

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. สถานการณ์การผลิตข้าว

1.1 การผลิตข้าวของโลก

ข้าว (rice) จัดเป็นพืชอาหารที่สำคัญของโลก แม้ว่าจะมีพื้นที่เก็บเกี่ยวเป็นอันดับสองรองจากข้าวสาลี (wheat) แต่ข้าวเป็นแหล่งพลังงานคิดเป็นร้อยละ 21 ของแหล่งพลังงานที่ได้จากอาหารโดยรวมของโลก (Dubey, 2001) ในปีเพาะปลูก 2545/46 เนื้อที่เก็บเกี่ยวข้าวรวมของโลก เท่ากับ 917.6 ล้านไร่ ลดลงจากปีที่ผ่านมา 29.0 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 3 จึงส่งผลให้ผลผลิตข้าวรวมทั้งโลกลดลง ในปี 2545/46 ให้ผลผลิตข้าวรวม 384.4 ล้านตันลดลงจากปีที่ผ่านมาคิดเป็นร้อยละ 3 และมีผลผลิตข้าวเฉลี่ย 628 กก./ไร่ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2547) FAO (2004) ได้รายงานการผลิตข้าวโลกในปี 2546 ว่าประเทศจีนและอินเดียยังเป็น 2 รายที่ผลิตข้าวได้สูงสุดของโลกคือ 166.0 ล้านตันและ 133.5 ล้านตัน ตามลำดับ รองลงมาคือ อินโดนีเซีย 51.8 ล้านตัน บังกลาเทศ 38.0 ล้านตัน และเวียดนาม 34.6 ล้านตัน ขณะที่ประเทศไทยผลิตข้าวได้เป็นอันดับ 6 ของโลก 26.0 ล้านตัน แต่สามารถส่งออกข้าวได้เป็นอันดับหนึ่งของโลก โดย USDA (2004) คาดว่าในปี 2546/47 ไทยจะสามารถส่งออกข้าวได้ถึง 9.0 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา (7.3 ล้านตัน) รองลงมาคือ เวียดนาม (3.8 ล้านตัน) และสหรัฐอเมริกา (3.3 ล้านตัน)

1.2 การผลิตข้าวของประเทศไทย

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร (2547) ได้รายงานสถิติการเพาะปลูกปี 2545/46 ว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวรวม 66.4 ล้านไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 60.3 ล้านไร่ ได้ผลผลิตข้าวรวม 26.0 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 432 กก./ไร่ โดยพื้นที่ปลูกข้าวร้อยละ 50 ของประเทศอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (33.2 ล้านไร่) มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 29.8 ล้านไร่ ให้ผลผลิตข้าวรวม 9.5 ล้านตัน ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 414 กก./ไร่ ซึ่งต่ำกว่าภาคกลาง (631 กก./ไร่) และภาคเหนือ (561 กก./ไร่) พื้นที่ปลูกข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือร้อยละ 98 เป็นการปลูกข้าวโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลักหรือทำนาปี (32.4 ล้านไร่) ผลิตข้าวนาปีได้ 9.0 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 314 กก./ไร่ และมีการทำนาปรังเพียง 0.8 ล้านไร่ ผลิตข้าวนาปรังได้ 0.5 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 514 กก./ไร่ ส่วนใหญ่นิยมทำนา 2 วิธีคือ นาดำและนาหว่านน้ำตม

การผลิตข้าวนาปรังของประเทศไทย ในปีเพาะปลูก 2545/46 มีพื้นที่ปลูกข้าวนาปรังเพียงร้อยละ 14 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ (9.5 ล้านไร่) ให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 678 กก./ไร่ นิยมปลูกข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสงและส่วนใหญ่ผลิตเพื่อขาย โดยเป็นพื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 คิดเป็นร้อยละ 27 ของพื้นที่นาปรังทั่วประเทศ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 607 กก./ไร่ ภาค

กลางมีพื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มากที่สุด (1.2 ล้านไร่) และให้ผลผลิตสูงที่สุดด้วย (703 กก./ไร่) ขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 คิดเป็นร้อยละ 56.3 ของพื้นที่นาปรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 569 กก./ไร่ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2547)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าประเทศไทยจะเป็นผู้ผลิตและส่งออกข้าวรายสำคัญของโลก แต่ยังมีต้นทุนการผลิตข้าวสูงเมื่อเทียบกับประเทศคู่ค้ารายอื่น อาจเนื่องจากไทยมีผลผลิตข้าวเฉลี่ยต่อไร่อยู่ในเกณฑ์ต่ำ โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับเวียดนามที่มีผลผลิตข้าวเฉลี่ย 728 กก./ไร่ จีน 1,003 กก./ไร่ และอินโดนีเซีย 703 กก./ไร่ (กรมการค้าภายใน, 2547) โดยในปีเพาะปลูก 2545/46 การผลิตข้าวในฤดูนาปี มีต้นทุนเฉลี่ย (1,725 บาท/ไร่) ต่ำกว่าฤดูนาปรัง (2,282 บาท/ไร่) ซึ่งภาคกลางและภาคใต้มีต้นทุนการผลิตข้าวนาปรังสูงที่สุด (2,352 บาท/ไร่) รองลงมาคือ ภาคเหนือ (2,269 บาท/ไร่) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีต้นทุนการผลิตข้าวนาปรังต่ำที่สุด 1,854 บาท/ไร่ (สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2547)

2. ความหมายของข้าวอินทรีย์

ข้าวอินทรีย์เป็นข้าวที่ได้จากการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งเป็นวิธีการผลิตที่ไม่ใช้สารเคมีทุกชนิดหรือสารสังเคราะห์ต่าง ๆ และปุ๋ยเคมีในทุกขั้นตอนการผลิต โดยเกษตรกรสามารถใช้วัสดุจากธรรมชาติ และสารสกัดต่าง ๆ จากพืชที่ไม่มีสารพิษตกค้างในผลผลิตและสิ่งแวดล้อม ทำให้ผลิตผลข้าวมีคุณภาพดี (สมคิดและสุพจน์, มปป.)

2.1 หลักการผลิตข้าวอินทรีย์

1. พื้นที่ปลูก เป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ติดต่อกัน หากเป็นพื้นที่ใช้สารเคมีมาก่อน ควรตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในดิน
2. พันธุ์ข้าว มีคุณภาพดี เช่น พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อม เจริญเติบโตและผลผลิตดี
3. เมล็ดพันธุ์ ได้จากการปลูกโดยวิธีเกษตรอินทรีย์ ไม่คลุกเมล็ดด้วยสารเคมี เมล็ดสะอาดปราศจากโรคแมลง และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในกรณีปลูกปีแรกและไม่สามารถหาเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์ได้ อนุญาตให้ใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวปกติ
4. การเตรียมดิน ไถตะไกรแปร ตากแดดไม่ใช้สารควบคุมวัชพืช
5. วิธีปลูก ควรพิจารณาสภาพพื้นที่และการใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่เหมาะสม ผลการวิจัยพบว่าการปลูกโดยวิธีปักดำและหว่านข้าวแห้งเป็นวิธีการที่เหมาะสม
6. การจัดการดิน ไม่เผาฟางข้าวและตอซังควรไถกลบเพื่อปรับปรุงบำรุงดิน
7. ควรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก, ปุ๋ยหมัก, และปุ๋ยพืชสด เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน ควรใช้อินทรีย์วัตถุ ที่หาได้ง่ายในพื้นที่ ที่เกษตรกรทำเองในพื้นที่นาหรือบริเวณบ้าน
8. การจัดการน้ำ ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของต้นข้าว

9. จัดระบบการปลูกพืชในนาข้าว ปลูกพืชหมุนเวียนโดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว

10. การควบคุมวัชพืช โดยการเตรียมดินอย่างดี

11. การควบคุมศัตรูพืช การใช้วิธีเขตกรรม ใช้พันธุ์ต้านทาน กำหนดช่วงปลูกที่เหมาะสม ใช้อัตราเมล็ดพันธุ์และระยะปลูกที่เหมาะสมและการปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อตัดวงจรชีวิต เพื่อลดการระบาดของศัตรูพืชในนาข้าว

12. การเก็บเกี่ยวผลผลิต ควรเก็บเกี่ยวในระยะพลับพลึงเป็นช่วงที่เหมาะสม และนวดลดความชื้นทำความสะอาดเมล็ด

13. การเก็บรักษาผลผลิต ควรแยกจากข้าวธรรมดา ตากแดด ลดความชื้น เมล็ดข้าวเปลือกให้ต่ำกว่า 14 % และเก็บรักษาไว้ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น ในยุ้งฉาง เฉพาะไม่ปะปนกับข้าวธรรมดา ควรเก็บข้าวอินทรีย์ในรูปของข้าวเปลือก แปรสภาพเป็นข้าวกล้อง หรือข้าวสารตามที่ต้องการ

14. การแปรรูปข้าว จากข้าวเปลือกอินทรีย์เป็นข้าวสาร โดยใช้เครื่องสี สำหรับการสีข้าวอินทรีย์โดยเฉพาะ หากจำเป็นต้องใช้โรงสีแปรรูปข้าวอินทรีย์ร่วมกับข้าวธรรมดา ควรทำความสะอาดเครื่องสี และ/หรือแปรรูปข้าวอินทรีย์ก่อนข้าวธรรมดา

15. การบรรจุหีบห่อ บรรจุในถุงพลาสติกขนาด 1 ถึง 5 กก. โดยใช้วิธีอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเฉื่อย หรือสุญญากาศการผลิตข้าวอินทรีย์มีขั้นตอนการผลิตที่เป็นระบบและต้องพร้อมที่จะถูกตรวจสอบการปฏิบัติและคุณภาพผลผลิต ดังนั้นเกษตรกรจึงต้องมีการปฏิบัติ ดูแลรักษาอย่างสม่ำเสมอตลอดฤดูกาลผลิตและเกษตรกรควรหาความรู้ เทคนิควิธีการต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตลาดข้าวอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นตลาดต่างประเทศ การผลิตข้าวอินทรีย์จึงต้องมีการตรวจสอบรับรองระบบการผลิต ตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์

มาตรการกำกับดูแล ตรวจสอบคุณภาพและการรับรองผลผลิตข้าวอินทรีย์ เป็นการกำกับดูแลให้การผลิตข้าวอินทรีย์ในทุกขั้นตอนเป็นไปตามมาตรฐานทั้งระบบการผลิตและคุณภาพของผลผลิต เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าข้าวอินทรีย์ที่วางขายหรือผลิตภัณฑ์ที่ติดฉลากว่าเป็นอินทรีย์นั้นเป็นผลิตภัณฑ์เกษตรอินทรีย์ที่แท้จริงในทุกขั้นตอนตั้งแต่เริ่มการผลิตจนถึงมือผู้บริโภค

3. ภูมิอากาศของโลกกับก๊าซเรือนกระจก

ในบรรยากาศนั้นยังมีชั้นของก๊าซเรือนกระจกตามธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซที่สำคัญ คือ ไอน้ำ, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), โอโซน (O_3), มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งทำหน้าที่ให้ความอบอุ่นแก่สิ่งมีชีวิต เพราะเมื่อดวงอาทิตย์ส่งพลังงานมายังโลก ประมาณ 70 % ผ่านบรรยากาศมาสู่พื้นผิวโลกและอีก 30 % จะสะท้อนกลับสู่อวกาศทันทีในรูป

ของรังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อน แต่ไอน้ำและก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ในธรรมชาติจะดูดซับรังสีอินฟราเรดไว้ ซึ่งทำให้โลกมีอุณหภูมิในระดับที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของสิ่งต่าง ๆ ได้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2544)

การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกอย่างรวดเร็วในหลายศตวรรษที่ผ่านมา ตลอดจนกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคุณภาพชีวิตของมนุษย์ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น ทำให้สภาพอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงหรือที่เรียกว่า สภาวะโลกร้อน (global warming) (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2544) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ได้เสนอว่าหากทั่วโลกไม่หามาตรการในการควบคุมหรือลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกภายในปี ค.ศ. 2100 อุณหภูมิของโลกจะร้อนขึ้นโดยเฉลี่ย 2 °C และน้ำทะเลจะมีระดับสูงเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 50 ซม. (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2544)

จากปัญหาการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีผลกระทบต่อประชากรโลก ดังนั้น สมัชชาสหประชาชาติจึงได้จัดตั้งคณะกรรมการเจรจาระหว่างรัฐบาล เพื่อจัดทำอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เมื่อเดือนมิถุนายน 2535 โดยมีวัตถุประสงค์หลักของอนุสัญญา คือการลดปริมาณการสะสมของก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและระบบภูมิอากาศของโลก โดยให้รักษาระดับดังกล่าวไว้ในช่วงระยะเวลาที่จะให้ระบบนิเวศสามารถปรับตัวได้ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ และเพื่อให้มีผลกระทบต่อการผลิตอาหารและให้การพัฒนาเศรษฐกิจเป็นไปอย่างยั่งยืน โดยเป้าหมายหลักของอนุสัญญาคือ การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารระเหยอินทรีย์ไม่รวมมีเทนให้เหลืออยู่ในระดับของการปล่อยเมื่อปี ค.ศ.1990 ให้ได้ภายในปี ค.ศ. 2000 ซึ่งมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, มีเทน และไนตรัสออกไซด์ ใน ค.ศ.1990 เป็น 26,000 300 และ 6 ล้านตัน ตามลำดับ ก๊าซเหล่านี้ถึงแม้จะมีปริมาณน้อยแต่ก็สามารถดูดซับความร้อนไว้ จึงมีผลทำให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้นจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, มีเทน และไนตรัสออกไซด์ เป็น 50, 20 และ 5 % ตามลำดับ (OEPP, 1997) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2544) ได้รายงานการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยในปี 2533 ดังนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณ 164 ล้านตัน และก๊าซมีเทนมีปริมาณ 2.8 ล้านตัน คิดเป็น 0.63 และ 1.12 % ของปริมาณทั้งโลก

สำหรับประเทศไทยได้ร่วมลงนามการรับรองอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2537 ซึ่งเห็นชอบให้ประเทศไทยลงสัตยาบันเพื่อเข้าร่วมเป็นภาคีอนุสัญญา และได้ให้สัตยาบันเป็นประเทศที่ 115 เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2538 ดังนั้นประเทศไทยจึงมีข้อผูกพันที่จะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขต่าง ๆ ในอนุสัญญาดังกล่าวบางประการ เช่น การประเมินการปล่อยออกและการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2544)

3.1 สภาวะเรือนกระจก (greenhouse effects)

สภาวะเรือนกระจก เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากการที่โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ พลังงานนี้ส่วนใหญ่ถูกส่งมาสู่โลกในรูปของแสงแดด (พลังงานช่วงคลื่นสั้น) แต่ประมาณร้อยละ 30 ของพลังงานที่โลกได้รับจะสะท้อนกลับไปสู่ห้วงอวกาศในรูปของอินฟราเรดหรือรังสีความร้อน (พลังงานช่วงคลื่นยาว) ส่วนอีกร้อยละ 70 จะถูกดูดซับโดยกลุ่มก๊าซที่ห่อหุ้มโลกในชั้นบรรยากาศ เรียกว่า “ก๊าซเรือนกระจก” ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติในปริมาณไม่มากนัก ทำให้เกิดความอบอุ่นกับพื้นโลก การที่โลกได้สะท้อนเอาความร้อนออกไปบ้าง ช่วยทำให้โลกไม่ร้อนจนเกินไป และมีความเหมาะสมสำหรับการดำรงชีพของมนุษย์ สัตว์และพืช ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, มีเทน, ไนตรัสออกไซด์ และโอโซน

3.2 ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas)

โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในรูปของพลังงานแสงตลอดเวลา (พลังงานช่วงคลื่นสั้น) และส่งพลังงานที่ใช้แล้วกลับออกไปนอกโลก ในสภาพของพลังงานความร้อน (พลังงานช่วงคลื่นยาว) แต่พลังงานความร้อนนี้ถูกก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ซึ่งมีอยู่ในบรรยากาศธรรมชาติในปริมาณไม่มากนักดูดกลืนเอาไว้บางส่วน พลังงานความร้อนที่ก๊าซเรือนกระจกดูดกลืนเอาไว้ทำให้โลกมีความอบอุ่น พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์และพลังงานที่โลกส่งกลับคืนไปสมดุลกัน (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2544) แต่ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ กิจกรรมหลายอย่างที่มนุษย์สร้างขึ้นเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้กับบรรยากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, มีเทน, chlorofluorocarbons (CFCs) และไนตรัสออกไซด์ ซึ่งพบว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้นของก๊าซเหล่านี้ ร้อยละ 0.5, 0.9, 4 และ 0.3 ต่อปีตามลำดับ (Raghubanshi and Singh, 1991) การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้จะเร่งปฏิกิริยาให้ก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศสลายตัว โดยปกติแล้วก๊าซโอโซนจะมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์และรังสีที่สะท้อนกลับ ถ้าไม่มีก๊าซที่ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสี รังสีจะผ่านมายังโลกมากกว่าเดิม มีผลทำให้อุณหภูมิโลกร้อนขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) มีการทำนายไว้ว่า อุณหภูมิของโลกจะเพิ่มสูงขึ้น 1.7 ถึง 1.8 °C ในปี ค.ศ. 2000 สูงขึ้น 2.3 ถึง 2.6 °C ในปี ค.ศ. 2020 และในปี ค.ศ. 2050 ว่า อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น 3.2 ถึง 3.6 °C (Zakharova and Selyakov, 1990)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศโดยกระบวนการต่างๆ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงและการตัดไม้ทำลายป่า แต่ในขณะเดียวกันการเจริญเติบโตของต้นไม้และป่าไม้ก็ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเปลี่ยนสภาพให้เป็นมวลชีวภาพ (biomass) กระบวนการนี้เรียกว่า การสะสมคาร์บอน หรือการกักเก็บ (carbon sequestration) ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนก๊าซมีเทนเกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาพที่ขาดออกซิเจน เช่น สภาพน้ำขังในนาข้าว การย่อยอาหารโดยการหมัก

ภายในกระเพาะ (enteric fermentation) ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminant animals) นอกจากนี้ การบำบัดน้ำเสีย การกลบฝังขยะตลอดจนพื้นที่ชุ่มน้ำ ยังเป็นแหล่งของการเกิดก๊าซมีเทนได้อีก

เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมีช่วงชีวิต (lifetime) และการดูดซับรังสีความร้อนที่ต่างกัน จึงทำให้ก๊าซในหนึ่งหน่วยน้ำหนักที่เท่ากันจะมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (global warming potential, GWP) ต่างกัน ดังนั้นจึงมีการกำหนดวิธีการคำนวณค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซแต่ละชนิด โดยกำหนดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นฐานเปรียบเทียบ (CO_2 equivalent) และให้นิยามของ GWP หมายถึงค่าบ่งถึงความสามารถของก๊าซเรือนกระจกใดๆ ในการทำให้เกิดความอบอุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำหนักที่เท่ากัน จากตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบช่วงชีวิต และค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, มีเทน และไนตรัสออกไซด์ แสดงให้เห็นว่าก๊าซมีเทนมีศักยภาพทำให้โลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 21 - 23 เท่า เมื่อเทียบกับ 100 ปี และเมื่อเวลาผ่านไป จาก 20 ปี เป็น 100 ปี และ 500 ปี ค่า GWP ของ ก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์จะลดลงเนื่องจากมีช่วงชีวิตที่สั้นกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (IPCC, 2001)

ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมีอายุและการแผ่รังสีความร้อน (radiative effect) ต่างกัน จากตารางที่ 2.2 แสดงถึงศักยภาพในการเป็นก๊าซเรือนกระจกจากมากไปหาน้อย คือ คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs), ไนตรัสออกไซด์ (N_2O), มีเทน (CH_4) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติบางประการของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลกที่สำคัญ

Greenhouse gases	Lifetime (years)	Global Warming Potential (Time Horizon in years)		
		20 yrs	100 yrs	500 yrs
CO_2		1	1	1
CH_4^a	12.0 ^b	62	23	7
N_2O	114 ^b	275	296	156

ที่มา : IPCC (2001)

^a The methane GWPs include an indirect contribution from stratospheric H_2O and O_3 production.

^b The values for methane and nitrous oxide are adjustment times, which incorporate the indirect effects of emission of each gas on its own lifetime.

ตารางที่ 2.2 ก๊าซในชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศของโลก

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFCs	O ₃
Greenhouse role	Heating	Heating	Heating	Heating	Heating
Effect on stratospheric ozone	Can increase or decrease	Can increase or decrease	Can increase or decrease	Decrease	None
Principal anthropogenic sources	Fossil fuels, deforestation	Rice culture, cattle, fossil fuel, biomass burning	Fertilizer, land use, conversion	Refrigerants, aerosol, industrial processes	Hydrocarbon (with NO _x), biomass burning
Principal natural sources	Balanced in nature	Wetland	Soil tropical forests	None	Hydrocarbons
Atmospheric lifetime	50 – 200 yr	10 yr	150 yr	60 – 100 yr	Weeks to months
Present atmospheric concentration by volume at surface (ppb)	353,000	1,720	310	CFC-11: 0.28 CFC-12: 0.48	20 – 40
Preindustrial concentration at surface (ppb)	280,000	790	288	0	10
Present annual rate of increase	0.5 %	0.9 %	0.3 %	4 %	0.5 – 2.0 %
Relation greenhouse efficiency	1	21	270	CFC-11: 4500 CFC-12: 7000	2000

ที่มา: Office for Interdisciplinary Earth Studies (1991)

4. การเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว (methane production)

ก๊าซมีเทนส่วนใหญ่จะเกิดในดินชั้นบน (top soil) ซึ่งจะมีส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุที่ถูกย่อยสลายได้ง่าย ส่วนในดินชั้นล่าง (sub soil) มักไม่มีการเกิดก๊าซมีเทนเพราะมีองค์ประกอบที่อินทรีย์วัตถุอยู่น้อย และมักจะเป็นชนิดที่ย่อยสลายได้ยาก

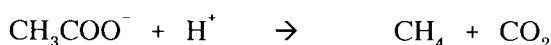
4.1 กระบวนการเกิดก๊าซมีเทน (methane production process) เมื่อดินถูกน้ำท่วมซึ่งทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนในดินลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 2 ถึง 8 ชั่วโมง จนมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในดิน (aerobic organism) ส่วนก๊าซออกซิเจนในอากาศก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ลงสู่ดินได้ (diffusion) เพราะการเคลื่อนที่ของก๊าซผ่านชั้นของน้ำจะเป็นไปได้ช้ากว่าการเคลื่อนที่ในอากาศ 10,000 เท่า (Armstrong, 1979, อ้างโดย นิวัติ, 2546) จนในที่สุดดินจะเกิดสภาพขาดออกซิเจน (anaerobic) อินทรีย์วัตถุในดินจากที่ถูกย่อยสลายในสภาพที่มีอากาศจะถูกเปลี่ยนมาเป็นการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (fermentation) โดยแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า Methanogenic bacteria ซึ่งจะนำ NO₃⁻, Mn⁴⁺, SO₄²⁻ and CO₂ จากสารประกอบต่างๆ ไปใช้อย่างรวดเร็ว

ก๊าซมีเทนเกิดจากกระบวนการทางชีววิทยา 2 กระบวนการ คือ

1. การเกิดกระบวนการ Reduction ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากการดไขมัน (fatty acids) หรือ แอลกอฮอล์ (alcohol)



2. การเกิด Transmethylation ของกรดอะซิติก (acetic acid) หรือ เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) ดังสมการต่อไปนี้



แหล่งของสารอาหารที่ให้พลังงานและคาร์บอนแก่จุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้เกิด CH_4 (methanogen) ส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์ ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักอินทรีย์วัตถุ (fermentation) และพบว่าเกิดขึ้นระหว่างการเกิด ก๊าซมีเทน ได้แก่ H_2 , CO_2 , formate, acetate, methanols, และ methylated amines (Oremland, 1988) ผลสุดท้ายของการหมักอินทรีย์วัตถุจะทำให้เกิดก๊าซมีเทน ดังแผนผังแสดงในภาพที่ 2.1

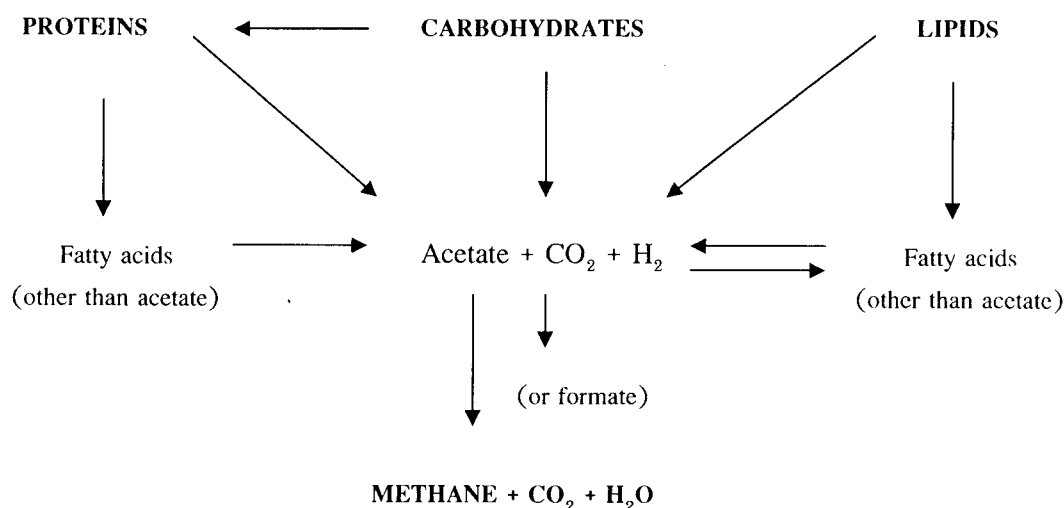
Methanogenic bacteria ที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนสามารถใช้แหล่งอาหาร (substrate) จากสารประกอบหลายชนิด จึงอาจแบ่งแบคทีเรียเหล่านี้ออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะการใช้สารอาหาร (substrate) คือ

1. **Obligate Chemolithotrophic methanogens** แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้ carbondioxide(CO_2) และ dihydrogen (H_2) เป็น substrate

2. **Quasi-Chemolithotrophic methanogens** แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้ formic acid , carbon monoxide (CO) เป็น substrate

3. **Methylotrophic methanogen** แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้ methanol, acetate, trimethylamin และ dimethylsulfide เป็นสารอินทรีย์

จุลินทรีย์ดินที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH ในช่วง 6 ถึง 7 แต่ไม่มีรายงานว่าจุลินทรีย์ดินที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนชนิดใดที่ชอบดินที่มี pH เป็นกรด อย่างไรก็ตาม pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทนจะแตกต่างกันเล็กน้อยในดินแต่ละชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีก เช่น ปริมาณของสารอินทรีย์คาร์บอนในดิน เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 แหล่งของคาร์บอนและสารตัวกลางที่จุลินทรีย์กลุ่ม methanogens ใช้ในกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน (Oremland, 1988)

4.2 การดูดใช้ก๊าซมีเทน (methane consumption) เมื่อก๊าซมีเทนเกิดขึ้นในดินน้ำขัง ก๊าซมีเทนจะถูกนำไปใช้โดย methanotrophic bacteria ซึ่งเป็นจุลินทรีย์พวกที่ใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) โดยผ่านกระบวนการ oxidation ของก๊าซมีเทนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วนำไปใช้ในการเจริญเติบโต บางครั้งเรียกกันว่า methane consumption

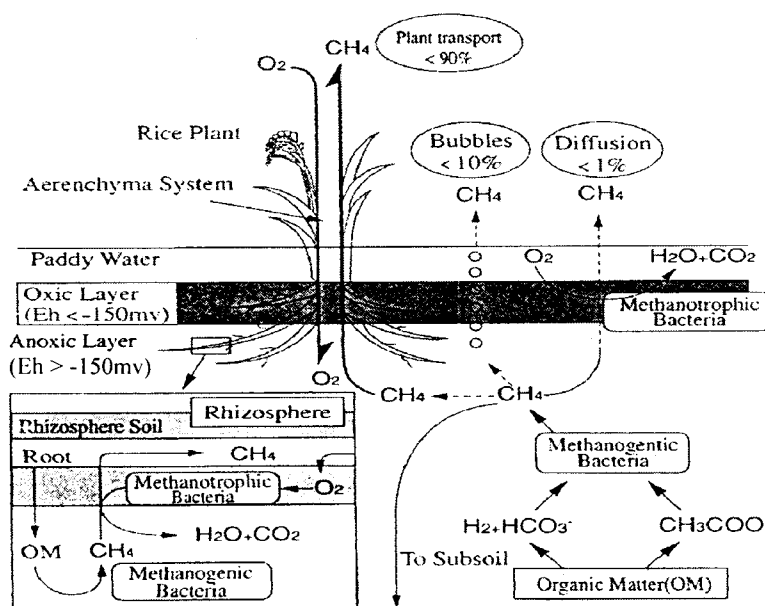
กิจกรรมนี้มักจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีก๊าซออกซิเจน ได้แก่ บริเวณชั้นผิวดิน (surface layer) โดยออกซิเจนในอากาศที่มีความเข้มข้นมากกว่าออกซิเจนในน้ำสามารถเคลื่อนที่ลงสู่ผิวน้ำและผิวดินโดยการแพร่กระจาย (diffusion) และอีกทางหนึ่งจะเคลื่อนที่ลงสู่รากข้าวผ่านช่องอากาศในลำต้นและรากเพื่อให้รากข้าวมีกระบวนการหายใจ (respiration) เมื่อรากได้รับออกซิเจนเป็นปริมาณมากขึ้นก็จะมีกระบวนการปล่อยออกสู่ดินบริเวณผิวกาก (rhizosphere) ทำให้บริเวณผิวดินและบริเวณรากมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อการเกิดกระบวนการ oxidation ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในดิน ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกดูดใช้ (consumption) ได้มากน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและปัจจัยหลายประการ แต่อย่างไรก็ตาม ในดินบริเวณรากข้าวจะเป็นแหล่งทำให้เกิด oxidation ของก๊าซมีเทนที่สำคัญที่สุด และมีการวิจัยพบว่า 60 ถึง 80% ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะถูก methanotrophic bacteria ดูดใช้ก่อนที่จะเคลื่อนที่สู่บรรยากาศ (net emission)

4.3 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ (net emission) นั้นเป็นส่วนที่เหลือจากการดูดใช้โดยจุลินทรีย์ methanotrophic bacteria ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในดินนาสามารถเคลื่อนย้ายออกสู่บรรยากาศได้ 3 ทาง (Wang et al., 1995) ภาพที่ 2.2 คือ

1. การเคลื่อนที่ผ่านต้นข้าว (plant mediate active transport) โดยต้นข้าวจะดูดสารละลายดินที่มีก๊าซมีเทนละลายอยู่ขึ้นไป โดยก๊าซมีเทน จะผ่านทางช่องอากาศ (aerenchyma) ของรากข้าว และปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศที่บริเวณกาบใบและใบ การปลดปล่อยก๊าซมีเทนผ่านทางนี้เกิดขึ้นมากกว่าร้อยละ 90 ของ ก๊าซมีเทนที่ปล่อยจากนาข้าวสู่บรรยากาศ โดยเฉพาะในช่วงระยะที่ข้าวเจริญเติบโตเต็มที่ (แตกกอ) จนถึงระยะข้าวออกรวง (Denier van der Gon, 1996; นิวัติ, 2546)

2. การเคลื่อนที่โดยกระบวนการแพร่ (diffusion) ผ่านชั้นน้ำซึ่งที่อยู่เหนือผิวดิน ในสภาพที่มีน้ำซึ่งความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในดิน น้ำ และอากาศจะมีความแตกต่างกัน ทำให้เกิดการแพร่ของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศได้

3. การเคลื่อนที่เป็นฟองก๊าซมีเทนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ (ebullition) การปลดปล่อยในรูปนี้เกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงแรกของฤดูการทำนาที่ยังมิได้มีการปักดำข้าวหรือระยะหลังปักดำ ซึ่งปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินยังมีปริมาณมาก นอกจากนี้ก๊าซมีเทนบางส่วนในดินอาจเคลื่อนย้ายไปพร้อมกับน้ำที่ซึมลึกลงข้างล่าง (percolation water) และไปกับน้ำใต้ดิน (underground water) ซึ่งรูปแบบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว มักจะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซในเวลากลางวันสูงกว่ากลางคืน และอัตราการปลดปล่อยสูงสุดในเวลาหลังเที่ยงวัน จนถึงบ่ายแล้วค่อย ๆ ลดลงที่อัตราต่ำสุดเมื่อเวลาประมาณเที่ยงคืนจนถึงเช้า (นิวัติ, 2546) เนื่องจากอิทธิพลของอากาศร้อนในตอนกลางวัน ทำให้ดินมีอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นปัจจัยเร่งให้มีการผลิตและปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากขึ้น (Sass et al., 1991)



ภาพที่ 2.2 การเกิดก๊าซมีเทนและปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซมีเทนในนา (Yagi, 1997)

5. การจัดการนาข้าวเพื่อลดก๊าซมีเทนโดยไม่กระทบต่อผลผลิตข้าว

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าการเกิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทน จากนาข้าวมีปัจจัยหลายประการที่เข้ามาเกี่ยวข้อง การพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตข้าวที่ลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว นั้น จึงต้องมีความเหมาะสมเฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละพื้นที่ โดยคำนึงถึงการยอมรับได้ของเกษตรกร ไม่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีที่นำมาใช้ไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต จะต้องไม่กระทบต่อผลผลิตข้าว แต่ควรเป็นการเพิ่มผลผลิตข้าวควบคู่กันไป โดยการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีการเพิ่มผลผลิตข้าวควบคู่กับปัจจัยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวร่วมด้วยคือ การจัดการน้ำ (water management) การจัดการปุ๋ย (fertilization) การจัดการอินทรีย์วัตถุ (organic amendment) และการเลือกใช้พันธุ์ข้าว (rice cultivars) (พัชรี และคณะ, 2545; Liou et al., 2003; Singh et al., 2003) ซึ่งถือเป็นการจัดการนาข้าว (rice field management) โดยเป็นการปฏิบัติในนาอย่างมีประสิทธิภาพ ตั้งแต่การเตรียมดิน การเลือกใช้พันธุ์ข้าว วิธีการปลูกข้าว การดูแลระหว่างปลูก (การใส่ปุ๋ย การรักษาความชื้นในดิน การป้องกันและกำจัดโรคแมลงศัตรูข้าว) ตลอดจน การเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและสามารถลดก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ โดยมีหลักการที่สำคัญบางประการ ดังนี้

5.1 การจัดการน้ำ (Water management) เป็นการควบคุมน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการของต้นข้าวตามระยะการเจริญเติบโต และการใช้น้ำที่มีอยู่จำกัดให้ได้ผลประโยชน์สูงสุด ตลอดจนสามารถลดการปลดปล่อย ก๊าซมีเทนได้ โดยการขังน้ำในระดับน้ำตื้นหรือการระบายน้ำออกเป็นบางช่วงระหว่างปลูก ซึ่งเป็นการปล่อยให้ดินอยู่ในสภาพ aeration ชั่วคราวในช่วงสั้น (พัชรีและคณะ, 2545; ศุภสุข, 2542; Le Mer and Roger, 2001) มีวิธีการปฏิบัติได้หลายรูปแบบ เช่น การระบายน้ำช่วงกลางฤดูปลูก (mid-season drainage) การระบายน้ำออกบางช่วง (intermittent drainage) การทำให้ดินแห้งสลับกับน้ำท่วมขัง (alternate wetting and drying) การปล่อยให้น้ำในนาคายระเหยจนดินแห้ง (evapotranspiration) (Saenjan et al., 2002) การรักษาระดับน้ำในนาให้คงที่ที่ 5 ซม. เป็นต้น

Liou et al. (2003) กล่าวว่า การปล่อยให้ดินอยู่ในสภาพ aerobic ช่วงสั้นในระยะข้าวแตกกอและก่อนเก็บเกี่ยวจะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น และลดการปล่อยก๊าซมีเทนลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองเกี่ยวกับการจัดการน้ำที่ประเทศจีนในฤดูนาปรังปี 1995 ของ Buendia et al. (1997) พบว่าการระบายน้ำออกเมื่อข้าวอายุ 10 และ 35 วันหลังปักดำ นานครั้งละ 4 วัน และเมื่อข้าวอายุประมาณ 60 วันหลังปักดำหรือในช่วงปลายของระยะข้าวแตกกอ (late tillering) ระบายน้ำออกนาน 8 วัน จะทำให้การปล่อยก๊าซมีเทนลดลงถึงร้อยละ 55 และให้ผลผลิตสูงกว่าเมื่อเทียบกับนาที่ขังน้ำตลอดฤดูปลูก และในฤดูนาปรังปี 2545 พัทรี และคณะ (2546) ทำนาหว่านที่ปล่อยให้น้ำแห้งโดยการคายระเหยใน 2 ช่วงคือ ระยะข้าวแตกกอและกำเนิดช่อดอก สามารถลดปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดลงร้อยละ 43 ถึง 69 เมื่อเทียบกับนาหว่านที่ขังน้ำ เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Singh et al. (2003) ที่จัดการน้ำโดยทำการระบายน้ำออก (water

drainage) นาน 2 วัน เมื่อข้าวอยู่ในระยะออกรวง (heading stage) พบว่าในแปลงที่มีการใส่ฟางข้าวและปุ๋ยชีวภาพมีการปล่อยก๊าซมีเทนลดลงถึง 61 % เมื่อเทียบกับไม่ใส่ระบายน้ำออก

จะเห็นได้ว่าหากทำการจัดการน้ำโดยปล่อยให้ดินนาอยู่ในสภาพ aerobic ข้าวคราวจะเป็นการส่งเสริมการเกิด CH_4 oxidation ทำให้ลดการเกิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทนลงได้อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการระบายน้ำออกจากนาเพื่อรอเก็บเกี่ยวผลผลิต อาจพบว่ายังมีการปล่อยก๊าซมีเทนจากดินนาอยู่ พัทธี และคณะ (2545) ได้อธิบายไว้ว่าเป็นปรากฏการณ์ของก๊าซมีเทนที่ถูกกักไว้ (trap) ในช่องว่างขนาดใหญ่ (macro pores) ของดินถูกปล่อยออกหลังจากน้ำแห้งประมาณ 1 ถึง 3 วัน ซึ่ง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นในการวิจัยเมื่อฤดูนาปรังปี พ.ศ. 2544 ที่พบอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากข้าวพันธุ์ กข 10 และชัยนาท 1 สูงขึ้นถึง 69.14 และ 49.17 $\text{mgCH}_4/\text{ตร.เมตร/ชั่วโมง}$ ($\text{mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) แล้วจึงลดลงเป็นศูนย์ หลังการระบายน้ำออก (drained) ในดินนาร้อยเอ็ด เมื่อดินมีน้ำซังคาดว่าฟองก๊าซมีเทนถูกขังไว้ในดินแล้วยังไม่หลุดออกมา แต่เมื่อระบายน้ำออกส่งผลให้ฟองก๊าซมีเทนเหล่านั้นหลุดออกสู่บรรยากาศเป็นการปล่อยก๊าซมีเทนหลังการระบายน้ำ

การจัดการน้ำโดยการควบคุมการระบายน้ำนั้น สามารถทำได้ในนาที่มีการปรับหน้าดินเสมอกันในเขตชลประทาน แต่สำหรับนาอาศัยน้ำฝนควรขังน้ำไว้ในนาเพื่อป้องกันการขาดน้ำในช่วงฝนทิ้งช่วง (พัทธิ และคณะ, 2545) นอกจากนี้การให้น้ำท่วมขังและปล่อยให้ดินแห้งเป็นระยะๆ สามารถทำได้โดยความชื้นดินต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 ของความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ได้ของดิน (available water capacity, AWC) ซึ่งไม่มีผลต่อผลผลิตข้าว ดังนั้น การทำให้ผิวดินแห้งเป็นครั้งคราว โดยเฉพาะการปล่อยให้ดินแห้งเองตามธรรมชาติเป็นการปฏิบัติที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและเป็นวิธีที่ลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่ดีที่สุดด้วย (นิวัติ, 2546)

5.2 การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilization) ปุ๋ยอินทรีย์จำเป็นต่อการปรับปรุงดินนาให้มีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นในระยะยาว แต่จะเป็นการเพิ่มอินทรีย์สารที่เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของ methanogenic bacteria ในดินน่าน้ำขัง ทำให้ส่งเสริมการเกิดก๊าซมีเทนได้มากขึ้น ดังนั้น จึงไม่ควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์มากเกินไป สำหรับนาดินเค็มสามารถใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดินเค็มเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวได้ พัทธี และอรุณเดช (2545) ทำการทดลองการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาดินเค็มที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าในแปลงนาดินเค็มที่ใส่มูลโค อัตรา 830 ถึง 909 กก./ไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 577 กก./ไร่ มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก 19.25 ถึง 30.39 กรัม CH_4 /ตร.เมตร ($\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2}$) ซึ่งมากกว่าแปลงที่ไม่ได้ใส่มูลโคเพียงเล็กน้อย และอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงในช่วง 0 ถึง 15 วันหลังปักดำเท่านั้น ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ใส่มูลโคให้ผลผลิตข้าวต่ำที่สุดเท่ากับ 256 กิโลกรัม/ไร่ และมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกเท่ากับ 18.05 ถึง 25.23 กรัมมีเทนต่อตารางเมตร นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) แคบ เช่น มูลไก่ จะทำให้นาข้าวปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และการใส่ปุ๋ย

อินทรีย์และปุ๋ยคอกควรใส่ในสภาพดินแห้งประมาณ 2 สัปดาห์ก่อนการเตรียมดิน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายก่อนขังน้ำในนา จะเป็นผลให้เกิดการสร้างก๊าซมีเทนได้น้อยลง (พัชรี และคณะ, 2545)

สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร (2547) รายงานว่า การศึกษาการปลูกข้าวอินทรีย์โดยใช้ปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยอินทรีย์เปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีเป็นระยะเวลา 2 ปี โดยปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ศูนย์วิจัยข้าวแพร่ซึ่งดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พบว่าในปีแรกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตข้าวสูงที่สุด 660 กก./ไร่ แตกต่างจากกรรมวิธีใส่ปุ๋ยพืชสดและใส่ปุ๋ยหมักซึ่งให้ผลผลิตข้าวอินทรีย์ 560 และ 492 กก./ไร่ แปลงเปรียบเทียบให้ผลผลิตน้อยที่สุด 499 กก./ไร่ แต่ผลการทดลองในปีที่ 2 กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยพืชสดให้ผลผลิตข้าวอินทรีย์มากที่สุด 652 กก./ไร่ ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีซึ่งให้ผลผลิต 632 กก./ไร่ ส่วนแปลงเปรียบเทียบที่ไม่ใส่ปุ๋ยยังคงให้ผลผลิตน้อยที่สุด 499 กก./ไร่ ส่วนการทดลองที่สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง พบว่าผลการทดลองในปีแรกทุกกรรมวิธีให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกัน ระหว่าง 433 ถึง 492 กก./ไร่ แต่ในปีที่ 2 กรรมวิธีใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ให้ผลผลิตข้าวอินทรีย์สูงที่สุด 687 กก./ไร่ ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีใส่ปุ๋ยพืชสดอย่างเดียวซึ่งให้ผลผลิตข้าวอินทรีย์ 681 กก./ไร่

5.3 การจัดการอินทรีย์วัตถุ (Organic amendment) อินทรีย์วัตถุในนาได้แก่ ฟางข้าวและเศษพืชที่เหลือในนา ซึ่งมีส่วนสำคัญในการปรับปรุงบำรุงดินและเป็นแหล่งสารคาร์บอนสำหรับการสร้างก๊าซมีเทนในนาข้าวเช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ แต่ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจะขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์วัตถุและวิธีการจัดการในแปลงนาด้วย ดังนั้น หากมีการใช้อินทรีย์วัตถุในนา ควรจัดการให้มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบลงก่อน โดยการหมักในสภาพมีอากาศ ให้อินทรีย์วัตถุย่อยสลายก่อน แล้วจึงนำไปใส่หรือการไถกลบเศษวัชพืชและตอซังข้าวที่ค้างในนา ขณะดินแห้งทิ้งไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ก่อนการเตรียมดิน จะช่วยลดก๊าซมีเทนได้มาก (พัชรี และคณะ, 2545; นิวัตติ, 2546) Le Mer and Roger (2001) ได้รวบรวมผลงานวิจัยและสรุปว่าการใส่ฟางข้าว 5 ถึง 12 ตัน/เฮกตาร์ ที่มี สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 60 ทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนมากขึ้น 2 ถึง 9 เท่าของแปลงที่ไม่ใส่ฟางข้าว ส่วนการใช้ปุ๋ยพืชสด (*Sesbania*) ที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบกว่าฟางข้าวพบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 2 ถึง 5 เท่าเมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่ และปริมาณก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยพืชสด แต่ถ้าใส่ฟางข้าวหมักที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบลงจะพบการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นน้อยกว่า 2 เท่าเมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่

6. การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในดินน่าน้ำขัง

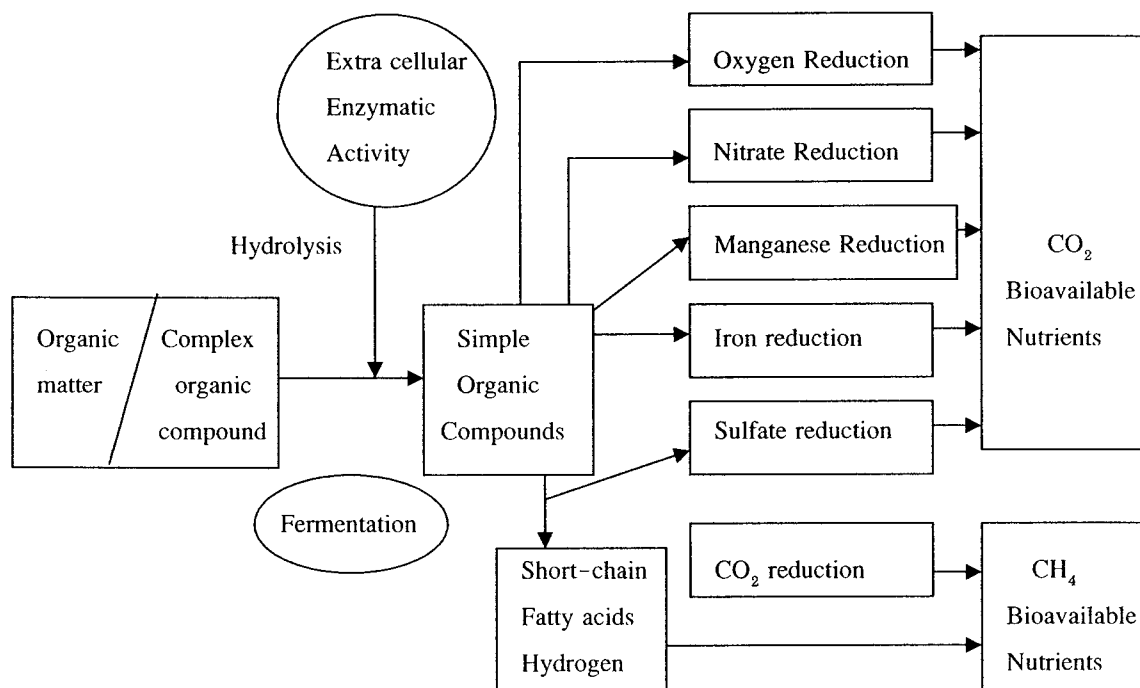
ในระบบนิเวศการปลูกข้าวเราจะพบคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแข็ง (solid phase) ในดินและต้นข้าว รูปของเหลว (aqueous phase) ที่ละลายอยู่ในน้ำขัง, น้ำชลประทาน และ percolation water และอยู่ในรูปของก๊าซ (gaseous phase) ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน การวัด

ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยวิธี closed chamber ภายใต้สภาพที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่า ในสภาพที่มีแสง จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30 กก ที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจพร้อมๆ กัน ในขณะที่สภาพไม่มีแสงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดจากกระบวนการหายใจเพียงอย่างเดียว

ปริมาณคาร์บอนที่ถูกผลิตในชั้นไทรออปและต้นข้าวมีประมาณ 440 และ 65 กก/เอเคอร์ ตามลำดับ โดยหลังจากเก็บเกี่ยวสามารถแบ่งคาร์บอนในต้นข้าวที่ได้จากส่วนต่างๆ ดังนี้ ดิน 23.3 กก ฟางข้าว 26.3 กก ตอซัง 13.6 กก และหน่อ 1.6 กก/เอเคอร์ (National Institute for Agro-Environmental Sciences : NIAES, 1996)

ในแต่ละปีมีการเติมคาร์บอนลงไปในระบบนิเวศการปลูกข้าว โดยอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอน(CO_2 fixation) 130 กก/เอเคอร์ และอยู่ในรูปของสารละลายคาร์บอน 1 กก/เอเคอร์ (น้ำชลประทาน และหยาดน้ำฟ้า) โดยคาร์บอนที่สูญเสียไปในแต่ละปีเกิดจากกระบวนการหายใจของพืช 60 กก, การหายใจในของจุลินทรีย์ดิน 10 กก, ก๊าซมีเทน 1 กก และ percolation ของน้ำซัง 3 กก/เอเคอร์

อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์บอนสุทธิที่ถูกตรึงมีประมาณ 70 กก/เอเคอร์/ปี โดย 65 กก ถูกตรึงโดยต้นข้าว และ 3 กก ถูกชะลงสู่ลำน้ำใต้ดิน ซึ่งอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งคาร์บอนหลักในระบบนิเวศของโลกโดยมีคาร์บอนอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศประมาณ $1,400 \times 10^{15}$ กรัม และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนเพียงเล็กน้อยในระบบนิเวศอื่นๆ จะส่งผลต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เช่นเดียวกับ Debusk et al. (2001) ที่กล่าวว่า การสูญเสียคาร์บอนในดินนาน้ำซังส่วนใหญ่มาจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ โดยกระบวนการต่างๆ ซึ่งผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กระบวนการทางชีวเคมีของการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินนํ้าขัง
(Debusk et al., 2001)

7. การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดินนํ้าขัง

แหล่งของธาตุไนโตรเจนในดินที่สำคัญ คือ อินทรีย์วัตถุในดิน ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาจากอินทรีย์วัตถุในดินโดยกระบวนการ mineralization หรือ ammonification ในสภาพดินนํ้าขัง กระบวนการเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าในดินที่ไม่มีนํ้าขัง แต่ในขณะเดียวกันการใช้ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์จากกระบวนการ immobilization ในดินที่มีนํ้าขังจะเกิดขึ้นได้ช้ากว่ากระบวนการ mineralization หรือ ammonification ดังนั้นรูปของไนโตรเจนในสภาพดินนํ้าขังที่มีอยู่ดั้งเดิม (indigenous nitrogen) จะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากกว่าในดินที่ไม่มีนํ้าขัง (De Datta, 1981) กระบวนการต่างๆ เหล่านี้จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในดิน ตลอดจนองค์ประกอบและสมบัติของดิน เช่น อุณหภูมิ ค่าปฏิกิริยาของดิน ชนิดของเนื้อดิน ปริมาณและชนิดของอินทรีย์วัตถุในดิน เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วไนโตรเจนถูกปลดปล่อยออกมาประมาณ 2 ถึง 5 % ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน สภาพแวดล้อมในดินนํ้าขังเมื่อพิจารณาจากสภาพหน้าตัดสักลงไปในดินจะแบ่งเป็นชั้นๆ หรือสภาพต่างๆ ดังนี้

1. ชั้นที่เป็นนํ้าลึก (flood water) ซึ่งอยู่ชั้นบนสุด ในนํ้านี้จะมีออกซิเจนจากอากาศเข้ามาเจือปน
2. ชั้นที่มีออกซิเจนสะสมเป็นชั้นบางๆ (oxidized zone หรือ oxidized layer หรือ oxidized soil) อยู่ระหว่างชั้นที่เป็นนํ้าและดิน ชั้นนี้จะมีออกซิเจนที่ซึมผ่านจากชั้นที่เป็นนํ้ามา

สะสมอยู่ นอกจากนี้จะมีสภาพที่เป็น oxidized zone อยู่รอบๆ ราก ซึ่งเรียกว่า oxidized rhizosphere ซึ่งเกิดจากการมีออกซิเจนผ่านต้นข้าว โดยซึมผ่านเนื้อเยื่อจากใบและลำต้นมาสู่ราก และปลดปล่อยออกไปรอบๆ รากข้าว สำหรับใช้ในการหายใจและการดูดธาตุอาหารของราก

3. **ชั้นที่ไม่มีออกซิเจน (reduced zone หรือ reduce layer หรือ reduce soil)** เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากราก oxidized zone ลงมา

การเคลื่อนที่ของไนโตรเจนในดินนา ไนโตรเจนในดินนา จะมีการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนย้ายในดินและในน้ำอยู่ 2 ลักษณะ ดังนี้

1. การเคลื่อนที่โดยการแพร่กระจาย (diffusion) จากตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของสารหรืออนุภาคที่สูงกว่าไปสู่ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของอนุภาคที่ต่ำกว่า ซึ่งจะเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง

2. การเคลื่อนที่ไปทั้งมวลสาร (mass flow) หรือการไหลไปทั้งมวลสาร

8. การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในดินน่าน้ำขัง

เมื่อดินถูกน้ำขังพืชจะได้รับประโยชน์จากฟอสฟอรัสจากดินมากขึ้น เนื่องจากเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมา มีประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้น

ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินน่าน้ำขังจะมีความสัมพันธ์กับความรุนแรงของกระบวนการรีดักชันในดิน เมื่อดินถูกน้ำขังเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่าปฏิกิริยารีดอกซ์ลดลง จะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมา (Chiang, 1963) ดังนี้

1. กระบวนการรีดักชันของ ferric phosphate ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งอยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช จะถูกรีดิวซ์เป็น ferrous phosphate [$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$] ซึ่งอยู่ในรูปละลายน้ำ เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในสภาพดินน่าน้ำขังที่สำคัญและเกิดขึ้นมากที่สุด ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้พืชได้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในสภาพดินน่าน้ำขังได้มากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงของเหล็ก (Fe) ในดินด้วย

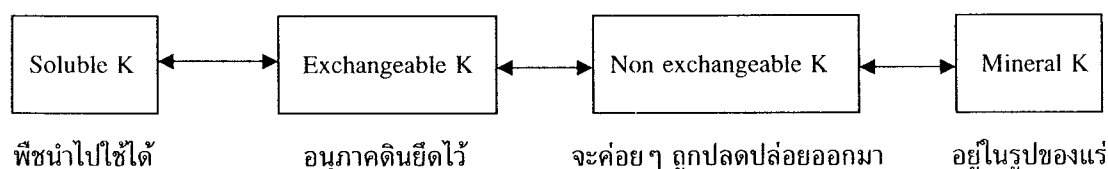
2. ระดับปฏิกิริยาของดิน (pH) ดินที่มีปฏิกิริยาของดินค่อนข้างสูงเมื่อน้ำขังจะเกิดกระบวนการ hydrolysis ของ Aluminum phosphate (Al-P) และ Ferric phosphate (Fe-P) ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช

3. การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อดินถูกน้ำขังจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจาก CaCO_3 โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Calcareous soil (ดินที่มีแคลเซียมสูง ซึ่งมีค่าปฏิกิริยาของดินสูงด้วย) เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำจะเกิดกรด H_2CO_3 ซึ่งจะไปละลายแร่ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เช่น Apatite ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา

4. การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการดูดยึด (Desorption) เมื่อดินถูกน้ำขังจะเกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการดูดยึดของอนุภาคดินเหนียวและออกไซด์ของเหล็กออกมาในสารละลายดินเพิ่มมากขึ้น

9. การเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมในดินน่าน้ำขัง

การศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมในดินน่าน้ำขังยังมีไม่มากนัก โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับคุณภาพของดินต่อการปลดปล่อย (release) และการตรึง (fixation) โพแทสเซียมในดินนา จากรายงานของ Ponnampetuma (1965) ได้สรุปว่าสภาพในดินน่าน้ำขัง โพแทสเซียมจะถูกปลดปล่อยออกมาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมี Fe^{2+} และ Mn^{2+} ถูกปลดปล่อยออกมามากและจะไปแทนที่ K^+ ที่ถูกดูดยึดโดยอนุภาคของดิน ทำให้โพแทสเซียมถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปของโพแทสเซียมที่ละลายได้มากขึ้น (soluble K) ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุของการสูญเสียโพแทสเซียมได้ง่ายจากกระบวนการ runoff และ leaching ในสภาพดินน่าน้ำขัง โพแทสเซียมจะอยู่ในรูปต่างๆ ทั้งที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและอยู่ในรูปที่พืชยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ Su (1976) ได้อธิบายภาพ (form) ของโพแทสเซียมในดินน่าน้ำขัง ดังนี้



ภาพที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมในดินน่าน้ำขัง

Kadrekhar and Kibe (1973) ได้สรุปว่า ในสภาพของดินเปียกและแห้งสลับกัน (alternate wetting and drying) โพแทสเซียมจะถูกปลดปล่อยออกมา 15 ถึง 47 % ขณะที่ดินเปียกอยู่ตลอดเวลา (continuously moist soil) 50 ถึง 60 วัน จะถูกปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาเพียง 1.8 ถึง 3.6 %

10. การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox potential, Eh) ของดินน่าน้ำขัง

กระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหรือการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดินส่วนใหญ่จะเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินและปฏิกิริยาทางเคมีของดิน ในสภาพดินไร่หรือดินที่ถ่ายเทอากาศได้ดี (aerobic soil) จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (O_2) สำหรับหายใจหรือเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ผลที่ได้รับคือ น้ำ (H_2O) แต่เมื่อดินน่าน้ำขังจุลินทรีย์ที่เป็น anaerobic microorganism จะใช้สารเคมีที่มีอนุมูลของธาตุในดินที่อยู่ในรูปของ oxidized forms เช่น NO_3^- , Mn^{4+} และ Fe^{3+} เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้ออนุมูล

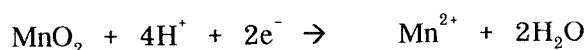
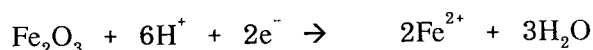
เหล่านี้เป็นกระบวนการที่มีการเรียงลำดับไปที่ละอนุมูล (sequential reduction process) และเมื่อจุลินทรีย์ใช้ตัวรับอิเล็กตรอนไปตามลำดับ จะทำให้ค่า oxidation - reduction หรือ redox potential (Eh) เปลี่ยนแปลงไป คือ จะมีค่าลดลงจาก + 380 ไปเป็น -280 มิลลิโวลต์ (Patrick and Reddy. 1978) ซึ่งจะมีผลทำให้ธาตุอาหารพืชในดินและสมบัติที่สำคัญอื่นๆ ของดินเปลี่ยนแปลงไปด้วย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาของดิน (pH) ระยะเวลาและความรุนแรงในการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยารีดอกซ์นี้ ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของอนุมูลที่จะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน รวมทั้งสมบัติและองค์ประกอบอื่นๆ ของดิน เช่น pH ปริมาณอินทรีย์วัตถุ เป็นต้น

11. การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาของดิน (pH) ในดินน่าน้ำขัง

เมื่อดินถูกกระบวนการต่างๆ โดยเฉพาะกระบวนการชีวเคมีที่เกิดจากจุลินทรีย์ในดิน จะทำให้ปฏิกิริยาของดินเปลี่ยนแปลงไป โดยค่าของปฏิกิริยาของดินนั้นจะปรับเข้าสู่ความเป็นกลาง ดินที่มีค่าปฏิกิริยาของดินต่ำหรือเป็นกรด เมื่อมีสภาพน้ำขังค่าปฏิกิริยาของดินนั้นจะถูกปรับให้สูงขึ้น ดินที่เป็นด่างหรือมีค่าปฏิกิริยาของดินสูง เมื่อถูกขังน้ำค่าปฏิกิริยาของดินก็就会被ปรับให้ลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาของดินนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสมบัติของดินและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่สำคัญ ได้แก่

1. ปริมาณเหล็ก (Fe) และ แมงกานีส (Mn) ที่ถูกรีดิวซ์ออกมา

ในกระบวนการที่เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่รีดิวซ์ออกมาจะเป็นการยกระดับค่าปฏิกิริยาของดินให้สูงขึ้น โดยที่อนุมูล H^+ ถูกใช้ไปในกระบวนการรีดักชันของเหล็กและแมงกานีส ดังสมการ



แต่ถ้าดินมีปริมาณ reducible Fe น้อย และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูง ค่าปฏิกิริยาของดินหลังจากถูกน้ำขังจะเปลี่ยนแปลงไปได้ช้ามาก

2. การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในดินด่าง (calcareous soils) ที่มีค่าปฏิกิริยาของดินสูง ค่าปฏิกิริยาของดินจะลดลงเมื่อดินถูกน้ำขัง เนื่องจากจะเกิดกระบวนการที่ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้อนุมูล H^+ และ HCO_3^- ซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่าปฏิกิริยาของดินลดลง

3. อุณหภูมิของดิน

มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาของดิน เช่น ดินที่มีอุณหภูมิต่ำจะชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาของดิน

4. กระบวนการทางเคมีที่ให้อนุพล H^+ และ OH^- ในดิน

มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาของดิน