินทรีย์ช่วยสะสมcarbonบนอินทรีย์ในดิน โดยเฉพาะในรูป POM-C

อย่างไรก็ตาม งานศึกษานี้ไม่พบผลของการจัดการนำที่มีต่อปริมาณ SOC และcarbonบนอินทรีย์รูปต่างๆ (ตารางที่ 19) ซึ่งน่าจะเป็น เพราะ (1) การเปลี่ยนแปลงปริมาณ SOC ต้องใช้เวลาที่นานาแยบยี่ปี จึงจะเห็นผลที่ชัดเจน และ (2) การจัดการนำส่งผลต่อปริมาณมวลชีวภาพที่คืนกลับสู่ดินนาไม่มากนัก จึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง SOC และcarbonบนอินทรีย์รูปต่างๆ

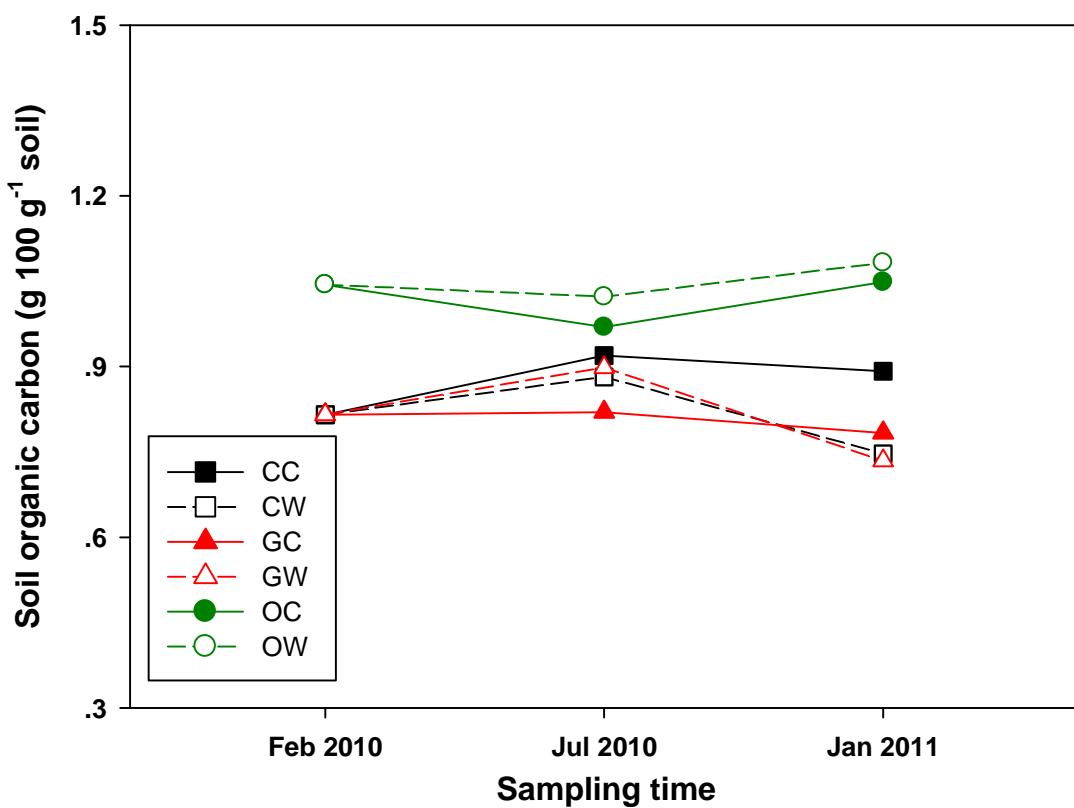
งานศึกษานี้พบว่าปริมาณ SOC, POM-C และ MaOM-C ของการปลูกข้าว 2 ฤดู (1 ปี) ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น โดยแสดงข้อมูลเฉพาะปริมาณ SOC ในภาพที่ 26 โดยมีความผันแปรของค่าในแต่ละเวลาที่เก็บตัวอย่างและยังไม่สามารถสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า SOC ที่ชัดเจนได้ในระยะเวลาสั้นๆ ที่ศึกษาได้ ทั้งนี้ การที่เวลาการเก็บตัวอย่างดิน (ก่อนและหลังการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2) ไม่มีผลต่อปริมาณ SOC คาดว่าเป็นเพราะการปลูกข้าวแบบนำขังทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินในอัตราที่ช้า จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณ SOC ที่น้อยในเวลาที่ศึกษา

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยปริมาณสาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) สาร์บอนอินทรีย์ในรูปพาร์ทิกุเลต (POM-C) และสาร์บอนอินทรีย์ในรูปที่อยู่ร่วมกับอินทรีย์วัตถุ (MaOM-C) ของดินนารูปแบบต่างๆ (ค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง คือ ก่อนการศึกษาและหลังการเพาะปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2)

รูปแบบนา	การขังน้ำตลอด (ไม่จัดการน้ำ; C)	การระบายน้ำระหว่างการปลูก (มีจัดการน้ำ; W)	ค่าเฉลี่ย
			SOC เฉลี่ย ($\text{g C } 100 \text{ g}^{-1} \text{ soil}$)
นาเคมี (C)	0.88 b ¹	0.81 b	0.85 b²
นาแบบ GAP (G)	0.81 b	0.82 b	0.81 b
นาอินทรีย์ (O)	1.02 a	1.05 a	1.03 a
ค่าเฉลี่ย	0.90 a	0.89 a	
POM-C เฉลี่ย ($\text{g C } 100 \text{ g}^{-1} \text{ soil}$)			
นาเคมี (C)	0.07 bc	0.06 bc	0.06 b
นาแบบ GAP (G)	0.06 c	0.06 c	0.06 b
นาอินทรีย์ (O)	0.08 ab	0.09 a	0.09 a
ค่าเฉลี่ย	0.07 a	0.07 a	
POM-C เฉลี่ย ($\text{g C } 100 \text{ g}^{-1} \text{ SOC}$)			
นาเคมี (C)	7.7 a	7.7 a	7.7 a
นาแบบ GAP (G)	7.4 a	7.2 a	7.3 a
นาอินทรีย์ (O)	8.2 a	8.9 a	8.5 a
ค่าเฉลี่ย	7.8 a	7.9 a	
MaOM-C เฉลี่ย ($\text{g C } 100 \text{ g}^{-1} \text{ soil}$)			
นาเคมี (C)	0.81 b	0.75 b	0.78 b
นาแบบ GAP (G)	0.75 b	0.76 b	0.75 b
นาอินทรีย์ (O)	0.94 a	0.96 a	0.95 a
ค่าเฉลี่ย	0.83 a	0.82 a	
MaOM-C เฉลี่ย ($\text{g C } 100 \text{ g}^{-1} \text{ SOC}$)			
นาเคมี (C)	92.3 a	92.3 a	92.3 a
นาแบบ GAP (G)	92.6 a	92.8 a	92.7 a
นาอินทรีย์ (O)	91.8 a	91.1 a	91.5 a
ค่าเฉลี่ย	92.2 a	92.1 a	

¹ การเปรียบเทียบทางสกัดติระหง่าน้ำทั้ง 6 ตัวรับ (ตัวธรรมชาติ) ได้แก่ CC, CW, GC, GW, OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Duncan's multiple range test (DMRT)

² การเปรียบเทียบทางสกัดติระหง่าน้ำรูปแบบนาและระหว่างการจัดการน้ำ (ตัวเข้ม)



ภาพที่ 26 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินของน้ำรูปแบบต่าง ๆ ตามเวลาที่ศึกษา

บัญชีคาร์บอนทั้งหมด (carbon budget) และบัญชีคาร์บอนในดิน (soil carbon budget) ของนาข้าวที่ศึกษา

งานศึกษาจัดทำบัญชีคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวตลอดปีเพาะปลูก โดยจำแนกเป็นปริมาณคาร์บอนที่ได้รับเข้าสู่พื้นที่ปลูกและปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ปลูก ซึ่งอธิบายในหัวข้อ “บัญชีคาร์บอนฯ” การทำบัญชีคาร์บอนของพื้นที่ปลูกข้าวช่วงปลูกข้าว (ที่มีการขังน้ำ) และช่วงพักนา (ทิ้งพื้นที่ปลูกไว้และไม่ขังน้ำ) อ้างอิงตามวิธีของ Minamikawa and Sakai (2007)

รายงานฉบับนี้สรุปบัญชีคาร์บอนสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง) รอบที่ 2 (นาปี) และช่วงพักนา ผลแสดงดังตารางที่ 20

ปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่ศึกษา

ปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่ศึกษา ประเมินจากปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมดของพืช (ข้าว) ซึ่งได้แก่ ผลผลิตข้าว (ข้าวเต็มเมล็ด) ข้าวลีบ ฟาง ตอซัง راك ตันข้าวที่ตายระหว่างการปลูกข้าว (dead straw) และสารอินทรีย์ที่ปล่อยจากการพืช (root exudate) โดย (1) ข้อมูลผลผลิตข้าว (ข้าวเต็มเมล็ด) ข้าวลีบ ฟาง ตอซัง และراك ได้จากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา และ (2) ตันข้าวที่ตายระหว่างการปลูกข้าวและสารอินทรีย์ที่ปล่อยจากการพืชหาได้จากการคำนวณ โดยคิดเป็นร้อยละ 5 และ 3 ของปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมดของข้าว ตามลำดับ โดยข้อมูลเหล่านี้ใช้ในการทำบัญชีคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่ปลูกข้าว (total carbon budget) ส่วนการคำนวณปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่ดินเพื่อทำบัญชีคาร์บอนในดิน (soil carbon budget) เลือกพิจารณาเฉพาะตอซัง راك ตันข้าวที่ตายระหว่างการปลูกข้าว และสารอินทรีย์ที่ปล่อยจากการพืช ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพต่างๆของข้าว พนว่า ข้าวเต็มและข้าวลีบมีปริมาณคาร์บอนที่ร้อยละ 42 และ 40 ตามลำดับ และปริมาณคาร์บอนของฟาง ตอซัง และراكข้าว ใช้ค่าที่ร้อยละ 39 โดยค่าที่ได้ใกล้เคียงกับงานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) ที่พนว่าข้าวเปลือก ฟาง และراك มีปริมาณคาร์บอนที่ร้อยละ 41.9, 39.6 และ 39.4 ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในงานศึกษานี้ มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 17 และวัชพืชในช่วงพักนามีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 35.4 ดังนั้น ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาคำนวณเพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่นาข้าว โดยผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 บัญชีการบอนสำหรับพื้นที่ปลูกข้าวของงานศึกษา

ส่วนประกอบ	รูปแบบนา (g C m^{-2})						รูปแบบนา (g C m^{-2})					
	CC	CW	GC	GW	OC	OW	CC	CW	GC	GW	OC	OW
ช่วงปลูกข้าว	การปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง)						การปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี)					
ข้าวเปลือก	179.3	139.7	173.0	181.9	153.0	140.8	172.4	165.6	166.5	179.9	250.8	275.2
ข้าวเล็บ	16.0	14.2	24.7	15.6	19.8	16.1	25.3	31.8	27.0	29.3	28.2	25.0
ฟาง	118.0	125.3	113.6	113.3	118.0	113.7	97.3	92.1	103.6	117.4	70.8	62.9
ตอซัง	64.4	61.9	70.2	78.5	69.2	80.2	112.8	83.4	113.7	116.1	87.2	85.8
ราก	62.1	68.6	77.3	63.3	75.2	50.5	125.5	109.4	139.9	119.4	104.4	95.3
ต้นข้าวที่ด้วยระหว่างปลูก	22.0	20.5	22.9	22.6	21.8	20.1	26.7	24.1	27.5	28.1	27.1	27.2
สารอินทรีย์ที่ปล่อยจากรากพืช	13.2	12.3	13.8	13.6	13.1	12.0	16.0	14.5	16.5	16.9	16.2	16.3
ปุ๋ยอินทรีย์	0.0	0.0	0.0	0.0	95.1	95.1	0.0	0.0	0.0	0.0	95.1	95.1
ผลรวมมวลชีวภาพ	475	442	496	489	565	528	576	521	595	607	680	683
การหายใจของจุลินทรีย์ดิน (R_H) ¹	64.5	62.2	61.0	66.0	57.3	61.7	64.5	62.2	61.0	66.0	57.3	61.7
CH_4^2	50.2	50.2	50.2	50.2	68.8	54.8	92.8	87.2	98.6	90.7	103.2	92.3
บัญชีการบอนทั้งหมดช่วงปลูกข้าว	360	330	384	373	439	412	419	371	435	450	519	529
บัญชีการบอนในเดือนช่วงปลูกข้าว	47	51	73	62	148	141	124	82	138	124	170	166
	(1317) ³	(1303)	(1222)	(1263)	(1499)	(1106)	(2300)	(2285)	(2420)	(2238)	(2439)	(2130)
ช่วงพักนา												
วัชพืช	70.1	70.1	66.2	66.2	92.7	92.7	12.6	12.6	12.9	12.9	15.0	15.0
การหายใจของจุลินทรีย์ดิน	115.9	105.8	120.5	115.5	151.0	144.7	115.9	105.8	120.5	115.5	151.0	144.7
บัญชีการบอนในเดือนช่วงพักนา	-46	-36	-54	-49	-58	-52	-103	-93	-108	-103	-136	-130
	บัญชีการบอนทั้งหมด (ทั้งปี)						630	572	658	671	764	759
	บัญชีการบอนในเดือน (ทั้งปี)						22	4	49	34	123	126
							(4148)	(4234)	(4026)	(4111)	(4650)	(3902)

¹ $R_H = (0.8 \times \text{ปริมาณก๊าซ } \text{CO}_2 \text{ ที่ปล่อยจากดินระหว่างการปลูกข้าว})$; ² การปลูกข้าวรอบที่ 1 ใช้ค่าเฉลี่ย CH_4 ของนาเคมีและนาแบบ GAP; ³ ตัวเลขในวงเล็บ มีหน่วยเป็น $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ โดยเป็นค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ในรูปการบอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า

ผลกระทบของปริมาณคาร์บอนจากมวลชีวภาพทั้งหมดของต้นข้าวและผลผลิตข้าว พบว่านาที่ขังน้ำตลดมีปริมาณคาร์บอนจากมวลชีวภาพใกล้เคียงกัน แต่ naïve GAP มีแนวโน้มค่าที่สูงกว่านาเดเม และนาอินทรีย์ และผลที่พบรดับเจนขึ้นในนาที่มีการจัดการน้ำ (ระบายน้ำกลางฤดูปลูก) โดย naïve GAP มีปริมาณสูงกว่าราูปแบบอื่น ส่วนผลการจัดการน้ำทำให้ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมมีผลที่แตกต่างกันขึ้นกับฤดูการปลูกข้าว โดยการปลูกข้าวรอบที่ 1 การจัดการน้ำทำให้ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมมีค่าที่ต่ำกว่าแปลงที่ขังน้ำตลด ซึ่งแสดงว่าการระบายน้ำมีผลในการลดการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของต้นข้าว รวมถึงผลผลิตข้าว แต่ไม่พบผลการจัดการน้ำเช่นนี้ในนาแบบ GAP และนาอินทรีย์สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 ที่ปลูกในช่วงนาปี (เริ่มฤดูฝน) การระบายน้ำกลางฤดูปลูกจึงช่วยเติมอากาศให้กับดินบางช่วง และผลที่ได้แสดงว่าเป็นการส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวของแปลงนาแบบ GAP และนาอินทรีย์ที่ศึกษา

เมื่อรวมปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดและที่เข้าสู่ดิน พบว่านาอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนรวมที่เข้าสู่พื้นที่ปลูกข้าวสูงกว่านาแบบ GAP และนาเดเม ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในนาอินทรีย์ที่เป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนรวมในพื้นที่ปลูกข้าว

ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ศึกษา

ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ศึกษา ประเมินจากปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูกข้าว (TME) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากพื้นที่ศึกษา โดยค่า TME หาได้จากการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนระหว่างการปลูกข้าวและทำการปรับหน่วยให้อยู่ในรูป g C m^{-2} ทั้งนี้ ค่า TME สำหรับการปลูกข้าวครั้งที่ 2 ใช้ค่าที่เก็บจากพื้นที่โดยตรง แต่ค่า TME สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 ใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างนาเดเมและนาแบบ GAP (C&G) ในการคำนวนบัญชีคาร์บอนในงานศึกษา นี้ โดยใช้ค่าเฉลี่ยก๊าซมีเทนในการปลูกข้าวรอบนี้ เพราะมีความแปรปรวนของค่า TME ที่สูงมากระหว่างนาเดเมและนาแบบ GAP ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะความแปรปรวนของพื้นที่ ในขณะที่ค่า TME ของการปลูกข้าวรอบที่ 2 ไม่พบความแตกต่างเช่นนี้

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หาได้จากการวัดปริมาณการหายใจของจุลินทรีย์ดินในพื้นที่ปลูกข้าว โดยได้ทำการวัดค่าจริงในพื้นที่ศึกษาสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 2 และช่วงพักนา (หลังปลูกข้าวรอบที่ 2) ดังนั้น ในการคำนวนบัญชีคาร์บอนสำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 จึงอ้างอิงข้อมูลจาก การวัดจริงนี้ อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากดินระหว่างการปลูกข้าวที่วัดจริง เป็นค่าการหายใจดินที่ประกอบด้วยการหายใจของรากรพืชและจุลินทรีย์ดิน ดังนั้นจึงทำการคำนวนหา เฉพาะการหายใจของจุลินทรีย์ดิน (R_H) โดยกำหนดให้อยู่ที่ร้อยละ 80 ของการหายใจดินที่เก็บระหว่างการปลูกข้าว

ค่าการปล่อยก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ข้างต้น จึงใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ในการคำนวนบัญชีคาร์บอนต่อไป (ตารางที่ 20)

ผลกระทบปริมาณคาร์บอนในพื้นที่ศึกษา

ผลกระทบปริมาณคาร์บอนในพื้นที่ศึกษานี้แบ่งการพิจารณาเป็น (1) ผลกระทบปริมาณคาร์บอนสำหรับการปลูกข้าวแต่ละรอบ และ (2) ผลกระทบปริมาณคาร์บอนตลอดปีของพื้นที่ปลูกข้าว และพิจารณาบัญชีคาร์บอนทั้งหมด (total C budget) และบัญชีคาร์บอนในดิน (soil C budget) ซึ่งมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

บัญชีคาร์บอนทั้งหมดคิดจากผลกระทบระหว่าง (1) คาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่ปลูกข้าวที่ได้จากการปลูกของคาร์บอนในมวลชีวภาพทั้งหมดของพืชที่ขึ้นในพื้นที่ (ต้นข้าวและ/หรือวัชพืช) และปูยอินทรีย์ และ (2) คาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ปลูกข้าวที่เป็นผลกระทบของก้าชكار์บอนไดออกไซด์และมีเทนที่ปล่อยจากผู้ดิน

บัญชีคาร์บอนในดินคิดจากผลกระทบระหว่าง (1) คาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่ปลูกข้าวที่ได้จากการปลูกของคาร์บอนในมวลชีวภาพบางส่วนของพืชที่คงอยู่ในพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (ได้แก่ ตอซั่ง ราภพีช สารอินทรีย์จากราภพีช เศษชาตตันข้าวที่ตายระหว่างการปลูก และ/หรือวัชพืช) และปูยอินทรีย์ และ (2) คาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ปลูกข้าวที่เป็นผลกระทบของก้าชكار์บอนไดออกไซด์และมีเทนที่ปล่อยจากผู้ดิน

การประเมินบัญชีคาร์บอนทั้งหมดและบัญชีคาร์บอนในดินรูปแบบนี้เป็นการประเมินอย่างง่าย เพื่อให้ทราบผลของรูปแบบนาและการจัดการนำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในระบบปลูกพืช โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดิน ทั้งนี้เป็นเพราะการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยตรงจะเห็นผลที่ชัดเจน เมื่อทำการศึกษาเป็นเวลาที่นานหลายปี เช่น 5-10 ปีขึ้นไป ดังที่พบในปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่นาอินทรีย์มีปริมาณสูงกว่านาเคมีและนาแบบ GAP (ตารางที่ 19) เพราะพื้นที่นาอินทรีย์ที่ศึกษาดำเนินการมากกว่า 9 ปี และอย่างไรก็ตาม การวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยตรงสำหรับการปลูกข้าวเพียง 1 ฤดูหรือ 1 ปี ของงานศึกษานี้ยังไม่พบความแตกต่างสำหรับนาแต่ละรูปแบบที่ศึกษา เพราะเป็นการศึกษาในเวลาที่สั้น

ทั้งนี้ งานศึกษานี้ได้ประเมินบัญชีคาร์บอนในดินตามศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) โดยพิจารณาคาร์บอนจากพืชและปูยอินทรีย์ให้อยู่ในรูป ก้าชkarbонไดออกไซด์ และก้าช มีเทนถูกปรับให้อยู่ในรูป ก้าชkarbónไดออกไซด์เท่าเทียม โดยคุณกับค่า GWP ของก้าชมีเทน

(1) ผลกระทบปริมาณคาร์บอนสำหรับการปลูกข้าวแต่ละรอบ

การพิจารณาบัญชีคาร์บอนทั้งหมดของการปลูกข้าวแต่ละรอบในงานศึกษานี้ พบร่วมกับรูปแบบนา มีการสะสมcarbonในระบบปลูก โดยมีค่าในช่วง $330-439$ และ $371-529 \text{ g C m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับบัญชีคาร์บอนในดินของการปลูกข้าวแต่ละรอบที่พบว่าการปลูกข้าวช่วยสะสมcarbonในดิน โดยมีค่าอยู่ในช่วง $47-148$ และ $82-170 \text{ g C m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) ผลที่ได้ชี้ว่าต้นข้าวสามารถสะสมcarbonในมวลชีวภาพได้ดีและมวลชีวภาพที่ใส่หรือค้างอยู่ในพื้นที่ปลูก

ข้าวมีปริมาณที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียจากพื้นที่ปลูกข้าว ทั้งนี้ยังพบว่าแปลงนาอินทรีย์มีการสะสมคาร์บอนได้ดีกว่านาเคมีและนาแบบ GAP สำหรับทั้งแปลงที่ขังน้ำตลอดและแปลงที่มีการจัดการน้ำ ซึ่งสาเหตุหลักเป็นเพาะการเพิ่มปริมาณคาร์บอนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนการจัดการน้ำมีผลไม่มากนักต่อการสะสมคาร์บอนในนา โดยพบว่าแปลงที่มีการจัดการน้ำมีค่าการสะสมคาร์บอนใกล้เคียงกันกับแปลงที่ขังน้ำตลอด ยกเว้นนาเคมีที่การจัดการน้ำที่มีปริมาณคาร์บอนสะสมค่อนข้างต่ำกว่าราูปแบบอื่นในการปลูกข้าวรอบที่ 2 ของงานศึกษานี้ ทั้งนี้เป็นที่น่าสังเกตว่านาแบบ GAP มีการสะสมคาร์บอนทั้งหมดและในดินที่สูงกว่านาเคมี ซึ่งเป็นผลจากปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมดที่สูงกว่าของนาแบบ GAP สำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบที่ศึกษา แม้ว่ามีการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงกว่านาเคมีก็ตาม

บัญชีคาร์บอนของงานศึกษานี้มีการสะสมคาร์บอนเช่นเดียวกับงานศึกษาของ Koizumi (2001) ที่พบว่าบัญชีคาร์บอนทั้งหมดและบัญชีคาร์บอนในดินมีค่าเท่ากับ 618 และ $74.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$ และงานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) ที่มีการสะสมคาร์บอนทั้งหมดในช่วงที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 21) อย่างไรก็ตาม งานศึกษานี้มีค่าบัญชีคาร์บอนที่สูงกว่างานศึกษาในพื้นที่อื่น ที่โดยมากพบการสะสมคาร์บอนทั้งหมดในพื้นที่ปลูกข้าวที่ต่ำหรือพบการสูญเสียคาร์บอนจากดินที่ศึกษา (ตารางที่ 21) ทั้งนี้งานศึกษาของ Iqbal et al. (2009) ที่ทำบัญชีคาร์บอนของพื้นที่ปลูกข้าวที่มีเนื้อดินและภูมิอากาศใกล้เคียงกันกับงานศึกษานี้ แต่มีผลที่แตกต่างกัน คือ มีการสะสมคาร์บอนทั้งหมดในช่วง $16\text{-}140 \text{ g C m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$ และพบการสูญเสียคาร์บอนจากนาดินในช่วง $(-165) \text{ - } (-89) \text{ g C m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$ โดยสาเหตุหนึ่งเป็นเพาะการหายใจของจุลินทรีย์ดินระหว่างการปลูกข้าวของ Iqbal et al. (2009) ที่มีค่าในช่วง $148\text{-}241 \text{ g C m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$ สำหรับแปลงที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งสูงกว่าค่าที่ใช้งานศึกษานี้ ($57\text{-}66 \text{ g C m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$) โดยสาเหตุหนึ่งเพริดินในพื้นที่ศึกษาของ Iqbal et al. (2009) ที่มีความอุดมสมบูรณ์กว่างานศึกษานี้ เช่น ปริมาณ SOC และไนโตรเจนทั้งหมดของดินมีค่าร้อยละ 1.69 และ 0.26 ตามลำดับ จึงเอื้อให้กิจกรรมของจุลินทรีย์สูงกว่าและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าในงานศึกษานี้

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า GWP ของบัญชีคาร์บอนในดินจากการปลูกข้าวแต่ละรอบของงานศึกษานี้ พบว่าการปลูกข้าว 1 รอบ มีค่า GWP สูทธิในช่วง $1,106\text{-}2,439 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ซึ่งแสดงว่าการปลูกข้าวก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในทุกรูปแบบนาที่ศึกษา โดยเป็นไปตามปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยระหว่างการปลูกข้าวที่เป็นก๊าซเรือนกระจกหลักนั้นเอง ผลการศึกษานี้ยังแสดงว่ารูปแบบการปลูกข้าวและการจัดการน้ำสามารถลดค่า GWP ในบัญชีคาร์บอนในดินได้ แม้ว่าผลที่ได้ไม่สม่ำเสมอระหว่างการปลูกข้าวทั้งสองรอบที่ศึกษา แต่โดยรวมพบว่าการปลูกข้าวแบบเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ และการปลูกข้าวตามแบบเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ร่วมกับการจัดการน้ำช่วยลดค่า GWP ได้ ทั้งนี้ การที่ค่า GWP ในบัญชีคาร์บอนในดินที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในงานศึกษานี้ อาจมีค่าที่ต่ำลงในสถานการณ์จริง เพราะงานศึกษานี้วัดการปล่อยก๊าซจากพื้นที่ปลูกข้าวในช่วงเวลาที่มีการปล่อยที่สูงหรือสูงสุด คือ ช่วง $12.00\text{-}14.00$ น. ดังนั้น ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ศึกษาอาจสูงเกินกว่าค่าจริงที่เป็นผลรวมของการปล่อยก๊าซทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืน

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบบัญชีคาร์บอนของการปลูกข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ตั้ง	การปลูกข้าว	บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	บัญชีคาร์บอนในดิน	บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	บัญชีคาร์บอนในดิน
		(g C m ⁻² crop ⁻¹) [†]		(g C m ⁻² y ⁻¹) [‡]	
ดินร่วนปนทราย/ดินทราย ภาค ตะวันออก ประเทศไทย ¹	2 รอบต่อปี	330 – 529 ^{††}	47 – 170	572 - 764	4 - 126
ดินร่วนปนทราย ตอนใต้ของจีน ²	-	16 – 140	(-165) – (-89)	-	-
ดินร่วนปนเหนียว พิลิปปินส์ ³	-	258	-	-	-
ดินเหนียว (Andisol) ญี่ปุ่น ⁴	1 รอบต่อปี	268 – 519	(-123) – 2	225 - 446	(-188) – (-20)
ดินเหนียว (Andisol) ญี่ปุ่น ⁵	1 รอบต่อปี	618	75	522	-21

¹ งานศึกษานี้; ² Iqbal et al. (2009); ³ Alberto et al. (2009); ⁴ คำนวณจาก Minamikawa and Sakai (2007); ⁵ คำนวณจาก Koizumi (2001) และการหายใจของจุลินทรีย์ดิน อ้างอิงจาก Minamikawa and Sakai (2007)

[†] คำนวณเฉพาะช่วงการปลูกข้าว (เฉพาะช่วงปลูกข้าว)

[‡] คำนวณรวมตลอดปีเพาะปลูกของพื้นที่การปลูกข้าว (ช่วงปลูกข้าวและช่วงพักนา)

^{††} ค่าเป็นวงก = คาร์บอนสุทธิสะสมในระบบ และค่าติดลบ = คาร์บอนสุทธิสูญเสียจากระบบ

(2) ผลกระทบการบอนตลดปีของพื้นที่ปลูกข้าวที่ศึกษา

การพิจารณาบัญชีการบอนทั้งหมดและบัญชีการบอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าวในรอบ 1 ปี (ทำการปลูกข้าว 2 รอบ) พบว่าทุกรูปแบบนามีการสะสมการบอนในระบบปลูกและในดิน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 572-764 และ $4-126 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ตามลำดับ โดยพบว่าการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ช่วยสะสมการบอนในระบบปลูกและในดินได้ดีที่สุด รองลงมา คือ นาแบบ GAP และนาเคมี ตามลำดับ (ตารางที่ 20) การที่นาข้าวสามารถสะสมการบอนได้เป็นเพราะพื้นที่ขังน้ำเพื่อปลูกข้าวเป็นเวลากว่า 8-9 เดือนต่อปี ทำให้วัตถุอินทรีย์ที่ใส่ลงดินย่อยสลายในอัตราที่ชา เนื่องจากสภาพ水分ขังน้ำ จำกัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินกลุ่มใช้อากาศ (ออกซิเจน) ที่มีบทบาทอย่างมากต่อการย่อยสลายวัสดุ อินทรีย์ จึงทำให้มีปริมาณการบอนคงเหลือในพื้นที่มากกว่าการสูญเสียการบอนจากพื้นที่ปลูกข้าว และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสนับสนุนว่านาข้าวมีศักยภาพในการกักเก็บการบอนในดินได้ดี เมื่อเปรียบเทียบ กับการปลูกพืชไร่ชนิดอื่นๆ (Huang et al., 2010; Sahrawat et al., 2005; Zhang et al., 2007) ทั้งนี้ การที่นาอินทรีย์มีการสะสมการบอนได้ดีกว่านาแบบ GAP และนาเคมี สำหรับทั้งแปลงที่ขังน้ำตลอด และแปลงที่มีการจัดการน้ำน้ำ สาเหตุหลักเป็นเพราะการเพิ่มปริมาณการบอนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ของนาอินทรีย์ โดยแม้ว่ามีการปล่อยก้าซมีเทนและcarbon dioxide ออกจากไชด์รวมที่สูงกว่ามาตรฐานรูปแบบอื่นๆ ตาม แต่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ในดินมีปริมาณมากพอที่จะมีผลทำให้เกิดการสะสมการบอนในดินได้ ส่วนนาแบบ GAP มีการสะสมการบอนได้ดีกว่านาเคมี เป็นเพราะมีการเพิ่มปริมาณการบอนจากมวลชีวภาพ ของต้นข้าวมากกว่านาเคมี ในขณะที่มีการสูญเสียการบอนผ่านก้าซมีเทนและcarbon dioxide ออกจากไชด์ที่ใกล้เคียงกันของนาทั้งสองรูปแบบ ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้นาแบบ GAP มีการสะสมการบอนในระบบปลูกข้าวที่ศึกษาและในดินได้ดีกว่านาเคมี

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบนา (นาเคมี นาแบบ GAP และนาอินทรีย์) พบว่าการจัดการน้ำมีผลไม่มากนักต่อการสะสมการบอนในบัญชีการบอนทั้งหมดและบัญชีการบอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าว ในรอบ 1 ปีที่ศึกษา ยกเว้นแปลงนาเคมีที่มีการจัดการน้ำ (CW) ที่การระบายน้ำกลางดินปลูกข้าวลดปริมาณมวลชีวภาพของต้นข้าว แต่มีการสูญเสียการบอนจากพื้นที่ปลูกใกล้เคียงกับแปลงนาเคมีที่ขังน้ำตลอด (CC) (ตารางที่ 20) โดยผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) ที่พบว่าการใส่ฟางข้าวในแปลงนามีผลต่อการสะสมการบอนในระบบปลูกและในดินมากกว่าผลของการจัดการน้ำ (การระบายน้ำกลางดินปลูกข้าว) เช่น ในการปลูกข้าวในปีที่ 1 ของงานศึกษาพบว่า นาที่ใส่ฟางข้าวที่ขังน้ำตลอดและที่มีการจัดการน้ำมีการสูญเสียการบอนในดินเท่ากับ -20 และ $-32 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ตามลำดับ ในขณะนาที่ไม่ใส่ฟางข้าวที่ขังน้ำตลอดและที่มีการจัดการน้ำมีการสูญเสียการบอนในดินมากกว่า โดยมีค่าเท่ากับ -166 และ $-170 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ตามลำดับ

งานศึกษานี้มีค่าการสะสมการบอนจากบัญชีการบอนทั้งหมดในรอบ 1 ปี ที่สูงกว่างานศึกษาอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ งานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) ที่มีการสะสมการบอนทั้งหมดในนาข้าวในช่วง $225-446 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ และงานศึกษาของ Koizumi (2001) ที่มีค่าเท่ากับ $522 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ (ตารางที่ 21) และเมื่อพิจารณาบัญชีการบอนในดินตลอดปีของงานศึกษานี้พบว่ามีการสะสม

การบอนในดินสูงกว่างานศึกษาในพื้นที่อื่นเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 21) โดยความแตกต่างของการสะสมการบอนในดินระหว่างงานศึกษานี้และงานศึกษาอื่น คาดว่าเป็นเพราะจำนวนรอบของการปลูกข้าวที่ต่างกัน ซึ่งงานศึกษานี้ทำการปลูกข้าว 2 รอบต่อปี ในขณะที่ Koizumi (2001) และ Minamikawa and Sakai (2007) ทำการบัญชีการบอนของการปลูกข้าว 1 รอบต่อปี โดยจำนวนรอบการปลูกข้าวที่มากขึ้นมีความเป็นไปได้ที่จะสะสมการบอนในดินได้มากขึ้น เพราะการขังน้ำในนาข้าวจะลดกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์ตั้งแต่ในดิน ดังนั้นการที่ดินมีสภาพอากาศจำกัดนานขึ้น จะลดการสูญเสียการบอนในดินได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์ตั้งแต่ในดินนา ผลการศึกษาบัญชีการบอนของพื้นที่ปลูกข้าว ข้างต้นสนับสนุนว่านาข้าวมีศักยภาพในการกักเก็บการบอนในดินได้ต่ออัตรา $4-126 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ โดยมีผลที่สอดคล้องกับ Pan and Zhao (2005) ที่พบว่าดินนา กักเก็บการบอนได้ในอัตรา $0.1-2 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ หรือ $10-200 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$

เมื่อพิจารณาค่า GWP ของบัญชีการบอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าวในรอบ 1 ปี ของงานศึกษานี้พบผลในลักษณะเดียวกับการปลูกข้าวแต่ละรอบ คือ การปลูกข้าวในรอบปีก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในทุกรูปแบบนาที่ศึกษา (ตารางที่ 20) ทั้งนี้ งานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) พบค่า GWP สูตรที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน เช่นกันในพื้นที่ปลูกข้าวที่ศึกษาเป็นเวลา 1 ปี อย่างไรก็ตาม การเลือกรูปแบบนาและการจัดการนำสามารถบรรเทาค่า GWP ของการปลูกข้าวในงานศึกษานี้ได้โดยแม้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของนาอินทรีย์ไม่มีผลในการลดค่า GWP แต่การจัดการนำมีผลที่ชัดเจนในการลดค่า GWP ของนาอินทรีย์ให้มีค่าใกล้เคียงกับนาเคมีและนาแบบ GAP โดยนาอินทรีย์ที่จัดการนำลดค่า GWP สูตรที่ได้ร้อยละ 16 และ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับนาอินทรีย์ที่ขังน้ำตลอดและนาเคมีอ้างอิง (นา CC) ตามลำดับ นอกจากนี้ผลที่ได้ยังพบว่านาแบบ GAP ทั้งที่ไม่มีและมีการจัดการนำมีค่า GWP ที่ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าแปลงนาเคมีอ้างอิง คิดเป็นร้อยละ 3 และ 1 ตามลำดับ

ต้นทุนการผลิตและผลตอบแทน

การศึกษาต้นทุนการผลิตข้าวและผลตอบแทนตลอดปีที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 22 โดยคำนวณต้นทุนการปลูกข้าว รายได้ กำไร และผลตอบแทนการลงทุน ต้นทุนการผลิตข้าวแบ่งออกเป็นต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่ โดยต้นทุนผันแปรพิจารณาจาก (1) ค่าแรงงาน (การเตรียมดิน ถอนกล้า บักดำ หัวน้ำปุ๋ย ฉีดยา สูบน้ำ และเก็บเกี่ยวผลผลิต) (2) ค่าวัสดุ (เมล็ดพันธุ์ ค่าสารเคมีการเกษตร ค่าน้ำมัน ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ อุปกรณ์การเกษตร และค่าซ้อมแซมอุปกรณ์การเกษตร) และ (3) ค่าเสียโอกาสการลงทุน ส่วนต้นทุนคงที่พิจารณาค่าใช้ที่ดินและค่าเสื่อมอุปกรณ์การเกษตร ทั้งนี้ การคำนวณต้นทุนต่างๆ จึงอิงตามวิธีการคิดต้นทุนของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาและข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร รายได้จากการปลูกข้าวคิดจากผลคูณระหว่างผลผลิตข้าวที่ได้กับราคาข้าวเปลือก ซึ่งเป็นราคาน้ำดื่มที่เกษตรกรขายได้จริง ณ ที่นา

เมื่อพิจารณาต้นทุนการปลูกข้าวของนารูปแบบต่างๆ จากการปลูกข้าวทั้งสองรอบ พบว่าต้นทุนการปลูกข้าวของนารูปแบบต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับการปลูกข้าว 2 รอบที่ศึกษา โดยที่นาเคมีและนาแบบ GAP มีต้นทุนการผลิตที่ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 3,646-4,113 และ 3,431-3,969 บาทต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่นาอินทรีย์มีต้นทุนการปลูกข้าวที่สูงกว่านาที่ใช้ปุ๋ยเคมีข้างต้น โดยมีค่าในช่วง 5,010-5,516 บาทต่อไร่ และทุกรูปแบบนา มีต้นทุนการปลูกข้าวที่ขึ้นกับต้นทุนผันแปรเป็นหลักโดยนาเคมีและนาแบบ GAP มีต้นทุนผันแปรหลัก คือ ต้นทุนแรงงาน อยู่ในช่วง 2,086-2,120 และ 2,030-2,083 บาทต่อไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 51-57 และ 52-59 ของต้นทุนการปลูกข้าวทั้งหมดตามลำดับ นาทั้งสองรูปแบบนี้ มีต้นทุนผันแปรที่ใกล้เคียงกัน แต่นาแบบ GAP มีค่าที่ต่ำกว่าเล็กน้อย เพราะมีการใส่ปุ๋ยและสารเคมีการเกษตรในปริมาณที่ต่ำกว่านาเคมี จึงลดต้นทุนแรงงานในส่วนนี้ลง ส่วนนาอินทรีย์มีต้นทุนผันแปรในส่วนของค่าแรงงานเป็นหลัก เช่น กัน โดยมีค่าเท่ากับ 2,204 บาทต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 40-44 ของต้นทุนทั้งหมด ซึ่งมีค่าสูงกว่านารูปแบบอื่นเล็กน้อย แต่นาอินทรีย์ยังมีต้นทุนปุ๋ยอินทรีย์เป็นต้นทุนผันแปรที่สำคัญอีกด้วย หนึ่ง และเป็นต้นทุนปุ๋ยที่สูงกว่านาที่ใช้ปุ๋ยเคมีในงานศึกษานี้ โดยมีค่าเท่ากับ 2,048 บาทต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 37-41 ของต้นทุนทั้งหมดของนาอินทรีย์ ในขณะที่ต้นทุนปุ๋ยเคมีมีค่าไม่เกิน 689 บาทต่อไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ <19 ของต้นทุนทั้งหมดของนาเคมีและนาแบบ GAP

ตารางที่ 22 ต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนของการผลิตข้าวแต่ละรูปแบบ (บาท/ไร่)

ค่าใช้จ่าย ^{1/}	CC ^{2/}	CW	GC	GW	OC	OW	CC	CW	GC	GW	OC	OW	CC	CW	GC	GW	OC	OW
	การปลูกข้าวรอบที่ 1 (นาปรัง)							การปลูกข้าวรอบที่ 2 (นาปี)							ผลรวมตลอดปี			
1. ต้นทุนผันแปร	3,750	3,750	3,606	3,606	5,153	5,153	3,427	3,560	3,212	3,346	4,791	4,891	7,177	7,310	6,818	6,952	9,944	10,044
1.1 ค่าแรงงาน	2,092	2,092	2,083	2,083	2,204	2,204	2,086	2,120	2,030	2,063	2,204	2,204	4,178	4,212	4,113	4,146	4,409	4,409
- เตรียมดิน/คราดกลบปุ๋ย	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300
- ถอนก้ามและปักดำ	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
- เก็บเกี่ยว	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	670	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340
- ค่าหัวน้ำปุ๋ย/ฉีดยา/สูบน้ำ	272	272	263	263	384	384	266	300	210	243	384	384	538	572	473	506	769	769
1.2 ค่าวัสดุ	1,581	1,581	1,449	1,449	2,842	2,842	1,270	1,367	1,116	1,214	2,488	2,586	2,851	2,949	2,566	2,663	5,331	5,429
- เมล็ดพันธุ์	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	460	460	460	460	460	460
- ปุ๋ยเคมี / ปุ๋ยอินทรีย์	689	689	557	557	2,048	2,048	689	689	557	557	2,048	2,048	1,378	1,378	1,114	1,114	4,096	4,096
- สารเคมีฆ่าเชื้อรำ	0	0	0	0	0	0	43	43	21	21	0	0	43	43	21	21	0	0
- น้ำมัน	635	635	635	635	537	537	293	391	293	391	195	293	928	1,026	928	1,026	733	830
- อุปกรณ์การเกษตร	21	21	21	21	21	21	11	11	11	11	11	11	32	32	32	32	32	32
- ค่าซ้อมแซมอุปกรณ์	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	10	10	10	10	10	10
1.3 ค่าเสียโอกาสการลงทุน	77	77	74	74	106	106	70	73	66	69	99	101	148	150	140	143	205	207
2. ต้นทุนคงที่	363	363	363	363	363	363	219	219	219	219	219	219	582	582	582	582	582	582
- ค่าเช่าที่ดิน	353	353	353	353	353	353	212	212	212	212	212	212	565	565	565	565	565	565
- ค่าเสื่อมอุปกรณ์	10	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7	7	17	17	17	17	17	17
3. ต้นทุนรวม	4,113	4,113	3,969	3,969	5,516	5,516	3,646	3,779	3,431	3,565	5,010	5,110	7,758	7,892	7,400	7,534	10,526	10,625
4. ผลผลิต (กก./ไร่)	794	619	767	806	678	633	764	734	738	797	1,111	1,219	1,558	1,353	1,505	1,603	1,789	1,852
5. ราคาผลิต (บาท/กก.)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
6. รายได้	6,749	5,262	6,520	6,851	5,763	5,381	6,494	6,239	6,273	6,775	9,444	10,362	13,243	11,501	12,793	13,626	15,207	15,742
7. ผลกำไร	2,636	1,149	2,551	2,882	247	-135	2,848	2,460	2,842	3,209	4,433	5,252	5,485	3,608	5,392	6,091	4,681	5,117
8. ผลตอบแทนการลงทุน	1.64	1.28	1.64	1.73	1.04	0.98	1.78	1.65	1.83	1.90	1.88	2.03	1.71	1.46	1.73	1.81	1.44	1.48

หมายเหตุ รายละเอียดในหน้าต่อไป

^{1/} 1. ต้นทุนผันแปร

1.1 ค่าแรงงาน

- เตรียมดิน/ราดกลบปุ๋ย ประกอบด้วยค่าเตรียมดินประกอบด้วยค่าไถ่ละ (250 บาทต่อไร่) และค่าไถ่แปร (400 บาทต่อไร่) โดยรวมค่าน้ำมัน
- เตรียมกล้าและปักชำ คิดแบบเหมาจ่าย 500 บาทต่อไร่
- เก็บเกี่ยว คิด 670 บาทต่อไร่
- ค่าหัวน้ำปุ๋ย/ฉีดยา/สูบน้ำ คิดค่าหัวน้ำปุ๋ยเคมี 60 บาทต่อถุง (50 กิโลกรัม) และค่าหัวน้ำปุ๋ยอินทรีย์คิด 100 บาทต่อไร่; ค่าฉีดยาและค่าสูบน้ำคิดที่อัตรา 47.5 และ 16.75 บาทต่อไร่ ต่อครั้ง (อ้างอิงข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร)

1.2 ค่าวัสดุ

- เมล็ดพันธุ์ คิดกิโลกรัมละ 23 บาท อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่
- ปุ๋ยเคมี / ปุ๋ยอินทรีย์ คิดค่าปุ๋ยสูตรเสมอ 15-15-15 ถุงละ 850 บาท (50 กิโลกรัม) ใส่อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่; ปุ๋ยหยุ่น ถุงละ 660 บาท ใส่อัตรา 20 และ 10 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับนาเคมีและนาแบบ GAP; ปุ๋ยอินทรีย์ กิโลกรัมละ 1.28 บาท ใส่อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 2 ครั้งต่อรอบการเพาะปลูก
- สารเคมีฆ่าเชื้อรา ฉีดครั้งละ 21.38 บาทต่อไร่ต่อครั้ง โดยนาเคมีและนาแบบ GAP ฉีด 2 และ 1 ครั้งต่อรอบการปลูกข้าว ตามลำดับ
- น้ำมัน คิดจากกำลังม้าของเครื่องสูบน้ำ อัตราเร็ว และเวลาในการสูบน้ำ โดยมีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันที่ 1.62 ลิตรต่อไร่ต่อครั้งการสูบน้ำ 5 ชม. และราคานำมันดีเซล 30 บาทต่อลิตร
- อุปกรณ์การเกษตรและค่าซ้อมแซมอุปกรณ์ 21.27 และ 5.95 บาทต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับการปลูกข้าวน้ำปั้ง และ 11 และ 4 บาทต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับการปลูกข้าวน้ำปี โดยอ้างอิงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

1.3 ค่าเสียโอกาสการลงทุน = ต้นทุนผันแปรทั้งหมด x อัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำธนาคาร (อ้างอิงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) โดยอัตราดอกเบี้ยเฉลี่ยฝากประจำ 6 เดือน ของธนาคารพาณิชย์ ณ วันที่ 23 มีนาคม 2554 อยู่ที่ร้อยละ 2.1

2. ต้นทุนคงที่ "ได้แก่ ค่าเช่าที่ดินและค่าเสื่อมอุปกรณ์ คิดที่ 352.78 และ 10.13 บาทต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับการปลูกข้าวน้ำปี โดยอ้างอิงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

3. ต้นทุนรวม ได้จากการรวมของต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่

4. ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) ได้จากการคำนวณและปรับความชื้น 14 %

5. ราคาผลผลิต (บาท/กг.) อ้างอิงราคาตลาดที่ขาย ณ ไร่นา

6. รายได้ (บาทต่อไร่) เป็นผลคูณของผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) กับราคาผลผลิต (บาทต่อกิโลกรัม)

7. กำไร (บาทต่อไร่) ได้จากการหักรายได้ (บาทต่อไร่) กับต้นทุนรวม (บาทต่อไร่)

8. ผลตอบแทนการลงทุน เป็นสัดส่วนระหว่างรายได้ (บาทต่อไร่) กับต้นทุนรวม (บาทต่อไร่)

^{2/} CC = นาเคมีที่ขังน้ำตลอด; CW = นาเคมีที่ระบายน้ำกลางฤดูปลูก; GC = นาแบบ GAP ที่ขังน้ำตลอด; GW = นาแบบ GAP ที่ระบายน้ำกลางฤดูปลูก; OC = นาอินทรีย์ที่ขังน้ำตลอด; OW = นาอินทรีย์ที่ระบายน้ำกลางฤดูปลูก

ส่วนการจัดการนำมีผลทำให้ต้นทุนการปลูกข้าวสูงขึ้นจากต้นทุนนำมั้นและแรงงานในการสูบนำ แต่พบเฉพาะการปลูกข้าวรอบที่ 2 เพื่อระดับนำ้ในแปลงนาที่ปลูกช่วงนาปี (รอบที่ 2) ข้ากวัวนาปรัง และต้องสูบน้ำเข้านาหลังสิ้นสุดช่วงจัดการนำ้ ทำให้จำนวนครั้งในการสูบนำ้เข้านาของแปลงที่จัดการนำ้มีค่าสูงกว่านาที่ขังน้ำตลอด ส่วนการปลูกข้าวรอบที่ 1 ที่ปลูกช่วงนาปรัง ซึ่งฝนทึ่งช่วงและอุณหภูมิค่อนข้างสูง ทำให้ความถี่ในการสูบนำ้ประมาณ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และทำให้ผลรวมจำนวนครั้งในการสูบนำ้ระหว่างนาที่มีการจัดการนำ้และขังน้ำตลอดมีค่าที่เท่ากัน ทั้งนี้ การปลูกข้าวนานาปรังในงานศึกษานี้มีต้นทุนค่านำมั้นในการสูบนำ้เข้านาที่สูงกว่าการปลูกข้าวนาปี โดยเป็นไปตามสภาพภูมิอากาศในช่วงฤดูแล้งที่แห้งแล้ง ฝนทึ่งช่วง และอุณหภูมิอากาศสูง ทำให้มีอัตราการระเหยนำ้สูง จึงมีจำนวนครั้งของการสูบนำ้เข้านาที่สูง

ผลการศึกษาพบว่ากำไรและผลตอบแทนการลงทุนจากการปลูกข้าวรูปแบบต่างๆ อยู่ในช่วง (-135)-2,8828 และ 2,460-5,252 บาทต่อไร่ และ 0.98-1.73 และ 1.65-2.03 ตามลำดับ สำหรับการปลูกข้าวแต่ละรอบที่ศึกษา (ตารางที่ 22) โดยนาเคมีที่ขังน้ำตลอดและนาแบบ GAP มีกำไรและผลตอบแทนการลงทุนของการปลูกข้าวทั้งสองรอบที่ใกล้เคียงกันสำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบ ในขณะที่การปลูกข้าวรอบที่ 2 ของนาอินทรีย์และนาเคมีที่มีการจัดการนำ้มีกำไรและผลตอบแทนการลงทุนที่สูงกว่าการปลูกข้าวรอบที่ 1 ซึ่งเป็นเพาะผลผลิตข้าวที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลรวมกำไรและผลตอบแทนการลงทุนของการปลูกข้าวตลอดปี พบร่วนาแบบ GAP ที่มีการจัดการนำ้มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 6,091 บาทต่อไร่ และ 1.81 ตามลำดับ รองลงมา คือ นาเคมีและนาแบบ GAP ที่ขังน้ำตลอดที่มีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ 5,485 และ 5,392 บาทต่อไร่ และ 1.71 และ 1.73 ตามลำดับ ในขณะที่นาอินทรีย์มีค่าที่ต่ำกว่า คือ <5,117 บาทต่อไร่ และ <1.48 ตามลำดับ โดยแม้ว่ามีผลกำไรของนาอินทรีย์ที่จัดการนำ้ไม่แตกต่างนักกับนาเคมีและนาแบบ GAP ที่ขังน้ำตลอด แต่มีผลตอบแทนการลงทุนที่ต่างกันอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม กำไรและผลตอบแทนการลงทุนของนาอินทรีย์อาจเพิ่มขึ้น ถ้าใช้ราคาประกันสำหรับข้าวเปลือกอินทรีย์ที่มักมีราคาสูงกว่าราคาขายข้าว ณ ไร่นา ที่ใช้ในการคำนวณในงานศึกษานี้ ส่วนนาเคมีที่มีการจัดการนำ้มีผลรวมกำไรและผลตอบแทนการลงทุนที่ต่ำอยู่ที่ 3,608 บาทต่อไร่ และ 1.46 ตามลำดับ เพาะผลผลิตข้าวที่ต่ำกว่า ในขณะที่ต้นทุนการผลิตใกล้เคียงกันกับนาเคมีที่ขังน้ำตลอด

ผลโดยรวมของการศึกษาภาคสนาม

การเปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามในรอบปีของผลผลิตข้าวรวม ผลตอบแทนการลงทุน ปริมาณ ค่ารับอนอินทรีย์ในเดือน ค่ารับอนสุทธิจากบัญชีค่ารับอนในเดือน ค่า GWP_s ของก้ามเมทีนและไนตรัสออกไซด์ และ GWP สุทธิจากบัญชีค่ารับอนในเดือน สำหรับการปลูกข้าวรูปแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 23 โดยผลที่ได้ชี้ว่า:

(1) นาอินทรีย์ที่จัดการนำช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ใกล้เคียงกับนาเคมีอ้างอิง (นาเคมีที่ไม่จัดการนำ - นา CC) และส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวรวมในรอบปี แต่ทำให้ผลตอบแทนการปลูกข้าวต่ำลงบ้าง

(2) นาแบบ GAP ให้ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่านาเคมีอ้างอิงบ้าง แต่ช่วยสะสมคาร์บอนในนาข้าวได้มากกว่า อีกทั้งยังไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวรวม จึงทำให้มีผลกระทบต่อการปลูกข้าวที่ดีกว่านาเคมีอ้างอิง

(3) นาเคมีที่มีการจัดการนำสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพื้นที่ปลูกข้าวได้ดี แต่ไม่ช่วยสะสมคาร์บอนในเดือน อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและผลตอบแทนการปลูกข้าวด้วย

ดังนั้น ผลการศึกษาภาคสนามนี้พอสรุปได้ว่าการส่งเสริมการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์และเกษตรดีที่เหมาะสมเพื่อบรรเทาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในเดือนสามารถทำได้ โดยเฉพาะนาอินทรีย์ที่ควรดำเนินการควบคู่กับการจัดการจะให้ผลที่มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกจากพื้นที่ปลูกข้าวได้ และการจัดการนำในนาเคมีช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่มีผลเสียต่อผลผลิตข้าวในงานศึกษานี้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นนี้

ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามในรอบปีของผลผลิตข้าวรวม ผลตอบแทนการปลูกข้าว คาร์บอนอินทรีย์ในดิน คาร์บอนสุทธิจากบัญชี คาร์บอนในดิน GWP_s ของก้าชมีเทนและไนตรัสออกไซด์ และ GWP สุทธิจากบัญชีคาร์บอนในดิน สำหรับรูปแบบนาทั้ง 6 แบบ (การเพาะปลูก 2 รอบ ใน 1 ปี)

การจัดการนา ¹	ผลผลิตข้าว รวม (กก.ต่อไร่)	ผลตอบแทน การปลูกข้าว	คาร์บอนอินทรีย์ใน ดิน ที่ 0-20 ซม. จากการวัดจริง ² (g C/m ²)	คาร์บอนสุทธิจาก บัญชีคาร์บอนใน ดิน	GWP _s มีเทน และไนตรัส ออกไซด์ ³ (g CO ₂ /m ²)	GWP สุทธิจาก บัญชีคาร์บอนใน ดิน (g CO ₂ /m ²)
เคมี-ไม่จัดการน้ำ	1,558	1.71	272,734	22	4,803	4,148
เคมี-จัดการน้ำ	1,353	1.46	251,100	4	4,609	4,234
GAP-ไม่จัดการน้ำ	1,505	1.73	251,100	49	4,987	4,026
GAP-จัดการน้ำ	1,573	1.81	254,200	34	4,733	4,111
อินทรีย์-ไม่จัดการน้ำ	1,789	1.44	298,106	123	5,750	4,650
อินทรีย์-จัดการน้ำ	1,852	1.48	306,600	126	4,924	3,902

หมายเหตุ

¹ ไม่จัดการน้ำ = ขังน้ำต่ำลดต้นปลูก; จัดการน้ำ = มีการระบายน้ำกลางๆ ลดต้นปลูก

² ผลคำนวณปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ความหนาแน่นดิน และความลึกดินที่เก็บตัวอย่าง

³ ผลคำนวณจากการปลูกข้าว 2 รอบ โดยใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างนาเคมีและนาแบบ GAP สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1

การคาดการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำปูแบบต่างๆและการก๊อปการ์บอนในดินนาทีศึกษาด้วยแบบจำลอง DNDC

การประเมินการปล่อยก๊าซมีเทน ในตรัสถอกไซต์ และการรับอนไดออกไซด์จากการปล่อยก๊าซมีเทน ภายใต้การจัดการแตกต่างกัน 6 แผนการเพาะปลูกเพื่อเปรียบเทียบกับการเก็บตัวอย่างจากภาคสนาม และการประเมินการปล่อยก๊าซมีเทน ในตรัสถอกไซต์ และการรับอนไดออกไซด์ จากนาข้าวและการสะสมรับอนในดินในระยะเวลา 20 ปี โดยใช้แบบจำลอง DNDC ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศ ประกอบด้วยอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุดรายวัน และปริมาณน้ำฝนรายวันจากการอุตุนิยมวิทยาในปี 2552 และ 2553 ณ สถานีตรวจอากาศจังหวัดฉะเชิงเทรา ใช้ข้อมูลดินจากการวิเคราะห์จากแปลงทดลอง และข้อมูลการเขตกรรมจากการบันทึกจากการเพาะปลูกในแปลงทดลอง หากข้อมูลใดไม่มีข้อมูลหรือไม่มีการเก็บบันทึกผลจากภาคสนาม การศึกษาเปรียบเทียบนี้ได้ใช้ข้อมูลที่กำหนดไว้ในแบบจำลอง เช่น ค่า NO_3^- , NH_4^+ concentration ในบรรยากาศ, water field capacity, soil wilting point, soil by pass flow, N concentration ในน้ำฝน เป็นต้น

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซมีเทน คาดการณ์รับอนไดออกไซต์และในตรัสถอกไซต์จากการใช้แบบจำลอง DNDC ในช่วงเวลา 365 วันของปี พ.ศ. 2553 โดยมีการเพาะปลูก 2 ฤดูกาลในหนึ่งปี แสดงในตารางที่ 24 จากผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าว 2 ฤดูกาลในหนึ่งปีโดยใช้แบบจำลอง DNDC พบว่าการปลูกข้าวโดยการจัดการนาแบบนาเคมีมีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด และการจัดการนาข้าวลดการปล่อยมีเทนได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ต่ำกว่าร้อยละ 1) การปลูกข้าวโดยการจัดการนาแบบอินทรีย์ทั้งในรูปแบบที่มีการจัดการน้ำ (ระบายน้ำกลางฤดูปลูกข้าว) และไม่มีการจัดการน้ำ (ขันน้ำตลดฤดูปลูก) ปล่อยก๊าซมีเทนสูงใกล้เคียงกับการทำนาแบบนาเคมี การจัดการนาแบบ GAP ทั้งจัดให้มีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำพบมีการปล่อยมีเทนต่ำกว่านาเคมีและนาอินทรีย์โดยเมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ไม่มีการจัดการน้ำ นา GAP ปล่อยมีเทนต่ำกว่านาเคมีประมาณร้อยละ 18 และนา GAP ปล่อยมีเทนต่ำกว่านาอินทรีย์ประมาณร้อยละ 21 ในกรณีที่มีการจัดการน้ำในการทำนาทั้ง 3 ประเภทพบว่านา GAP ปล่อยมีเทนต่ำกว่านาเคมีและนาอินทรีย์ประมาณร้อยละ 11 และร้อยละ 6 ตามลำดับ

ในกรณีการปล่อยในตรัสถอกไซต์จากการทำนาทั้ง 6 ประเภทพบว่านา GAP ปล่อยในตรัสถอกไซต์สูงที่สุด คือ 1,446.62 และ 1,797.90 g N/ha/year จากการทำนา GAP แบบไม่มีการจัดการน้ำ และมีการจัดการน้ำตามลำดับ ในกรณีการทำนาอินทรีย์หากนามีการจัดการน้ำปล่อยในตรัสถอกไซต์สูงกว่านาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำร้อยละ 28 โดยนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำมีปริมาณการปล่อยก๊าซในตรัสถอกไซต์ต่ำที่สุด 931.86 g N/ha/year ซึ่งต่ำกว่าการทำนาเคมีร้อยละ 2 โดยการทำนาเคมีมีการปล่อยในตรัสถอกไซต์ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันทั้งมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ

ค่าการปลดปล่อยก๊าซcarbon dioxide จากการจัดการการทำนาทุกแบบ พบว่าก๊าซ carbon dioxide ได้ออกไซต์ที่ปล่อยออกมากทางดินมีค่าสูงกว่าการปล่อยทางรากพืชประมาณ 5-7 เท่า ซึ่งการจัดการน้ำในนาแต่ละประเภทไม่มีผลกระทบต่อการปล่อยcarbon dioxide ได้ออกไซต์มากนัก โดยพบว่านา

GAP มีความแตกต่างของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของการจัดการนำและไม่มีการจัดการนำสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการทำนาแบบเคมีและอินทรีย์ แต่พบค่าความแตกต่างนั้นเพียงร้อยละ 5 เมื่อพิจารณาการทำนาทั้ง 3 ประเภท คือนาเคมี นา GAP และนาอินทรีย์พบว่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากดินจากการทำนา GAP มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือการทำนาแบบอินทรีย์และนาเคมีตามลำดับ

ตารางที่ 24 ผลกระทบการปล่อยก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์และไนตรัสออกไซด์จากการประเมินโดยใช้แบบจำลอง DNDC ในปีที่ 1 (365 วันโดยสองฤดูกาลเพาะปลูกในหนึ่งปี) จากการจัดการนาข้าวทั้ง

6 แบบ

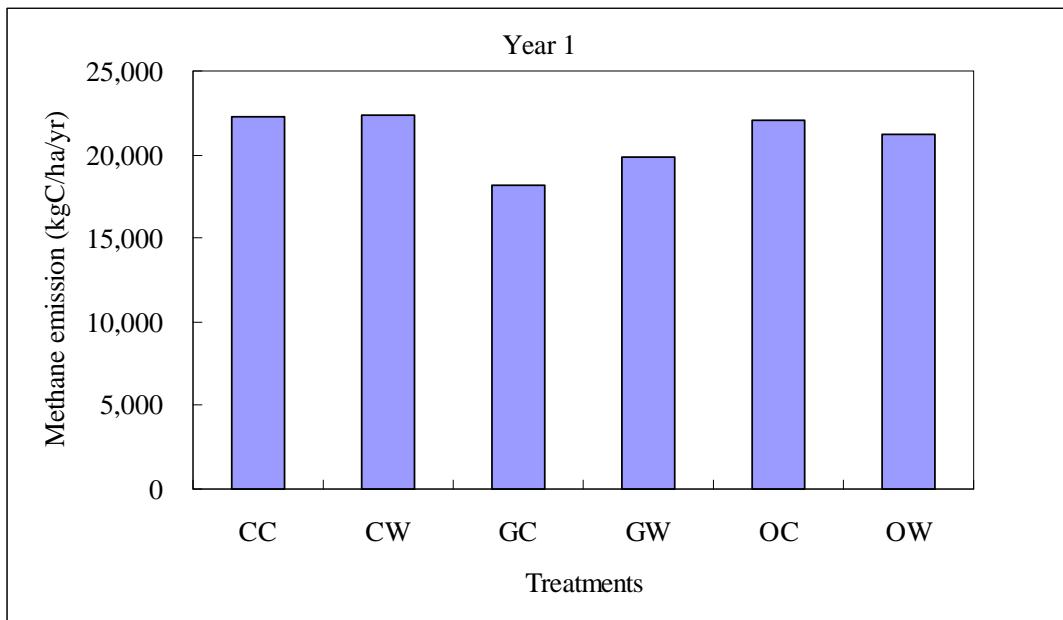
การจัดการนา	มีเทน (kg C/ha/year)	N ₂ O (g N/ha/year)	Soil CO ₂ (kg C/ha/year)	Root CO ₂ (kg C/ha/year)
เคมี-ไม่มีจัดการนำ	22,256.00	950.23	54,726.00	8,399.00
เคมี-มีจัดการนำ	22,362.00	954.21	54,968.00	8,366.00
GAP-ไม่มีจัดการนำ	18,161.00	1,797.90	62,581.00	7,924.00
GAP-มีจัดการนำ	19,905.00	1,446.62	59,312.00	8,064.00
อินทรีย์-ไม่มีจัดการนำ	22,067.00	931.86	54,479.00	6,975.00
อินทรีย์-มีจัดการนำ	21,230.00	1,188.94	58,753.00	6,952.00

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าชไนตรัสออกไซด์จากการจัดการนาข้าวทั้ง 6 โดยทำการเปรียบเทียบเฉพาะค่าการปล่อยก๊าชในฤดูกาลเพาะปลูกในวันที่ทำการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลอง แสดงดังตารางที่ 25

การศึกษาเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากการนาข้าวทุกภาพแบบการจัดการจากตารางที่ 25 และภาพที่ 27 โดยค่าที่ใช้เปรียบเทียบจากภาคสนาม 2 ฤดูกาลเพาะปลูกและค่าที่ประเมินได้จากแบบจำลอง 2 ฤดูกาลเพาะปลูก (รวมค่าการปลดปล่อยก๊าชในช่วงไม่มีการเพาะปลูกตลอดหนึ่งปี) การเปรียบเทียบซึ่งให้เห็นว่าการประเมินก๊าชทั้งสองชนิดโดยใช้แบบจำลอง DNDC นั้นให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าค่าที่สำรวจได้จากภาคสนามมากกว่าร้อยละ 90 และค่าการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์จากการประเมินโดยแบบจำลองให้ค่าสูงกว่าการสำรวจภาคสนามประมาณร้อยละ 63-82

ตารางที่ 25 ผลกระทบจากการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าชไนตรัสออกไซด์ในปีที่หนึ่ง (365 วันโดยมีสองฤดูกาลเพาะปลูกในหนึ่งปี) เปรียบเทียบกับค่าที่เก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองสองฤดูกาลในการเพาะปลูกหนึ่งปี จากการจัดการนาข้าวทั้ง 6 แบบ

การจัดการนา	มีเทน (kg C/ha/year)			N ₂ O (g N/ha/year)		
	แบบจำลอง (2 ฤดูกาล)	แปลงทดลอง (ฤดูกาลที่ 1)	แปลงทดลอง (ฤดูกาลที่ 2)	แบบจำลอง (2 ฤดูกาล)	แปลงทดลอง (ฤดูกาลที่ 1)	แปลงทดลอง (ฤดูกาลที่ 2)
เคมี-ไม่มีจัดการนำ	22,256.00	243.75	930.23	950.23	62.1	197.59
เคมี-มีการจัดการนำ	22,362.00	477.75	872.75	954.21	86.1	273.95
GAP-ไม่มีจัดการนำ	18,161.00	521.25	987.98	1,797.90	133.2	423.82
GAP -มีการจัดการนำ	19,905.00	766.5	908.78	1,446.62	198.4	631.27
อินทรีย์-ไม่มีจัดการนำ	22,067.00	688.5	1,031.78	931.86	23.7	75.41
อินทรีย์-มีการจัดการนำ	21,230.00	547.5	923.25	1,188.94	59.2	188.36



ภาพที่ 27 การปลดปล่อยมีเทนในปีที่ 1 (สองฤดูกาลเพาะปลูก)

ผลการปล่อยก๊าซมีเทนสองฤดูกาลเพาะปลูกในหนึ่งปีที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองและการประเมินโดยใช้แบบจำลองไม้สอดคล้องกันในการณ์การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดและต่ำสุดโดยพบผลรวมการปล่อยก๊าซมีเทนจากการสำรวจภาคสนามนั้นพบว่า การจัดการนาอินทรีย์มีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด ซึ่งการจัดการนาแบบอินทรีย์ (รวมทั้งสองกรณีคือมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ) มีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด ($3,191.03 \text{ kg C/ha/year}$) และการจัดการนาแบบ GAP (รวมทั้งสองกรณีคือมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ) ปล่อยก๊าซมีเทนใกล้เคียงกับการทำนาอินทรีย์มากแต่นา GAP ช่วยลดก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าการทำนาแบบอินทรีย์ $6.53 \text{ kg C/ha/year}$ หรือเป็นเพียงร้อยละ 1 ส่วนของการจัดการนาแบบนาเคมี (รวมทั้งสองกรณีคือมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ) มีการปล่อยมีเทนต่ำที่สุด ($2,524.48 \text{ kg C/ha/year}$) ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดการนาแบบอื่น ทั้งนี้นา GAP ปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่านาเคมีประมาณ 660.03 C/ha/year หรือคิดเป็นร้อยละ 26 ส่วนผลการประเมินจากแบบจำลองพบว่าค่าการปล่อยมีเทนสูงสุดพบในการจัดการนาเคมี(รวมทั้งสองกรณีคือมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ) โดยสูงกว่านาอินทรีย์ (รวมทั้งสองกรณีคือมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ) ประมาณร้อยละ 3 และนา GAP (รวมทั้งสองกรณีคือมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ) ปล่อยก๊าซมีเทนต่ำที่สุดโดยต่ำกว่าการปล่อยมีเทนจากการทำนาอินทรีย์ (รวมทั้งสองกรณีคือมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ)ร้อยละ 12 และต่ำกว่านาเคมีร้อยละ 15

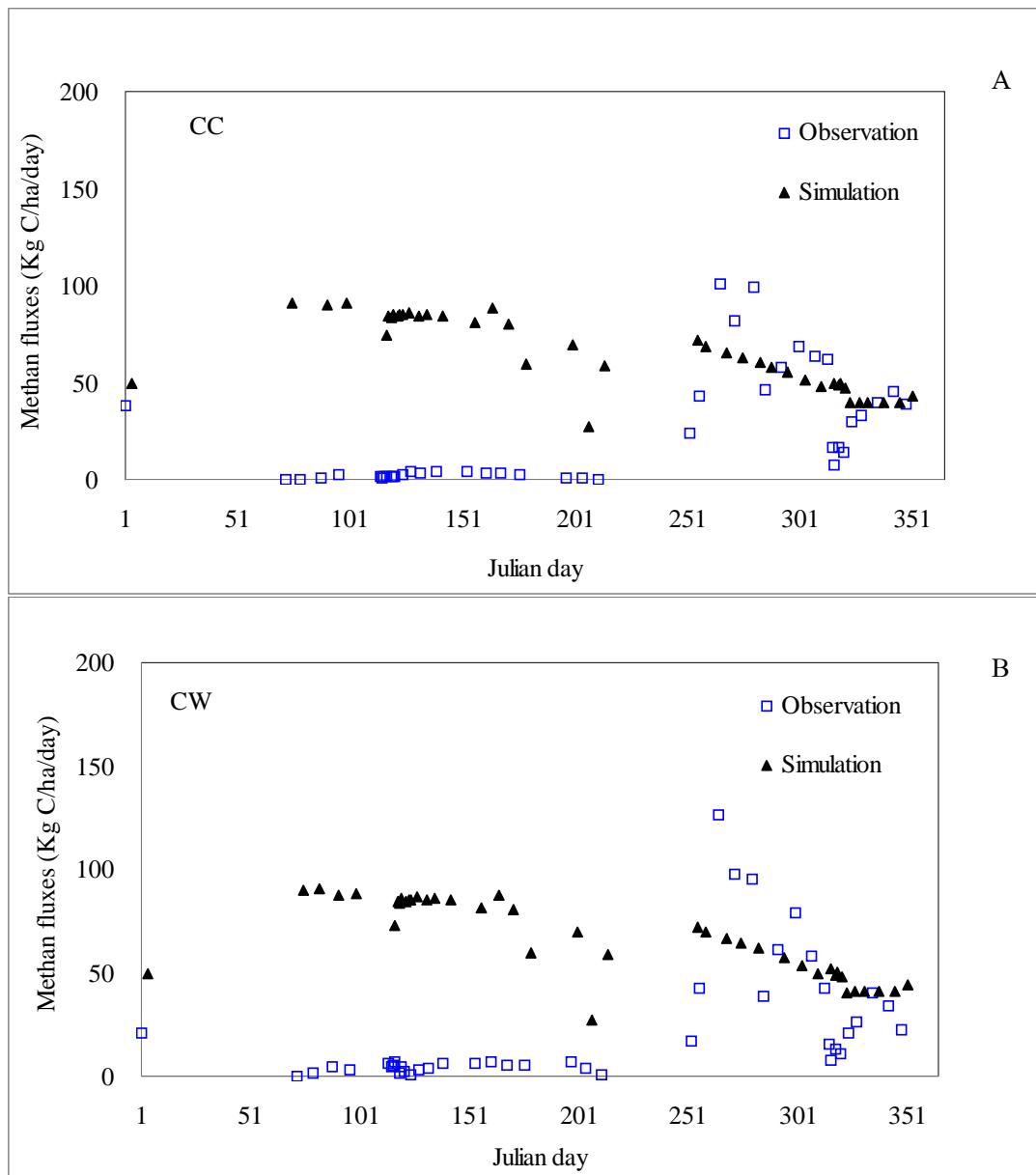
ตัวอย่างภาคสนามและจากการประเมินโดยแบบจำลองปราภูผลคล้ายคลึงกันในกรณีนาอินทรีย์เท่านั้น ก่าวคือการจัดการน้ำช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ประมาณร้อยละ 45 และ 4 ตามลำดับ ส่วนในกรณีนาเคมีที่ประเมินโดยใช้แบบจำลองนั้นการจัดการน้ำไม่มีผลกระทบต่อการปล่อยก๊าซมีเทนมากนัก (ค่าความแตกต่างเพียงร้อยละ 0.5 เท่านั้น) แต่จากการสำรวจภาคสนาม

พบว่าเมื่อทำนาสองฤดูกาลเพาะปลูกในรูปแบบนาเคมีการจัดการนำทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของการหมักฟางก่อนฤดูกาลเพาะปลูก ส่วนการปล่อยก๊าซมีเทนจากนา GAP ที่เก็บจากภาคสนามนั้นพบว่าการจัดการนำส่งเสริมให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 11 ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินจากแบบจำลองที่พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนอันเป็นผลจากการจัดการนำร้อยละ 10

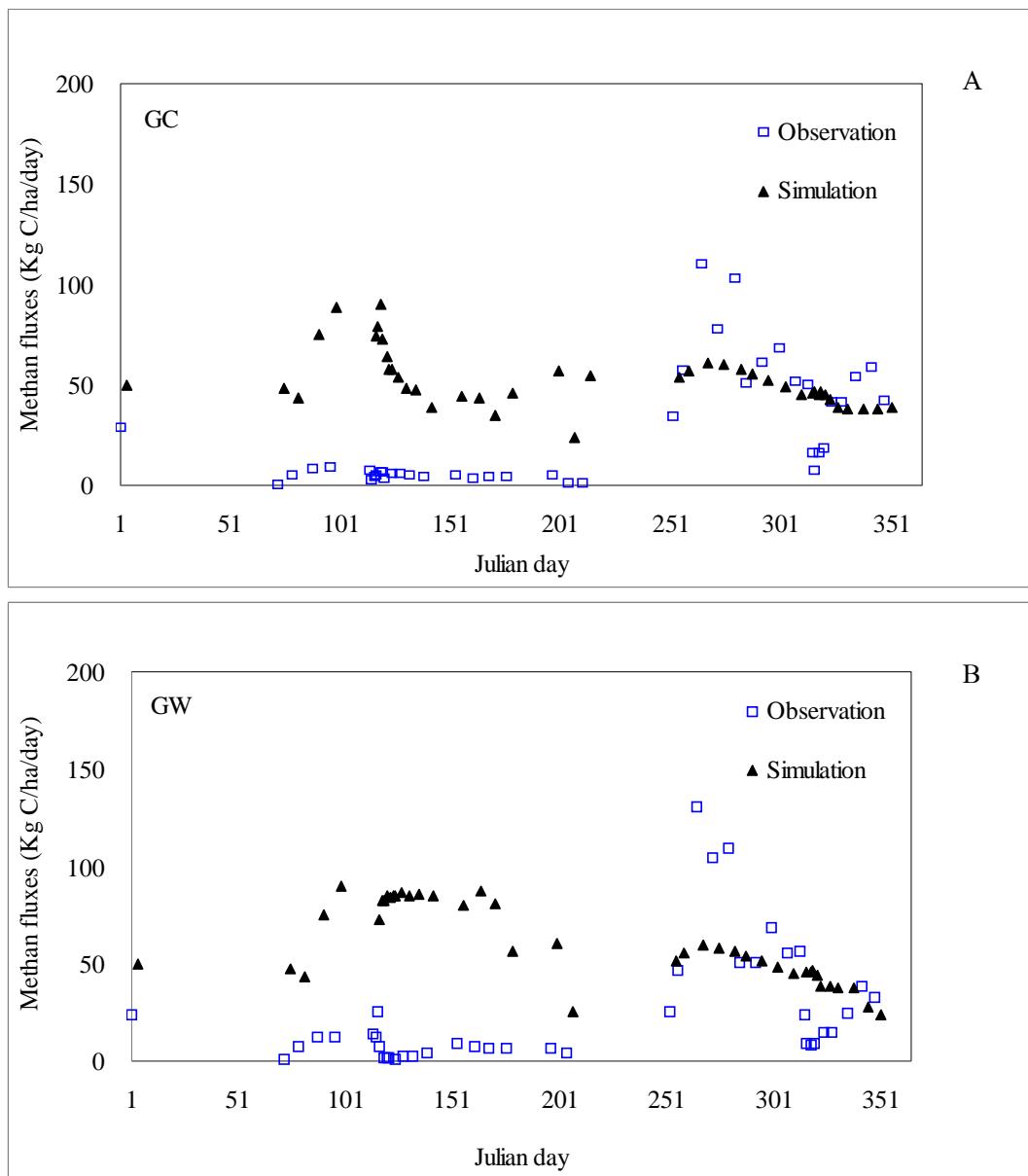
ค่าแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายวันจากการประเมินโดยแบบจำลอง DNDC และค่าการปลดปล่อยก๊าซจากการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองในสองฤดูกาลเพาะปลูกจากการนาทั้ง 6 แบบแสดงดังภาพที่ 28-30 ปริมาณมีเทนที่ปลดปล่อยออกมายังจากการจัดการทุกแบบมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน โดยไม่พบว่ามีค่าการปลดปล่อยสูงที่สุด (peak) ในช่วงใดในการเพาะปลูกฤดูกาลแรก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซที่คำนวณได้จากการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลอง ยกเว้นกรณีนาแบบ GAP มีการจัดการนำ (ภาพที่ 29 A) ซึ่งได้รายงานไว้ในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 ว่าปริมาณก๊าซจากแปลงทดลองมีค่าสูงในช่วงข้าวแตกกอ (ประมาณ 60 วันหลังการเพาะปลูก) และค่อยๆ ลดลงหลังจาก 66 วันหลังการเพาะปลูก ซึ่งแบบจำลองไม่พบการปลดปล่อยสูงสุดในช่วงนี้ นอกจากนี้พบความแตกต่างของปริมาณการปล่อยก๊าซโดยใช้แบบจำลอง และการสำรวจจากแปลงทดลองในกรณีนาแบบ GAP ไม่จัดการนำทั้งช่วงต้นและปลายฤดูกาล โดยที่การประเมินจากแบบจำลองในช่วงต้นฤดูกาลพบว่าค่าการปลดปล่อยมีเทนเริ่มต้น (14 วันหลังจากการเพาะปลูก) สูงถึง 50 kg C/ha/day และค่อยๆ ลดลงในวันที่ 27 และ 40 หลังการเพาะปลูก ในขณะที่ค่าที่คำนวณได้จากการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองพบว่าก๊าซมีเทนมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อีกทั้งปริมาณการปลดปล่อยก๊าซปลายฤดูกาลจากการประเมินของแบบจำลองนั้นลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากการระบายน้ำออกก่อนการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ค่าที่คำนวณได้จากการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองนั้นไม่แตกต่างกันจากช่วงเวลาอื่น (ภาพที่ 29 A&B) นาเคมีและนาอินทรีย์ทั้งที่มีการจัดการนำและไม่มีการจัดการนำนั้นพบว่าปริมาณก๊าซมีเทนจากการประเมินโดยแบบจำลองลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงปลายฤดูกาลเพาะปลูกซึ่งมีการระบายน้ำก่อนการเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 28 A&B และ ภาพที่ 30 A&B) ส่วนอิทธิพลของการระบายน้ำต่อการลดก๊าซเรือนกระจกห่วงฤดูกาลเพาะปลูกนั้นให้ผลไม่ชัดเจน

แนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในฤดูกาลที่สองจากการประเมินโดยใช้แบบจำลองในการจัดการนาทั้ง 6 แบบมีรูปแบบไม่แตกต่างกัน กล่าวคือก๊าซมีแนวโน้มปริมาณสูงเมื่อต้นฤดูกาลเพาะปลูกและค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงสิ้นสุดฤดูกาลเพาะปลูก โดยไม่ปรากฏค่าการปลดปล่อยสูงสุด (peak) ระหว่างฤดูกาลเพาะปลูกในทุกกรณี ทั้งนี้ค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงในช่วงต้นฤดูกาลนั้นอาจเกิดจากอิทธิพลของการสะสออินทรีย์จากตอซังที่ได้รับการไถกลบและหมักช่วงการเตรียมพื้นที่ในการเพาะปลูกในฤดูกาลที่ 2 ซึ่งแนวโน้มการปล่อยก๊าซมีเทนจากการเก็บตัวอย่างจากภาคสนามมีแนวโน้มต่างจากการประเมินจากแบบจำลองค่อนข้างมาก ทั้งรูปแบบของการปลดปล่อย และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายวัน โดยพบว่าค่าการปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งได้จากภาคสนามปราศจากค่าสูงสุด (peak) ในช่วงประมาณ 30 วันหลังการเพาะปลูก และมีแนวโน้ม

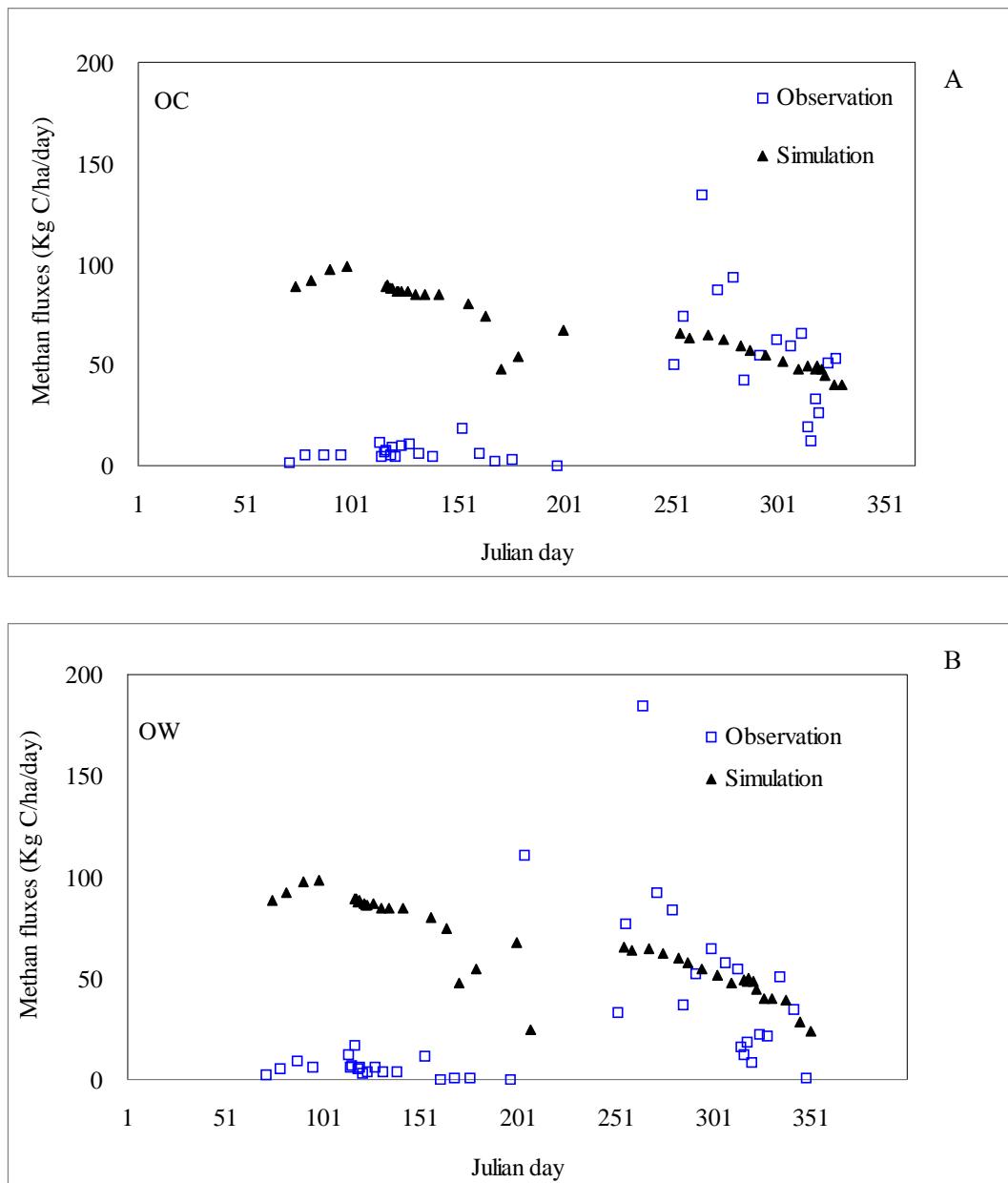
ค่อยๆ ลดลง ซึ่งพบว่าช่วงเวลาที่มีการระบายน้ำออกจากแปลงนานั้นมีผลทำให้กําชมีเทนลดลงในทุกกรณีการจัดการนา และสอดคล้องการรูปแบบการปล่อยกําชมีเทนจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม แต่การเก็บตัวอย่างจากภาคสนามเห็นผลของการระบายน้ำต่อการลดลงของกําชมีเทนมากกว่าการประเมินโดยแบบจำลอง



ภาพที่ 28 การปลดปล่อยมีเทนรายวันจากนาเคมีโดยเปรียบเทียบเฉพาะในวันที่มีการเก็บตัวอย่างภาคสนาม A) ไม่มีการจัดการน้ำ และ B) มีการจัดการน้ำ

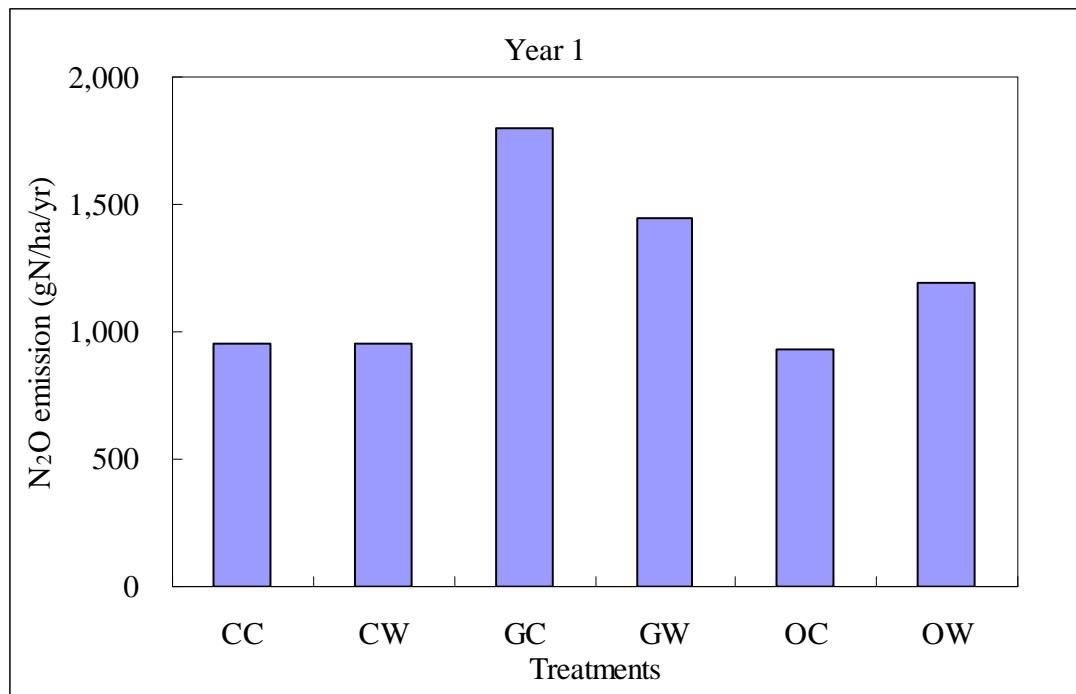


ภาพที่ 29 การปลดปล่อยมีเทนรายวันจากนาแบบ GAP โดยเปรียบเทียบเฉพาะในวันที่มีการเก็บตัวอย่างภาคสนาม A) ไม่มีการจัดการรำข้า และ B) มีการจัดการรำข้า



ภาพที่ 30 การplot ปล่อยมีเทนรายวันจากนาอินทรีย์โดยเปรียบเทียบเฉพาะในวันที่มีการเก็บตัวอย่างภาคสนาม A) ไม่มีการจัดการน้ำ และ B) มีการจัดการน้ำ

การเปรียบเทียบค่าการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์จากการประเมินโดยแบบจำลอง DNDC ให้ค่าสูงกว่าการสำรวจภาคสนาม ร้อยละ 62-89 และพบว่าปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการทำนาแบบ GAP ที่ไม่มีการจัดการน้ำมีค่าสูงที่สุด 1,797.9 g N/ha/yr และการจัดการน้ำในนา GAP สามารถช่วยลดก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ถึงร้อยละ 20 ซึ่งผลขัดแย้งกับการเก็บตัวอย่างจากภาคสนาม ซึ่งการจัดการน้ำในนา GAP ทำให้พบปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 48 แต่ในทางกลับกันจากการประเมินโดยแบบจำลองพบว่าการจัดการน้ำในนาอินทรีย์ทำให้ก๊าซไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 28 ซึ่งผลสอดคล้องกับการเก็บตัวอย่างจากภาคสนาม แต่ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่สำรวจได้จากภาคสนามในนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำนั้นสูงกว่าในนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำถึง 1.5 เท่า ผลของการประเมินในกรณีนาเคมีนั้นพบว่าการจัดการน้ำไม่มีผลกระทบต่อการปล่อยไนตรัสออกไซด์มากนัก ปริมาณก๊าซจากนาเคมีทั้งมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 954.2 และ 950.2 g N/ha/yr ตามลำดับ และนาเคมีมีปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการสำรวจภาคสนามนั้นแสดงให้เห็นว่าการจัดการน้ำทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์สูงขึ้นถึงร้อยละ 39



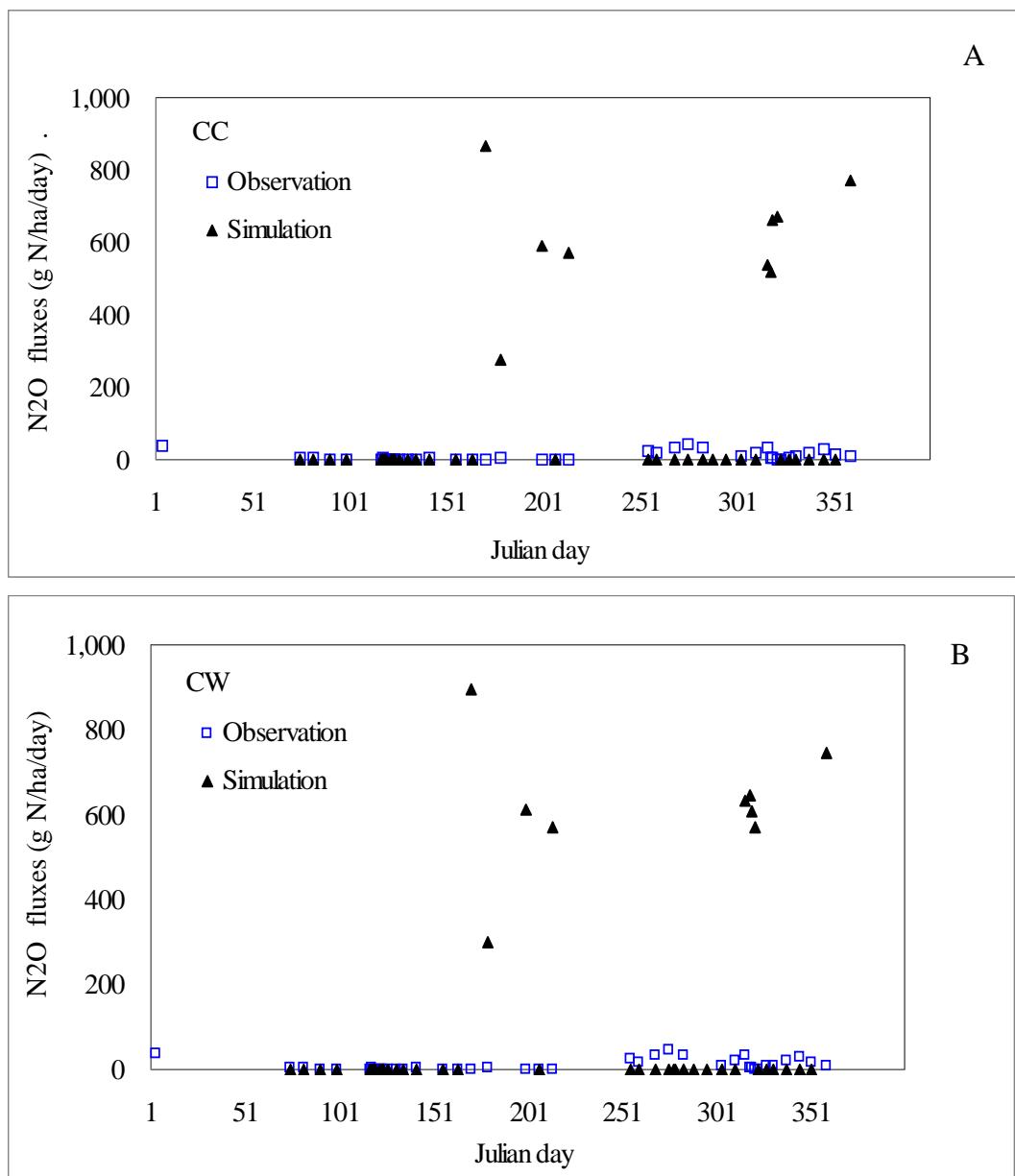
ภาพที่ 31 การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ในปีที่ 1 (สองฤดูกาลเพาะปลูก) ประเมินโดยใช้แบบจำลอง

ดังได้กล่าวในเนื้อหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแบบจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตร ถึงการทำงานของแบบจำลองว่าหลักการทำงานของแบบจำลอง DNDC สำหรับการปลดปล่อยก๊าซประมีนในตระสอกรไซด์เป็นการประมีนโดยพิจารณาแหล่งที่มาของแหล่งพลังงานสำหรับในตริฟิเดชั่นและดีในตริฟิเดชั่น รวมถึงการใช้ปุ๋ยในโตรเจน ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของในโตรเจนในการเกิดปฏิกิริยา โดยมีปัจจัยด้านภูมิอากาศซึ่งเป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงสภาพอากาศเดชั่นและรีดักชั่นในดินและเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการคำนวน ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากการประมีนในการศึกษาการเพาะปลูกสองฤดูกาลในหนึ่งปีพบว่าการจัดการนา GAP มีการปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์สูงกว่าการจัดการนาเคมีและนาอินทรีย์ไม่ว่าจะมีการจัดการน้ำหรือไม่มีการจัดการน้ำก็ตาม ซึ่งการระบายน้ำมีผลกระทบต่อการปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์โดยการใช้แบบจำลอง DNDC ในกรณีของการจัดการนาเคมีและนาอินทรีย์ โดยการจัดการน้ำส่งเสริมให้การปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเก็บตัวอย่างแปลงทดลอง ส่วนการประมีนจากแบบจำลองในกรณีการจัดการนา GAP นั้นการจัดการน้ำส่งผลให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นซึ่งขัดแย้งกับข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างจากภาคสนาม แต่อย่างไรก็ตามการประมีนโดยแบบจำลองและการเก็บตัวอย่างจากภาคสนามให้ผลตรงกันโดยพบว่านา GAP ปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์สูงที่สุดไม่ว่ากรณีมีการจัดการน้ำหรือไม่ การจัดการน้ำช่วยลดการปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์ร้อยละ 20 ในกรณีนา GAP ส่วนนาเคมีนั้นพบว่าการจัดการน้ำทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์สูงกว่ากรณีไม่มีการจัดการน้ำเพียงร้อยละ 0.4 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการจัดการน้ำไม่มีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์ในนาเคมีเลย ในขณะที่ข้อมูลจากแปลงทดลองมีความแตกต่างกันร้อยละ 37 กรณีนาอินทรีย์จากการประมีนโดยใช้แบบจำลองและข้อมูลจากแปลงทดลองพบว่าการจัดการน้ำมีผลต่อการปล่อยในตระสอกรไซด์ใกล้เคียงกัน กล่าวคือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำมีการปลดปล่อยในตระสอกรไซด์สูงว่านาอินทรีย์มีการจัดการน้ำประมาณร้อยละ 28

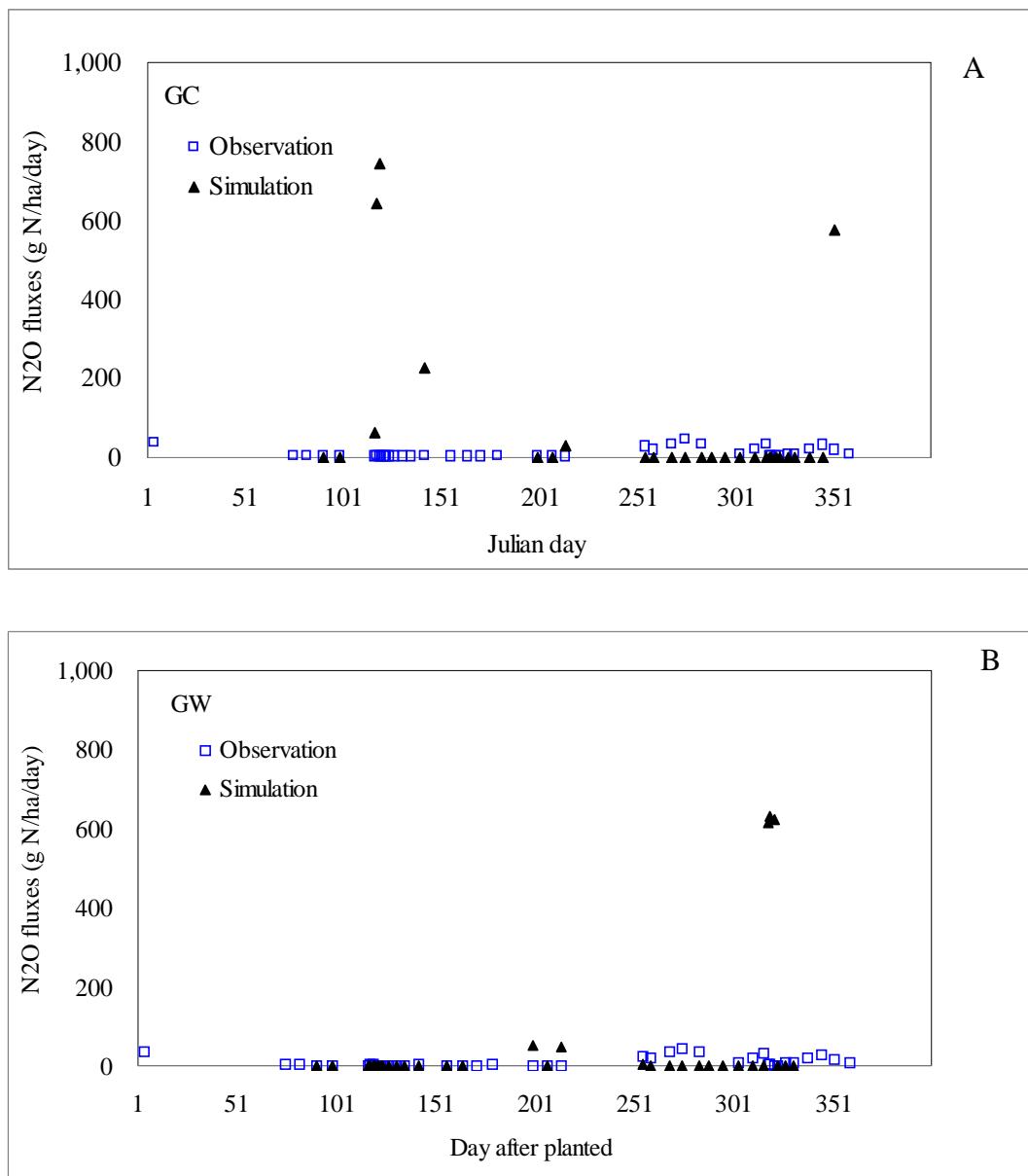
ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์รายวันจากการประมีนโดยแบบจำลอง DNDC และค่าการปลดปล่อยก๊าซจากการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองในระยะเวลาสองฤดูกาลเพาะปลูกแสดงดังภาพที่ 32-34 ในฤดูกาลที่หนึ่งพบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์จากทุกแบบการจัดการนาโดยใช้แบบจำลอง DNDC มีค่าสูงกว่าปริมาณก๊าซที่เก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองยกเว้นกรณีนาอินทรีย์ไม่มีการควบคุมน้ำ พบว่าปริมาณก๊าซที่คำนวนได้จากการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองในช่วงต้นฤดูกาลเพาะปลูกมีค่าสูงกว่าการประมีนโดยใช้แบบจำลอง ทั้งนี้แนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์ที่ประมีนได้มีค่าสูงในช่วงปลายฤดูกาลเพาะปลูกในทุกกรณี และพบว่าการจัดการน้ำในนาแบบ GAP มีผลทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์สูง (53 วัน หลังการเพาะปลูก) นาแบบ GAP มีการจัดการน้ำมีการปลดปล่อยในตระสอกรไซด์ในช่วงปลายฤดูกาลเพาะปลูกสูงกว่าการจัดการนากรณีอื่นๆมาก (112 หลังการเพาะปลูก) (ภาพที่ 33 B) ซึ่งใกล้เคียงกับการปลดปล่อยในตระสอกรไซด์จากนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำในช่วงเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 34 A) อิทธิพลของการจัดการน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซในตระสอกรไซด์เห็นชัดเจนในกรณีการทำนาแบบ GAP (ภาพที่ 33 A&B) ปริมาณก๊าซในตระสอกรไซด์จากนาอินทรีย์ไม่จัดการน้ำซึ่ง

เปรียบเทียบระหว่างการประเมินโดยแบบจำลองและการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองนั้นมีแนวโน้มการปลดปล่อยแตกต่างกันคือ ค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองให้ค่าสูงขึ้นจาก 14 วัน หลังการเพาะปลูกจนถึง 34 วันหลังการเพาะปลูกแล้วปริมาณก้าชลดลงในช่วงถัดไป ในขณะที่การประเมินในฤดูกาลที่สองนั้นการปลดปล่อยในตรัสรอกใช้ร์จากการประเมินโดยใช้แบบจำลองและจากแปลงทดลองไม่แตกต่างกันมาก และปรากฏการปล่อยในตรัสรอกใช้ร์สูงขึ้นเมื่อมีการระบาดหน้าออกก่อนการเก็บเกี่ยวในทุกรอบ และในการนี้ของการจัดการนาแบบ GAP นั้นปรากฏผลของอิทธิพลของการจัดการหน้าระหัวว่างฤดูกาลเพาะปลูกที่มีผลให้ปล่อยในตรัสรอกใช้ร์สูงในช่วงวันที่ระบาดหน้าออก

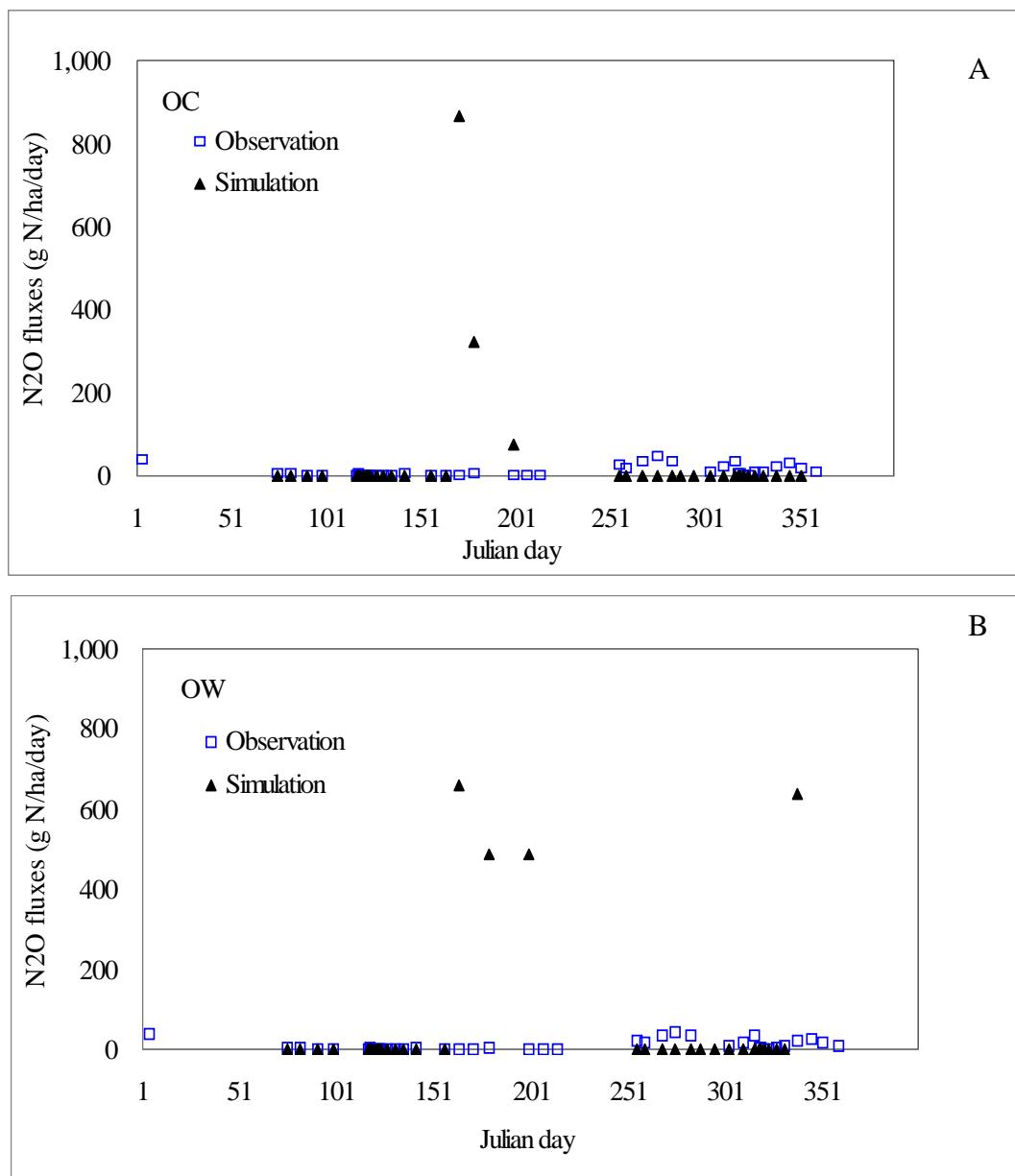
ในฤดูกาลที่สองการปล่อยในตรัสรอกใช้ร์มีรูปแบบไม่แตกต่างจากฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 โดยพบว่าการจัดการปล่อยในตรัสรอกใช้ร์มีแนวโน้มสูงเมื่อมีการระบาดหน้าออกจากนา ในช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว และพบว่าอิทธิพลของการจัดการหน้าจากการจัดการนาทั้ง 3 แบบนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก การจัดการหน้ามีผลทำให้ในตรัสรอกใช้ร์สูงขึ้นในกรณีนาอินทรีย์ โดยค่าการปล่อยก้าชในตรัสรอกใช้ร์สูงขึ้นชัดเจนจากการประเมินโดยใช้แบบจำลอง หากแต่การทำนาตาม GAP นั้น การปล่อยในตรัสรอกใช้ร์ได้รับอิทธิพลจากการจัดการหน้าอย่างมาก (ค่าการปล่อยในตรัสรอกใช้ร์รายวันจากนาจัดการหน้า และไม่จัดการหน้ามีใกล้เคียงกัน และรูปแบบเดียวกัน) การประเมินในตรัสรอกใช้ร์โดยใช้แบบจำลองซึ่งให้เห็นความแตกระหว่างการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองและการประเมินโดยใช้แบบจำลอง กล่าวคือค่าการปล่อยในตรัสรอกใช้ร์ในช่วงมีการจัดการหน้าและไม่มีการจัดการหน้านั้นมีค่าแตกต่างกันมาก ในขณะที่อาจเห็นความแตกต่างในปริมาณการปล่อยก้าชน้อยในการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลอง จึงทำให้ผลรวมการปล่อยในตรัสรอกใช้ร์ที่ได้จากการประเมินโดยแบบจำลองนั้นสูงกว่าการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองถึงร้อยละ 62-89 และการประเมินโดยแบบจำลองซึ่งให้เห็นว่าช่วงเวลาที่นาทิ่งร้างไม่มีการเพาะปลูกหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 จนถึงต้นฤดูกาลเพาะปลูกที่สองมีการปล่อยในตรัสรอกใช้ร์สูงในทุกๆ ประเภทของการจัดการ (ข้อมูลไม่แสดง)



ภาพที่ 32 การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์รายวันจากนาเมืองโดยเปรียบเทียบเฉพาะในวันที่มีการเก็บตัวอย่างภาคสนาม A) ไม่มีการจัดการน้ำ และ B) มีการจัดการน้ำ



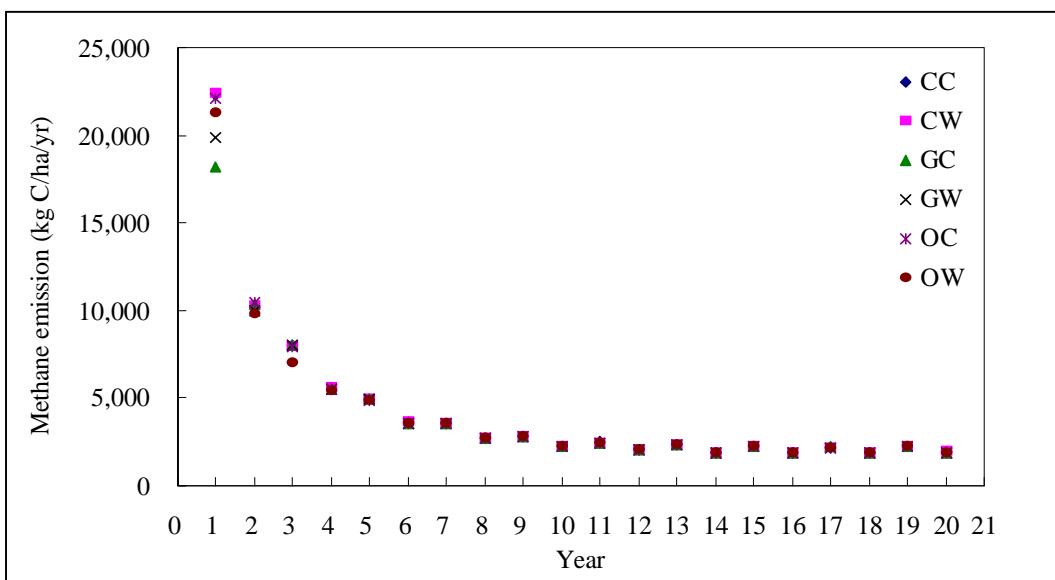
ภาพที่ 33 การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์รายวันจากนาโดยเปรียบเทียบเฉพาะในวันที่มีการเก็บตัวอย่างภาคสนาม GAP A) ไม่มีการจัดการน้ำ และ B) มีการจัดการน้ำ



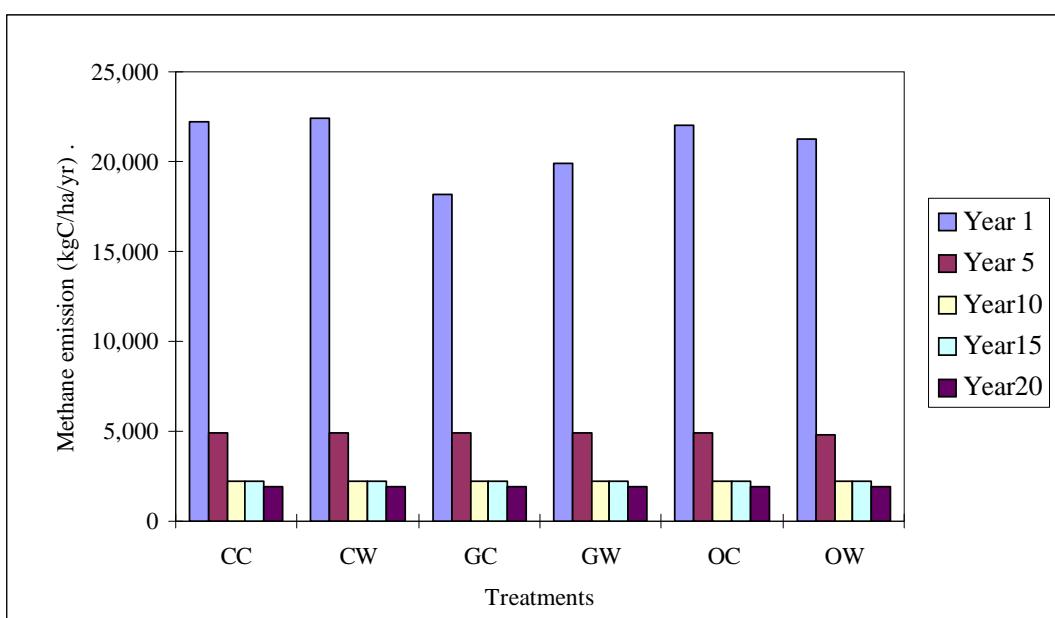
ภาพที่ 34 การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์รายวันจากนาโดยเปรียบเทียบเฉพาะในวันที่มีการเก็บตัวอย่างภาคสนาม GAP A) ไม่มีการจัดการน้ำ และ B) มีการจัดการน้ำ

ปริมาณก้าซมีเทนที่ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบในระยะเวลา 20 ปี (ภาพที่ 35 และภาพที่ 36) พบว่าปริมาณการปล่อยก้าซมีเทนจากทุกการจัดการ naïve แนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการใช้พื้นที่ปลูกข้าว (หรือระยะเวลาในการประเมินโดยใช้แบบจำลอง) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปล่อยก้าซมีเทนสูงสุดพบในปีแรกในการเพาะปลูก และการจัดการนาแบบดั้งเดิมคือนาเคมีแสดงการปล่อยก้าซมีเทนสูงที่สุดทั้งนาเคมีมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ และนาอินทรีย์มีแนวโน้มปล่อยก้าซมีเทนสูงใกล้เคียงกับนาเคมี ส่วนนา GAP มีแนวโน้มปล่อยก้าซมีเทนต่ำสุด จากนั้นในปีที่ 2 ก้าซมีเทนที่ประเมินได้จากทุกการจัดการ naïve ค่าลดลงประมาณร้อยละ 50 และในปีต่อ ๆ ผลการปล่อยก้าซมีเทนมีแนวโน้มลดลง และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสลับกันในแต่ละปีที่ประเมินในปริมาณไม่แตกต่างกันมาก แต่ในภาพรวมการปล่อยก้าซมีเทนจากการจัดการทั้ง 6 แบบมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และในปีที่ 20 จะพบการปล่อยก้าซมีเทนจากการจัดการทั้ง 6 แบบไม่แตกต่างกันมากนัก อีกทั้งการจัดการน้ำมีอิทธิพลต่อการลดการปล่อยก้าซมีเทนแตกต่างกันประมาณร้อยละ 7 โดยนา GAP จัดการน้ำสามารถลดการปล่อยก้าซมีเทนได้สูงกว่านา GAP ไม่จัดการน้ำร้อยละ 7

ปริมาณก้าซมีเทนในปีที่ 20 ของการจัดการนาทุกแบบมีเพียงประมาณร้อยละ 10 ของ การปล่อยก้าซมีเทนที่มาจากช่องปีแรกเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการประเมินโดยใช้แบบจำลองนั้นใช้ข้อมูลการใช้พื้นที่เพาะปลูก การเขตกรรม จากข้อมูลภาคสนามในการเพาะปลูกในปีแรก และไม่มีการใส่ปุ๋ย ปรับปรุงบำรุงดิน หรือ มีการเปลี่ยนแปลงการทำการทำเกษตร จึงทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินซึ่งเป็นแหล่งฐานอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นปัจจัยในการสร้างก้าซมีเทนลดลง (ดังจะอธิบายการสะสานความรับผิดชอบในรายงานช่วงต่อไป)

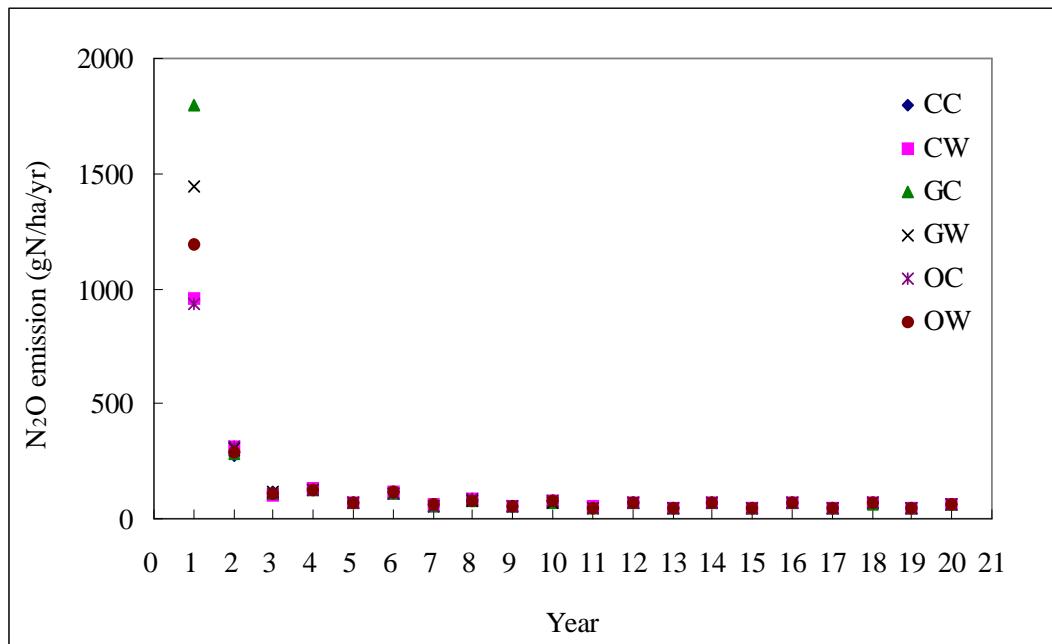


ภาพที่ 35 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบในระยะเวลา 20 ปี โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

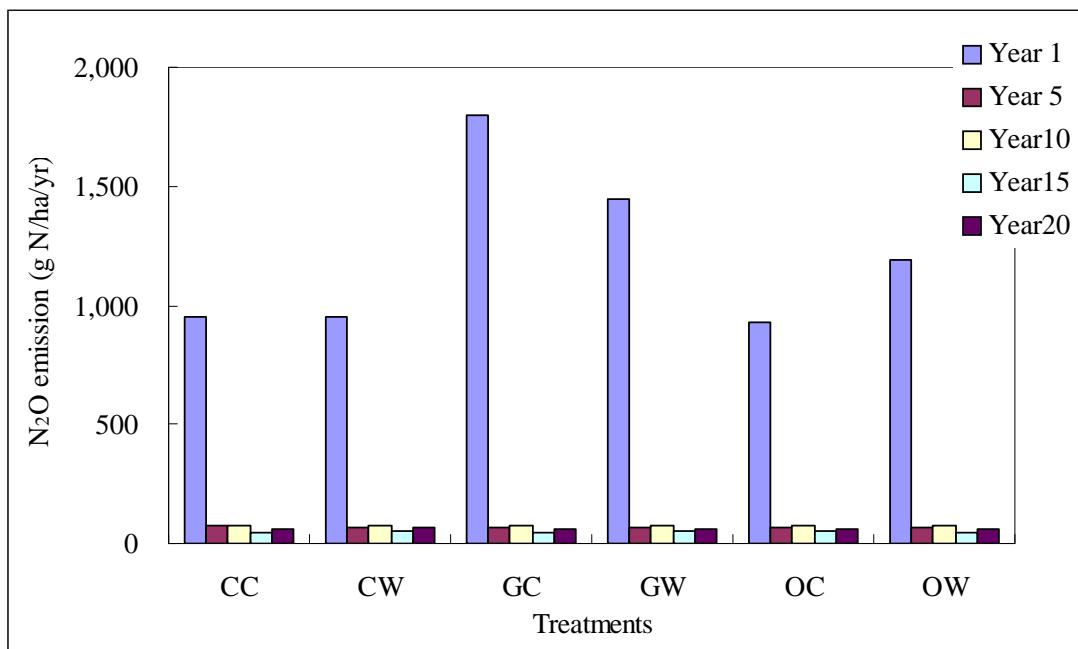


ภาพที่ 36 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบในปีที่ 1, 5, 10, 15, และ 20 โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบในระยะเวลา 20 ปี (ภาพที่ 37 และภาพที่ 38) พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์จากการจัดการนา มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการใช้พื้นที่ปลูกข้าว (หรือระยะเวลาในการประเมินโดยใช้แบบจำลอง) เช่นเดียวกับการประเมินก๊าซมีเทน แต่การลดลงของก๊าชไนตรัสออกไซด์นั้นลดลงในปริมาณมากกว่าการลดลงของก๊าซมีเทนกล่าวคือในปีที่สองของการประเมิน มีปริมาณการปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์จากนาไม่มีจัดการน้ำลดลงประมาณร้อยละ 67, 71, และ 84 จากการจัดการนาแบบอินทรีย์ เคเม่ และ GAP ตามลำดับ ส่วนในกรณีนาที่มีการจัดการน้ำนั้นพบว่าก๊าชไนตรัสออกไซด์ลดลงร้อยละ 67, 75, และ 79 จากนาเคเม่ นาอินทรีย์และนา GAP ลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่านา GAP ทั้งในกรณีจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำสามารถลดการปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์ได้สูงสุดจากการใช้พื้นที่ทำนาข้าวจากปีที่ 1 ไปสูงที่ 2 การประเมินก๊าชไนตรัสออกไซด์ปีที่ 3 ถึงปีที่ 20 มีแนวโน้มลดลง โดยปีที่ 3 การปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์ลดลงจากปีที่ 2 ประมาณร้อยละ 50 และในปีที่ 20 การปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์คิดเป็นร้อยละ 3-7 ของการปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์ในปีแรก โดยนา GAP มีแนวโน้มปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์ต่ำที่สุดในการน้ำจัดการน้ำ แต่ทั้งนี้ต่างกับนา GAP ไม่มีการจัดการน้ำประมาณร้อยละ 1 ส่วนนาอินทรีย์นั้นพบว่าการจัดการน้ำมีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์ในปีที่ 20 ไม่ถึงร้อยละ 1 และไม่พบอิทธิพลของการจัดการน้ำต่อการปล่อยก๊าชไนตรัสออกไซด์ในกรณีนาเคเม่

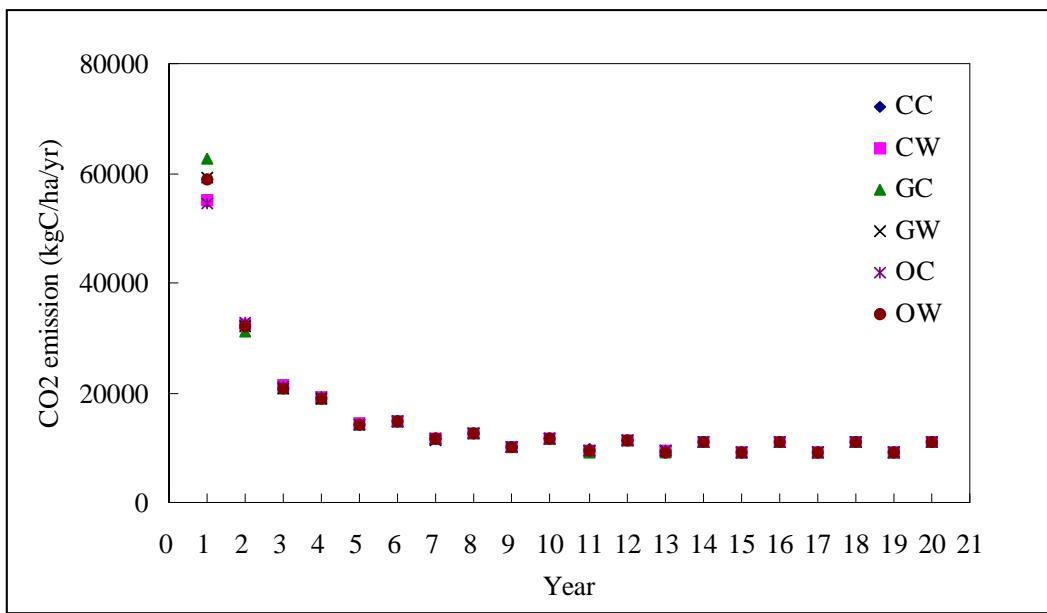


ภาพที่ 37 ปริมาณก๊าชไนตรัสออกไซด์ที่ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบในระยะเวลา 20 ปี โดย CC คือนาเคเม่ไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคเม่มีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

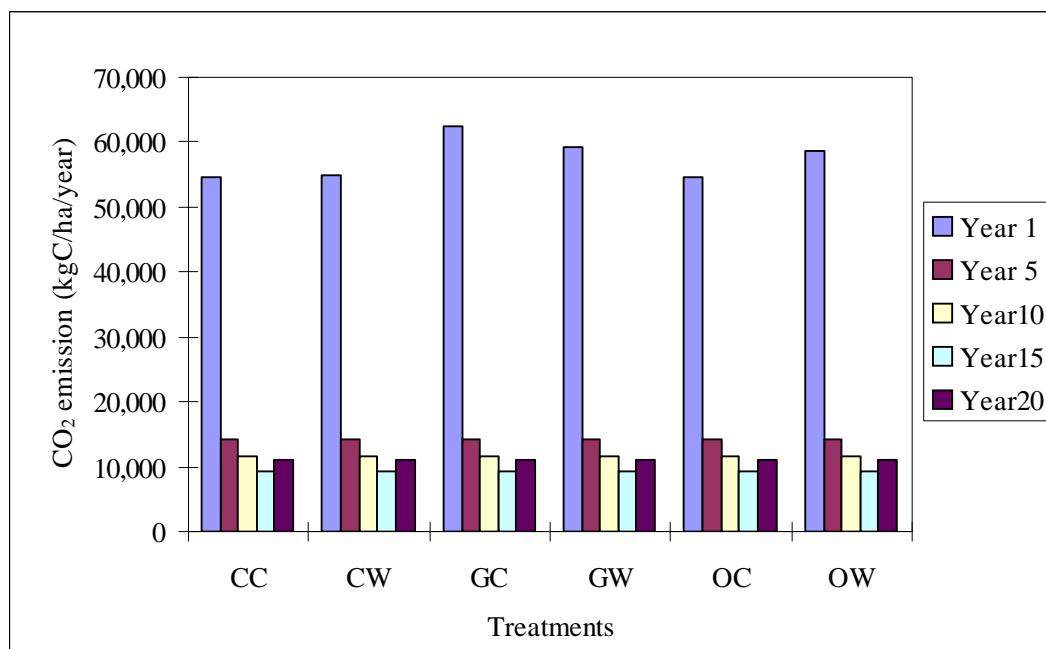


ภาพที่ 38 ปริมาณก๊าซในตัวสอกไชเด็ทที่ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบในปีที่ 1, 5, 10, 15, และ 20 โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการประเมินโดยใช้แบบจำลองในระยะเวลา 20 ปีแสดงดังภาพที่ 39 แนวโน้มการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีรูปแบบใกล้เคียงกับการประเมินก๊าซมีเทน (ภาพที่ 35) เนื่องจากการเกิดก๊าซเรือนกระจกสองชนิดนี้มีขั้นการเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน และการประเมินในระยะเวลา 20 ปีพบว่า นา GAP มีแนวโน้มปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงในช่วงปีที่ 1-3 หลังจากนั้นพบว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนา GAP ต่ำกว่าการจัดการนาแบบเคมีและอินทรีย์เล็กน้อย (ปริมาณร้อยละ 1) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนาที่ไม่มีการจัดการน้ำที่ประเมินได้ในปีที่ 20 มีปริมาณร้อยละ 20, 18, และ 20 ของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปีที่ 1 จากนาเคมี นา GAP และ นาอินทรีย์ตามลำดับ ส่วนนาที่มีการจัดการน้ำปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าประมาณร้อยละ 57 เมื่อเปรียบเทียบกับปีแรกของการประเมิน 20, 18, 19 จากนาเคมี นา GAP และ นาอินทรีย์ ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าการจัดการน้ำมีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ต่างกันในการจัดการนาเคมี นา GAP และนาอินทรีย์ และปริมาณการลดลงของการปล่อยก๊าซจากการประเมินในการทำนาทั้งสามประเภทใกล้เคียงกัน

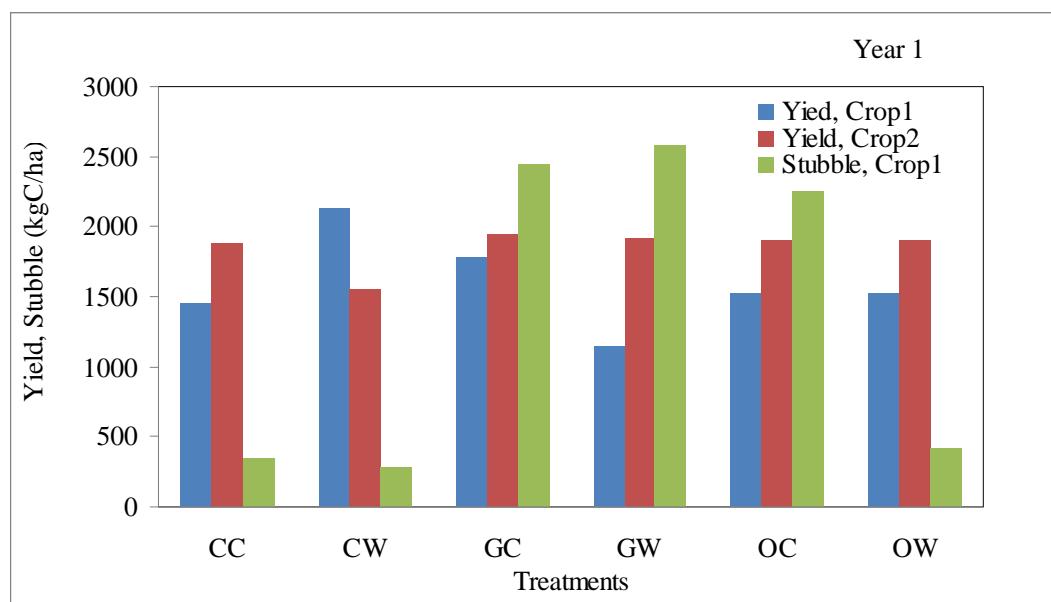


ภาพที่ 39 ปริมาณกําชคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบในระยะเวลา 20 ปี โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ



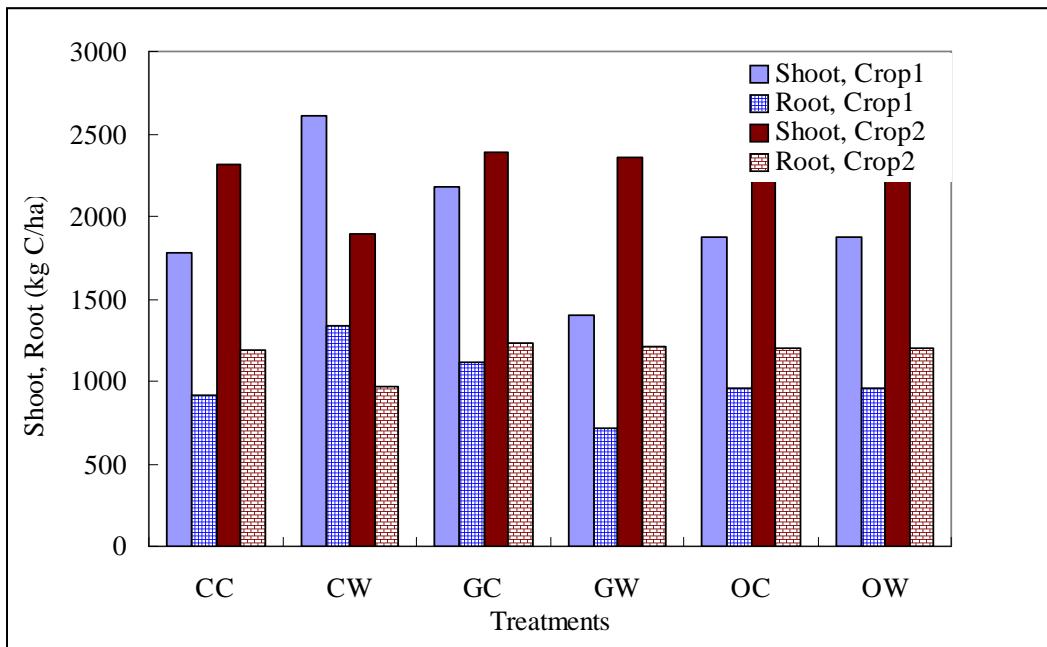
ภาพที่ 40 ปริมาณกําชคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบในปีที่ 1, 5, 10, 15, และ 20 โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คืนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คืนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

ปริมาณผลผลิตและตอซังจากการปลูกข้าวในปีที่หนึ่ง (สองฤดูกาลในหนึ่งปี) ในการจัดการนา 6 แบบ แสดงดังภาพที่ 41 เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตในฤดูกาลที่ 1 การจัดการนาเคมีนา GAP และนาอินทรีย์โดยให้นาเคมีแบบไม่มีการจัดการน้ำเป็นมาตรฐานพบว่านาเคมีมีการจัดการน้ำ และนา GAP ไม่มีการจัดการน้ำให้ผลผลิตสูงกว่านาเคมีไม่จัดการน้ำถึงร้อยละ 46 และ 22 ตามลำดับ ส่วนนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำให้ผลผลิตใกล้เคียงกัน และสูงกว่านาเคมีไม่จัดการน้ำเพียงร้อยละ 5 นา GAP มีการจัดการน้ำให้ผลผลิตต่ำที่สุดและต่ำกว่านาเคมีไม่จัดการน้ำถึงร้อยละ 22 ส่วนผลผลิตในฤดูกาลที่ 2 จากนาทั้ง 6 แบบมีความใกล้เคียงกันโดยมีความแปรผันในการให้ผลผลิตสูงสุดเพียงร้อยละ 3 ยกเว้นกรณีนาเคมีมีการจัดการน้ำให้ผลผลิตต่ำที่สุดโดยให้ผลผลิตต่ำกว่านาเคมีจัดการน้ำร้อยละ 18



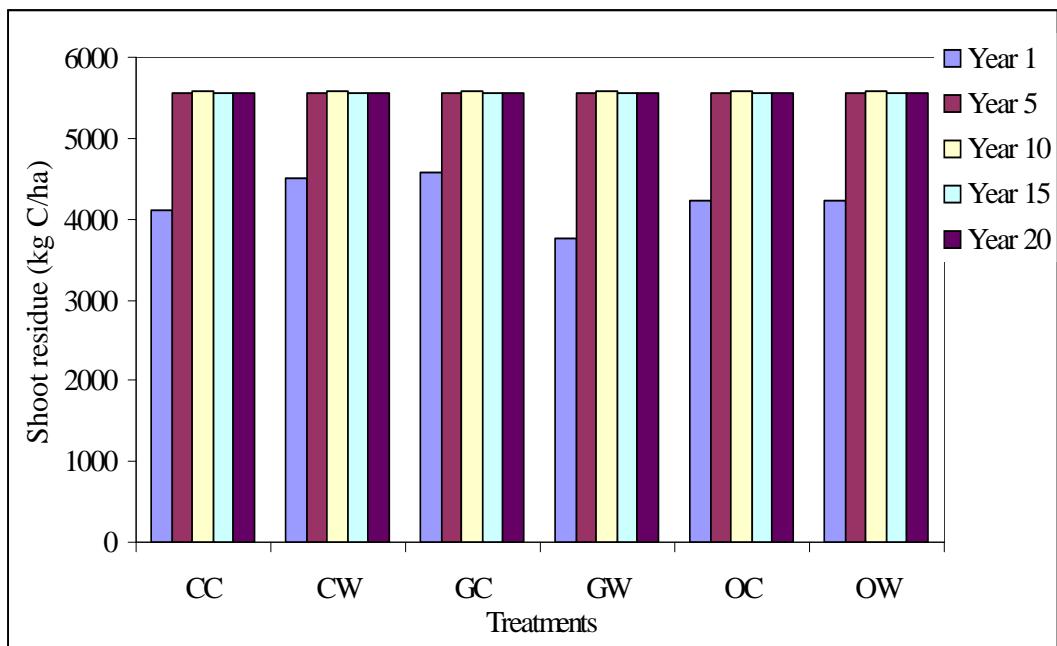
ภาพที่ 41 ปริมาณผลผลิตและตอซังจากการปลูกข้าวในปีที่หนึ่ง (สองฤดูกาลในหนึ่งปี) ในการจัดการนา 6 แบบโดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

การเกิดตอซังและراكในฤดูกาลที่ 1 และ 2 แสดงดังภาพที่ 42 พบว่าการจัดการน้ำมีอิทธิพลต่อปริมาณตอซังและراكไม่ชัดเจน และไม่เป็นไปในรูปแบบเดียวกันในการจัดการนาเคมี กล่าวคือในฤดูกาลที่ 1 นาเคมีมีการจัดการน้ำมีปริมาณตอซังสูงกว่านาเคมีไม่มีการจัดการซึ่งผลดังกล่าวเกิดขึ้นกลับกันในฤดูกาลที่ 2 ซึ่งผลดังกล่าวเกิดขึ้นเช่นเดียวกับการประเมินปริมาณراك แต่การจัดการมีอิทธิพลต่อปริมาณตอซังและراكข้าวในนา GAP และนาอินทรีย์ เป็นไปในทางเดียวกันกล่าวคือการจัดการน้ำทำให้ปริมาณตอซังลดลง แต่ให้ปริมาณراكเพิ่มขึ้น ทั้งสองฤดูกาล (ภาพที่ 42)



ภาพที่ 42 ปริมาณผลผลิตและตอซึ่งจากการปลูกข้าวปีที่หนึ่ง (สองฤดูกาลในหนึ่งปี) จากการจัดการนา 6 แบบ โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

ทั้งนี้การปริมาณตอซึ่งและรากที่ประเมินได้ในระยะเวลาการเพาะปลูก 20 ปี ไม่แตกต่างกันมากนักในการจัดการนาแต่ละแบบ แต่จะเห็นผลความแตกต่างของปริมาณตอซึ่งที่ประเมินได้ในปีแรกของการเพาะปลูกและมีปริมาณต่าที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปีถัดไปของการเพาะปลูก โดยพบว่าปริมาณตอซึ่งในปีที่ 2 ของการประเมินนั้นมีปริมาณตอซึ่งเพิ่มขึ้นจากการประเมินในปีแรก ประมาณร้อยละ 21-47 โดยนา GAP ไม่จัดการน้ำมีปริมาณตอซึ่งเพิ่มขึ้นในอัตราต่าที่สุด คือร้อยละ 21 ส่วนนา GAP จัดการน้ำมีปริมาณตอซึ่งเพิ่มขึ้นสูงที่สุดคือร้อยละ 47 ส่วนนาอินทรีย์มีปริมาณตอซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 31 ทั้งแบบมีการจัดการน้ำและไม่มีการจัดการน้ำ นาเคมีพบว่าการจัดการน้ำทำให้ปริมาณตอซึ่งลดลงร้อยละ 23 ซึ่งน้อยกว่าปริมาณการลดลงของตอซึ่งในนาเคมีไม่จัดการน้ำร้อยละ 12 (ภาพที่ 43) หลังจากนั้นในปีที่ 3 ถึงปีที่ 20 ปริมาณตอซึ่งที่ประเมินได้จากการจัดการนาอยู่ในปริมาณค่อนข้างคงที่



ภาพที่ 43 ปริมาณตอซังจากการปลูกข้าวหนึ่งปี (ผลกระทบของตอซัง 2 ฤดูกาลเพาะปลูก) ในปีที่ 1, 5, 10, 15, และ 20 โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

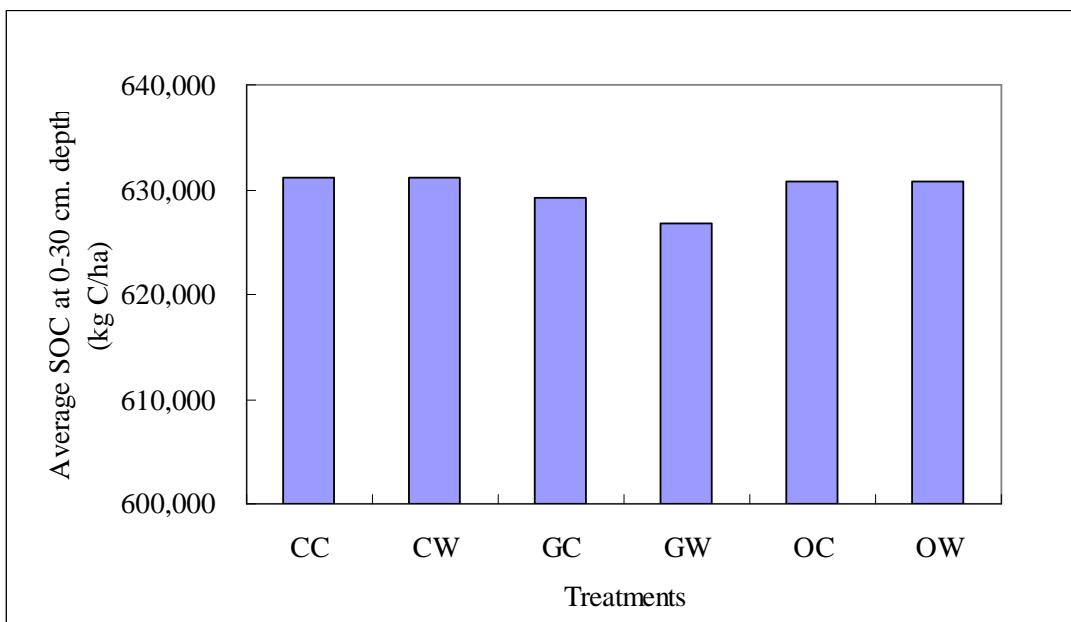
ตารางที่ 26 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ความลึกต่างๆจากการปลูกข้าวจาก การจัดการนา 6 แบบจากการประเมินโดยแบบจำลอง DNDC (kg C/ha) ในการปลูกข้าวสอง ฤดูกาลในปีที่หนึ่ง ปริมาณการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในระดับดินลึก 0-10 ซม. ในทุกการจัดการ นำมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นการทำนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำมีการสะสมอินทรีย์คาร์บอนใน ดินสูงกว่าการจัดการนาแบบอื่นๆ ร้อยละ 35 ส่วนปริมาณการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินลึก 0- 20 ซม. ในทุกรุปแบบของการจัดการนา มีปริมาณไม่แตกต่างกันแต่มีปริมาณการสะสมสูงกว่าที่ ระดับดินลึก 0-10 ซม. เกือบ 1 เท่ายกเว้นกรณีนาอินทรีย์จัดการน้ำซึ่งมีค่าความแตกต่างการ สะสมอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกันในระดับความลึกสองระดับนี้เพียงร้อยละ 30 ในระดับความลึก ที่ 0-30 ซม. ซึ่งระดับความลึกที่เป็นที่เจริญของรากข้าวส่วนใหญ่พบว่ามีการสะสมอินทรีย์ คาร์บอนจากทุกการจัดการนาในปริมาณไม่แตกต่างกัน ยกเว้นการทำ GAP ที่ไม่มีการจัดการ น้ำพบปริมาณการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินต่างกันจากการจัดการนาแบบอื่นๆ ร้อยละ 14 และมี ปริมาณเท่ากับการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับ 0-90 ซม. ซึ่งพบการสะสมอินทรีย์คาร์บอน ในทุกการจัดการนา มีปริมาณไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 26 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ความลึกต่างๆจากการปลูกข้าวจากการจัดการนา 6 แบบจากการประเมินโดยแบบจำลอง DNDC (kg C/ha) ในการปลูกข้าวสองฤดูกาล ในปีที่หนึ่ง

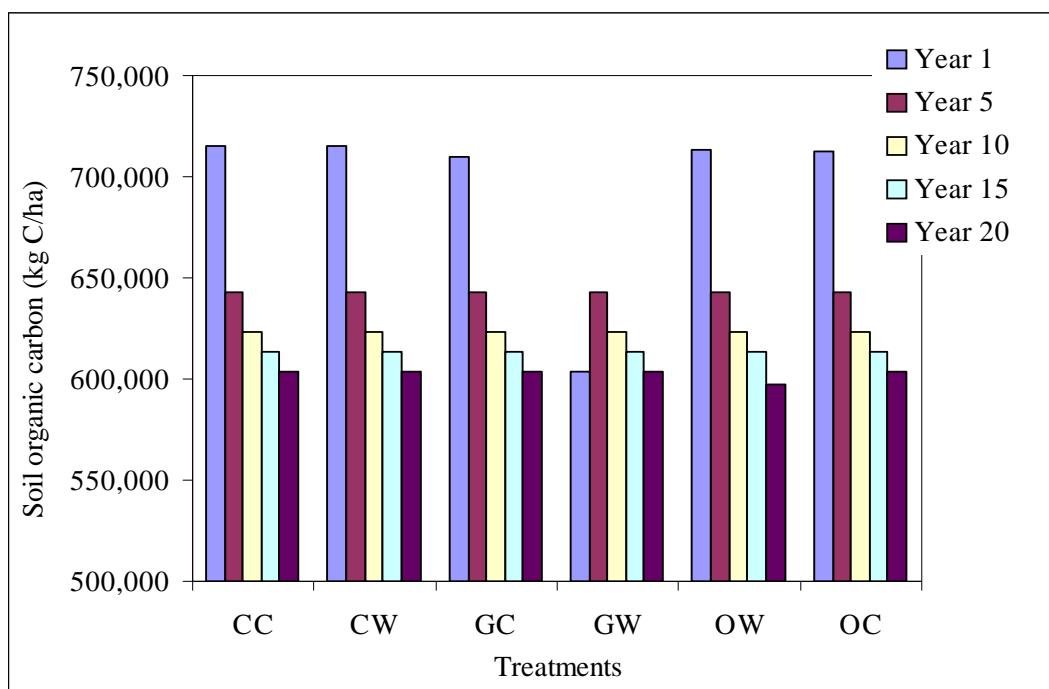
ระดับความลึกของดิน (ซม.)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (kg C/ha)					
	เคมี-ไม่มีจัดการ	เคมี-มีจัดการ	GAP-ไม่มีจัดการ	GAP-มีจัดการ	อินทรีย์-ไม่มีจัดการ	อินทรีย์-มีจัดการ
0-10	281,792	281,881	277,432	278,692	380,907	281,541
0-20	557,609	557,771	552,174	553,095	556,253	555,358
0-30	714,844	715,052	709,844	603,861	713,403	712,540
0-90	822,119	822,358	817,393	817,928	820,627	819,712

ค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ได้จากการประเมินในระยะเวลา 20 ปี โดยใช้แบบจำลองแสดงดังภาพที่ 44 การจัดการนาทั้ง 6 แบบนั้นมีปริมาณการสะสมคาร์บอนเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือประมาณ 630 Ton C/ha ยกเว้นกรณี GAP มีจัดการนำมีปริมาณการสะสมคาร์บอนเฉลี่ย 20 ปี สูงกว่าการจัดการนารูปแบบคือมีค่าเฉลี่ย 626 Ton C/ha ซึ่งค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรีย์คาร์บอนนี้สอดคล้องกับผลรวมการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในระยะเวลา 20 ปี โดยผลรวมการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินรวมในระยะเวลา 20 ปี ของการประเมินมีค่าประมาณ 12,620 Ton C/ha และปริมาณต่ำสุดที่พบในการจัดการนา GAP มีจัดการนำมีปริมาณ 12,535 Ton C/ha ทั้งนี้พบว่าการจัดการนำมีอิทธิพลต่อการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (เพียงร้อยละ 0.01) ยกเว้นกรณีการทำนา GAP นั้นพบว่าการจัดการนำมีต่อการลดการสะสมคาร์บอนในดินร้อยละ 0.39

การประเมินการสะสมคาร์บอนในดินในช่วงเวลา 20 ปี ของการเพาะปลูกในพื้นที่ศึกษาโดยแต่ละปีมีการจัดการนารูปแบบเดิม การเขตกรรมแบบเดิม พบว่าปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินนาที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรในการจัดการนาแต่ละแบบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่าการจัดการนา GAP ไม่จัดการนำเกิดการสะสมคาร์บอนในดินน้อยกว่านาแบบอื่นๆ ร้อยละ 15 ในทุกช่วงปีที่ประเมิน (ภาพที่ 45) ส่วนนา GAP ที่มีการจัดการนำนั้นเกิดการสะสมคาร์บอนในดินน้อยกว่าการจัดการนาแบบเคมีร้อยละ 1 และผลการประเมินการสะสมคาร์บอนในดินนาในปีแรกมีค่าสูงกว่าปีถัดไป และต่ำที่สุดในปีที่ 20 ซึ่งเป็นปีสุดท้ายของการประเมิน ทั้งนี้เนื่องจาก การประเมินพบว่าการสะสมเศษชากวัสดุเศษเหลือจากการทำนามีค่าสูงในปีแรก ลดลงในปีที่ 2 และปีที่สาม จากนั้นการสะสมเศษชากวัสดุเศษเหลืออยู่ในปริมาณคงที่ตลอดระยะเวลาในการประเมิน 20 ปี (ข้อมูลไม่แสดง) และในการประเมินไม่มีการใส่ธาตุอาหาร ไม่มีการเพิ่มปริมาณการใส่ปุ๋ยเพื่อเป็นการบำรุงดินเพิ่ม จึงทกให้ผลการประเมินการสะสมคาร์บอนลดลง



ภาพที่ 44 ค่าเฉลี่ยปริมาณการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินในระยะเวลา 20 ปี (โดยมีการเพาะปลูกสองฤดูกาลในหนึ่งปี) จากการจัดการนา 6 แบบ โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ



ภาพที่ 45 ปริมาณการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินในนาในปีที่ จากการปลูกข้าวปีที่ 1, 5, 10, 15, และ ปีที่ 20 (โดยมีการเพาะปลูกสองฤดูกาลในหนึ่งปี) จากการจัดการนา 6 แบบ โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

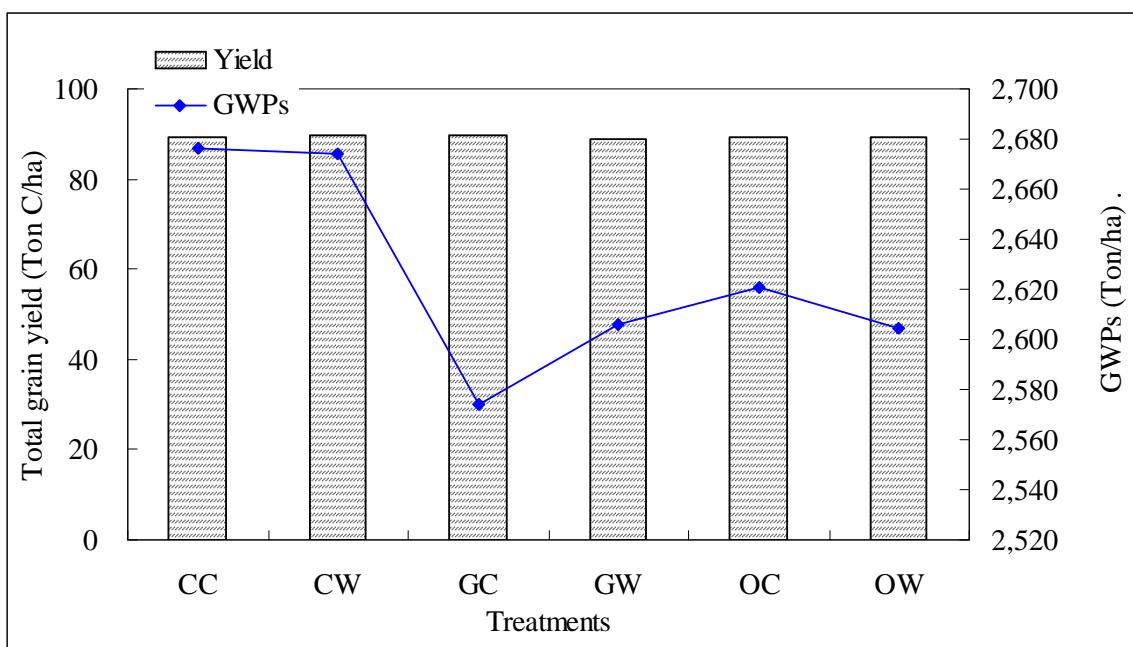
ตารางที่ 27 ผลผลิตและค่า GWP_s ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบ พบว่าค่า GWP_s ต่ำที่สุดในการประเมินครั้งนี้พบในนา GAP ไม่มีการจัดการน้ำ (2,574 Ton/ha/yr) ค่า GWP_s สูงสุดประเมินได้จากการณีการจัดการนาแบบเคมีไม่มีการจัดการน้ำ (2,676 Ton/ha/yr) ซึ่งสูงกว่าค่า GWP_s ต่ำสุดร้อยละ 6 ค่า GWP_s จากนาอินทรีย์จัดการน้ำมีค่าใกล้เคียงกับนา GAP มีจัดการน้ำคือ 2,604 และ 2,605 Ton/ha/yr ตามลำดับจากการประเมินสามารถสรุปได้ว่าการจัดการน้ำสามารถลดค่า GWP_s จากการจัดการนาแบบเคมี และนาอินทรีย์ได้เล็กน้อยประมาณร้อยละ 0.1 และ ร้อยละ 0.6 ตามลำดับ ส่วนนา GAP นั้นพบว่าการจัดการน้ำทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่านา GAP ไม่มีการจัดการน้ำจึงทำให้ค่า GWP_s สูงกว่าประมาณร้อยละ 1

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณผลผลิตและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม (พิจารณาค่า GWP_s) ของการจัดการนาทั้ง 6 แบบ (ภาพที่ 46) สามารถสรุปได้ว่าการจัดการน้ำมีอิทธิพลต่อการลดปริมาณผลผลิตและค่า GWP_s เล็กน้อย กล่าวคือการทำนาเคมีหากมีการจัดการน้ำในแปลงนาทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.4 และสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยรวมลงร้อยละ 1 (ค่า GWP_s ลดลงร้อยละ 1) ส่วนการทำนาแบบ GAP นั้นพบว่าการจัดการน้ำทำให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 0.7 และสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยรวมลงร้อยละ 1 (ค่า GWP_s ลดลงร้อยละ 1) และการประเมินครั้งนี้พบว่าการจัดการน้ำในนาอินทรีย์ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต แต่สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยรวมลงร้อยละ 1 (ค่า GWP_s ลดลงร้อยละ 1) เช่นเดียวกับนาเคมีและนา GAP ทั้งนี้การประเมินการปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ในระยะเวลา 20 ปีในการศึกษาครั้งนี้พบว่านาเคมีมีการจัดการน้ำปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสองชนิดสูงกว่านาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการเก็บตัวอย่างจากภาคสนาม (ตารางที่ 25)

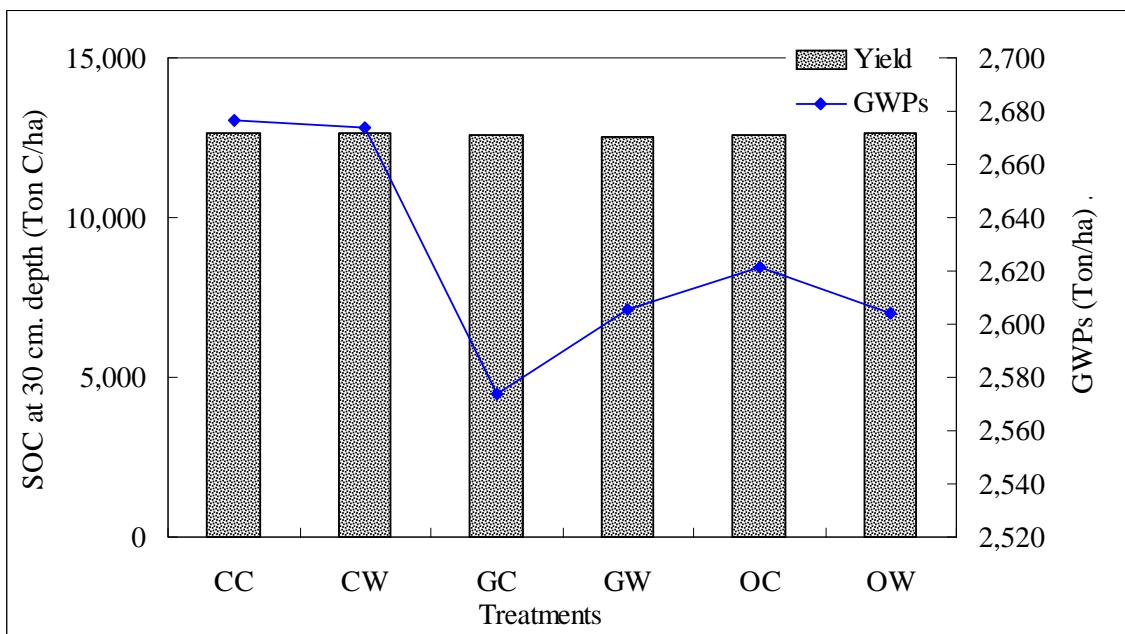
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 30 ซม. และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม (พิจารณาค่า GWP_s) ของการจัดการนาทั้ง 6 แบบ (ภาพที่ 47) สามารถสรุปได้ว่าการจัดการน้ำมีอิทธิพลต่อการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินชั้ดเจนในกรณีการทำนาแบบ GAP เท่านั้นโดยการจัดการน้ำในนา GAP ทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์คาร์บอนลดลงร้อยละ 0.4 ส่วนในนาเคมีและนาอินทรีย์ไม่พบความแตกต่างน้อยมาก

ตารางที่ 27 ผลผลิต อินทรีย์คาร์บอนที่สะสมในดินและ GWP_s จากการจัดการนา 6 แบบจากการประเมินโดยแบบจำลอง DNDC ในระยะเวลา 20 ปี (โดยมีการเพาะปลูก 2 ฤดูกาลใน 1 ปี)

การจัดการนา	ผลผลิต (kg C/ha) ฤดูกาลที่ 1	ผลผลิต (kg C/ha) ฤดูกาลที่ 2	อินทรีย์คาร์บอน ระดับ 0-30 ซ.ม. (kg C/ha)	มีเทน (kg C/ha/yr)	ไนโตรส ออกไซด์ (g N/ha/year)	คาร์บอนได ออกไซด์ (kg C/ha/year)	GWP _s (kg/ha/year)
เคมี-ไม่มีจัดการนำ	44,549	44,761	12,622,566	86,803	2,527.03	505,757	2,676,585.05
เคมี-มีจัดการนำ	45,218	44,423	12,623,237	86,884	2,560.48	501,135	2,673,998.02
GAP-ไม่มีจัดการนำ	44,857	44,817	12,584,879	82,725	3,333.72	504,937	2,574,055.45
GAP-มีจัดการนำ	44,219	44,794	12,535,565	84,065	3,018.44	503,045	2,605,569.50
อินทรีย์-ไม่มีจัดการนำ	44,622	44,787	12,614,313	84,865	2,752.58	498,655	2,621,100.27
อินทรีย์-มีจัดการนำ	44,622	44,787	12,617,094	84,073	2,752.58	501,496	2,604,141.27



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลผลิตและค่า GWP_s ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบ โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ



ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมปริมาณอินทรีย์ carbon ในดินและค่า GWP_s ประเมินจากการใช้แบบจำลอง DNDC จากการจัดการนา 6 แบบ โดย CC คือนาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ CW คือ นาเคมีมีการจัดการน้ำ GC คือ นาแบบ GAP ไม่มีการจัดการน้ำ GW คือนาแบบ GAP มีการจัดการน้ำ OC คือนาอินทรีย์ไม่มีการจัดการน้ำ และ OW คือนาอินทรีย์มีการจัดการน้ำ

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการสะสอในที่ว่างบ่อนในดินจากการจัดการนาทั้ง 6 แบบในระยะเวลา 20 ปี โดยอาศัยแบบจำลอง สามารถสรุปได้ว่านาเคมีทำให้เกิดการสะสอในที่ว่างบ่อนในดินสูงที่สุด (ในการนี้นาเคมีมีการจัดการน้ำ) และได้ผลผลิตจากการเพาะปลูกในปริมาณสูง แต่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเช่นกัน (นาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ) ส่วนนาอินทรีย์ให้ปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกับการทำนาแบบเดิม (นาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ) และมีปริมาณการสะสอในที่ว่างบ่อนลดลงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.06) แต่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 2 อิทธิพลของการจัดการน้ำแสดงให้เห็นชัดเจนในการจัดการนาแบบ GAP การจัดการน้ำทำให้การสะสอในที่ว่างบ่อนในดินลดลงประมาณร้อยละ 0.4 และผลผลิตลดลงร้อยละ 0.7 แต่ทำให้ค่า GWP_s สูงขึ้นร้อยละ 1.2

ผลจากการประเมินชี้งสอดคล้องกับข้อมูลภาคสนามซึ่งให้เห็นว่านาอินทรีย์ที่มีการจัดการน้ำเป็นวิธีการจัดการนาที่เหมาะสมในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน (การสะสอในที่ว่างบ่อนในพื้นที่สูง) รักษาปริมาณผลผลิตที่ได้รับ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม ส่วนนา GAP ที่ไม่มีการจัดการน้ำเป็นอีกทางหนึ่งของการจัดการนาที่นำสู่ใจเนื่องจากให้ผลผลิตสูง (มากกว่าการทำนาเคมีแบบไม่มีการจัดการน้ำ) และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมได้มาก เมื่อเทียบกับการทำนาแบบเดิม (นาเคมีไม่มีการจัดการน้ำ)

5. ข้อเสนอการจัดการเกษตรที่ลดก๊าซเรือนกระจกจากการศึกษา

ภาคเกษตรกรรมมีบทบาทในการเป็นแหล่งลดก๊าซเรือนกระจกได้ โดยสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตร เวทีการประชุมระหว่างประเทศเพื่อจัดทำกรอบใหม่ในการจัดการสภาพภูมิอากาศหลังปี ค.ศ. 2012 มีการพิจารณาภาคเกษตรกรรมในหัวข้อการลดก๊าซเรือนกระจกรายสาขา (Cooperative sectoral approach and sector-specific actions) และอาจเกี่ยวโยงถึงหัวข้อการดำเนินงานเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย (Nationally appropriate mitigation actions by developing countries หรือ NAMAs) โดยมีแนวทางส่งเสริมการเกษตรยั่งยืน หากแต่ปัจจุบันประเทศไทยไม่มีมาตรการส่งเสริมการเกษตรที่ลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวที่ชัดเจน

งานศึกษานี้ได้ประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรต่างๆ ได้แก่ เกษตรอินทรีย์ เกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) และนาเคมีทั่วไป โดยดำเนินการร่วมกับการจัดการน้ำ (การระบายน้ำกลางถูกปลูกข้าว) เพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจกำหนดแนวทางหรือกิจกรรมการลดก๊าซเรือนกระจกของนาข้าวที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ผลการศึกษาจากภาคสนามและผลการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง DNDC ในเชิงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การกักเก็บคาร์บอนในดิน ผลผลิตข้าว และผลทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า:

(1) นาอินทรีย์ส่งเสริมการสะสมคาร์บอนในดินได้ดี และต้องดำเนินการควบคู่กับการจัดการน้ำเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

(2) นาแบบ GAP ทั้งที่มีและไม่มีการจัดการน้ำไม่มีผลมากนักต่อการสะสมคาร์บอนในดิน การลดก๊าซเรือนกระจก และผลผลิตข้าว เมื่อเทียบกับนาเคมีอ้างอิง (ที่มีการขังน้ำตลอด) แต่เป็นแนวทางเกษตรที่ลดการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีการเกษตรอื่นๆ

(3) การจัดการน้ำในนาเคมีช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ แต่ต้องระวังผลที่มีต่อผลผลิตข้าว ซึ่งนาเคมีที่จัดการน้ำในงานศึกษานี้ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง

ดังนั้น งานศึกษานี้สรุปเบื้องต้นได้ว่าการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำและการเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้มีค่าใกล้เคียงกับนาเคมีอ้างอิง และยังส่งเสริม/รักษาการกักเก็บคาร์บอนในดินนาได้ ส่วนการทำนาเคมีช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่มีผลต่อผลผลิตข้าว จึงควรศึกษาเพิ่มเติมให้ได้ข้อมูลในประเด็นนี้ที่ชัดเจนขึ้น ทั้งนี้ งานศึกษาทำการเปรียบเทียบวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวเพียงวิธีการเดียว คือ การจัดการน้ำ เพราะเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ และเปรียบเทียบเฉพาะรูปแบบปลูกข้าว 3 แบบ (นาเคมี นาแบบ GAP และนาอินทรีย์) เท่านั้น ในขณะที่พื้นที่ปลูกข้าวอื่นอาจมีรูปแบบการปลูกข้าว คุณลักษณะดิน และสภาพภูมิอากาศที่หลากหลายกว่านี้ ด้วยเหตุนี้ จึงได้เพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับข้อจำกัดของงานศึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆไว้ในส่วนต่อไป

นอกจากประเด็นการลดก้าชเรือนกรจากแล้ว การดำเนินการตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ยังเป็นแนวทางที่นำส่งเสริมเพราระยังมีข้อดีในด้านอื่นร่วมด้วย (co-benefit) โดยการใช้ปุ๋ยและวัสดุธรรมชาติ และการไม่ใส่สารเคมีการเกษตรมีผลดีโดยตรงต่อสุขภาพอนามัยของผู้ผลิตและผู้บริโภค และมีผลต่อคุณภาพดินในพื้นที่ศึกษาที่พบว่านาอินทรีย์มีความอุดมสมบูรณ์ดินที่ดีกว่านาที่ใช้ปุ๋ยเคมีต่อนึอง อีกทั้งผลผลิตการเกษตรที่ได้มีคุณภาพที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (เรียกว่า premium grade) ทำให้ได้ราคาสูงกว่าผลผลิตทั่วไป (มีราคาย่อมถูก) ส่วนการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ช่วยลดปริมาณปุ๋ยและลดสารเคมีเกษตรที่ใช้ในนา ซึ่งมีผลดีทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์ สุขภาพอนามัย และสิ่งแวดล้อมเช่นกัน

โดยสรุป เมื่อพิจารณาในแง่การปล่อยก้าชเรือนกรจากและการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าว ผลการศึกษานี้สนับสนุนว่าการเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำและการเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ในพื้นที่ปลูกข้าวเป็นแนวทางที่ส่งเสริมได้ในการบรรเทาปัญหาโลกร้อน

6. ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะของงานศึกษา

งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาแนวทางลดการปล่อยก้าชเรือนกรจากเฉพาะในส่วนการจัดการน้ำ โดยเป็นวิธีการที่เลือกใช้ในงานศึกษานี้ เพราะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก้าชเรือนกรจากที่รายงานไว้ในงานศึกษาที่เกี่ยวข้อง หากแต่วิธีการลดก้าชเรือนกรจากนาข้าวสามารถดำเนินการได้อีกหลายวิธี เช่น การจัดการปุ๋ย (ชนิดปุ๋ยที่ใช้) และการจัดการเศษวัสดุอินทรีย์ การปรับปรุงหรือคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่ลดการปล่อยก้าชเรือนกรจาก เป็นต้น ทั้งนี้ งานศึกษานี้ยังต้องการทราบความเป็นไปได้ในการส่งเสริมการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรเชิงอนุรักษ์ เพื่อลดการปล่อยก้าชเรือนกรจากและส่งเสริมการสมควรบอนในดินแทนการปลูกข้าวแบบนาเคมีทั่วไป โดยงานศึกษานี้เลือกศึกษาเฉพาะการเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) และเกษตรอินทรีย์ เพราะรูปแบบการปลูกข้าวทั้งสองนี้อาจช่วยลดก้าชเรือนกรจากได้ เช่น นาแบบ GAP จะลดก้าชในตัวสอดไช้จากการใส่ปุ๋ยเคมีที่ลดลง และนาอินทรีย์จะส่งเสริมการสมควรบอนในดินได้ดี เพราะมีการเพิ่มปุ๋ยอินทรีย์ในพื้นที่ปลูกข้าวทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี เพราะฉะนั้น ผลการศึกษานี้จึงพอสรุปได้เฉพาะการเปรียบเทียบ (1) วิธีลดก้าชเรือนกรจากในนาข้าวด้วยการจัดการน้ำ และ (2) รูปแบบการปลูกข้าว (นาเคมี นาแบบ GAP และนาอินทรีย์)

ด้วยเหตุนี้ การประยุกต์ใช้ผลการศึกษาหรือขยายผลสามารถทำได้โดยพิจารณาข้อจำกัดที่กล่าวแล้ว คือ การพิจารณาเฉพาะวิธีการลดก้าชเรือนกรจากด้วยการจัดการน้ำ และรูปแบบการเกษตร 3 รูปแบบที่สนใจ ส่วนการนำผลการศึกษาไปใช้ในประเด็นเจรจาโลกร้อนและการปรับตัวของเกษตรกร อาจอ้างอิงผลการศึกษาได้ภายใต้ข้อจำกัดเหล่านี้ เช่นกัน และหากจำเป็นควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ครอบคลุมประเด็นอื่นที่อาจมีผลต่อการกำหนดแนวทางหรือวิธีการลดก้าชเรือนกรจากพื้นที่ปลูกข้าวที่มีศักยภาพมากยิ่งขึ้น โดยข้อจำกัดในการนำผลการศึกษาไปขยายผลหรือนำไปประยุกต์ใช้ เช่น

- งานศึกษาดำเนินการบนพื้นที่ศึกษาในระดับแปลงทดลองเพียง 1 แห่ง จึงอาจยังไม่ครอบคลุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวของพื้นที่ต่างๆ ในประเทศ เช่น เนื้อดิน สภาพภูมิอากาศ รูปแบบการเกษตรหรือกิจกรรมการเกษตรที่นิยมในพื้นที่
- ดำเนินการศึกษาในระยะเวลาสั้นๆ (1 ปี) ซึ่งอาจยังไม่ครอบคลุมความผันแปรของฤดูกาล เพาะปลูกข้าวที่บางปีอาจน้ำมากหรือน้ำน้อย และการศึกษาผลของวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกที่ดำเนินการศึกษาเพียงครั้งเดียวอาจยังไม่เห็นผลที่ชัดเจน ต้องทำการศึกษาในพื้นที่เดิมซ้ำๆ เพื่อให้ทราบผลในระยะยาว
- ทำการศึกษาเฉพาะวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกที่สนใจ คือ การจัดการน้ำ (การระบายน้ำ กลางฤดูปลูกข้าว 1 ครั้ง) และเปรียบเทียบรูปแบบการทำนา 3 วิธี (นาเคมี นาแบบ GAP และนาอินทรีย์) ในขณะที่วิธีการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวมีแนวทางที่เสนอหลากหลายวิธีจากการศึกษาที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจเพิ่มเติมการศึกษาในวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เช่น การปรับชนิดปุ๋ยเคมี การจัดการวัสดุอินทรีย์ในแปลงนา เป็นต้น
- ผลการคาดการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการกักเก็บคาร์บอนต้องปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการคาดการณ์มากยิ่งขึ้นและไม่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากแปลงทดลอง หรือเก็บข้อมูลจากพื้นที่ปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม การดำเนินการปรับปรุงแบบจำลองจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือกับนักวิจัยที่พัฒนาแบบจำลอง DNDC นี้ จึงจะสามารถดำเนินการในส่วนนี้ได้

ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ จึงควรรวบรวมข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่ปลูกข้าวหลักของประเทศไทย เก็บตัวอย่างแปลงทดลองเพิ่มในเชิงจำนวนแปลงทดลองและการกระจายตัวในพื้นที่ปลูกข้าวหลักของประเทศไทย รูปแบบการปลูกข้าวและแนวทางลดก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพมากขึ้น และอาจเพิ่มระยะเวลาในการศึกษา หรือปรับปรุงผลการคาดการณ์จากแบบจำลองที่ใช้ให้สามารถประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แม่นยำขึ้น และต้องการข้อมูลสำหรับแบบจำลองเพิ่มเพื่อให้สามารถขยายผลการคาดการณ์ให้ครอบคลุมพื้นที่ปลูกข้าวในระดับจังหวัดหรือประเทศที่ถูกต้องและแม่นยำ การดำเนินการเหล่านี้จะช่วยเพิ่มความมั่นใจในการนำผลการศึกษาไปสู่ข้อสรุปและข้อเสนอแนะในการส่งเสริมการปลูกข้าวที่ลดก๊าซเรือนกระจกที่อาจใช้ในการกำหนดมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตรในระดับประเทศหรือในเวทีเจรจาโลกร้อนได้

7. สรุปผล

(1) ผลจากการศึกษาในภาคสนาม

งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าว โดยเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบนา (เกษตรอินทรีย์ เกษตรดีที่เหมาะสม และนาเคมีทั่วไป) รวมกับการจัดการน้ำ และดำเนินการศึกษาการปลูกข้าว 2 รอบ รวมเป็นเวลา 1 ปี ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบการปลูกข้าว 3 แบบที่มีชนิด ปริมาณ และเวลาการใช้ปุ๋ยต่างกัน ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนโตรโซอิกไซด์ที่แตกต่างกัน นาอินทรีย์ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่สูง ซึ่งเป็นเพราะอินทรีย์ติดในปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ช่วยส่งเสริมการผลิตมีเทนในแปลงนา เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงนาที่ใช้ปุ๋ยเคมี การลดปริมาณปุ๋ยและไก่กลบปุ๋ยลงดินในนาแบบ GAP ทำให้มีการปล่อยก๊าซในตรัสถอกไซด์ที่ต่ำกว่านาเคมีและนาอินทรีย์ แต่ปริมาณก๊าซในตรัสออกไซด์ในค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) มีสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับการปล่อยก๊าซมีเทนในงานศึกษานี้ การจัดการน้ำที่มีการระบายน้ำกลางๆ ติดกับปุ๋ยมีผลช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ โดยเฉพาะนาอินทรีย์ ซึ่งทำให้นาอินทรีย์ที่ระบายน้ำกลางๆ ติดกับปุ๋ยมีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนที่ใกล้เคียงกับนาเคมีทั่วไปและนาแบบ GAP แม้ว่าการระบายน้ำทำให้ก๊าซในตรัสถอกไซด์ถูกปล่อยเพิ่มขึ้นสำหรับทุกรูปแบบนาที่ศึกษา

การพิจารณาศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินนาตามอดปีที่ศึกษา โดยเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณบัญชีcarbon ในดิน พบร่วมกับรูปแบบนาที่มีการสะสมcarbon ในดินได้ดีมีลำดับดังนี้ คือ นาอินทรีย์ > นาแบบ GAP > นาเคมี ในขณะที่การระบายน้ำกลางๆ ติดกับปุ๋ยมีผลที่น้อยกว่ารูปแบบนาในการสะสมcarbon ในดิน การที่นาอินทรีย์สะสมcarbon ในดินได้ดีเป็นเพราะcarbon ที่ใส่ในดินจากปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณมากพอในการลดcarbon ในดินที่สูญเสียจากดินในรูปของก๊าซมีเทนและcarbon ในดินได้โดยออกไซด์ และผลที่ได้นี้สอดคล้องกับปริมาณcarbon อินทรีย์ในดินที่ได้จากการวัดจริงในพื้นที่ศึกษาที่พบว่านาอินทรีย์ที่ดำเนินการมากกว่า 9 ปี มีปริมาณcarbon ในดินสูงกว่านาที่ใช้ปุ๋ยเคมีคิดเป็นร้อยละ >21 ส่วนนาแบบ GAP มีการสะสมcarbon ในดินที่มากกว่านาเคมี เพราะปริมาณมวลชีวภาพของต้นข้าวที่คงค้างในดินที่มากกว่านั้นเอง แม้ว่ายังไม่สามารถตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของปริมาณcarbon อินทรีย์ในดินของนาแบบ GAP โดยตรงในเวลาสั้นๆ ที่ศึกษาได้อย่างไรก็ตาม ค่า GWP ของบัญชีcarbon ในดินนาที่ศึกษาแสดงว่าการปลูกข้าวในลักษณะนี้ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน แต่นาอินทรีย์ที่มีการจัดการน้ำและนาแบบ GAP ช่วยลดหรือให้ค่าที่ใกล้เคียงกับนาเคมีที่ข้างต่อไปได้

ผลจากการศึกษาในภาคสนามนี้สนับสนุนว่าการทำนาอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการกักเก็บcarbon ในดินได้ ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยเพิ่มการสะสมcarbon ในดินนาได้ดี ในขณะที่การระบายน้ำช่วยบรรเทาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวอินทรีย์ ส่วนการปลูกข้าวตามแนวเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ช่วยส่งเสริมการสะสมcarbon ในดินได้มากกว่านาเคมีทั่วไปเล็กน้อย แต่ไม่มีผลมากนักต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เมื่อเปรียบเทียบ

กับนาเคมีทั่วไป ทั้งนี้นาเคมีที่มีการจัดการนำสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพื้นที่ป่าลุกข้าว ได้ดี แต่ไม่ช่วยสมควรบอนในดิน อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและผลตอบแทนการปลูกข้าว จึงควรศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนขึ้น

(2) ผลจากการศึกษาจากแบบจำลอง

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวและการสะสมคํารบอนในดินโดยใช้แบบจำลอง DNDC สรุปได้ว่านาเคมีทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์คํารบอนในดินสูงที่สุด (ในกรณีนาเคมี มีการจัดการน้ำ) และได้ผลผลิตจากการเพาะปลูกในปริมาณสูง แต่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเช่นกัน ส่วนนาอินทรีย์ให้ปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกับการทำนาแบบเดิม และมีปริมาณการสะสมอินทรีย์คํารบอนลดลงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.06) แต่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 2 อิทธิพลของการจัดการนำ้ဆดงให้เห็นชัดเจนในการจัดการทำนาแบบ GAP ซึ่งการจัดการนำ้ทำให้การสะสมอินทรีย์คํารบอนในดินลดลงประมาณร้อยละ 0.4 และผลผลิตลดลงร้อยละ 0.7 แต่ทำให้ค่า GWP_s สูงขึ้นร้อยละ 1.2

ผลจากการประเมินด้วยแบบจำลองให้ผลที่สอดคล้องกับข้อมูลภาคสนาม โดยชี้ให้เห็นว่านาอินทรีย์ที่มีการจัดการนำ้เป็นวิธีการจัดการนาที่เหมาะสมในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน (การสะสมคํารบอนอินทรีย์ในพื้นที่สูง) รักษาปริมาณผลผลิต และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม ส่วนนา GAP ไม่มีการจัดการนำ้เป็นอีกทางหนึ่งของการจัดการทำนาที่นำเสนอฯ เนื่องจากให้ผลผลิตสูง (มากกว่าการทำนาเคมีแบบไม่มีการจัดการนำ้) และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม ได้มากเมื่อเทียบกับการทำนาแบบดั้งเดิม (นาเคมีไม่มีการจัดการนำ้)

(3) ข้อเสนอรูปแบบการเกษตรในพื้นที่ป่าลุกข้าวที่เหมาะสมจากการศึกษา

ผลการศึกษานี้สนับสนุนว่าการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการจัดการนำ้และแนวทางเกษตรดีที่เหมาะสม เป็นแนวทางที่ดีในการบรรเทาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการสะสมคํารบอนในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว, (มปป), เอกสารสนับสนุนระบบการจัดการคุณภาพ GAP : ข้าว, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมการข้าว, (2553), องค์ความรู้เรื่องข้าว: ปทุมธานี 1, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา:

http://www.brdd.in.th/rkb/data_002/a2/rice_xx2-03_ricebreed_Pathum_Thani_1.html.

กรมพัฒนาที่ดิน, (2552), ฐานข้อมูลเกษตรกรที่ทำเกษตรอินทรีย์/ลดใช้สารเคมี, แหล่งที่มา: <http://o-agriculture.ldd.go.th/ldd/memBioNotReadyGroup>.

กรมพัฒนาที่ดิน, (2552), ภาวะโลกร้อนกับฐานข้อมูลด้านไฟไหม้ในพื้นที่เกษตรกรรม, แหล่งที่มา:

http://www.ldd.go.th/web_ord/hotsport/index.html.

กรมพัฒนาที่ดิน, (2552), สรุปประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2549/50, แหล่งที่มา:

http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_osl/luse/pdf/classified_thailand49-50_f.pdf.

นิวัติ เจริญศิลป์, (2540), การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ก้าzmีเทนจากนาข้าว, เอกสารทางวิชาการ, ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี กรมวิชาการเกษตร, อ้างถึงใน พัชรีและสิริธร (2548), แก่นเกษตร, ฉบับที่ 33(2), หน้าที่ 83-94.

ประไพร ชัยโรจน์ และ Katoh, K., (2542), ผลของฟางข้าวต่อการเกิดและปลดปล่อยก้าzmีเทนจากนาข้าว, วารสารวิชาการเกษตร, ฉบับที่ 17(2), หน้าที่ 160-166.

ประไพร ชัยโรจน์, บรรษา คุณนาที และ จัตุรงค์ พิพัฒน์พิริยานันท์. 2547. ผลของฟอสฟอยปัตซัมต่ออัตราการปลดปล่อยก้าzmีเทนจากนาข้าว, วารสารดินและปุ๋ย, ฉบับที่ 26(3), หน้าที่ 97-106.

ประไพร ชัยโรจน์, วิศิษฐ์ โซลิตกุล, Katoh, K., Tsuruta, H., Yagi, K. and Minami, K., (2540), การปลดปล่อยก้าzmีเทนจากนาข้าว, วารสารดินและปุ๋ย, ฉบับที่ 19, หน้าที่ 85-94.

พัชรี แสนจันทร์ และ ชนะ ศรีสมgar, (2547), ผลตอบแทนการผลิตข้าวจากนาที่มีการลดการปล่อยก้าzmีเทน, วารสารเกษตร, ฉบับที่ 20(3), หน้าที่ 259-271.

พัชรี แสนจันทร์ และ สิริธร คอมน์พิพยรัตน์, (2548), การจัดการนาข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดการปล่อยก้าzmีเทน, แก่นเกษตร, ฉบับที่ 33(2), หน้าที่ 83-94.

พัชรี แสนจันทร์, กัลยกร ໂປรັງຈັນທີກີ, และ ดวงสมร ตุลาพิทักษ์, (2551a), การใช้วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวอินทรีย์ที่มีการลดก้าzmีเทน, วารสารวิจัย มข., ฉบับที่ 13(1), หน้าที่ 114-125.

พัชรี แสนจันทร์, วุฒิชัย จันทรสมบัติ, และ ชนะ ศรีสมgar, (2547), การเพิ่มผลผลิตข้าวนาหวานนำตามภายใต้การจัดการนาและปุ๋ยเคมีเพื่อลดก้าzmีเทน และเปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ, ว. สงขลานครินทร์ วทก., ฉบับที่ 26(6), หน้าที่ 795-806.

พัชรี แสนจันทร์, อัจฉราวดี เครือภักดี และ ดวงสมร ตุลาพิทักษ์, (2551b), ผลผลิตข้าว การสะสมควร์บอน และศักยภาพของการเกิดก้าzmีเทนในเดือนนาที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวและลดการไก่พรวน, แก่นเกษตร, ฉบับที่ 36, หน้าที่ 11-22.

พิมพันธ์ เจมสวัสดิพงษ์, อรรถศิษฐ์ วงศ์ณัทโรจน์, ลัծดาวัลย์ ธรรมนุช, นิวัติ เจริญศิลป์, ประไพร ชัยโรจน์ และ บรรษา คุณนาที, (2545), รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการการปล่อยออกซิเจนก้าzmีเทนจากนาข้าวในประเทศไทย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ภาควิชาระบบทดลองและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, (2553), แนวทางการผลิตข้าวให้ถูกต้องและเหมาะสม, แหล่งที่มา:

[http://pirun.ku.ac.th/~b4601106/\(Good%20Agricultural%20Practice%20\(GAP\)%20for%20Rice\).html](http://pirun.ku.ac.th/~b4601106/(Good%20Agricultural%20Practice%20(GAP)%20for%20Rice).html)

- มนตรี แสวงวังศี, พัชรี แสวงจันทร์, สุรศักดิ์ เสรีพงษ์, และ ชุลีมาศ บุญไทย อิ瓦ຍ, (2548) การเพิ่มผลผลิตข้าวและลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการจัดการน้ำในนาชลประทาน, วารสารวิจัย นข. (บศ.), ฉบับที่ 5(2), หน้าที่ 36-46.
- วิญญาณ์ ปัญญาภูล, (2545), คู่มือการผลิต-การจัดการ ข้าวหอมมะลิอินทรีย์, มูลนิธิสายใยแผ่นดิน, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์แมล็ดพันธุ์ข้าวแพร์, (2553), ระบบการผลิตข้าว GAP, แหล่งที่มา: <http://pre-rsc.ricethailand.go.th/rfsc/GAP.html>.
- สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.), (2548), มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ 2005, สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.), นนทบุรี.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, (2551), รายงานประจำปี ปี 2551, งบป.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, (2553a), ข้าวน้ำปรัง : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ จำแนกตามพันธุ์, แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/download/prcai/Second%20rice10.xls>.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, (2553b), รายงานราคาข้าวเปลือกและข้าวสาร ประจำวันที่ 23 ก.ค. 2553, แหล่งที่มา: <http://www.ryt9.com/s/doit/948215>.
- Alberto, M. C. R., Wassman, R., Hirano, T., Miyata, A., Kumar, A., Padre, A., and Amante, M., (2009), CO₂/heat fluxes in rice fields: comparative assessment of flooded and non-flooded fields in the Philippines, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 149, pp. 1737-1750.
- Amon, B., Amon, T., Alt, C., Moitzi, G., and Boxberger, J., (2000), Nitrous oxide emissions from agriculture and mitigation options (N₂O emission en aus der Landwirtschaft und Minderungsmoglichkeiten), Presented at Nussdorfel Laende 29-31, A-1190, Vienna, Austria, Available online: http://www.nitro-soil.at/Word/Amon_txt.doc.
- Babu, Y.J., Li, C., Frolking, S., Nayak, D.r., Datta, A., and Adhya, T.K., (2005), Modelling of methane emissions from rice-based production systems in India with the denitrification and decomposition model: Field validation and sensitivity analysis, *Current Science*, Vol. 89, no. 11, pp. 1904-1912.
- Belder, P., (2005), Water saving in lowland rice production :An experimental and modeling study, *PhD thesis Wageningen University*.
- Blake, G.R., and Hartge, K.H., (1986). Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 1, Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed. SSSA, Madison, WI, pp. 363-375.
- Bouman, B.A.M., Hengsdijk, H., Hardy, B., Bindraban, P.S., Tuong, T.P., and Ladha, J.K., (2002), Water-wise rice production, *Plant Research international*.
- Bouwman, A.F., Fung, I., Matthews, E., and John, J., (1993), Global analysis of the potential for N₂O production in natural soils, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 7, pp.557-597
- Bouwman, A.F., (1996), Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 46, pp. 53-70.
- Bronson, K.F., and Mosier, A.R., (1994), Nitrous oxide emissions from flooded rice, *Abstracts Climate Change and Rice International Symposium*, IRRI Los Banos, Languna, Philippines.
- Bronson, K.F., Neue, H.U., Singh, U., and Abao, E.B., (1997), Automated chamber measurements of methane and nitrous oxide flux in a flooded rice soil: I. Residue, nitrogen, and water management, *Soil Society American Journal*, Vol. 6, No. 3, pp. 981-987.

- Buendia, L.V., Neue, H.U., Wassmann, R., Lantin, S., and Javellana, A.M., (1997), Understanding the nature of methane emission from rice ecosystem as basis of mitigation strategies, *Applied Energy*, Vol.56, No. 3/4, pp. 433-444.
- Butterbach-Bahl, K.B., Papen, H., and Rennenberg, H., (1997), Impact of gas transport through rice cultivars on methane emission from rice paddy fields, *Plant, Cell and Environment*, Vol. 20, pp. 1175-1183.
- Cabangon R., Lu G., Tuong T.P., Bouman B.A.M., Feng Y., Zhang Z., (2003). Irrigation management effects on yield and water productivity of inbred and aerobic rice varieties in Kaifeng. In: Proceedings 1st International Yellow River Forum on River Basin Management, Volume 2. The Yellow River Conservancy Publishing House, Zhengzhou, Henan, China, pp 65–76.
- Cai, Z., Sawamoto, T., Li, C., Kang, G., Boonjawat, J., Mosier, A., and Wassmann,R., (2003), Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emissions in East Asian cropping systems, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 17, No. 4, 1107.
- Charoensilp, N., (1996), An International research program on methane emission from rice fields, *Research program summary of Mr. Niwat Charoensilp, Prachinburi Rice Research Center*, Department of Agriculture Extension, Ministry of Agriculture and Co-operative, Bangkok, 91 p. (In Thai).
- Chen, G.X., Huang, B., Xu, H., Zhang, Y., Huang, G.H., Yu, K.W., Hou, A.X., Du, R., Han, S.J., and Van Cleemput, O., (2000), Nitrous oxide emissions from terrestrial ecosystems in China, *Chemosphere Global Change Science*, Vol. 2, pp. 373-378.
- Cline, W.R. 2007. Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country. Washington: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics).
- 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. Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines). (2000). Nutrient Cycling in Agroecosystems, vol. 58, pp. 37-53
- Denier van der Gon, H.A.C., (1996), *Methane Emission from Wetland Rice Fields*, Doctoral Thesis, Wageningen Agriculture University, Wageningen, 182 p.
- FAO. 2002. Soil carbon sequestration. Available source: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/carbonsequestration/background.stm>
- Ghosh, S., Majumdar, D., and Jain, M.C., (2003), Methane and nitrous oxide emission from irrigated rice of north India, *Chemosphere*, Vol.51, pp. 181-195.
- Grupo de Reflexion Rural, Biofuelwatch, EcoNexus and NOAPH-Friends of the Earth Denmark. 2009. Preliminary report. Agriculture and climate change: real problems, false solutions. Available source: <http://www.econexus.info/pdf/agriculture-climate-change-june-2009.pdf>.
- Han, G.H., Yoshikoshi, H., Nagai, H., Yamada, T., Saito, M., Miyata, A., and Harazono, Y., (2005), Concentration and carbon isotope profiles of CH₄ in paddy rice canopy: isotopic evidence for changes in CH₄ emission pathways upon drainage, *Chemical Geology*, Vol. 218, pp. 25-40.
- Hanson, P.J., (2000), Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations, *Biogeochemistry*, Vol.48, pp. 115-146.

- Hutsch, B.W., (2001), Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production - invited paper, *European Journal of Agronomy*, Vol.14, pp. 237-260.
- Huang, S., W. Rui, X. Peng, Q. Huang and W. Zhang, (2010), Organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol.86, pp. 153-160.
- IFPRI. 2009. Agriculture and climate change: an agenda for negotiation in Copenhagen. Available source: <http://www.ifpri.org/2020/focus/focus16/focus16.pdf>.
- Iqbal, J., Hu, R., Lin, S., Hatano, R., Feng, Lu, L., Ahamadou, B., and Du, L., (2009), CO₂ emission in a subtropical red paddy soil (Ultisol) as affected by straw and N-fertilizer applications: a case study in Southern China, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol.131, pp.292-302.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (1996), IPCC guidelines for national greenhouse inventories, *IPCC greenhouse gas inventory reference manual*, Vol. 3.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, DW, Haywood, J., Lean, J., Lowe, DC, Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., and Van Dorland, R., (2007), Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, KB., Tignor, M., and Miller, HL (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, NY, USA.
- Jermsawatdipong, P., Murase, J., Prabuddham, P., Hasathon, Y., Khomthong, N., and Kimura, M., (1994), Methane emission from plots with differences in fertilizer application in Thai paddy fields, *Soil Science Plant Nutrition*, Vol. 191, pp. 233-240.
- Ji, G., Zheng, X., Minxing, W., and Li, C., (1999), Modeling N₂O emissions from agricultural fields in Southeast China, *Advance in Atmospheric Sciences*, Vol.16, No. 4, pp. 581-592.
- Katoh, K., Chairoj, P., Yagi, K., Tsuruta, H., Minami, K., and Cholitkul, W., (1999b), Methane emission from paddy from paddy fields in Northern Thailand, *Japan International Research Center for Agricultural Sciences*, Vol. 7, pp. 77-85.
- Kelting, D.L., Burger, J.A., and Edwards, G.S., (1998), Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils, *Soil Biology & Biochemistry*, Vol.30(7), pp. 961-968.
- Khalil, M.A.K., (editor), (1993), Atmospheric methane: sources, sinks, and role in global change, *Global Environmental Change*, Series I, Vol. 13, 561p.
- Khind, C.S., and F.N., Ponnamperuma, (1981), Effect of water regime on growth, yield, and nitrogen uptake of rice, *Plant and Soil*, vol. 59, pp. 287-298.
- Koizumi, H., (2001), Carbon cycling in croplands. In Structure and function in agroecosystem design and management, CRC Press, Florida.
- Kuzyakov, Y., (2002), Separating microbial respiration of exudates from root respiration in non-sterile soils: a comparison of four methods. *Soil Biology & Biochemistry*, Vol. 34, pp. 1621-1631.
- Kuzyakov, Y., Kretzschmar, A., Stahr, K., (1999), Contribution of *Lolium perenne* rhizodeposition to carbon turnover of pasture soil, *Plant and Soil*, Vol. 213, pp. 127-136.

- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627. Available source: <http://www.sciencemag.org>.
- Lasco, R.D., Ogle, S., Verchot, J.R.L., Wassmann, R., Yagi, K., Bhattacharya, S., Brenner, J.S., Daka, J.P., González, S.P., Krug, T., Li, Y., Martino, D.L., McConkey, B.G., Smith, P., Tyler, S.C., and Zhakata, W., (2006), Chapter 5 : Cropland, In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.
- Li, C.S., Naryanan, V., and Harris R. C., (1996), Model estimates of nitrous oxide emissions from agricultural lands in the United States, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 10, No. 2, pp.297-306.
- Lindau, C.W., Delaune, R.D., Patrick, W.H. Jr., and Bollich, P.K., (1990), Fertilizer effects on dinitrogen, nitrous oxide and methane emissions from lowland rice, *Soil Sciences Society of American Journal*, Vol.54, pp. 1789-1794.
- Lindau, C.W., Delaune, R.D., Patrick, W.H. Jr., Bollich, P.K., and Law, V.J., (1991), Effect of urea fertilizer and environmental factors on methane emission from a Louisiana USA rice fields, *Plant and Soil*, Vol. 136, pp. 195-203.
- Lindau, C.W., Bollich, P.K., DeLaune, R.D., Mosier, A.R., and Bronson, K.F., (1993), Methane mitigation in flooded Louisiana rice fields, *Biology Fertilizer Soils*, Vol. 15, pp. 174-178.
- Lindau, C.W., (1994), Methane emissions from Louisiana rice fields amended with nitrogen fertilizers, *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 26, No. 3, pp. 353-359.
- Lu, Y., Arah, J.R.M., Wassmann, R., and Neue, H.U., (2000b), Simulation of methane production in anaerobic rice soils by a simple two pool model, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol.58, pp.277-284.
- Minamikawa, K, and Sakai, N.,(2005), The effect of water management based on soil redox potential on methane emission from two kinds of paddy soils in Japan, *Agriculture ecosystems and environment*, Vol. 107, pp. 397-407.
- Minamikawa, K, and Sakai, N., (2007), Soil carbon budget in a single-cropping paddy field with rice straw application and water management based on soil redox potential, *Soil Science and Plant Nutrition* , Vol. 53, pp. 657-667.
- Mitra, S., Jain, M.C., Kumar, S., Bandyopadhyay, S.K., and Kalra, N., (1999), Effect of rice cultivars on methane emission, *Ecosystems and Environment*, Vol. 73, pp. 177-183.
- Miyata, A., Leuning, R., Denmead, O.T., Kim, J., and Harazono, Y., (2000), Carbon dioxide and methane fluxes form an intermittently flooded paddy field, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 102, pp. 287-303.
- Nagroho, S.G., Lumbanraja, J., Suprpto, H., Sunyoti, W.S., Ardjasa, H., and Kimura, M., (1994a), Methane emission from an Indonesian paddy field subjected to several fertilizer treatments, *Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 40, No, 2, pp. 275-281.
- Neue, H.U., (1997), Fluxes of methane from rice fields and potential for mitigation, *Soil Use and Management*, vol. 13, pp. 258-267

- Pan, GX, Zhao, QG. 2005. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: Facing the challenge of global change and food security. *Cited in* Zhang, W, Yu, Y-Q, Sun, W-J, Huang, Y. 2007. Simulation of soil organic carbon dynamics in Chinese rice paddies from 1980 to 2000. *Pedosphere* 17:1-10.
- Roger, J.E., and Whitman, W.B., (1991), *Microbial production and consumption of greenhouse gases; Methane, Nitrous Oxides, and Halomethanes*, Washington, D.C., American Society for Microbiology, 98 p.
- Sahrawat, KL, Bhattacharyya, T, Wani, SP, Chandran, P, Ray, SK, Pal, DK, Padmaja, KV. 2005. Long-term lowland rice and arable cropping effects on carbon and nitrogen status of some semi-arid tropical soils. *Current Science* 89:2159-2163.
- Sapronov, D.V., and Kuzyakov, Y.V., (2007), Separation of root and microbial respiration: comparison of three methods, *Eurasian Soil Science*, Vol. 40(7), pp. 775-784.
- Sass, R.L., Fisher, F.M., Wang, Y.B., Runner, F.T., and June, M.E., (1992), Methane emission from rice fields: The effect of flooded water managements, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 6, No. 3, pp. 249-262.
- Sass, R.L., Fisher, F.M., and Lewis, S.T., (1994), Methane emissions from rice fields: Effect of soil properties, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 8, No. 2, pp. 135-140.
- Singh, S., Kashyap, A.K., and Singh, J.S., (1998), Methane flux in relation to growth and phenology of a high yielding rice variety as affected by fertilization, *Plant and Soil*, Vol. 201, pp. 157-168.
- Sitaula, B.K., Hansen, S., Sitaula, J.I.B., Bakken, L.R., (2000), Effects of soil compaction on N₂O emission in agricultural soil, *Chemosphere Global Change Science*, Vol. 2, pp. 367 -371.
- Smakgahn, K., S. Poonkaew, S. Towprayoon, R.L. Sass, G. Gale, R. Wassmann, and A. Chidthaisong, Model for estimate methane emissions from drainage irrigated rice fields, *3rd International Methane & Nitrous Oxide Mitigation Conference, Beijing, China, November 17-21, 2003*.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, S. Rose, U. Schneider, S. Towprayoon and M. Wattenbach, (2007), Chapter 8: Agriculture, In Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Tabbal D.F., B.A.M. Boumana, S.I. Bhuiyana, E.B. Sibayanb, and M.A. Sattar, (2002), On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines, *Agricultural Water Management*, vol. 56, pp. 93-112.
- The Ministry of Agriculture and Food (MAF), New Zealand. 2010. Chapter 6-Nitrous oxide: production, sources and abatement options. Available source: [http://www.maf.govt.nz/mafnet/rural-nz/sustainable-resource-use/climate/abatement-of-agricultural-greenhouse-gas-emissions-17.htm#P1819_163135](http://www.maf.govt.nz/mafnet/rural-nz/sustainable-resource-use/climate/abatement-of-agricultural-greenhouse-gas-emissions/abatement-of-agricultural-greenhouse-gas-emissions-17.htm#P1819_163135).

- Towprayoon, S., Asawapisit, S., and Wanichpongpan, P., (1993), Methane emission from rice paddy field in Thailand, *Proceedings of the international Conference on Regional Environmental and Climate Change in East Asia*, Taiwan, pp. 435-437.
- Towprayoon, S., Smakgahn, K., and Pookaew, S., (2005), Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields, *Chemosphere*, Vol. 59, pp. 1547-1556.
- Van Bodegom, P.M., Lefferlaar, P.A., Stams, A.J.M., and Wassmann, R., (2000), Modeling methane emissions from rice fields: variability, uncertainty, and sensitivity analysis of processes involved, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 58, pp.231-248.
- Wang, Z.P., Delaune, R.D., Lindau, C.W., and Patrick, W.H.Jr., (1992), Methane production from anaerobic soil amended with rice straw and nitrogen fertilizers, *Fertilizer Research*, Vol. 33, pp. 115-121.
- Wang, Z.P., Lindau, C.W., Darbey, R.D., Patrick, W.H., (1993), Methane emission and entrapment in flooded rice soils as affected by soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 16, pp.163-168.
- Wang, Z.Y., Xu, Y.C., Li, Z., Guo, X.Y., Wassmann, R., Neue, H.U., Lantin, R.S., Buendia, L.V., Ding, Y.P., and Wang, Z.Z., (2000), A four-year record of methane emissions from irrigated rice fields in the Beijing region of China, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 58, pp. 55-63.
- Winne, S. 2010. Rice. Available source: <http://silver.emerson.u98.k12.me.us/staffwebpages/gt/rice%20web%20site/environmentalconcerns/emissions.html>.
- Yagi, K., and Minami, M., (1990), Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields, *Soil Science Plant Nutrition*, Vol. 36, No. 94, pp. 599-610.
- Yagi, K., and Minami, M., (1994), Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields, *Soil Science Plant Nutrition*, Vol. 40, pp. 29-37.
- Yagi, K., Tsuruta, H., and Minami, K., (1997), Possible options for mitigating methane emission from rice cultivation, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 49, pp. 213-220.
- Yu, K.W., Wang, Z.P., Vermoesen, A., Patrick Jr, W.H., and van Cleemput, O., (2001), Nitrous oxide and methane emissions from different soil suspensions: effect of soil redox status, *Biology Fertility Soils*, Vo. 34, pp.25-30.
- Zhang, W, Yu, Y-Q, Sun, W-J, Huang, Y. 2007. Simulation of soil organic carbon dynamics in Chinese rice paddies from 1980 to 2000. *Pedosphere* 17:1-10.
- Zheng, X., Wang, M., Wang, Y., Shen, R., Gou, J., Li, J., Jin, J., and Li, L., (2000a), Impact of soil moisture on nitrous oxide emission from croplands: a case study on the rice-based agro-ecosystem in Southeast China, *Chemosphere-Global Change Science*, Vol.2, pp.207-224.
- Zheng, X., Mingxing, W., Yuesi, W., Renxing, S., Jing, L., Heyer, J., Koegge, M., Papen, H., Jisheng, J., and Laotu, L., (2000b), Mitigation options for methane, nitrous oxide and nitric oxide emissions from agricultural ecosystems, *Advance in Atmospheric Sciences*, Vol. 17, No. 1, pp. 84-92.
- Zou, J., Huang, Y., Zheng, X., Wang, Y., and Chen, Y., (2004), Static opaque chamber-based technique for determination of net exchange of CO₂ between terrestrial ecosystem and atmosphere, *Chinese Science Bulletin*, Vol. 49(4), pp. 381-388.

9. ภาคผนวก

- 1) ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ
- 2) ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง DNDC จัดรูปแบบตามรูปแบบของข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลจากการปลูกข้าวของงานศึกษานี้
- 3) วิธีการเก็บตัวอย่างก้าช
- 4) ข้อแนะนำในการปลูกข้าวเพื่อลดก้าชเรือนกระจาก

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
1. เพื่อประเมิน ปริมาณการกัก เก็บคาร์บอนใน ดิน ปริมาณ ก๊าซเรือน กระจกที่ปล่อย จากผู้ดิน ต้นทุนการผลิต และผลผลิต ข้าวจากพื้นที่ ปลูกข้าวใน รูปแบบวิธีการ จัดการเกษตร แบบดั้งๆ คือ เกษตรดีที่ เหมาะสม เกษตรอินทรีย์ การจัดการน้ำ และ การทำนา แบบดั้งเดิม ใน ระดับแปลงนา	1. เก็บข้อมูลและ ตัวอย่างใน ภาคสนามใน พื้นที่นา 3 แปลง คือ แปลงนาที่ จัดการแบบ เกษตรดีที่ เหมาะสม และ แปลงนาแบบ เกษตรอินทรีย์ และแปลงนา แบบดั้งเดิม	1. ข้อมูลเกี่ยวกับ การเกษตรแบบ ดั้งเดิม การเกษตรดีที่ เหมาะสม และ การเกษตร อินทรีย์ที่ ดำเนินการอยู่ ในปัจจุบัน พื้นที่ปลูกข้าว	1. ได้ข้อมูลแผนการ ปลูกข้าวตาม รูปแบบวิธีการ จัดการการเกษตร ทั้ง 3 วิธี	การสอบถามเกษตรกรใน พื้นที่เพื่อพบร่องรอยการปลูกข้าว ในรูปแบบหนึ่งๆ รายละเอียดที่หลากหลาย ตามแต่เกษตรกรรายนั้นๆ ดังนั้น การเกษตรดั้งเดิมจึง อ้างอิงจากคำแนะนำของ เจ้าหน้าที่ของหน่วยราชการ การเกษตรดีที่เหมาะสมใช้ ตามคุณภาพและนำการทำ เกษตรแบบ GAP ของ ศูนย์วิจัยข้าว กรมการข้าว และการเกษตรอินทรีย์ใช้ตาม วิธีการของกลุ่มเกษตร อินทรีย์ในพื้นที่ศึกษา
		2. พื้นที่ปลูกข้าว ที่เป็นดั้งเดิม ตามวิธีการ เกษตรดีที่ เหมาะสม เกษตรอินทรีย์ และเกษตร แบบดั้งเดิม	2. ได้พื้นที่ศึกษาที่ ใช้ดำเนิน โครงการ ตั้งอยู่ที่ ตำบลคุ้ยหมี อำเภอสนมชัย เขต จังหวัด ฉะเชิงเทรา	
		3. ข้อมูลในแปลง นา ได้แก่ ข้อมูล ภูมิอากาศ ข้อมูลการ เจริญเติบโต ของข้าว ข้อมูลกิจกรรม การเกษตร (เช่น การไถ	3. ได้ข้อมูลในการ ปลูกข้าวและ ข้อมูลประกอบ ภูมิอากาศ ของการ สัมภาษณ์ เกษตรกรและ เจ้าหน้าที่ส่งเสริม การเกษตร และ จำกัดข้อมูลทุติย ภูมิในพื้นที่	

วัตถุประสงค์	กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะ ^{ได้รับ} (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
		พรวน การดำเนินการใส่ปุ๋ย ระดับหน้าในนา ข้อมูลปัจจัยการผลิต และต้นทุน ข้อมูลผลผลิต	สำหรับการปลูกข้าวทั้งสองรอบที่ศึกษา (รอบที่ 1 (นาปรัง) และรอบที่ 2 (นาปี))	
	3. ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน, ปริมาณสารบอน, ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ความแตกต่างของ SOC ในแปลงนา ข้อมูลต้นทุนและผลผลิตในแต่ละช่วงของปฏิทินการเพาะปลูก และผลทดสอบทางสิ่ติ	4. ได้ผลวิเคราะห์ค่าต่างๆของดินและก๊าซเรือนกระจก (มีเงินในทรัสรอออกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์) ที่ปลอยระหว่างการปลูกข้าวและช่วงพักนา และได้เก็บข้อมูลต้นทุนและผลผลิตพร้อมกับทำการทดสอบผลการศึกษาต่างๆด้วยวิธีทางสถิติ		
2. วิเคราะห์ C budget และต้นทุนและผลผลิตของวิธีการจัดการเกษตรแบบต่างๆ	1. บัญชีการบอนของ การปลูกข้าว	1. ได้บัญชีการบอนของ การปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 และบัญชีการบอนของ การปลูกข้าวตลอดปี (รวมช่วงพักนา) 2. ได้ผลการวิเคราะห์ C budget ของนารูปแบบต่างๆ		

วัตถุประสงค์	กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะ ^{ได้รับ} (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
		<p>2. บัญชีต้นทุนการผลิตและรายได้จากการปลูกข้าว และผลิตข้าวจากนารูปแบบต่างๆ</p>	<p>1. ได้บัญชีต้นทุนการผลิตและรายได้จากการปลูกข้าว และผลิตข้าวจากนารูปแบบต่างๆ สำหรับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2</p> <p>2. ได้เคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน การปลูกข้าวรูปแบบต่างๆ</p>	
2. เพื่อคาดการณ์ศักยภาพการกักเก็บcarbon และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ในอนาคต (20 ปี) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระดับพื้นที่	<p>1. จำลองสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการสะสมธาตุอาหารในดินในรูปแบบของวิธีการจัดการเกษตรแบบต่างๆ โดยใช้</p> <p>2. จำลองข้อมูลจากภาคสนามด้วยแบบจำลอง DNDC Model</p>	<p>1. ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองในรูปแบบที่ถูกต้องตามที่แบบจำลองต้องการ</p> <p>2. ผลทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการสะสมธาตุอาหารในดินเมื่อเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับข้อมูลผลจากแปลงทดลองให้ความแม่นยำค่อนข้างดี แต่สามารถประเมินแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจก</p>	<p>1. ได้ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองที่ใช้ประเมิน 1 ปี (หนึ่งฤดูกาลเพาะปลูก) และรายงานผลการประเมินในรายงานฉบับนี้แล้ว</p> <p>2. จากผลการประเมินพบว่าความแม่นยำของแบบจำลองในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการสะสมธาตุอาหารในดินเมื่อเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับข้อมูลผลจากแปลงทดลองให้ความแม่นยำค่อนข้างดี แต่สามารถประเมินแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจก</p>	<p>1. เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองที่ใช้ประเมิน 1 ปี (หนึ่งฤดูกาลเพาะปลูก) และรายงานผลการประเมินในรายงานฉบับนี้แล้ว</p> <p>2. อาจจำเป็นต้องมีตัวแปรมาปรับค่าเพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในแปลงทดลองในกรณีที่จะใช้แบบจำลองประเมินในพื้นที่กว้างหรือระยะยาว</p> <p>การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแบบจำลองมีปริมาณสูงกว่าค่าการปล่อยก๊าซจากการกีบตัวอย่างจากภาคสนามสูง ทั้งนี้เนื่องจาก การประเมินจากแบบจำลองเป็นผลรวมของการประเมิน 365 วันในหนึ่งปี ในขณะที่</p>

วัตถุประสงค์	กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะ ^{ได้รับ} (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
			<p>รายวันได้ และสามารถประเมินการสะสมควรบอนอินทรีในเดือนได้</p>	<p>การเก็บตัวอย่างจากภาคสนามเป็นการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงเวลาแล้วนำไปคำนวณ ซึ่งทำให้ผลที่ได้แตกต่างกันค่อนข้างสูง</p> <p>การประเมินจากแบบจำลอง เป็นการจำลองโดยใช้ข้อมูล การเพาะปลูกในหนึ่งปีและจำลองในระยะเวลา 20 ปีโดยใช้พื้นฐานข้อมูลเดิม ซึ่งไม่มีการปรับเปลี่ยนการใช้พื้นที่ การใส่ปุ๋ย หรือการปรับปรุงดินใดๆ ซึ่งอาจจะแตกต่างจากการทำงานในพื้นที่จริงซึ่งเกษตรมีการจัดการพื้นที่ในแต่ละปีตามสภาพปัญหาที่พบ ซึ่งการจัดการพื้นที่หรือการเขตกรรมอาจจะส่งผลกระทบต่อการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและ การสะสมควรบอนในพื้นที่ได้</p>
	3. ผลจำลอง สถานการณ์ การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก และการสะสม ธาตุอาหารในดินใน ดินในระดับ พื้นที่ในระยะเวลา 20 ปีข้างหน้า	3. แนวโน้มการ ปล่อยก๊าซเรือน กระจกและการสะสม ธาตุอาหารในดินใน พื้นที่ศึกษาใน ระยะเวลา 20 ปี ข้างหน้าสอดคล้อง กับแนวโน้มการเก็บ ตัวอย่างจากข้อมูล ภาคสนาม		
	2. วิเคราะห์ แนวโน้มการ เปลี่ยนแปลง C budget ในหน้าหนาว	1. ข้อมูล C budget และ ประเมินความ เป็นไปได้ร่วมกับ	1. ได้ผลคาดการณ์ การปล่อยก๊าซเรือน กระจกรวม ค่า GWP _s และปริมาณ	

วัตถุประสงค์	กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะ ^{ได้รับ} (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
	ที่มีการจัดการ 3 รูปแบบ และ ประเมินเงื่อนไข และรูปแบบการ จัดการเกษตรใน นาข้าวที่ส่งเสริม การกักเก็บ คาร์บอนในดิน และลดการปล่อย ก๊าซเรือนกระจก	ต้นทุนและผลผลิต ในรูปแบบวิธีการ จัดการเกษตร แบบต่างๆ	かるบอนในดินของ การปลูกข้าวรูปแบบ ต่างๆ ด้วย แบบจำลอง และใช้ เป็นข้อมูลประเมิน รูปแบบการเกษตรที่ ลดก๊าซเรือนกระจก ร่วมกับผลผลิตข้าว แต่การประเมินผล ต้นทุนทำเฉพาะ ข้อมูลในภาคสนาม	
	2. ข้อเสนอ เงื่อนไขและ รูปแบบการจัด การเกษตรในนา ข้าวที่ส่งเสริม การ กักเก็บคาร์บอน ในดินและลดการ ปล่อยก๊าซเรือน กระจก	การจัดการนาข้าว แบบอินทรีย์ซึ่งมีการ จัดการน้ำร่วมด้วย และการปลูกข้าว ตามแนวทาง GAP จัดเป็นการเกษตรใน นาข้าวที่ควรส่งเสริม เพื่อประโยชน์ในการ สัมมาร์บอนในดิน และลดการปล่อย ก๊าซเรือนกระจก		

ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง DNDC จัดรูปแบบตามรูปแบบของข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลจากการปลูกข้าวของงานศึกษาที่

1. กรณีการทำนาเคมี-ไม่มีการจัดการน้ำ

Input_Parameters:	Totalyear= 1
-----	Years_Of_A_Cycle= 1
Site_data: CCS	YearID_of_a_cycle= 1
Simulated_Year: 1	Crop_total_Number= 1
Latitude: 13.000	Crop_ID= 1
Daily_Record: 1	Crop_Type= 20
-----	Plant_time= 2 13
Climate_data:	Harvest_time= 6 8
Climate_Data_Type: 1	Year_of_harvest= 1
NO3NH4_in_Rainfall 0.0600	Ground_Residue= 0.150000
NO3_of_Atmosphere 0.0600	Yield= 4375.000000
BaseCO2_of_Atmosphere 350.0000	Rate_reproductive= 0.029000
Climate_file_count= 1	Rate_vegetative= 0.009000
1 C:\DNDC\Input\CCS2010.txt	Psn_efficiency= 0.400000
-----	Psn_maximum= 47.000000
Soil_data:	Initial_biomass= 12.500000
Soil_Texture 4	GeneID= -1
Landuse_Type 2	If_transplanting= -1
Density 1.20000	Transplant_month= -1
Soil_pH 6.30000	Transplant_day= -1
SOC_at_Surface 0.25000	Tillage_number= 3
Clay_fraction 0.14000	Tillage_ID= 1
BypassFlow 0	Month/Day/method= 1 21 2
Litter_SOC 0.08000	Tillage_ID= 2
Humads_SOC 0.12000	Month/Day/method= 3 6 2
Humus_SOC 0.80000	Tillage_ID= 3
Soil_NO3(-)(mgN/kg) 3.00000	Month/Day/method= 3 6 4
Soil_NH4(+)(mgN/kg) 0.60000	Fertil_number= 3
Moisture 0.82000	fertilization_ID= 1
Temperature 28.40000	Month/Day/method= 3 6 1
-----	Depth= 5.000000
Crop_data:	Nitrate= 0.000000
Rotation_Number= 1	AmmBic= 0.000000
Rotation_ID= 1	Urea= 0.000000

Anh=	0.000000	Irrigation_type=	-1
NH4NO3=	0.000000	Irrigation_Index=	0.000000
NH42SO4=	21.650000	Grazing_number=	0
NH4HPO4=	0.000000	Climate_file_mode	1
fertilization_ID=	2	Soil_microbial_index	1.000000
Month/Day/method=	3 24 1	Crop_model_approach	0
Depth=	5.000000	Depth_WRL_cm	100.000000
Nitrate=	0.000000	Slope	0.000000
AmmBic=	0.000000	Soil_Fe3+(mol/kg)	0.060000
Urea=	26.530001	Soil_Mn4+(mol/kg)	0.000600
Anh=	0.000000	Max_Fe_reduction(mol/kg/h)	0.001500
NH4NO3=	0.000000	Max_Mn_reduction(mol/kg/h)	0.001500
NH42SO4=	0.000000	Field_water_capacity_(WFPS)	0.820000
NH4HPO4=	0.000000		
fertilization_ID=	3	2. กรณีการทํานาเคมี-มีการจัดการน้ำ	
Month/Day/method=	4 16 1	Input_Parameters:	
Depth=	5.000000	-----	
Nitrate=	0.000000	Site_data:	CCS
AmmBic=	0.000000	Simulated_Year:	1
Urea=	26.530001	Latitude:	13.000
Anh=	0.000000	Daily_Record:	1
NH4NO3=	0.000000	-----	
NH42SO4=	0.000000	Climate_data:	
NH4HPO4=	0.000000	Climate_Data_Type:	1
Manure_number=	1	NO3NH4_in_Rainfall	0.0600
Manure_ID=	1	NO3_of_Atmosphere	0.0600
Month/Day=	2 21	BaseCO2_of_Atmosphere	350.0000
Amount/C N_ratio=	2683.820068	Climate_file_count=	1
59.610001		1 C:\DNDCL\Input\CCS2010.txt	
Type=	3	-----	
Weed_number=	0	Soil_data:	
Weed_Problem=	0	Soil_Texture	4
Flood_number=	1	Landuse_Type	2
Leak_type=	1	Density	1.20000
Flooding_ID=	1	Soil_pH	6.30000
Flood_Month/Day=	3 7	SOC_at_Surface	0.25000
Drain_Month/Day=	6 17	Clay_fraction	0.14000
Water_pH=	6.400000	BypassFlow	0
Irrigation_number=	0	Litter_SOC	0.08000

Humads_SOC	0.12000	Month/Day/method= 3 6 1
Humus_SOC	0.80000	Depth= 5.000000
Soil_NO3(-)(mgN/kg)	3.00000	Nitrate= 0.000000
Soil_NH4(+)(mgN/kg)	0.60000	AmmBic= 0.000000
Moisture	0.82000	Urea= 0.000000
Temperature	28.40000	Anh= 0.000000
		NH4NO3= 0.000000
		NH42SO4= 24.230000
Crop_data:		
Rotation_Number=	1	NH4HPO4= 0.000000
Rotation_ID=	1	fertilization_ID= 2
Totalyear=	1	Month/Day/method= 3 24 1
Years_Of_A_Cycle=	1	Depth= 5.000000
YearID_of_a_cycle=	1	Nitrate= 0.000000
Crop_total_Number=	1	AmmBic= 0.000000
Crop_ID=	1	Urea= 29.719999
Crop_Type=	20	Anh= 0.000000
Plant_time=	2 13	NH4NO3= 0.000000
Harvest_time=	6 8	NH42SO4= 0.000000
Year_of_harvest=	1	NH4HPO4= 0.000000
Ground_Residue=	0.150000	fertilization_ID= 3
Yield=	4375.000000	Month/Day/method= 4 16 1
Rate_reproductive=	0.029000	Depth= 5.000000
Rate_vegetative=	0.009000	Nitrate= 0.000000
Psn_efficiency=	0.400000	AmmBic= 0.000000
Psn_maximum=	47.000000	Urea= 29.719999
Initial_biomass=	12.500000	Anh= 0.000000
GenelD=	-1	NH4NO3= 0.000000
If_transplanting=	-1	NH42SO4= 0.000000
Transplant_month=	-1	NH4HPO4= 0.000000
Transplant_day=	-1	Manure_number= 1
Tillage_number=	3	Manure_ID= 1
Tillage_ID=	1	Month/Day= 2 21
Month/Day/method=	1 21 2	Amount/C N_ratio= 2755.260010
Tillage_ID=	2	67.139999
Month/Day/method=	3 6 2	Type= 3
Tillage_ID=	3	Weed_number= 0
Month/Day/method=	3 6 4	Weed_Problem= 0
Fertil_number=	3	Flood_number= 2
fertilization_ID=	1	Leak_type= 1

Flooding_ID=	1	Soil_data:	
Flood_Month/Day=	3 7	Soil_Texture	4
Drain_Month/Day=	4 21	Landuse_Type	2
Water_pH=	6.400000	Density	1.20000
Flooding_ID=	2	Soil_pH	6.30000
Flood_Month/Day=	4 22	SOC_at_Surface	0.25000
Drain_Month/Day=	6 17	Clay_fraction	0.14000
Water_pH=	6.400000	BypassFlow	0
Irrigation_number=	0	Litter_SOC	0.08000
Irrigation_type=	-1	Humads_SOC	0.12000
Irrigation_Index=	0.000000	Humus_SOC	0.80000
Grazing_number=	0	Soil_NO3(-)(mgN/kg)	3.00000
Climate_file_mode	1	Soil_NH4(+)(mgN/kg)	0.60000
Soil_microbial_index	1.000000	Moisture	0.82000
Crop_model_approach	0	Temperature	28.40000
Depth_WRL_cm	100.000000	-----	
Slope	0.000000	Crop_data:	
Soil_Fe3+(mol/kg)	0.060000	Rotation_Number=	1
Soil_Mn4+(mol/kg)	0.000600	Rotation_ID=	1
Max_Fe_reduction(mol/kg/h)	0.001500	Totalyear=	1
Max_Mn_reduction(mol/kg/h)	0.001500	Years_Of_A_Cycle=	1
Field_water_capacity_(WFPS)	0.820000	YearID_of_a_cycle=	1
3. กรณีการทำนาแบบ GAP -ไม่มีการจัดการหัว		Crop_total_Number=	1
Input_Parameters:		Crop_ID=	1
-----		Crop_Type=	20
Site_data:	CCS	Plant_time=	2 13
Simulated_Year:	1	Harvest_time=	6 8
Latitude:	13.000	Year_of_harvest=	1
Daily_Record:	1	Ground_Residue=	0.150000
-----		Yield=	4375.000000
Climate_data:		Rate_reproductive=	0.029000
Climate_Data_Type:	1	Rate_vegetative=	0.009000
NO3NH4_in_Rainfall	0.0600	Psn_efficiency=	0.400000
NO3_of_Atmosphere	0.0600	Psn_maximum=	47.000000
BaseCO2_of_Atmosphere	350.0000	Initial_biomass=	12.500000
Climate_file_count=	1	GeneID=	-1
1 C:\DNDC\Input\CCS2010.txt		If_transplanting=	-1
-----		Transplant_month=	-1
		Transplant_day=	-1

Tillage_number=	4	Leak_type=	1
Tillage_ID=	1	Flooding_ID=	1
Month/Day/method=	1 19 2	Flood_Month/Day=	3 31
Tillage_ID=	2	Drain_Month/Day=	6 17
Month/Day/method=	1 21 2	Water_pH=	6.400000
Tillage_ID=	3	Irrigation_number=	0
Month/Day/method=	3 6 4	Irrigation_type=	-1
Tillage_ID=	4	Irrigation_Index=	0.000000
Month/Day/method=	3 7 4	Grazing_number=	0
Fertil_number=	2	Climate_file_mode	1
fertilization_ID=	1	Soil_microbial_index	1.000000
Month/Day/method=	3 31 1	Crop_model_approach	0
Depth=	5.000000	Depth_WRL_cm	100.000000
Nitrate=	0.000000	Slope	0.000000
AmmBic=	0.000000	Soil_Fe3+(mol/kg)	0.060000
Urea=	0.000000	Soil_Mn4+(mol/kg)	0.000600
Anh=	0.000000	Max_Fe_reduction(mol/kg/h)	0.001500
NH4NO3=	0.000000	Max_Mn_reduction(mol/kg/h)	0.001500
NH42SO4=	23.480000	Field_water_capacity_(WFPS)	0.820000
NH4HPO4=	0.000000		
fertilization_ID=	2	4. กรณีการทำนาแบบ GAP -มีการจัดการน้ำ	
Month/Day/method=	4 16 1	Input_Parameters:	
Depth=	5.000000	-----	
Nitrate=	0.000000	Site_data:	CCS
AmmBic=	0.000000	Simulated_Year:	1
Urea=	28.799999	Latitude:	13.000
Anh=	0.000000	Daily_Record:	1
NH4NO3=	0.000000	-----	
NH42SO4=	0.000000	Climate_data:	
NH4HPO4=	0.000000	Climate_Data_Type:	1
Manure_number=	1	NO3NH4_in_Rainfall	0.0600
Manure_ID=	1	NO3_of_Atmosphere	0.0600
Month/Day=	2 21	BaseCO2_of_Atmosphere	350.0000
Amount/C N_ratio=	3085.500000	Climate_file_count=	1
67.139999		1 C:\DNDCL\Input\CCS2010.txt	
Type=	3	-----	
Weed_number=	0	Soil_data:	
Weed_Problem=	0	Soil_Texture	4
Flood_number=	1	Landuse_Type	2

Density	1.20000	Tillage_ID=	2
Soil_pH	6.30000	Month/Day/method=	1 21 2
SOC_at_Surface	0.25000	Tillage_ID=	3
Clay_fraction	0.14000	Month/Day/method=	3 6 4
BypassFlow	0	Tillage_ID=	4
Litter_SOC	0.08000	Month/Day/method=	3 7 4
Humads_SOC	0.12000	Fertil_number=	2
Humus_SOC	0.80000	fertilization_ID=	1
Soil_NO3(-)(mgN/kg)	3.00000	Month/Day/method=	3 31 1
Soil_NH4(+)(mgN/kg)	0.60000	Depth=	5.000000
Moisture	0.82000	Nitrate=	0.000000
Temperature	28.40000	AmmBic=	0.000000
<hr/>			
Crop_data:			
Rotation_Number=	1	Anh=	0.000000
Rotation_ID=	1	NH4NO3=	0.000000
Totalyear=	1	NH42SO4=	23.969999
Years_Of_A_Cycle=	1	NH4HPO4=	0.000000
YearID_of_a_cycle=	1	fertilization_ID=	2
Crop_total_Number=	1	Month/Day/method=	4 16 1
Crop_ID=	1	Depth=	5.000000
Crop_Type=	20	Nitrate=	0.000000
Plant_time=	2 13	AmmBic=	0.000000
Harvest_time=	6 8	Urea=	29.410000
Year_of_harvest=	1	Anh=	0.000000
Ground_Residue=	0.150000	NH4NO3=	0.000000
Yield=	4375.000000	NH42SO4=	0.000000
Rate_reproductive=	0.029000	NH4HPO4=	0.000000
Rate_vegetative=	0.009000	Manure_number=	1
Psn_efficiency=	0.400000	Manure_ID=	1
Psn_maximum=	47.000000	Month/Day=	2 21
Initial_biomass=	12.500000	Amount/C N_ratio=	2923.530029
GenelD=	-1	Type=	3
If_transplanting=	-1	Weed_number=	0
Transplant_month=	-1	Weed_Problem=	0
Transplant_day=	-1	Flood_number=	2
Tillage_number=	4	Leak_type=	1
Tillage_ID=	1	Flooding_ID=	1
Month/Day/method=	1 19 2	Flood_Month/Day=	1 21

Drain_Month/Day=	4 21	Landuse_Type	2
Water_pH=	6.400000	Density	1.20000
Flooding_ID=	2	Soil_pH	6.30000
Flood_Month/Day=	4 22	SOC_at_Surface	0.25000
Drain_Month/Day=	6 17	Clay_fraction	0.14000
Water_pH=	6.400000	BypassFlow	0
Irrigation_number=	0	Litter_SOC	0.08000
Irrigation_type=	-1	Humads_SOC	0.12000
Irrigation_Index=	0.000000	Humus_SOC	0.80000
Grazing_number=	0	Soil_NO3(-)(mgN/kg)	3.00000
Climate_file_mode	1	Soil_NH4(+)(mgN/kg)	0.60000
Soil_microbial_index	1.000000	Moisture	0.82000
Crop_model_approach	0	Temperature	28.40000
Depth_WRL_cm	100.000000	<hr/>	
Slope	0.000000	Crop_data:	
Soil_Fe3+(mol/kg)	0.060000	Rotation_Number=	1
Soil_Mn4+(mol/kg)	0.000600	Rotation_ID=	1
Max_Fe_reduction(mol/kg/h)	0.001500	Totalyear=	1
Max_Mn_reduction(mol/kg/h)	0.001500	Years_Of_A_Cycle=	1
Field_water_capacity_(WFPS)	0.820000	YearID_of_a_cycle=	1
5. กรณีการดำเนินทรี-ไม่มีการจัดการน้ำ			
Input_Parameters:			
<hr/>			
Site_data:	CCS	Harvest_time=	6 8
Simulated_Year:	1	Year_of_harvest=	1
Latitude:	13.000	Ground_Residue=	0.150000
Daily_Record:	1	Yield=	6446.125000
<hr/>			
Climate_data:			
Climate_Data_Type:	1	Rate_reproductive=	0.029000
NO3NH4_in_Rainfall	0.0600	Rate_vegetative=	0.009000
NO3_of_Atmosphere	0.0600	Psn_efficiency=	0.400000
BaseCO2_of_Atmosphere	350.0000	Psn_maximum=	47.000000
Climate_file_count=	1	Initial_biomass=	12.500000
<hr/>			
1 C:\DNDC\Input\CCS2010.txt			
<hr/>			
Soil_data:			
Soil_Texture	4	Tillage_number=	5
		Tillage_ID=	1

Month/Day/method=	1 19 4	Depth_WRL_cm	100.000000
Tillage_ID=	2	Slope	0.000000
Month/Day/method=	1 21 2	Soil_Fe3+(mol/kg)	0.060000
Tillage_ID=	3	Soil_Mn4+(mol/kg)	0.000600
Month/Day/method=	1 28 2	Max_Fe_reduction(mol/kg/h)	0.001500
Tillage_ID=	4	Max_Mn_reduction(mol/kg/h)	0.001500
Month/Day/method=	3 8 2	Field_water_capacity_(WFPS)	0.820000
Tillage_ID=	5	6. กรณีการทำนาอินทรีย์-มีการจัดการน้ำ	
Month/Day/method=	3 9 2	Input_Parameters:	
Fertil_number=	0	-----	
Manure_number=	3	Site_data:	CCS
Manure_ID=	1	Simulated_Year:	1
Month/Day=	1 21	Latitude:	13.000
Amount/C N_ratio=	2955.409912	Daily_Record:	1
67.139999		-----	
Type=	3	Climate_data:	
Manure_ID=	2	Climate_Data_Type:	1
Month/Day=	3 10	NO3NH4_in_Rainfall	0.0600
Amount/C N_ratio=	78.900002 10.000000	NO3_of_Atmosphere	0.0600
Type=	2	BaseCO2_of_Atmosphere	350.0000
Manure_ID=	3	Climate_file_count=	1
Month/Day=	4 16	1 C:\DNDCL\Input\CCS2010.txt	
Amount/C N_ratio=	78.900002 10.000000	-----	
Type=	2	Soil_data:	
Weed_number=	0	Soil_Texture	4
Weed_Problem=	0	Landuse_Type	2
Flood_number=	1	Density	1.20000
Leak_type=	1	Soil_pH	6.30000
Flooding_ID=	1	SOC_at_Surface	0.25000
Flood_Month/Day=	3 13	Clay_fraction	0.14000
Drain_Month/Day=	6 8	BypassFlow	0
Water_pH=	6.400000	Litter_SOC	0.08000
Irrigation_number=	0	Humads_SOC	0.12000
Irrigation_type=	-1	Humus_SOC	0.80000
Irrigation_Index=	0.000000	Soil_NO3(-)(mgN/kg)	3.00000
Grazing_number=	0	Soil_NH4(+)(mgN/kg)	0.60000
Climate_file_mode	1	Moisture	0.82000
Soil_microbial_index	1.000000	Temperature	28.40000
Crop_model_approach	0		

		Amount/C N_ratio=	2770.780029
Crop_data:		67.139999	
Rotation_Number=	1	Type=	3
Rotation_ID=	1	Manure_ID=	2
Totalyear=	1	Month/Day=	1 21
Years_Of_A_Cycle=	1	Amount/C N_ratio=	78.900002 10.000000
YearID_of_a_cycle=	1	Type=	2
Crop_total_Number=	1	Manure_ID=	3
Crop_ID=	1	Month/Day=	4 16
Crop_Type=	20	Amount/C N_ratio=	78.900002 10.000000
Plant_time=	3 9	Type=	2
Harvest_time=	6 8	Weed_number=	0
Year_of_harvest=	1	Weed_Problem=	0
Ground_Residue=	0.150000	Flood_number=	2
Yield=	4375.000000	Leak_type=	1
Rate_reproductive=	0.029000	Flooding_ID=	1
Rate_vegetative=	0.009000	Flood_Month/Day=	1 21
Psn_efficiency=	0.400000	Drain_Month/Day=	4 21
Psn_maximum=	47.000000	Water_pH=	6.400000
Initial_biomass=	12.500000	Flooding_ID=	2
GenelD=	-1	Flood_Month/Day=	4 22
If_transplanting=	-1	Drain_Month/Day=	6 8
Transplant_month=	-1	Water_pH=	6.400000
Transplant_day=	-1	Irrigation_number=	0
Tillage_number=	5	Irrigation_type=	-1
Tillage_ID=	1	Irrigation_Index=	0.000000
Month/Day/method=	1 19 4	Grazing_number=	0
Tillage_ID=	2	Climate_file_mode	1
Month/Day/method=	1 21 2	Soil_microbial_index	1.000000
Tillage_ID=	3	Crop_model_approach	0
Month/Day/method=	1 28 2	Depth_WRL_cm	100.000000
Tillage_ID=	4	Slope	0.000000
Month/Day/method=	3 8 2	Soil_Fe3+(mol/kg)	0.060000
Tillage_ID=	5	Soil_Mn4+(mol/kg)	0.000600
Month/Day/method=	3 9 2	Max_Fe_reduction(mol/kg/h)	0.001500
Fertil_number=	0	Max_Mn_reduction(mol/kg/h)	0.001500
Manure_number=	3	Field_water_capacity_(WFPS)	0.820000
Manure_ID=	1		
Month/Day=	1 21		

วิธีการเก็บตัวอย่างก้าช

1. วางฐาน chamber แปลงละ 3 ฐาน ลึก 5 ซม โดยวางฐานไว้ต่อลอดๆกัน ไม่ให้หลังกัน และต้องปักหลักไว้เป็นจุดสังเกตเนื่องจากฐานจะอยู่ติดกับพื้นดินจนมองไม่เห็นเมื่อนำขึ้นมา
2. นำ chamber มาครอบบนฐานที่วางไว้ อย่าให้ chamber เอียง
3. บันทึกเวลาเริ่มต้น (0 นาที) โดยการเก็บตัวอย่างก้าชในแต่ละครั้งห่างกัน 30 นาที ในช่วง 12.00-14.00 น.
4. วัดระดับ water level (WL) และ head space (HS) โดยวัด 3 ด้านของ chamber บันทึกข้อมูล
5. วัดอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก chamber บันทึกข้อมูล
6. วัดอุณหภูมน้ำ บันทึกข้อมูล
7. วัดอุณหภูมิดิน บันทึกข้อมูล
8. วัด pH ของน้ำในแปลงนา บันทึกข้อมูล
9. เมื่อใกล้ถึงเวลาเก็บตัวอย่างให้เปิดพัดลมทิ่งไว้ก่อนประมาณ 2-3 นาที เพื่อให้ตัวอย่างก้าชใน chamber กระจายสม่ำเสมอ
10. ก่อนเก็บตัวอย่างให้ใช้ syringe ดูดอากาศจากขวด vial อีก 2-3 ครั้ง ระหว่างรอเก็บ
11. เมื่อถึงเวลาเก็บตัวอย่างให้เปิดวาล์วด้านบนของ chamber ใช้ syringe ดูดเก็บตัวอย่างจากสายซิลิโคน ทำการผสมอากาศใน syringe ก่อนประมาณ 2-3 ครั้ง แล้วจึงดูดเก็บที่ปริมาตรกำหนด (18 ml) จากนั้นถ่ายตัวอย่างก้าชที่เก็บได้ลงในขวด vial
12. ปิดวาล์ว และปิดพัดลม
13. เมื่อเริ่มเก็บที่เวลาถัดไปให้วัดอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิภายนอก chamber ทุกครั้ง ใช้ตารางบันทึกค่าดังตารางภาคผนวก

ข้อแนะนำในการปลูกข้าวเพื่อลดก้าชเรือนกระจก

แนวทางการลดก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวได้ถูกศึกษาอย่างกว้างขวางทั้งในระดับชาติและนานาชาติ โดยเนื้อหาในเอกสารนี้รวบรวมบทความวิจัยบางส่วนที่เกี่ยวข้องที่ดำเนินการศึกษาในประเทศไทยเป็นหลัก ทั้งนี้ แนวทางการลดก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวแบ่งได้เป็น (1) การลดการปล่อยก้าชเรือนกระจกจากนาข้าว เป็นการลดปริมาณก้าชเรือนกระจกที่ปล่อยระหว่างการปลูกข้าวโดยตรง และ (2) การส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าว เป็นการใช้พื้นที่นาเพื่อเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในลักษณะที่คล้ายกับการกักเก็บคาร์บอนของป่า แต่ระยะเวลาในการกักเก็บต่างกัน โดยเป็นกลไกที่มีผลอย่างมากต่อการลดก้าชเรือนกระจก รายละเอียดของแต่ละแนวทางการลดก้าชเรือนกระจกเป็นดังนี้

1. การลดการปล่อยก้าชเรือนกระจกจากนาข้าว

วิธีการลดการปล่อยก้าชเรือนกระจกสามารถดำเนินการได้หลายวิธี ดังนี้ วิธีที่สามารถนำไปปฏิบัติได้ทันที ได้แก่ การจัดการน้ำ ชนิดและการใส่ปุ๋ย และการจัดการตอซัง (เศษซากพืช) และวิธีที่ต้องการข้อมูลหรืองานศึกษาเพิ่มเพื่อเป็นแนวทางจัดการในระยะยาว เช่น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่ปล่อยก้าชเรือนกระจกต่ำ พันธุ์ข้าวที่มีอายุสั้น (ข้าวเบา) พันธุ์ข้าวที่ปลูกแบบนำแห้งหรือข้าวไร หรือพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตข้าวต่อพื้นที่สูง และอาจทำการปรับปรุงการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ซึ่งแม้จะไม่ช่วยลดการปล่อยก้าชเรือนกระจกโดยตรง แต่ช่วยลดปริมาณก้าชเรือนกระจกต่อหน่วยผลผลิต

การเลือกวิธีการจัดการการปล่อยก้าชเรือนกระจกในนาข้าวต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและต้นทุนการผลิต แนวทางต่อไปนี้ช่วยลดการปล่อยก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวที่มีศักยภาพในการนำไปปฏิบัติโดยอาจไม่ส่งผลกระทบต่อพัฒนาระบบท่องเที่ยวและเศรษฐกิจ

(1) การปรับรูปแบบการจัดการน้ำ

สภาวะน้ำขังในนาข้าวเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งเสริมการปล่อยก้าชเรือนกระจก โดยเฉพาะก้าชมีเทน ดังนั้น การปรับรูปแบบการจัดการน้ำในนาข้าว ไม่ว่าจะเป็นการลดระยะเวลาขังน้ำในแปลงนาหรือระบายน้ำจากนาข้าวเพื่อเพิ่มอุกซิเจนในดิน ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าศักย์ไฟฟารีดออกซ์ของดิน จะช่วยปรับสภาวะดินให้ไม่เหมาะสมกับกิจกรรมของจุลินทรีก่อผลิตมีเทน (เมทานโนเจน) และนำไปสู่การลดการปล่อยก้าชมีเทนจากนาข้าว ทั้งนี้ การเปลี่ยนรูปแบบการจัดการน้ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก้าชเรือนกระจก โดยเฉพาะในช่วงประปา ซึ่งสามารถทำโดยการระบายน้ำออกระหว่างฤดูเพาะปลูก ซึ่งเป็นการลดระยะเวลาการขังน้ำ จึงทำให้ช่วงเวลาการเกิดก้าชมีเทนสั้นลง การจัดการน้ำพอจำเพาะได้แก่ (ก) การระบายน้ำระหว่างฤดูเพาะปลูก เป็นการระบายน้ำครั้งเดียวในช่วงการเพาะปลูก (mid-season drainage) ซึ่งอาจเป็นในช่วงการเจริญเติบโตส่วนลำต้นของข้าว โดยเฉพาะช่วงแตกกอ สูงสุดหรือช่วงการสีบพันธุ์ เช่น ช่วงกำเนิดช่อดอก ช่วงดอกบาน เป็นต้น และ (ข) การระบายน้ำหลายครั้งระหว่างการเพาะปลูกหรือการปล่อยให้น้ำแห้งเป็นระยะๆ (multiple or intermittent drainage) ซึ่งอาจเป็นการระบายน้ำทั้งสองช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าวข้างตันก็ได้ แต่ทั้งนี้ การระบายน้ำในบาง

ช่วงมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าว โดยอาจเป็นทั้งผลที่เพิ่มและผลที่ลดปริมาณผลผลิตก็ได้ ตารางภาคผนวกที่ 1 ได้รวบรวมช่วงเวลาการระบายน้ำแบบระหว่างฤดูเพาะปลูกข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ

ตารางภาคผนวกที่ 1 ตัวอย่างช่วงเวลาการระบายน้ำกลางฤดูปลูกจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	ช่วงระบายน้ำ	ระยะเวลาระบายน้ำ (วัน)
Babu et al. (2005)	หลังปักดำ 30 และ/หรือ 60 วัน	10-15
Khind and Ponnamperuma (1981)	หลังปลูก 6 สัปดาห์	14
Neue (1997)	หลังปลูก 18-40 วัน (ช่วงแตกกอ [mid tillering])	ไม่ระบุ
Cabangon et al. (2003)	ระยะแตกกอสูงสุด	7-15
Tabbal et al. (2002)	ระยะแตกกอสูงสุด	7
Belder (2005)	ก่อนระยะกำเนิดช่อดอก/ข้าวสร้างรวงอ่อน	10-12
Corton et al. (2000)	ก่อนระยะกำเนิดช่อดอก/ระยะสร้างรวงอ่อน	7-10
Minamikawa and Sakai (2005)	หลังปักดำ 83 วัน	4
Towprayoon et al. (2005) (ไทย)	ระยะออกดอก (หลังปลูก 73 วัน) ระยะแตกกอและระยะออกดอก (หลังปลูก 30 และ 73 วัน)	7 3 / ครั้ง
Smakgahn et al. (2003) (ไทย)	ระยะออกดอก (หลังปลูก 64 วัน)	6
ภัตราและคณะ (2554) (ไทย)	ช่วงแตกกอสูงสุดหรือช่วงออกดอก	7

การศึกษาการจัดการน้ำในนาข้าวของต่างประเทศมีการดำเนินการในหลายประเทศ ทั้งในจีน ญี่ปุ่น อินเดีย และประเทศไทยในแถบยุโรปและอเมริกา และพบว่าให้ผลการลดก้าชมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงร้อยละ 7-80 (Wassmann et al., 2000) ตัวอย่างงานวิจัย เช่น Yagi et al. (1997) พบว่าการระบายน้ำหลายครั้งกลางฤดูปลูกในนาข้าวที่ศึกษาในญี่ปุ่นสามารถลดการปล่อยก้าชมีเทนได้ถึงร้อยละ 42-45 Sass et al. (1992) ทำการศึกษาการจัดการน้ำในนาข้าวที่ประเทศไทยหรืออเมริกา โดยเปรียบเทียบจัดการน้ำแบบระบายน้ำออกจากแปลงนาหลายครั้งในฤดูกาลเพาะปลูกกับการจัดการน้ำแบบปกติ คือ ไม่มีการระบายน้ำออกจากแปลงนาระหว่างฤดูกาลเพาะปลูก พบร่วงการจัดการน้ำทำให้

ก้าซมีเทนลดลงถึงร้อยละ 90 และไม่มีผลต่อผลผลิตข้าว และงานวิจัยของ Corton et al. (2000) ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ พบร่วงการระบายน้ำออกจากแปลงนาในระหว่างฤดูกาลเพาะปลูกนั้นสามารถลดก้าซมีเทนได้ถึงร้อยละ 92

การรวบรวมงานศึกษาการจัดการน้ำในนาข้าวของไทยพบผลในแนวโน้มเดียวกันกับงานวิจัยในต่างประเทศ ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาผลของการจัดการน้ำที่มีต่อการปล่อยก้าซมีเทนในกระบวนการข้าวได้ถูกรวบรวมและแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 2 โดยพบว่าการระบายน้ำช่วยลดก้าซมีเทนได้ แต่ประสิทธิภาพการลดขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น เนื้อดิน สภาพภูมิอากาศ (นาเปียหรือนาปรัง) และช่วงเวลาการระบายน้ำ เป็นต้น และการระบายน้ำกลางฤดูปลูกอาจมีผลต่อผลผลิตข้าวทั้งในการเพิ่มลดหรือไม่มีผลต่อผลผลิตข้าว ก็ได้ ดังนั้นจึงแนะนำให้เกษตรกรทำการข้าวแบบมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาในระหว่างการเพาะปลูกเพื่อเป้าหมายในการลดก้าซมีเทนที่จะปล่อยจากนาข้าว และช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายน้ำออกจากแปลงนาที่สามารถลดก้าซมีเทนแต่ไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อข้าว คือ การระบายน้ำออกจากแปลงนากลางฤดูปลูกในระยะเวลานี้ตามแต่เนื้อดินและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินนั้นๆ โดยไม่ส่งผลเสียต่อต้นข้าวหรือทำให้ต้นข้าวขาดน้ำที่จะมีผลต่อผลผลิตข้าว พัชรีและชนะ (2547) เสนอว่าช่วงการระบายน้ำajanan 4-8 วัน ตามแต่เนื้อดิน คือ 7-8 วัน สำหรับดินร่วนปนทราย และ 3-4 วัน สำหรับดินเหนียว ส่วนช่วงเวลาการระบายน้ำจากนาข้าวสามารถทำได้หลายช่วงตามแต่พื้นที่ข้าวและช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าว แต่ช่วงเวลาที่มักให้ประสิทธิภาพการลดการปล่อยก้าซมีเทนที่ดี คือ ช่วงที่รากข้าวปล่อยสารอินทรีย์เพื่อการตุนการเจริญเติบโตและกิจกรรมจุลทรรศน์บริเวณรากข้าว เช่น ช่วงแตกกอสูงสุด ช่วงข้าวออกดอก ช่วงดอกข้าวบาน เป็นต้น เพราะเป็นช่วงที่มีการปล่อยก้าซมีเทนในอัตราที่สูงมาก แต่ต้องระวังความเสี่ยงต่อผลผลิตข้าว (พิมพันธ์และคณะ, 2545; ภัตรา และคณะ, 2554; Towprayoon et al., 2005) โดยการขาดน้ำในระยะแตกกอ มีผลต่อการเจริญเติบโตและการแตกกอของต้นข้าว ส่วนในระยะออกดอกจะทำให้เมล็ดไม่สมบูรณ์ (พิมพันธ์ และคณะ, 2545) ทั้งนี้ การระบายน้ำอาจดำเนินการในช่วงข้าวตั้งห้องที่ต้นข้าวได้รับธาตุในโตรเจนจากปุ๋ยเติมที่แล้วก็ได้ ดังนั้น การจัดการน้ำในนาข้าวที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงระดับความชื้นดินที่เพียงพอ ระยะเวลารاحةน้ำ และระยะการเจริญเติบโตของข้าวด้วย เพื่อให้ได้วิธีการจัดการน้ำในนาข้าวที่เหมาะสมที่จะช่วยลดก้าซมีเทน ไม่ส่งผลเสียต่อผลผลิตข้าว และยังส่งเสริมการใช้น้ำในการปลูกข้าวที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นด้วย (พิมพันธ์ และคณะ, 2545; พัชรีและชนะ, 2547) แม้ว่าการจัดการน้ำโดยการระบายน้ำเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดก้าซมีเทน แต่ควรทำในนาที่มีการปรับหน้าดินเสมอ กัน และมีปริมาณน้ำเพียงพอในเขตชลประทาน ส่วนนาน้ำฝนควรจัดการน้ำโดยปล่อยให้ดินแห้งเป็นระยะ (พัชรีและสิริธร, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของพิมพันธ์ และคณะ (2545) ที่ควรการปล่อยให้น้ำแห้งตามธรรมชาติแทนการระบายน้ำจากนาข้าวน่าจะเหมาะสมกับการปลูกข้าวของไทยมากกว่า เพราะปัญหาความไม่แน่นอนของสภาพดินฟ้าอากาศที่อาจเกิดความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ และแนะนำว่าสามารถดrain น้ำจากดินแห้งเป็นครั้งคราวในระยะก่อนข้าวออกดอก

ตารางภาคผนวกที่ 2 ตัวอย่างงานศึกษาผลของการระบายนำํากลางถูกปลูกที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลผลิตข้าวของไทย

พื้นที่ตั้ง	รายละเอียด	ผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ร้อยละ) [†]		ผลต่อผลผลิตข้าว (ร้อยละ)	อ้างอิง
		CH ₄	N ₂ O		
ขอนแก่น	ปล่อยให้น้ำในนาแห้งเป็นบางช่วง	- / (36-84)		+ / (2-17)	พัชรี และคณะ (2547) [‡]
ขอนแก่น	ปล่อยให้น้ำในนาแห้งเป็นบางช่วง	- / (43-69)		0	พัชรีและชนะ (2547)
ขอนแก่น	จัดการนำขังสับบกับดินแห้งและใส่ฟาง	- / 29.1		- / 14.1	พัชรี และคณะ (2551a) [‡]
พิษณุโลก	ปล่อยให้น้ำแห้งในระยะแตกกอ (2 ครั้ง) หรือควบคุมความชื้นดินใกล้ระดับอิ่มตัวด้วยน้ำ	- / (65-72)		- / (27-39)	พิมพันธ์ และคณะ (2545) [‡]
สุพรรณบุรี	ปล่อยให้น้ำแห้งเป็นระยะหรือควบคุมความชื้นดินใกล้ระดับอิ่มตัวด้วยน้ำ	- / (63-76)		- / (18-27)	
ปทุมธานี	ปล่อยให้น้ำแห้งเป็นระยะหรือควบคุมความชื้นดินใกล้ระดับอิ่มตัวด้วยน้ำ	- / (65-76)		- / (20-70)	
ฉะเชิงเทรา	ระบายน้ำระหว่างถูกปลูก 1 ครั้ง (ช่วงแตกกอสูงสุดหรือช่วงออกดอก)	- / (6-20)	+ / (10-149)	- / (4-22) + / (5-10)	ภัตรา และคณะ (2554)
สมุทรสาคร	ระบายน้ำ 1 ครั้ง (ช่วงออกดอก) หรือหลายครั้งระหว่างถูกปลูก	- / (28-35)	+ / (12-55)	- / (7-11)	Towprayoon et al. (2005)

[†] (+, 0, -) = การเพิ่ม (+) ไม่เปลี่ยนแปลง (0) หรือ ลด (-) และตัวเลขในวงเล็บ = ช่วงการเปลี่ยนแปลง; [‡] ปรับการคำนวณ

แม้ว่าการจัดการนำ้ในระหว่างการเพาะปลูกข้าวจะช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ดี แต่ สภาวะของดินหลังการระบายน้ำที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น จะส่งเสริมการเกิดก๊าซในตระสอกไชร์ดและทำให้ปล่อยก๊าซในตระสอกไชร์ดจากนาข้าวเพิ่มขึ้น (ตารางภาคผนวกที่ 2) ซึ่งเป็นเพราะ การระบายน้ำลงถูกปูกลูกเป็นการเติมออกซิเจนให้กับดินนา ทำให้ในโตรเจนในรูปแอมโมเนียหรือ แอมโมเนียมจากปูยเคลื่อนถูกออกซิไดร์ฟเพื่อเปลี่ยนรูปเป็นไนโตรท์และใน terrestrial กระบวนการในตระสอกไชร์ดและภัยหลังที่ทำการขังน้ำในแปลงนาอีกรอบ จะทำให้ในเตรอที่ผลิตขึ้นระหว่างกระบวนการน้ำ ข้างต้นเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นก๊าซในตระสอกไชร์ดและก๊าซในโตรเจนผ่านกระบวนการดีในตระสอกไชร์ด ด้วย เหตุนี้ การระบายน้ำจึงทำให้การปล่อยก๊าซในตระสอกไชร์ดเพิ่มขึ้นนั้นเอง (พัชรีและคณะ, 2547; ภัตราและคณะ, 2554; Towprayoon et al., 2005) และจำนวนครั้งหรือระยะเวลาของการระบายน้ำอาจมีผล ส่งเสริมการปล่อยก๊าซในตระสอกไชร์ดที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้น การเลือกรูปแบบการจัดการน้ำในนาข้าวที่ เหมาะสมสมควรพิจารณาถึงผลที่มีต่อการปล่อยก๊าซในตระสอกไชร์ดรวมด้วยที่เรียกว่า trade-off effect

ด้วยเหตุนี้ การจัดการน้ำในนาข้าวจึงควรกำหนดช่วงเวลาและระยะเวลาที่เหมาะสมที่ควบคุม การปล่อยก๊าซมีเทนควบคู่กับก๊าซในตระสอกไชร์ดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและให้เกิดการใช้น้ำที่มี ประสิทธิภาพ

(2) การปรับปรุงการใช้ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยมีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว โดยชนิดและรูปของปุ๋ยมีส่วนสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ในส่วนนี้ของล่าวเฉพาะผลที่เกี่ยวกับปุ๋ยเคลื่อนที่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและให้เกิดการใช้น้ำที่มี ประสิทธิภาพ

การใส่ปุ๋ยมีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว โดยชนิดและรูปของปุ๋ยมีส่วนสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ในส่วนนี้ของล่าวเฉพาะผลที่เกี่ยวกับปุ๋ยเคลื่อนที่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและให้เกิดการใช้น้ำที่มี ประสิทธิภาพ (ตารางภาคผนวกที่ 3) การเลือกใช้ปุ๋ยเคลื่อนที่มีองค์ประกอบบางชนิด โดยเฉพาะกลุ่มซัลเฟต เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต สามารถลดค่า Eh ของดินนาที่ขังน้ำได้ จึงช่วยลดการเกิดก๊าซมีเทนจากนาข้าว เมื่อเทียบกับ ปุ๋ยเคลื่อนที่มีปริมาณในโตรเจนสูง เช่น ปุ๋ยยูเรีย โดยงานศึกษาของพัชรี และคณะ (2547) พบว่าการใส่ปุ๋ย แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นปุ๋ยแต่งหน้าแทนปุ๋ยยูเรียที่อัตรา 15 และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วยลดการปล่อย ก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ร้อยละ 11 และ 44 ตามลำดับ แต่ปริมาณซัลเฟตที่ใส่ต้องมากเพียงพอจึงจะเห็น ผลการลดก๊าซมีเทนจากการใส่ซัลเฟตได้ โดยพัชรีและคณะ (2547) เสนอว่าควรใส่ปุ๋ยแอมโมเนียม ซัลเฟตในปริมาณมากกว่า 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อจะเห็นผลลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ชัดเจน โดยงานศึกษา การใช้ฟอสฟอร์บัติมีปั๊มน้ำร่วมกับปุ๋ยเคลื่อนที่และฟางข้าว พบว่าฟอสฟอร์บัติมีปั๊มน้ำลดการปล่อยก๊าซมีเทน จากนาข้าวได้ประมาณร้อยละ 30-50 เพราะการเติมยิปซัมเป็นการเพิ่มซัลเฟตในนา และยังพบว่าการใส่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนในนาที่ใส่ฟางข้าวเป็นวัสดุปรับปรุงดิน เมื่อเทียบกับ การใช้ปุ๋ยยูเรีย (ประพี และคณะ, 2547) อย่างไรก็ตาม มนตรี และคณะ (2548) ไม่พบว่าการใส่ปุ๋ย แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นปุ๋ยแต่งหน้าแทนปุ๋ยยูเรียช่วยลดก๊าซมีเทนในนาข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคลื่อนที่ได้ แต่ หากใส่ร่วมกับปุ๋ยรองพื้นที่เป็นปุ๋ยมูลไก่จึงจะช่วยลดก๊าซมีเทนได้ประมาณร้อยละ 13 ดังนั้น ปริมาณ ซัลเฟตที่ใส่ให้แก่ดินและปริมาณวัสดุอินทรีย์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดก๊าซมีเทนจากนา ข้าวของซัลเฟต

ตารางภาคผนวกที่ 3 ตัวอย่างผลของการใส่ปุ๋ยและสารประกอบต่างๆ ที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

พื้นที่ตั้ง	รายละเอียด	ผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ร้อยละ) [†]		ผลต่อผลผลิตข้าว (ร้อยละ)	อ้างอิง
		CH ₄	N ₂ O		
ขอนแก่น	การใช้ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นโมเนียมชัลเฟตแทนญูเรียที่ 15 และ 30 กก./ไร่	- / (11, 44)		+ / (17, 0)	พัชรี และคณะ (2547) [‡]
ขอนแก่น	การใช้แอมโมเนียมชัลเฟตแทนญูเรีย <ul style="list-style-type: none"> - ปุ๋ยรองพื้น: 16-16-8 - ปุ๋ยรองพื้น: ปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด 	+ / 57 - / 13		+ / 19 - / 2	มนตรี และคณะ (2548) [‡]
ลพบุรี	การใส่ฟอสฟอยปัชมร่วมกับปุ๋ย	- / (30-50)		- / (11-18)	ประไพร และคณะ (2547)
ฉะเชิงเทรา	การลดปริมาณปุ๋ยญูเรียแต่งหน้า (นาปี) <ul style="list-style-type: none"> - ขังน้ำตลอดการปลูก - ระบายน้ำกลางฤดู 1 ครั้ง 	+ / 6 + / 4	- / 60 - / 37	- / 4 + / 9	ภัทรา และคณะ (2554)
ไทย	การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมแทนญูเรีย <ul style="list-style-type: none"> - ใส่เฉพาะปุ๋ยเคมี - ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมัก 	- / 11.83 - / 27.83			ภาควิชานิพัทธ์ (2543) อ้างถึงใน พัชรีและシリธร (2548)
ไทย	การใส่ยิปซัมร่วม	- / (55-70)			นิวัติ (2540) อ้างถึงใน พัชรีและシリธร (2548)

[†] (+, 0, -) = การเพิ่ม (+) ไม่เปลี่ยนแปลง (0) หรือ ลด (-) และตัวเลขในวงเล็บ = ช่วงการเปลี่ยนแปลง; [‡] ปรับการคำนวณ

การเลือกรูปและปริมาณของปุ๋ยในโตรเจนสามารถควบคุมการปล่อยก๊าซในตระสอกไซด์จากนาข้าวได้ โดยปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่มากขึ้นและการใช้ปุ๋ยในโตรเจนสูง (เช่น ยูเรีย) จะส่งเสริมการปล่อยก๊าซในตระสอกไซด์ให้มากขึ้นด้วย งานศึกษาการลดปริมาณปุ๋ยเรียของภัทรา และคณะ (2554) พบว่า การใส่ปุ๋ยแต่งหน้ายุเรียที่น้อยลงช่วยลดการปล่อยก๊าซในตระสอกไซด์ได้ร้อยละ 37 และ 60 ตามแต่ วิธีการจัดการน้ำในนาข้าว แต่เป็นที่น่าสนใจว่าการลดปริมาณปุ๋ยในงานศึกษานี้ทำให้การปล่อยก๊าซ มีเทนเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 4 และ 6 ส่วนการใส่ปุ๋ยในโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรทในนาข้าวอาจเพิ่ม ปล่อยก๊าซในตระสอกไซด์ เพราะไนเตรทเป็นรูปที่พร้อมจะเปลี่ยนเป็นก๊าซในตระสอกไซด์ผ่านกระบวนการ ดีไนตริฟิเคชั่น นอกจากนี้ยังพบว่าการหัวน้ำปุ๋ยเคมีที่ผิวน้ำดินส่งเสริมการปล่อยก๊าซในตระสอกไซด์ ให้สูงกว่าการไถกลบปุ๋ยไปกับดินในขั้นการเตรียมพื้นที่ เพราะปุ๋ยในโตรเจนที่ผิวดินจะถูกเปลี่ยนรูปได้ เร็วกว่า ทำให้ปล่อยก๊าซในตระสอกไซด์ที่สูงทันทีหลังใส่ปุ๋ย

(3) การจัดการวัสดุอินทรีย์

การใส่อินทรีย์วัตถุ ได้แก่ พางข้าว ตอซัง วัชพีช และอินทรีย์วัตถุอื่นๆ รวมถึงปุ๋ยอินทรีย์ ใน ปริมาณและรูปที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดิน แต่ไม่เพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซมีเทนจากนาข้าวมากนัก รูปของอินทรีย์วัตถุมีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว โดย (1) ควรไถกลบเศษชาตพืชลงสู่ดินก่อนการขังน้ำเป็นระยะเวลาก่อนแล้วจึงปลูกข้าว เพื่อให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในรูปที่ง่ายต่อการใช้ชักของจุลินทรีย์ (easily decomposable organic matter) ในสภาวะที่มีอากาศ (แอโรบิก) ก่อน เพราะสารอินทรีย์กลุ่มนี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญของการเกิดก๊าซมีเทนในการขังน้ำช่วงแรกของการปลูกข้าว และ (2) ควรหลีกเลี่ยงการใส่พางข้าวและอินทรีย์วัตถุสด (เช่น ปุ๋ยอินทรีย์สด) ลงในดินนาเพรำมีสารอินทรีย์ย่อยสลายง่ายในปริมาณมาก ทั้งนี้ ควรผ่านขั้นตอนการหมักก่อนเพื่อควบคุมปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายง่ายและการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงปลูกข้าว งานศึกษาของภัทรา และคณะ (2554) พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในแปลงนาอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่ผ่านการหมักแล้ว ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในรูปที่สลายง่ายถูกย่อยสลายและลดปริมาณลงระหว่างการหมักปุ๋ย ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์หมักลงในแปลงนาแล้ว จึงไม่ส่งมากนักต่อการปล่อยก๊าซมีเทนเมื่อเทียบกับนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี ซึ่งสอดคล้องกับงานของประไไฟและ Katoh (2542) และพิมพันธ์ และคณะ (2545) ที่พบว่าการหมักพางหรือใส่ปุ๋ยหมักพางข้าวช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้มากกว่าร้อยละ 90 ของการใส่พางสด หรือกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับการใส่แกลบและมูลไก่ ตามลำดับ ส่วนพัชรีและคณะ (2551a) พบว่าการใส่วัสดุอินทรีย์ที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ต่ำกว่า 100 ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าการใส่วัสดุที่มีค่า C/N ratio ที่สูงกว่า ทั้งนี้มีข้อเสนอแนะว่าควรไถกลบเศษชาตพืชและวัชพีชก่อนปลูกข้าวเป็นเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ และค่อยทำการเตรียมดินและขังน้ำในนาข้าว (พัชรีและสิริธร, 2548) ซึ่งเป็นข้อสรุปที่ใกล้เคียงกับพิมพันธ์ และคณะ (2545) ที่ว่า อินทรีย์วัตถุที่ใส่ในนาข้าวควรผ่านการหมักและควรเว้นช่วงให้เศษชาตพืชในแปลงนาถูกย่อยสลายก่อนทดนำทำงาน และยังสนับสนุนว่าการไถกลบวัสดุอินทรีย์ในแปลงนามีการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกวาริธีการ

หวาน ทั้งนี้ การไก่กลบวัสดุอินทรีย์จะเกิดการปล่อยก๊าซในตระสօอกไซด์ที่ต่ำกว่าการทิ้งบนพื้นที่ เพราะ อินทรีย์วัตถุนผิดนิจเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่า (Bouwman, 1996)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมอาจทั้งช่วยปรับปรุงดิน ให้ความอุดมสมบูรณ์ดิน และไม่เพิ่มการ ปล่อยก๊าซเรือนกระจาก โดยการใส่อินทรีย์วัตถุในปริมาณที่ไม่สูงเกินไปอาจไม่เพิ่มการปล่อยก๊าซมีเทน มากนัก เช่น งานศึกษาการใส่วัสดุอินทรีย์ในอัตราไม่เกิน 1.4-1.7 เท่าของปริมาณที่ใส่ในนาควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์) พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนไม่แตกต่างหรือเพิ่มไม่มากนักจากนาควบคุม (พัชรี และคณะ, 2551a; ภัทรา และคณะ, 2554) พิมพันธ์ และคณะ (2545) พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลไก่ในอัตราที่ไม่ สูงเกินไปไม่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทน แต่ถ้าใส่ในอัตราที่สูงจะเพิ่มการปล่อยก๊าซมีเทนอย่างชัดเจน ทั้งนี้มีงานศึกษาที่พบว่าการเติมปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ดี เมื่อ เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเฉพาะปุ๋ยเคมี (มนตรีและคณะ, 2548) โดยต้องเลือกใช้อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ เหมาะสม ซึ่งงานศึกษาของพิมพันธ์ และคณะ (2545) พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีลดการ ปล่อยก๊าซปล่อยก๊าซมีเทนได้เฉพาะการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราต่ำ หากเพิ่มอัตราปุ๋ยเคมีจะทำให้การปล่อย ก๊าซมีเทนเพิ่มมากขึ้น ส่วนผลที่มีต่อการปล่อยก๊าซในตระสօอกไซด์จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีในโตรเจน สูงยังไม่ชัดเจน โดยอาจส่งเสริมหรือลดการปล่อยก๊าซก็ได้ (Li et al., 1996; Ji et al., 1999)

การรวบรวมงานศึกษาการปรับวิธีการใส่วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวของไทยมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับ ผลงานวิจัยในต่างประเทศ ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือน กระจากนาข้าวได้ถูกวิเคราะห์และแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 4

ตารางภาคผนวกที่ 4 ตัวอย่างผลของการใช้สัดสูตรอินทรีย์ที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวจากการวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

พื้นที่ตั้ง	รายละเอียด	ผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ร้อยละ) [†]		ผลต่อผลผลิตข้าว (ร้อยละ)	อ้างอิง
		CH ₄	N ₂ O		
ขอนแก่น	การใช้มูลไก่อัดเม็ด/มูลวัวแทนฟางข้าว	- / (50, 53)		+ / (12, 18)	พัชรี และคณะ (2551a) [‡]
ขอนแก่น	การใช้ปุ๋ยรองพื้นมูลไก่ร่วมปุ๋ยเคมีแทน การใช้เฉพาะปุ๋ยเคมี	- / (47, 71)		- / (2, 5)	มนตรี และคณะ (2548) [‡]
ลพบุรี	การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี - ปุ๋ยหมักฟางข้าว - กากรตะกอนนำตาล	- / (15-22)		+ / (1-9)	พิมพันธ์ และคณะ (2545) [‡]
ลพบุรี	การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าว/กากรตะกอน ร่วมกับปุ๋ยเคมี - ไถกลบ - หัว่าน	+ / (0-51)		+ / (4-13)	เที่ยบกับการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว
นครราชสีมา	การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี - ปุ๋ยหมักฟางข้าว - แกลบ	- / 18		- / 2	
นครราชสีมา	การใช้ปุ๋ยคอกมูลไก่ร่วมกับปุ๋ยเคมี	+ / 26		0	

และสกัลน์คร	- อัตรา 100 กก./ไร - อัตรา 200 กก./ไร - อัตรา 300 กก./ไร - อัตรา 1,000 กก./ไร	- / (4, 1) + / (10, 9) + / (36, 23) + / 41		(- / 7), (+ / 11) (- / 1), (+ / 9) + / (6, 20) + / 8	
อุบลราชธานี	การใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมี - อัตราปุ๋ยเคมีต่ำ - อัตราปุ๋ยเคมีสูง		- / (20, 21) + / (17, 36)		(- / 1), (+ / 12) + / (17, 26)
ฉะเชิงเทรา	การใช้ปุ๋ยอินทรีย์หมักแทนปุ๋ยเคมี	+ / (6-37)	- / (19-62)	- / 15, + / (2-66)	ภัทรา และคณะ (2554)

[†] (+, 0, -) = การเพิ่ม (+) ไม่เปลี่ยนแปลง (0) หรือ ลด (-) และตัวเลขในวงเล็บ = ช่วงการเปลี่ยนแปลง; [‡] ปรับการคำนวณ

2. การส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าว

การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตร เป็นการใช้พื้นที่เกษตรเพื่อเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในระบบป่าลูก (ดินและพืช) โดยเฉพาะการกักเก็บคาร์บอนในดิน และเป็นแนวทางที่ช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์) ในบรรยากาศที่มีประสิทธิภาพดี ต้นทุนต่ำ และสามารถดำเนินการได้ทันที (Lal, 2004) ก๊าซcarbonไดออกไซด์จะถูกดูดซับและเปลี่ยนรูปเป็นอินทรีย์วัตถุในพืชผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง อินทรีย์วัตถุบางส่วนที่ถูกใส่ลงดินจะเกิดการย่อยสลายและเก็บสะสมเป็นอินทรีย์วัตถุในดินต่อไป ซึ่งอินทรีย์วัตถุในดินนี้คงอยู่ในดินได้เป็นเวลารานาน หากพื้นที่เกษตรได้รับการจัดการที่เหมาะสม คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) ประเมินว่าการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่เกษตรช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้ดีและมีศักยภาพเชิงเทคโนโลยีคุณภาพร้อยละ 89 ในขณะที่การลดการปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากดินคิดเป็นร้อยละ 9 และ 2 ตามลำดับ (Smith et al., 2007)

แม้ว่าการกักเก็บคาร์บอนในดินมากได้รับความสนใจในพื้นที่ป่าลูกพืชไร่ทั่วไป (upland crop) แต่มีการศึกษาความสามารถในการสะสมcarbonในนาข้าวอยู่บ้าง โดยพบว่านาข้าวอาจช่วยกักเก็บcarbonในดินได้ ซึ่งรูปแบบการป่าลูกข้าวแบบน้ำขังจะลดอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน สภาวะที่ไร้อากาศหรือมีออกซิเจนจำกัดนั้น ทำให้จุลินทรีย์ดินย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในอัตราที่ช้ากว่าในสภาวะที่มีอากาศ ทำให้อินทรีย์วัตถุคงค้างและสะสมในดินได้ดีกว่า นาข้าวจึงมีศักยภาพในการกักเก็บcarbonในดินที่ดีกว่าการเพาะปลูกพืชไร่ชนิดอื่นหรือเทียบกับปริมาณcarbonอินทรีย์ในดินเริ่มต้น หากแต่การรวบรวมงานศึกษาการกักเก็บcarbonในดินนาขของไทยมีอยู่น้อย จึงขออ้างอิงตัวอย่างงานศึกษาในต่างประเทศร่วมด้วยในเนื้อหาส่วนนี้ เช่น งานศึกษา Pan and Zhao (2005) พบว่าอัตราการกักเก็บcarbonในนาข้าวของจีนมีค่าประมาณ 0.1-2 ตันcarbonต่ำรัศมีต่อปี และการศึกษาของ Huang et al. (2010) พบว่าแปลงนาที่ป่าลูกข้าวมานาน 27 ปี มีปริมาณcarbonอินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 28.8 จากปริมาณcarbonอินทรีย์เริ่มต้น

ด้วยเหตุผลข้างต้น การป่าลูกข้าวน้ำขังจึงสามารถสะสมcarbonในดินได้ รายงานแนวทางการประเมินบัญชีก๊าซเรือนกระจกในปี ค.ศ. 2006 ของ IPCC (Lasco et al., 2006) มีข้อมูลส่วนหนึ่งเกี่ยวกับการประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณcarbonในดินเกษตรที่แบ่งเป็นพื้นที่ป่าลูกพืชไร่ทั่วไป นาข้าว และพื้นที่ป่าลูกพืชยืนต้น ค่ากลาง (default value) ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณcarbonในดินของนาข้าวมีค่าเท่ากับ 1.10 ซึ่งแสดงว่าการป่าลูกข้าวน้ำขังน้ำสามารถลดการสะสมcarbonในดิน โดยค่ากลางที่มากกว่า 1 หมายถึงcarbonในดินมีการสะสมเพิ่มขึ้นจากสภาวะเริ่มต้น ในขณะที่การป่าลูกพืชไร่ใน (ที่ไม่มีน้ำขัง) มีค่ากลางที่น้อยกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าปริมาณcarbonในดินลดลง ทั้งนี้ อัตราการลดลงมากหรือน้อยขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ โดยประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีปริมาณฝนต่อปีในระดับปานกลางถึงสูง มีค่ากลางการเปลี่ยนแปลงcarbonในดินของพื้นที่เพาะปลูกที่ 0.48 ซึ่งหมายถึงปริมาณcarbonในดินลดลงภายใต้การเพาะปลูกพืช

รูปแบบการปลูกข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าว การปลูกข้าวต่อเนื่องส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินที่สูงกว่าการปลูกข้าวสลับกับพืชไร่อื่น หรือการปลูกพืชไร่อ่าย่างเดียว (Huang et al., 2010; Sahrawat et al., 2005; Zhang et al., 2007) เพราะทำให้ดินมีสภาวะที่อกรซิเจนจำกัดต่อเนื่องและยาวนานกว่าการปลูกข้าวสลับกับการปลูกพืชไร่ การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจึงเกิดน้อยกว่าและเกิดการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินได้ดีกว่า แต่การปลูกข้าวต่อเนื่อง เช่นนี้เพิ่งระวังในประเด็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซมีเทน ที่อาจเพิ่มมากขึ้นจากระยะเวลาข้างหน้าที่นานขึ้น

กิจกรรมการเกษตรเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมcarbonในดินเกษตร รวมถึงพืชน้ำที่ปลูกข้าว โดยกิจกรรมการเกษตรที่สำคัญ ได้แก่ การไถพรวนดิน การจัดการวัสดุอินทรีย์ การใส่ปุ๋ย เป็นต้น กิจกรรมเหล่านี้พอแบ่งได้เป็นกิจกรรมที่ลดการสูญเสียและที่เพิ่มปริมาณcarbonในดิน โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) การลดการไถพรวนดินหรือเตรียมพืชน้ำ

การไถพรวนดินมีผลต่อประสิทธิภาพการกักเก็บcarbonในดินของพืชน้ำที่เกษตร โดยงานศึกษาส่วนมากพบว่าการไถพรวนดินเป็นการสูญเสียcarbonจากดินและทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ทั้งนี้เป็นเพียงการไถพรวนดินทำให้อินทรีย์วัตถุที่ฝังหรือซ่อนอยู่ใต้ผิวดินหรือในเม็ดดินถูกพลิกกลับบนผิวดินหรือเปิดออก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน โดยเฉพาะในสภาวะที่มีอากาศและความชื้นดินเพียงพอ เช่น ช่วงเตรียมดินก่อนปลูกข้าว ที่ทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินเกิดได้ดี ด้วยเหตุนี้ การไถพรวนดินในแปลงนาที่มากเกินไป ไม่ว่าจะเป็นวิธีการไถพรวนที่พลิกหน้าดินมากหรือลึกเกินไปหรือการไถพรวนดินหลายครั้ง อาจทำให้สูญเสียcarbonจากดินหรือลดการสะสมcarbonในดินได้ หากแต่การเลือกวิธีการไถพรวนและการจำกัดจำนวนครั้งของการไถพรวนดินในแต่ละรอบของการปลูกข้าวสามารถลดผลกระทบที่มีต่อปริมาณcarbonในดินได้ การศึกษาผลของรูปแบบการไถพรวนดินที่มีต่อปริมาณcarbonอินทรีย์ในดินโดยพัชรี และคณะ (2551b) พบว่าการไถพลิกหน้าดินหรือไถกลบตอซังทำให้ปริมาณcarbonในดินลดลงมากที่สุด เพราะการทำเทือกทำลายโครงสร้างดินอย่างมากและทำให้การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินเกิดได้ง่ายขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเสนอว่าการลดการไถพรวนและการไม่ทำเทือกเป็นแนวทางที่ส่งเสริมให้เกิดการสะสมcarbonในดินนาและลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวด้วย แม้ว่าจะทำให้ผลผลิตข้าวลดลงแต่สามารถบรรเทาผลกระทบนี้ได้ด้วยการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว

(2) การเพิ่มวัสดุอินทรีย์ในดิน

การทิ้งวัสดุอินทรีย์ เช่น เศษชาตพืชและวัชพืช และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าวเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ (carbon) ให้แก่ดิน และอาจทำให้carbonในดินสะสมเพิ่มมาก

ขึ้น โดยงานศึกษาของภัทร์ และคณะ (2554) พบว่าการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์หมักต่อเนื่องกว่า 9 ปี มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สะสมในดินที่สูงกว่าการปลูกข้าวที่ใช้ปุ๋ยเคมี ประมาณร้อยละ 27 ส่วนแปลงนาที่ได้รับปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ต่อเนื่องเป็นเวลานาเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินมากที่สุดถึงร้อยละ 62 เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ใส่ปุ๋ยและการใช้เฉพาะปุ๋ยเคมี โดยการกระจายตัวของคาร์บอนอินทรีย์ในดินในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยมูลสัตว์พบว่าอยู่ในรูปที่เสถียร ซึ่งแสดงถึงการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดินที่ดี (Huang et al., 2010) แต่มีข้อระมัดระวังในการใส่สัดอินทรีย์ในนาข้าวที่จะส่งเสริมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (มีเทน) ให้มากขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มแหล่งคาร์บอนให้แก่จุลินทรีย์ดิน

ดังนั้น การใส่สัดอินทรีย์ในนาข้าวจึงควรใส่ในปริมาณหรือเวลาที่เหมาะสมที่ช่วยส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดิน แต่ไม่เพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว หรืออาจทำการใส่สัดอินทรีย์ร่วมกับวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว เพื่อเป็นแนวทางการปลูกข้าวที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควบคู่กับการส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดิน ด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนจากการทำบัญชีการบันทุณฑ์ในพื้นที่ปลูกข้าวดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 5 โดยงานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) พบว่าแปลงนาที่ทิ้งฟางข้าวในลาดการสูญเสียคาร์บอนในดินได้ดีเมื่อเทียบกับนาที่นำฟางออกจากรถแลง และไม่พบผลของฟางข้าวที่มีต่อการปล่อยก๊าซมีเทน โดยอาจเป็นเพราะฟางถูกไถกลบในแปลงนาในช่วงฤดูหนาว (ธันวาคม) และทิ้งไว้โดยสลายก่อนทำการปลูกข้าวรอบใหม่ช่วงปลายเมษายนและต้น พฤษภาคม ส่วนงานศึกษาของ Iqbal et al. (2009) พบว่าสำหรับนาที่ไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจน การใส่ rapeseed straw เพียงอย่างเดียวทำให้นาข้าวสูญเสียคาร์บอนในดินสูงกว่าการไม่ใส่สัดอินทรีย์ชนิดนี้ แต่ถ้าใส่ร่วมกับปุ๋ยในโตรเจนจะช่วยลดการสูญเสียคาร์บอนในดินได้ดีกว่าการใส่ปุ๋ยในโตรเจนหรือสัดอินทรีย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจเป็นเพราะคุณภาพของสัดอินทรีย์ที่ใช้ และงานศึกษาของภัทร์ และคณะ (2554) พบว่านาอินทรีย์มีการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงปลูกข้าวที่สูงกว่านาเคมี แต่การทำนาอินทรีย์ร่วมกับการระบายน้ำกลางฤดูปลูกช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวให้ใกล้เคียงมากขึ้นกับนาเคมีอ้างอิงที่ขึ้นต่อตัวลด และการใส่ปุ๋ยหมักในนาอินทรีย์ส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดีกว่านาเคมี ทั้งนี้เป็นที่นำเสนอใจว่างานศึกษาในระยะสั้นนี้ (1 ปี) ไม่พบผลของการจัดการน้ำที่มีต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ซึ่งคาดว่าสาเหตุหนึ่งเป็นเพาะการจัดการน้ำส่งผลต่อปริมาณมวลชีวภาพที่ใส่ลงดิน naïve มากนักเมื่อเทียบกับนาที่ไม่จัดการน้ำผลที่ได้ชี้ว่าการจัดการน้ำไม่ส่งผลเสียต่อการสะสมคาร์บอนในดิน naïve แต่ช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ดังนั้น การจัดการน้ำร่วมกับการใส่สัดอินทรีย์ในนาข้าวจึงเป็นแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควบคู่กับการส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ นอกจากนี้ เป็นที่นำเสนอต่อจากข้อมูลในตารางภาคผนวกที่ 5 ที่พบว่าบัญชีการบันทุณฑ์มีค่า > 0 แสดงว่าการปลูกข้าวทำให้เกิดการสะสมคาร์บอนในระบบปลูก (ที่คิดรวมคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ข้าวเปลือก ข้าวลีบ ฟาง ตอซังราก และเศษชาดพืชอื่น) แต่การสะสมคาร์บอนในดินนาขึ้นอยู่กับการจัดการนา โดยเฉพาะการใส่สัดอินทรีย์หรือการทิ้งเศษชาดพืชในแปลงนาเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งงานศึกษาที่รวบรวมนี้โดยมากไม่พิจารณาการบันทุณฑ์ในผลผลิตข้าวและฟาง (ตามแต่กรณี) ในการทำบัญชีการบันทุณฑ์ในดิน

ตารางภาคผนวกที่ 5 บัญชีคาร์บอนของการปลูกข้าวจากการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ดัง	การปลูกข้าว	บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	บัญชีคาร์บอนในดิน	บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	บัญชีคาร์บอนในดิน
		----- (g C m ⁻² crop ⁻¹) [†] -----	-----	----- (g C m ⁻² y ⁻¹) [‡] -----	-----
ดินร่วนปนทราย/ดินทราย ไทย ¹	2 รอบต่อปี	330 – 529 ^{††}	47 – 170	572 – 764	4 – 126
- นาเคมีที่ขังน้ำตลอด					22
- นาเคมีที่จัดการน้ำ					4
- นาอินทรีย์ที่ขังน้ำตลอด					123
- นาอินทรีย์ที่จัดการน้ำ					126
ดินร่วนปนทราย ตอนใต้ของจีน ²	1 รอบ	16 – 140	(-165) – (-89)		
- ไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจน (N0)			-127		
- N0/ใส่ rapeseed straw			-165		
- ใส่ปุ๋ยในโตรเจน (N2)			-110		
- N2/ใส่ rapeseed straw			-89		
ดินเหนียว (Andisol) ญี่ปุ่น ³	1 รอบต่อปี	268 – 519	(-123) – 2	225 - 446	(-188) – (-20)
- ขังน้ำตลอด/ไม่ใส่ฟาง					-166, -188
- ขังน้ำตลอด/ใส่ฟาง					-20, -104
- จัดการน้ำ/ไม่ใส่ฟาง					-170, -179
- จัดการน้ำ/ใส่ฟาง					-32, -103
ดินเหนียว (Andisol) ญี่ปุ่น ⁴	1 รอบต่อปี	618	75	522	-21

¹ กัตรา และคณะ (2554)-การจัดการน้ำ = ระบายน้ำกลางฤดูปลูก; ² Iqbal et al. (2009)-ไม่รวมก้าชมีเทน; ³ ปรับปรุงจาก Minamikawa and Sakai (2007)-การจัดการน้ำ = ควบคุมค่า Eh; ⁴ คำนวณจาก Koizumi (2001) และการหายใจของจุลินทรีย์ดิน อ้างอิงจาก Minamikawa and Sakai (2007); [†] คำนวณเฉพาะช่วงการปลูกข้าว (รวมผลการปล่อยก้าชมีเทน); [‡] คำนวณรวมตลอดปีเพาะปลูกของพื้นที่การปลูกข้าว (ช่วงปลูกข้าวและช่วงพักนา); ^{††} ค่าเป็นวงก = คาร์บอนสุทธิสะสมในระบบ และค่าติดลบ = คาร์บอนสุทธิสูญเสียจากระบบ

โดยรวมแล้ว การใช้พื้นที่ปลูกข้าวเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนสามารถดำเนินการได้ทั้งการลดการสูญเสียcarbonจากดินและเพิ่มปริมาณcarbonที่สำคัญให้กับพื้นที่ โดยเฉพาะการเพิ่มปริมาณอินทรีย์ตุ่นให้แก่ดินและลดการไก่พรวนดิน หากแต่วิธีการเหล่านี้อาจต้องดำเนินการร่วมกับวิธีการอื่นเพื่อลดผลกระทบทางลบต่อผลผลิตข้าวหรือลดทอนผลของ trade off ที่มีต่อประสิทธิภาพการลดก้าชเรือนกระจก

3. ข้อพิจารณาในการเลือกวิธีการลดก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวที่เหมาะสม

ด้วยความซับซ้อนของแนวทางการลดก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวที่การดำเนินการหนึ่งอาจลดการปล่อยก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวหรือส่งเสริมการสะสมcarbonได้ดี แต่อาจเป็นการเพิ่มการปล่อยก้าชเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่ง การประเมินหรือเลือกแนวทางการลดก้าชเรือนกระจกที่เหมาะสม จึงควรพิจารณาในประเด็นเหล่านี้ให้ครอบคลุม โดยอาจเลือกใช้หลายแนวทางร่วมกันในการลดก้าชเรือนกระจก ทั้งนี้ ได้สรุปข้อพิจารณาในการเลือกวิธีลดก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวตามปัจจัยที่มีผลข้างต้นและแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 6

ตารางภาคผนวกที่ 6 สรุปวิธีลดก้าชเรือนกระจกจากนาข้าวที่มีประสิทธิภาพ

วิธีลดก้าชเรือนกระจกในนาข้าว	ข้อเสนอแนะ	ข้อพึงระวัง
<u>การลดก้าชเรือนกระจก</u>		
1. การจัดการน้ำ (ลดก้าชมีเทน)	การระบายน้ำระบหัวงอกดูปลูก (1 ครั้งหรือมากกว่า) ในช่วงแต่กากอสูงสุด/ข้าวออกดอก ประมาณ 4-8 วัน ตามแต่เนื้อดิน	ผลต่อการปล่อยก้าชในตัวรัสออกไซด์และผลผลิตข้าว
2. การใส่ปุ๋ย (ลดก้าชมีเทน/ไนตรัสออกไซด์)	ปุ๋ยเคมี: 1. เลือกใช้ปุ๋ยเคมีที่มีซัลเฟอร์ เช่น $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2. ใช้ปริมาณให้เหมาะสม (ไม่มากเกินไป) ปุ๋ยอินทรีย์: เลือกใช้ปุ๋ยหมักแทนการใช้ปุ๋ยสด	
3. การเติมวัสดุอินทรีย์ (ลดก้าชมีเทน)	เช่นเดียวกับปุ๋ยอินทรีย์ คือ การเลือกวัสดุอินทรีย์ที่ผ่านการหมักแล้ว หรือไก่กลบเศษชากรีดก่อนขังน้ำให้เกิดการย่อยสลายก่อนการปลูกข้าว	
<u>การส่งเสริมการกักเก็บcarbonในดิน</u>		
1. การลดการสูญเสียcarbonในดิน	ลดการระบายน้ำ เช่น ไก่พรวนและทำเทือก	ผลต่อผลผลิตข้าว ซึ่งให้ปรับเพิ่มปริมาณปุ๋ย
2. การเพิ่มปริมาณcarbonในดิน	การเติมวัสดุอินทรีย์ในดิน โดย: 1. เลือกใช้วัสดุอินทรีย์ที่ผ่านการหมักแล้ว หรือให้เศษชากรีดการย่อยสลายในดินก่อนการขังน้ำ 2. ทำร่วมกับวิธีการลดก้าชเรือนกระจก เช่น การระบายน้ำกากดินดูปลูก	การเติมวัสดุอินทรีย์อาจเพิ่มการปล่อยก้าชเรือนกระจก จึงอาจต้องใส่ในปริมาณที่เหมาะสมและควรดำเนินร่วมกับวิธีการลดก้าชเรือนกระจกอื่น

ทั้งนี้ นอกจากประเด็นการลดก้าวเรื่องผลกระทบแล้ว ยังมีประเด็นอื่นที่ต้องพิจารณาร่วมในการเลือกวิธีการที่เหมาะสมดังนี้

(1) **วิธีการลดก้าวเรื่องผลกระทบจากการเป็นแนวทางที่ส่งเสริมการทำเกษตรในรูปแบบของการเกษตรยั่งยืน**

- แนวทางเกษตรยั่งยืนมีวิธีดำเนินการหลายรูปแบบ เช่น เกษตรเชิงอนุรักษ์ เกษตรอินทรีย์ และการเกษตรดีที่เหมาะสม โดยควรพิจารณาแนวทางลดก้าวเรื่องผลกระทบที่สอดคล้องกับการเกษตรยั่งยืน เพราะมีแนวทางการดำเนินการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน การลดการไถพรวนดิน ทำให้โครงสร้างดินอยู่ในสภาพที่ดีต่อการเติบโตของจุลินทรีย์และพืช และลดการสูญเสียcarbonในดิน การจัดการที่ดีของเศษวัสดุการเกษตร (เช่น ไม่เผาตอซัง และเศษพืชในพื้นที่ปลูก) การลดการใช้ปุ๋ยและสารเคมี เป็นต้น
- แนวทางข้างต้นหลายวิธีเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการใช้ลดการปล่อยก้าวเรื่องผลกระทบและการกักเก็บคาร์บอนสู่ดินได้ และได้รับความสนใจในเวทีเจรจาโลกร้อน ในขณะเดียวกันมีความสอดคล้องกับการดำเนินการของประเทศไทยในการส่งเสริมให้เกษตรอินทรีย์เป็นวาระแห่งชาติตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2547 พร้อมส่งเสริมการเกษตรดีที่เหมาะสม เพื่อสนับสนุนแนวทางการผลิตอาหารปลอดภัย โดยได้มีการรณรงค์การเกษตรเชิงอนุรักษ์ของภาครัฐทำให้เพิ่มพื้นที่เกษตรในลักษณะนี้ และมีข้อมูลพื้นที่เกษตรที่เป็นระบบยั่งยืน
- ทั้งนี้การดำเนินการตามแนวทางเกษตรยั่งยืนมีผลดีในด้านอื่นร่วมด้วย (co-benefit) เช่น การใช้ปุ๋ยและวัสดุธรรมชาติและการไม่ใสสารเคมีการเกษตรมีผลดีโดยตรงต่อสุขภาพอนามัยของผู้ผลิตและผู้บริโภค เป็นการอนุรักษ์ดินและน้ำ และความอุดมสมบูรณ์ดินและรักษาคุณภาพดินในการเป็นปัจจัยการผลิตพืช โดยผลผลิตการเกษตรที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้น (premium grade) ทำให้ได้ราคาสูงกว่าผลผลิตทั่วไป เช่น มีราคประกัน

(2) **ควรเป็นวิธีที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร (food security) และความปลอดภัยของอาหาร (food safety) และอาจเป็นวิธีที่ส่งเสริมการปรับตัวของเกษตรกรต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้วย เพราะภาคเกษตรได้รับผลกระทบอย่างมากเป็นอันดับต้นๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะการทึ่งช่วงของฝนหรือน้ำท่วม ทำให้พืชผลทางการเกษตรเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อความยากจนและปัญหาสังคมอื่นๆ ตามมา และมีความเสี่ยงที่เพิ่มมากขึ้นจากสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้วย**

(3) **เป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับจากเกษตรกร โดยสามารถนำไปปฏิบัติได้ง่ายไม่ยุ่งยาก ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรและต้นทุนการผลิต และสอดคล้องกับวิถีชีวิต หรือรูปแบบการทำงานของเกษตรกรในพื้นที่**

โดยสรุป การจัดการนาข้าวที่เหมาะสมจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเป็นแหล่งก๊าซเก็บคาร์บอนได้ การลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวหลายวิธี สามารถดำเนินการได้ในทันที ซึ่งควรได้รับการส่งเสริมให้เกิดการปฏิบัติจริงมากขึ้น โดยเฉพาะโครงการเกษตรเชิงอนุรักษ์ที่ดำเนินการอยู่แล้ว เพราะเป็นวิธีที่ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมและอาจช่วยในการปรับตัวของเกษตรกรต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่จัดเป็นประโยชน์ต่อทุกฝ่าย (win-win situation) ทั้งนี้สามารถสมมพسانวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกต่างๆเข้าด้วยกัน เพื่อช่วยสมดุลหรือส่งเสริมประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติที่ได้รับการตอบรับจากเกษตรกร อย่างไรก็ตาม การสนับสนุนการลดก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตร รวมถึงนาข้าว ควรเป็นไปด้วยความสมัครใจความตระหนักรถึงการมีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกของเกษตรกรและไม่ควรถูกกำหนดเป้าหมายใดๆ เพราะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคเกษตรเป็นไปเพื่อผลิตอาหารและความมั่นคงทางอาหารที่จัดว่าเป็นการปล่อยเพื่อความอยู่รอดในการดำรงชีพ (emission for survivor) และภาคเกษตรได้รับผลกระทบอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอยู่แล้ว