บทที่ 2

ตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความสำคัญและที่มาของก๊าซมีเทนต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

ในปัจจุบันข่าวคราวความเคลื่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ได้รับความสนใจและตระหนักถึงอย่างมากมาย กว้างขวางทั่วโลก มีข้อมูลบ่งชี้จากหลายส่วนของโลกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น 1-2 °C(อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2535) เชื่อกันว่าสาเหตุหนึ่งเกิดจากปรากฏการณ์เรือนกระจก (UNEP, 1987) ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง(ดังปรากฏในตารางที่ 1) ที่มีผลทำให้โลกร้อนขึ้น

ตารางที่ 1 ก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ(UNEP, 1987)

ชนิดของก๊าซ	ความเข้มข้นในบรรยากาศ(ppbv)	%ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี
คาร์บอนไดออกไซด์	344,000	0.4
มีเทน	1,650	1.0
ไนตรัสออกไซด์	340	0.25
เมธิลคลอโรฟอร์ม	0.13	7.0
โอโซน	มีค่าไม่คงที่	-
ซี.เอฟ.ซี 11	0.23	5.0
ซี.เอฟ.ซี 12	0.4	5.0
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	0.125	1.0
คาร์บอนมอนอกไซด์	มีค่าไม่คงที่	0-2

1. บทบาทของก๊าซมีเทนต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

ก๊าซมีเทนมีความสามารถในการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรด ที่ความยาวคลื่น 6.52 และ 7.66 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นการดูดเก็บรังสีความร้อนจากพื้นผิวโลก โดยที่ความสามารถในการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดของก๊าซมีเทน เป็นสัดส่วนโดยตรงกับรากที่สองของความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ (Badr et al., 1991)

ในขณะเดียวกันก๊าซมีเทนมีความสามารถทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อก๊าซมีเทนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์(stratosphere)ถูกออกซิไดซ์ ก๊าซมีเทนจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนออกมาจับคู่กับโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็นน้ำขึ้น น้ำในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์เป็นก๊าซเรือนกระจก (เจตน์ เจริญโท, 2534; Houghton et al., 1991)

เนื่องด้วยลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทน ในการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดและเป็นก๊าซเรือนกระจกในขณะเดียวกัน ทำให้ก๊าซมีเทนมีความสามารถในการเพิ่มอุณหภูมิของบรรยากาศได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 26.5 เท่า นั่นคือ ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร มีผลทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศโลกเพิ่มสูงขึ้น 0.0049 °C แต่ก๊าซมีเทนในปริมาณเท่ากันสามารถทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศโลกสูงขึ้นถึง 0.13 °C (Badr et al., 1991)

2. แหล่งปล่อยและแหล่งเก็บกักก๊าซมีเทน

2.1 แหล่งปล่อยก๊าซมีเทน

แหล่งปล่อยก๊าซมีเทน ส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน(anaerobic sources) (Cicerone and Oremland, 1988) การเกิดก๊าซมีเทนเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยไฮโดรเจน กรดไขมันหรือแอลกอฮอล์ นอกจากนั้นการเกิดก๊าซมีเทนยังเกิดจากการทรานเมธิลเลชัน(transmethylation) ของกรดอะซิติกหรือเมธิลแอลกอฮอล์ โดยกิจกรรมของเมทาโนจินิคแบคทีเรีย (Houghton et al., 1991) ดังนั้นจึงสามารถจำแนกแหล่งปล่อยก๊าซมีเทนได้ 2 แหล่งใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.1 **แหล่งปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดจากธรรมชาติ** ได้แก่ ที่ราบลุ่มน้ำท่วมขัง ของเสียจากสัตว์เลี้ยง(เช่น วัว ควาย) มหาสมุทร บ่อก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น (ทวี จิตไมตรี, 2529; Houghton et al., 1991)

2.1.2 **แหล่งปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์** ได้แก่ การทำนาน้ำขัง พื้นที่ฝังกลบขยะ การใช้ก๊าซธรรมชาติ การทำเหมืองถ่านหิน การเผาไหม้ชีวมวล เป็นต้น (Houghton et al., 1991)

2.2 แหล่งเก็บกักก๊าซมีเทน

เมื่อก๊าซมีเทนถูกปล่อยออกจากแหล่งปล่อยก๊าซมีเทนแหล่งต่างๆ ก๊าซมีเทนเหล่านั้นก็จะแพร่กระจายเข้าสู่บรรยากาศ ในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์(troposphre) ซึ่งไฮดรอกซิล เรดิเคิล(hydroxyl radicals(OH˙)) ในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซมีเทน และสารมลพิษอื่น (เจตน์ เจริญโท, 2534) เนื่องด้วยก๊าซมีเทนมีอัตราการเพิ่มขึ้นปีละ 1 % (Mariko et al., 1991; Yagi and Minami, 1990) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนจึงทำให้ไฮดรอกซิลเรดิเคิล ในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ลดลง ในปัจจุบันพบว่ามีไฮดรอกซิล เรดิเคิล ในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ มีประมาณหนึ่งส่วนในร้อยล้านล้านส่วนของบรรยากาศ เพราะฉะนั้นปริมาณของไฮดรอกซิล เรดิเคิล ที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นจึงไม่เพียงพอ อันจะเป็นการยืดอายุการคงอยู่ในบรรยากาศของก๊าซมีเทนให้ยาวนานขึ้น (เจตน์ เจริญโท, 2534)

ในขณะเดียวกันเมื่อก๊าซมีเทนเข้าสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) ก๊าซมีเทนจะถูกออกซิไดซ์โดยไฮดรอกซิล เรดิเคิล ได้น้ำเกิดขึ้น น้ำที่เกิดขึ้นในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์มีผลทำให้บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ที่เคยแห้งกลับมีละอองน้ำแข็งเกิดขึ้น ในระยะ 40 ปีที่ผ่านมาพบว่าปริมาณน้ำในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ได้เพิ่มมากขึ้นประมาณ 28 % ของน้ำในชั้นบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ มักจะพบในบริเวณเหนือเขตแอนตาร์กติกและอาร์กติก เมฆในชั้นสตราโตสเฟียร์มีบทบาทสำคัญที่ก่อให้เกิดรูรั่วที่ชั้นโอโซนขึ้น (เจตน์ เจริญโท, 2534; Schütz et al., 1991) นอกจากก๊าซมีเทนจะเป็นอันตรายต่อชั้นโอโซนแล้ว น้ำในชั้นสตราโตสเฟียร์ยังเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีประสิทธิผลอีกด้วย (เจตน์ เจริญโท, 2534; Houghton et al., 1991)

แหล่งเก็บกักก๊าซมีเทนอีกแหล่งหนึ่งคือดิน โดยที่ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจะถูกออกซิไดซ์โดยมีเทน-ออกซิไดซ์แบคทีเรีย(methane-oxidizing bacteria) และถูกสะสมอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ภายในดิน

3. ลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทอะลิเฟติก(aliphatics) และจัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวเรียกว่าอัลเคนหรือพาราฟิน(paraffins) ลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทนแยกอธิบายได้ดังนี้

3.1 ลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทนทางกายภาพ

3.1.1 ก๊าซมีเทนมีสถานะเป็นก๊าซ

3.1.2 ก๊าซมีเทนไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่มีรส(Franson et al., eds., 1985)

3.2 ลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทนทางเคมี

3.2.1 สูตรโมเลกุลของก๊าซมีเทนคือ CH_4

3.2.2 ก๊าซมีเทนมีจุดหลอมเหลว -182.5 °C และมีจุดเดือด -161.5 °C (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2528; Streitwieser and Heathcock, 1976)

3.2.3 ก๊าซมีเทนละลายน้ำได้ค่อนข้างต่ำประมาณ 12-40 มิลลิกรัมต่อลิตร (Yamamoto, Alcuskas, and Crozier, 1976)

3.2.4 ก๊าซมีเทนมีความสามารถ ในการทำปฏิกิริยาการแทนที่เฮโลเจน (halogenation) เมื่อมีแสงหรือที่อุณหภูมิประมาณ 200-400 °C

3.2.5 ก๊าซมีเทนมีความสามารถ ในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้เมื่อมีความร้อน ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

3.2.6 พลังงานในการแยกพันธะของก๊าซมีเทนคือ 104 กิโลแคลอรี่

ต่อโมล

3.2.7 ก๊าซมีเทนต้องใช้พลังงานความร้อน ในการสร้างพันธะจำนวน -17.9 กิโลแคลอรี่ต่อโมล ที่ 25 °C (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2528; Streitwieser and Heathcock, 1976)

3.2.8 ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจก(greenhouse gas) ซึ่งมีผลทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก(greenhouse effect) โดยก๊าซมีเทนมีช่วงชีวิตในบรรยากาศ 10 ปี (UNEP, 1987)

3.3 <u>ลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทนทางฟิสิกส์เคมี</u> (Schütz et al., 1991)

3.3.1 ก๊าซมีเทนมีน้ำหนักโมเลกุล 16 กรัมต่อโมล

3.3.2 ความหนืดของก๊าซมีเทนคือ 109 ไมโครพอยส์

3.3.3 ความเร็วเฉลี่ยของก๊าซมีเทนคือ 622 เมตรต่อวินาที

3.3.4 ก๊าซมีเทนมีองศาของการหมุนตัวของพันธะของก๊าซมีเทน (degrees of freedom for rotation)เท่ากับ 2

3.3.5 ก๊าซมีเทนมีเส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุล 4.2 อังสตรอม ที่ 290 องศาเคลวิน(K)

3.3.6 ก๊าซมีเทนมีเส้นผ่าศูนย์กลางของการชนกันของอะตอมของก๊าซมีเทน(collision diameter) 13.2 อังสตรอม ที่ 290 องศาเคลวิน(K)

<u>การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว</u>

ทั้งโลกมีการปล่อยก๊าซมีเทนประมาณปีละ 375-717 เทระกรัม(1 เทระกรัม เท่ากับ 1 ล้านตัน) (Cicerone and Oremland, 1988) ขณะที่การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมีประมาณปีละ 70-170 เทระกรัม(Schütz et al., 1990) การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวจัดเป็นแหล่งปล่อยก๊าซมีเทนจากกิจกรรมมนุษย์แหล่งใหญ่สุด (Rubin et al., 1992)

1. การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวของประเทศต่างๆของโลกออกสู่บรรยากาศ

การปล่อยก๊าซมีเทนจากทั่วโลกในประเทศต่างๆมีดังนี้ ในประเทศจีน บริเวณทุ่งนาน้ำขังที่ Tuzu มณฑล Sczhuan พบว่ามีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน 60 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนั้นยังพบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงบ่ายสูงกว่าในช่วงเช้าประมาณ 15 % ของการปล่อยก๊าซมีเทน โดยที่การปล่อยก๊าซมีเทนจากทุ่งนาในประเทศจีนสูงกว่าในประเทศสหรัฐอเมริกาหรือประเทศในแถบยุโรปถึง 4-10 เท่า (Young, ed., 1991)

สำหรับประเทศญี่ปุ่น การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในดินต่างชนิดกันจะแตกต่างกันกล่าวคือ ดินพีท(peat soil) มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน 44.8 กรัมต่อตารางเมตร (44800 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร) ขณะที่ดินเกลย(gley soil) มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน 8.0-27.0 กรัมต่อตารางเมตร (8000-27000 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร) และสำหรับดินแอนโดซอล(andosols soil) มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน 0.6-12.6 กรัมต่อตารางเมตร (600-12600 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร) และถ้ามีการใส่ฟางข้าว(rice straw)ในอัตรา 6-9 เมตริกตันต่อเฮกแตร์ การปล่อยก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้น 1.8-3.5 เท่า (Yagi and Minami, 1990)

ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกา รัฐแคลิฟอร์เนีย พบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากทุ่งนาน้ำขังในแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน 9.5-49.3 นาโนโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (0.5-6.4 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) ส่วนแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี (แอมโมเนียมฟอสเฟต, แอมโมเนียมซัลเฟต และ ยูเรีย) จะมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน 0.9-3573 นาโนโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (0.1-205.9 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง (Schütz et al., 1991)

สำหรับการปล่อยก๊าซมีเทนในประเทศไทย วิศิษฐ์ โชลิตกุล และ ประไพ ชัยโรจน์ (2535) ได้ทำการสำรวจการปล่อยก๊าซมีเทนในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมของสถานีทดลองข้าวคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีลักษณะดินเป็นดินเปรี้ยว(acid sulfate soil) และใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่ามีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว 0.09 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (3.75 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) ขณะที่ผลของการศึกษาในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมของสถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี ซึ่งมีลักษณะดินเป็นดินระหว่างดินเปรี้ยวกับดินที่เกิดจากตะกอนน้ำจืด และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี พบว่ามีอัตรา

การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว 0.47-0.77 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (19.58-32.08 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) และสำหรับบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมของสถานีทดลองข้าวชัยนาท ซึ่งมีลักษณะดินเป็นดินที่เกิดจากตะกอนน้ำจืด ใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 16-20-0 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว 0.04 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (1.67 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) และในเวลาต่อมาปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (2536) ได้ทำการสำรวจศักยภาพของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินนครปฐม และใช้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ในการศึกษาอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว พบว่าในฤดูการปลูกข้าวนาปรังและนาปีมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวต่างกัน กล่าวคือ ฤดูการปลูกข้าวนาปรังมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน 9.57 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง และฤดูการปลูกข้าวนาปีมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน 10.17 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

ภาพรวมของทั้งโลกที่ Bouwman (1990)ได้ประมาณการการปล่อยก๊าซมีเทนของทวีปต่างๆ ดังปรากฏในตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในทวีปเอเชียมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากทวีปเอเชียมีพื้นที่ปลูกข้าวสูงสุดประมาณ 90 % ของพื้นที่ปลูกข้าวของโลก อีกทั้งนิยมทำการปลูกข้าวโดยใช้น้ำชลประทานและอาศัยน้ำฝนที่มีระดับน้ำประมาณ 0-30 เซ็นติเมตร ส่วนทวีปที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนรองลงมาจากทวีปเอเชียคือ ทวีปอเมริกาและทวีปอาฟริกา ตามลำดับ ทั้งเนื่องด้วยว่าทวีปทั้งสองมีพื้นที่ปลูกข้าวเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ ทวีปอเมริกามีพื้นที่ปลูกข้าว 4.7 % ของพื้นที่ปลูกข้าวของโลก ขณะที่ทวีปอาฟริกามีพื้นที่ปลูกข้าวเพียง 3.5 % ของพื้นที่ปลูกข้าวของโลก โดยที่ทวีปอเมริกาและทวีปอาฟริกานิยมทำการปลูกข้าวโดยใช้น้ำการชลประทาน ส่วนในทวีปอื่นที่เหลือมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนเพียงเล็กน้อยเนื่องด้วยว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวไม่มากนัก

2. การคาดคะเนการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

Cicerone และ Oremland (1988) คาดคะเนว่าในปี ค.ศ. 1988 ทั้งโลกจะมีการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวประมาณ 110 ล้านตัน ในขณะที่ Glachenko, Lein และ Ivanov (1989) ได้ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวน้ำขังในช่วงปี ค.ศ. 1970-1980 เพื่อคาดคะเนการปล่อยก๊าซมีเทนของทั้งโลกในอนาคต

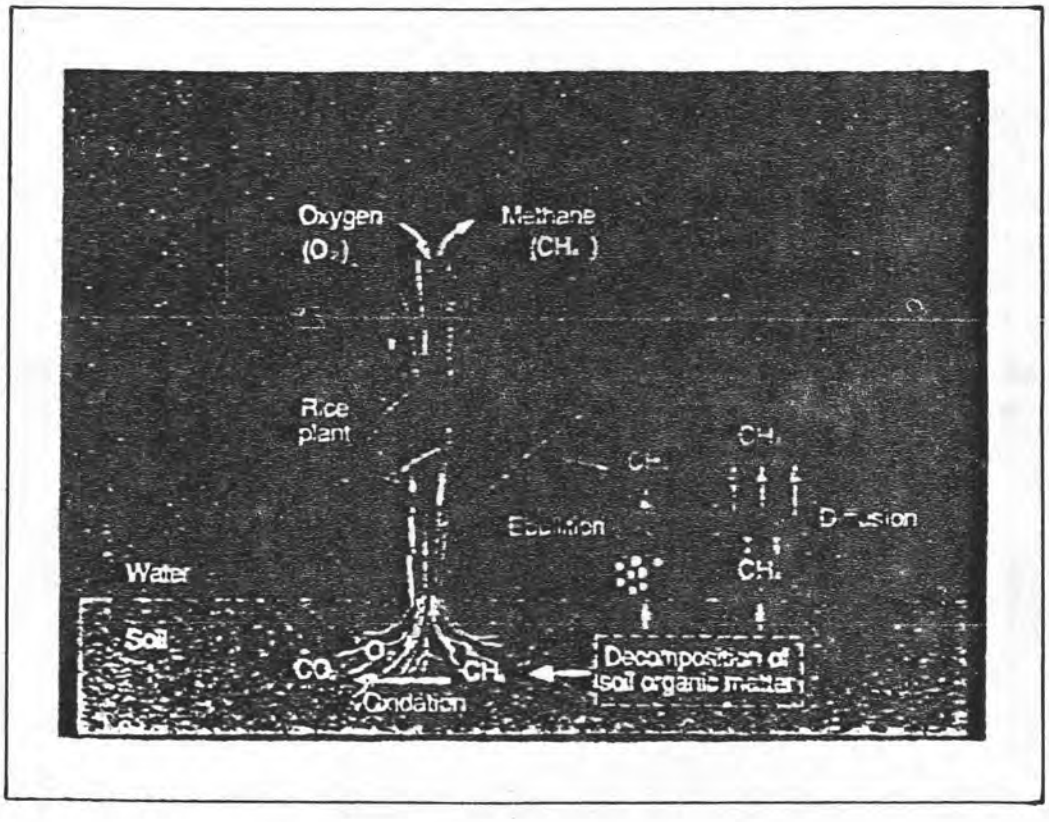
ตารางที่ 2 การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวน้ำขังของทวีปต่างๆในปี ค.ศ. 1985 (Bouwman, 1990)

ทวีป	พื้นที่ปลูกข้าวของนาข้าวน้ำขัง (ล้านไร่)	การปล่อยก๊าซมีเทน (10^{12} กรัมต่อปี)	ระบบการปลูกข้าว
เอเชีย	401.02	29-62	โดยใช้น้ำชลประทาน
	202.21	12-25	อาศัยน้ำฝนที่มีระดับน้ำ 0-30 เซ็นติเมตร
	72.42	4-11	อาศัยน้ำฝนที่มีระดับน้ำ 30-100 เซ็นติเมตร
	33.06	< 1	สภาพน้ำลึกมากกว่า 100 เซ็นติเมตร
อาฟริกา	22.81	2-4	โดยใช้น้ำชลประทาน
	11.38	1-2	อาศัยน้ำฝน
อเมริกาเหนือและอเมริกากลาง	11.96	1-2	โดยใช้น้ำชลประทาน
อเมริกาใต้	38.26	3-6	โดยใช้น้ำชลประทาน
ส่วนที่เหลือของโลก	7.47	0-1	โดยใช้น้ำชลประทาน
ผลรวม	800.59	53-114	-

ผลของการศึกษาคาดคะเนว่า ในปี ค.ศ. 2000 ทั้งโลกจะมีการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ประมาณ 125 ล้านตัน และในปี ค.ศ. 2020 ทั้งโลกจะมีการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว 160 ล้านตัน ทั้งนี้โดยอาศัยข้อมูลของความต้องการใช้ข้าวในอนาคต เนื่องจากประชากรโลกมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวจึงน่าที่จะมากขึ้นตามไปด้วย

3. <u>การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว</u>

การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศ เกิดขึ้นโดยก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากชั้นดินจะอาศัยต้นข้าวเป็นทางผ่านก่อนที่จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ ในขณะที่ก๊าซมีเทนอีกส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของฟองก๊าซ(bubble) และในรูปของการแพร่(diffusion)ในชั้นน้ำก่อนที่จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ(IRRI, 1991; Neue, 1992; Schütz et al., 1991) ดังปรากฏในรูปที่ 1



<u>รูปที่ 1</u> กลไกการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศ (IRRI, 1991)

กลไกการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ โดยอาศัยต้นข้าวเป็นทางผ่านเกิดขึ้นโดยก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากชั้นดิน จะแพร่เข้าสู่รากข้าวในบริเวณคอร์เท็กซ์(cortex) โดยก๊าซมีเทนจะเคลื่อนผ่านช่องอากาศ(lysigenous intercellular spaces) และแอเรนไคม่า (aerenchyma) (Nouchi et al., 1990) ซึ่งการเคลื่อนที่ของก๊าซมีเทนจะอาศัยหลักการแพร่ของโมเลกุล รวมทั้งความแตกต่างของความดันภายในต้นข้าว และอากาศภายนอกในการเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลของก๊าซมีเทน(Schütz et al., 1991) ในที่สุดก๊าซมีเทนจะถูกปล่อยในบริเวณของกาบใบ(leaf sheath)และปากใบ(stomata) (Nouchi et al., 1990)

ขณะที่กลไกการปล่อยก๊าซมีเทนในรูปของฟองก๊าซ เกิดขึ้นเมื่อก๊าซมีเทนอยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด และมีความดันของก๊าซมีเทนสูงเกินกว่าค่าความดันของน้ำ ในทันทีทันใดก๊าซมีเทนก็จะฟอร์มตัวเป็นฟองก๊าซขนาดใหญ่ขึ้น และลอยขึ้นสู่ผิวน้ำและถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในที่สุด(Barber, Burke, and Sackett, 1988; Liss and Slater, 1974)

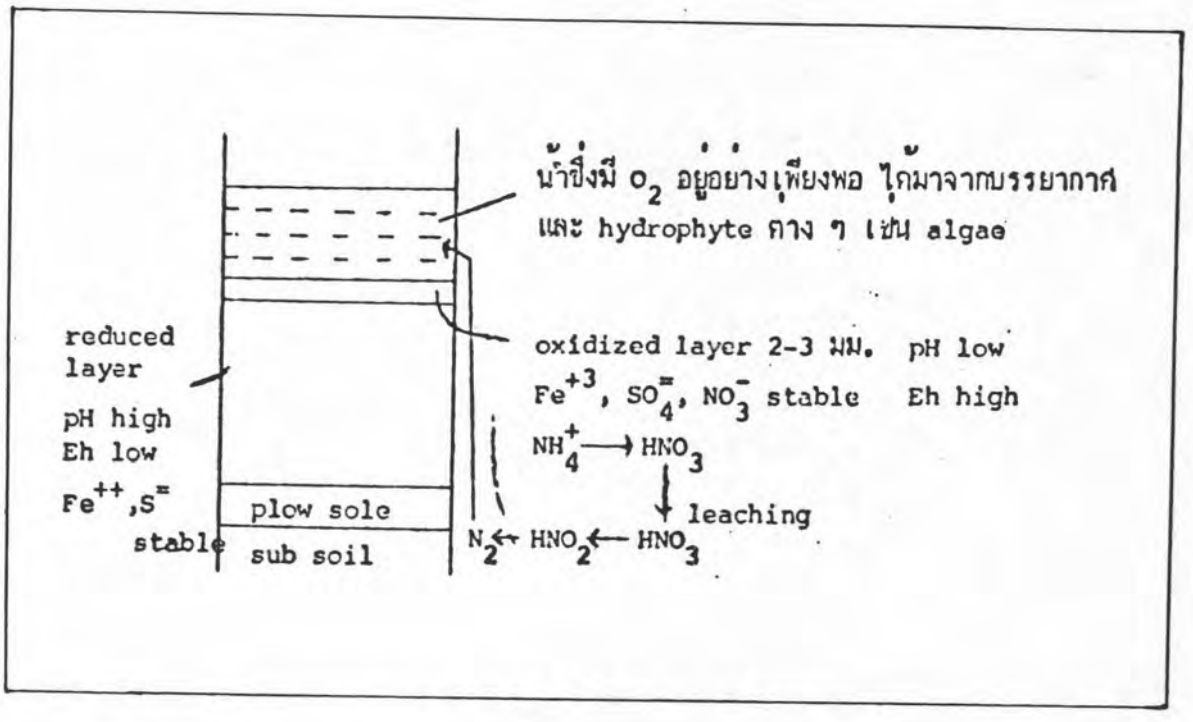
สำหรับกลไกการปล่อยก๊าซมีเทนในรูปของการแพร่ ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของก๊าซมีเทน โดยที่สัมประสิทธิ์การแพร่ ขึ้นอยู่กับความเร็วลมและอุณหภูมิของน้ำ เมื่อมีลมพัดเหนือผิวน้ำเพิ่มขึ้น ก็จะเป็นการลดความหนาของชั้นน้ำที่จะปิดกั้นการปล่อยก๊าซมีเทนจากชั้นน้ำและการที่อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นมีผลทำให้ก๊าซมีเทนละลายน้ำได้ดีขึ้น (Schütz et al., 1991)

การปล่อยก๊าซมีเทนในระยะแรก ซึ่งเป็นการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นข้าวจะเป็นการปล่อยก๊าซมีเทนในรูปของฟองก๊าซประมาณ 25-100 % ของการปล่อยก๊าซมีเทน และในระยะต่อมาของการเจริญเติบโตของต้นข้าวคือระยะสืบพันธุ์ของต้นข้าว พบว่ามากกว่า 90 % ของการปล่อยก๊าซมีเทนจะอาศัยต้นข้าวเป็นทางผ่าน ก่อนที่จะถูกปล่อยสู่บรรยากาศ (Holzapfel-Pschorn and Seiler, 1986; Neue, 1992; Neue, 1993) ในขณะที่การปล่อยก๊าซมีเทนในรูปของการแพร่ จะมีส่วนในการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศประมาณ 1-5 % ของการปล่อยก๊าซมีเทน (Holzapfel-Pschorn and Seiler, 1986)

<u>ธรรมชาติของดินนาน้ำขัง</u> (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528)

โดยธรรมชาติของดินนาเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขังจะเกิดการแบ่งชั้นต่างๆของดินนาน้ำขังขึ้น

ดังปรากฏในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชั้นต่างๆของดินนาเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขัง (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

ชั้นต่างๆของดินนาในสภาพน้ำขัง มีดังนี้

ชั้นแรกเป็นชั้นน้ำที่อยู่เหนือผิวดิน ซึ่งชั้นนี้จะมีปริมาณก๊าซออกซิเจนอย่างเพียงพอ

ถัดจากชั้นน้ำจะเป็นชั้นของผิวดิน โดยชั้นนี้จะมีระดับความลึกประมาณ 0 ถึง 2-3 เซ็นติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซออกซิเจนในดินชั้นนี้ ดินนาในชั้นนี้เรียกได้ว่าดินชั้นออกซิไดซ์(oxidized layer) ซึ่งเป็นชั้นที่มีระดับก๊าซออกซิเจนสูงพอๆกับชั้นที่อยู่ถัดขึ้นมา ดินในชั้นนี้มักจะมีจุลินทรีย์พวกแอโรบ(aerobes)มาอาศัยอยู่ และมักจะพบไอออนต่างๆที่สำคัญ คือ ไนเตรท(NO_3^-), ซัลเฟต(SO_4^{-2}), แมงกานีส(IV)(Mn^{+4}), เฟอร์ริค(Fe^{+3})

ถัดลงมาเป็นดินชั้นรีดิวซ์(reduced layer) ซึ่งเป็นชั้นที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน สภาพของดินในชั้นนี้ จะอยู่ในสภาพรีดักชัน ไอออนต่างๆที่อยู่ในดินชั้นออกซิไดซ์จะถูกรีดิวซ์ในดินชั้นรีดิวซ์นี้ และโดยทั่วไปรากข้าวจะเจริญเติบโตอยู่ในดินชั้นรีดิวซ์นี้

ถัดจากดินชั้นรีดิวซ์ลงมา อาจจะมีชั้นดินแน่นทึบที่เรียกว่าโพลซอล(plow sole)

ถัดจากชั้นดินชั้นแน่นทึบ(โพลซอล)ก็คือดินล่าง(sub soil)

นอกจากดินนาน้ำขังจะเกิดการแบ่งชั้นต่างๆของดินนาแล้ว ยังเกิดการเปลี่ยนแปลง

ต่างๆเกิดขึ้นกล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า เคมี ชีวะ ฟิสิกส์แยกอธิบายได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า

1.1 การลดลงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (redox potential, Eh)

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้าที่สำคัญอันหนึ่งก็คือ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล โดยที่รีดอกซ์โพเทนเชียลเป็นดรรชนีบอกถึงสภาพออกซิเดชัน-รีดักชันของดิน เมื่อดินนามีน้ำท่วมขัง ดินนาก็จะอยู่ในสภาพรีดิวซ์ โดยจะมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลต่ำหรือเป็นลบ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล(Eh)(มิลลิโวลท์; mv)ของดินที่มีการถ่ายเทอากาศดีและดินที่มีน้ำขัง(ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

ชนิดของดิน	รีดอกซ์โพเทนเชียล(Eh)(มิลลิโวลท์; mv)
ดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี	+ 700 ถึง + 500
ดินที่อยู่ในสภาพรีดิวซ์ปานกลาง	+ 400 ถึง + 200
ดินที่อยู่ในสภาพรีดิวซ์	+ 100 ถึง - 100
ดินที่อยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง	- 100 ถึง - 300

การลดลงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อดินนามีน้ำขังและถึงจุดต่ำสุดภายใน 1-2 สัปดาห์แรกและจะค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ ในกรณีของดินที่มีการถ่ายเทอากาศดีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินจะสูงกว่า 400 ขึ้นไป และคงอยู่เช่นนั้น

การลดลงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะเกิดขึ้นรวดเร็ว และรุนแรงสักแค่ไหนขึ้นอยู่กับ

1.1.1 ปริมาณและชนิดของอินทรีย์วัตถุ ดินนาที่มีอินทรีย์วัตถุสูงและเป็นชนิดที่สลายตัวได้ง่าย สภาวะเช่นนี้ช่วยส่งเสริมให้รีดักชันของดินนาเกิดขึ้นรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลมีค่าต่ำ

1.1.2 อุณหภูมิของดินในช่วง 25-35 °C เป็นช่วงของอุณหภูมิที่ส่งเสริมให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินนาลดลงอย่างรวดเร็ว

1.1.3 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินนาก่อนขังน้ำ ถ้ามีค่าสูงอัตราการลดลงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะเร็วกว่า เมื่อดินมีระดับรีดอกซ์โพเทนเชียลของดินก่อนการขังน้ำที่มีค่าต่ำกว่า

1.1.4 ตัวยับยั้งการลดลงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินนาคือ ไนเตรท(NO_3^-), แมงกานีสไดออกไซด์(MnO_2) และเฟอร์ริคออกไซด์(Fe_2O_3)

1.2 การเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่าง(pH)ของดิน

เมื่อดินนาอยู่ในสภาพน้ำขัง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินกรดจะมีค่าสูงขึ้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินด่างจะมีค่าลดลง ในที่สุดไม่ว่าดินกรดหรือดินด่างค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 8.5

การที่ดินกรดมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้น ส่วนใหญ่เนื่องมาจากเฟอร์ริค(Fe^{+3}) ถูกรีดิวซ์เป็นเฟอร์รัส(Fe^{+2}) ดังสมการ

$$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e = Fe^{+2} + 3H_2O$$

$$Eh = 1.042 - 0.059\log Fe^{+2} - 0.177pH$$

$$Fe_3(OH)_8 + 8H^+ + 2e = 3Fe^{+2} + 8H_2O$$

$$Eh = 1.373 - 0.0885\ \log Fe^{+2} - 0.236pH$$

หลังจากดินกรดมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้น และการที่ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างคงที่หลังจากมีน้ำขังได้ 2-3 สัปดาห์ไปแล้วนั้น เนื่องจากถูกควบคุมโดยความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(partial pressure, Pco_2) ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีของดินที่มีเหล็กมากซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$pH = 6.1 - 0.58 \log Pco_2$$

สำหรับกรณีของดินแคลคาเรียส(calcareous)และ ดินโซดิก เมื่อขังน้ำแล้วค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีค่าต่ำกว่าในสภาพที่มีออกซิเจน ก็เพราะว่ามีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

ดินแคลคาเรียล : $pH = 6.0 - 2/3 \log Pco_2$

ดินโซดิก : $pH = 7.85 + \log(\text{alkalinity}) - \log Pco_2$

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

2.1 การเปลี่ยนแปลงของเหล็ก(Iron, Fe)

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเฟอร์รัส(Fe^{+2})ในดินก็คือมีการสะสมของเฟอร์รัสในสารละลายดินจนถึงจุดสูงสุดและลดลง การที่เฟอร์รัสละลายได้มากขึ้นก็เนื่องมาจากเฟอร์ริลไฮดรอกไซด์($Fe(OH)_3$) ถูกรีดิวซ์ดังสมการ

$$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e \rightleftharpoons Fe^{+2} + 3H_2O$$

การลดลงของเฟอร์รัสในช่วงเวลาต่อมา เนื่องจากเฟอร์รัสจะตกตะกอนในรูปของ $Fe_3(OH)_8$ หรือ $Fe_3O_4.nH_2O$ ซึ่งเนื่องจากค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีค่าสูงขึ้นและความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ในช่วงหลังความเข้มข้นของเฟอร์รัสจะค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากสภาพสมดุลย์ของเหล็กในรูป $Fe_3(OH)_8 - Fe^{+2}$ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Eh = 1.373 - 0.0885 \log Fe^{+2} - 0.236pH$$

2.2 การเปลี่ยนแปลงของแมงกานีส(Manganese, Mn)

หลังจากที่ไนเตรทถูกรีดิวซ์เนื่องจากขาดก๊าซออกซิเจน สารประกอบแมงกานีส(IV)(Mn^{+4})ซึ่งไม่ละลายก็จะถูกรีดิวซ์ให้เป็นแมงกานัส(Mn^{+2}) ซึ่งละลายได้มากกว่า

และหลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันแล้ว ถ้าดินเป็นกรดหรือกรดอ่อน แมงกานีสอาจจะอยู่ในสารละลายดิน หรืออาจถูกดูดยึดอยู่ที่สารประกอบเชิงซ้อน(exchange complex) แต่ถ้าดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างใกล้เป็นกลางแมงกานีสจะตกตะกอนเป็นแมงกานีสคาร์บอเนต($MnCO_3$) หรือเป็น ออกไซด์ และ ไฮดรอกไซด์ ของแมงกานีส

2.3 การเปลี่ยนแปลงของซัลเฟต(Sulphate, SO_4^{-2})

ดินที่ขังน้ำและอยู่ในสภาพรีดักชันที่รุนแรงเนื่องจากขาดก๊าซออกซิเจนและมีกิจกรรมของจุลินทรีย์สูง ซึ่งเป็นผลให้ซัลเฟตถูกรีดิวซ์เป็นซัลไฟด์

จุลินทรีย์ที่รีดิวซ์ซัลเฟตเป็นซัลไฟด์นั้นเป็นพวกดีซัลโฟวิบริโอ(Desulfovibrio) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการก๊าซออกซิเจน โดยจะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการหายใจ จุลินทรีย์พวกนี้จะใช้สารประกอบที่ได้จากการเฟอร์เมนเตชั่น (fermentation) และจากการที่ก๊าซไฮโดรเจนไปรีดิวซ์ซัลเฟต ดังสมการข้างล่าง จุลินทรีย์พวกนี้มีความคงทนต่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และเกลือที่มีปริมาณสูง กิจกรรมเหล่านี้เกิดขึ้นได้ดีในช่วงของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง(pH)อยู่ระหว่าง 5.5-9.0 แต่อุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้ปฏิกิริยานี้เกิดช้าลง

$$SO_4^{-2} + 4H_2 \text{ ------> } S^{-2} + 4H_2O$$

$$SO_3^{-2} + 3H_2 \text{ ------> } S^{-2} + 3H_2O$$

$$S_2O_3 + 4H_2 \text{ ------> } 2SH^- + 3H_2O$$

เมอร์เคปแทนส

(mercaptans)

2.4 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน

ไนโตรเจนส่วนใหญ่ในดินอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ และในแต่ละปีจะมีปริมาณไนโตรเจนน้อยมากเพียง 2-5 % ของอินทรีย์ไนโตรเจน ที่จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบอนินทรีย์ รูปที่สำคัญที่สุดของอนินทรีย์ไนโตรเจนก็คือไนเตรท(NO_3^-) แอมโมเนียม(NH_4^+) และในรูปไนไตรท์(NO_2^-)แต่มีเพียงเล็กน้อย ซึ่งอนินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่อง

จากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น(nitrification) และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น(denitrification)

ในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี รูปที่คงที่ของไนโตรเจนก็คือไนเตรท (NO_3^-) ผลขั้นสุดท้ายของการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุก็จะได้ ไนเตรท(NO_3^-)

อินทรีย์วัตถุ ----> แอมโมเนียม(NH_4^+) ----> ไนไตรท์(NO_2^-) ----> ไนเตรท(NO_3^-)

ส่วนในดินที่ขาดออกซิเจน ปฏิกิริยาจะหยุดที่แอมโมเนียม(NH_4^+) เท่านั้น เพราะจุลินทรีย์(ไนโตรโซโมแนส แบคทีเรีย)ที่จะออกซิไดซ์แอมโมเนียม(NH_4^+) เป็นไนเตรท(NO_3^-) ไม่ทำงานในสภาพที่ขาดก๊าซออกซิเจน

ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน นอกจากจะเกิดในดินชั้นออกซิไดซ์และดินชั้นรีดิวซ์ แล้วยังเกิดขึ้นได้ที่อาณาบริเวณรากข้าว(rhizosphere) เพราะก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศสามารถที่จะซึมผ่านกาบใบของข้าว มายังรากเพื่อใช้ในการหายใจ ดังนั้นอาณาบริเวณรากข้าวก็จะมีส่วนที่มีก๊าซออกซิเจนสัมผัสกับส่วนที่ไม่มีออกซิเจนก็จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันได้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่สำคัญ ในดินที่มีน้ำขังคือการสะสมแอมโมเนียม การสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซไนโตรเจน การตรึงไนโตรเจน และการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย(NH_3)โดยวิธีระเหย

3. การเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา

จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆที่ได้กล่าวแล้วนั้น จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ทั้งสิ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งแยกอธิบายได้ดังนี้

3.1 จำนวนของจุลินทรีย์

ดินที่ทำการปลูกข้าวจะมีจุลินทรีย์ประเภท แอโรป(aerobes), ฟาคัลเตทีฟ แอนแอโรป(facultative anaerobes) และโอลิเกท แอนแอโรป

(oligate anaerobes) ในปริมาณและสัดส่วนที่ต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าดินนานั้นมีน้ำอยู่มากน้อยต่างกันออกไป การที่ดินมีน้ำขังก็จะก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน มักจะพบจุลินทรีย์พวกแอนแอโรป(anaerobes) แต่ชั้นที่ถูกออกซิไดซ์บางๆของดินนาน้ำขังก็ยังอยู่ในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจน ซึ่งจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่างๆที่จะเกิดขึ้นเหมือนในสภาพดินไร่

ในดินที่มีน้ำขัง แบคทีเรียจะเป็นจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุด ส่วนราและแอคติโนมัยซีท(actinomycetes) จะมีมากในดินไร่

ในอาณาบริเวณรากข้าว มักจะมีจำนวนแบคทีเรียมากกว่าบริเวณที่ห่างออกไป แบคทีเรียจะเกาะแน่นที่ผิวของรากข้าว และจำนวนของจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงไปในดิน จุลินทรีย์ที่มีมากในอาณาบริเวณรากข้าวคือ ไมโคบอคทีเรีย (Mycobocteria), บาซิลัส(Bacillus)และซูโดโมแนส(Pseudomonas) บางครั้งจะพบพวกแอโรปแบคทีเรีย รวมทั้ง รา ไส้เดือนฝอย ยีสต์ และโปรโตซัว ภายในเนื้อเยื่อของรากข้าว

3.2 กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในดินที่มีน้ำขัง

3.2.1 กิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจน

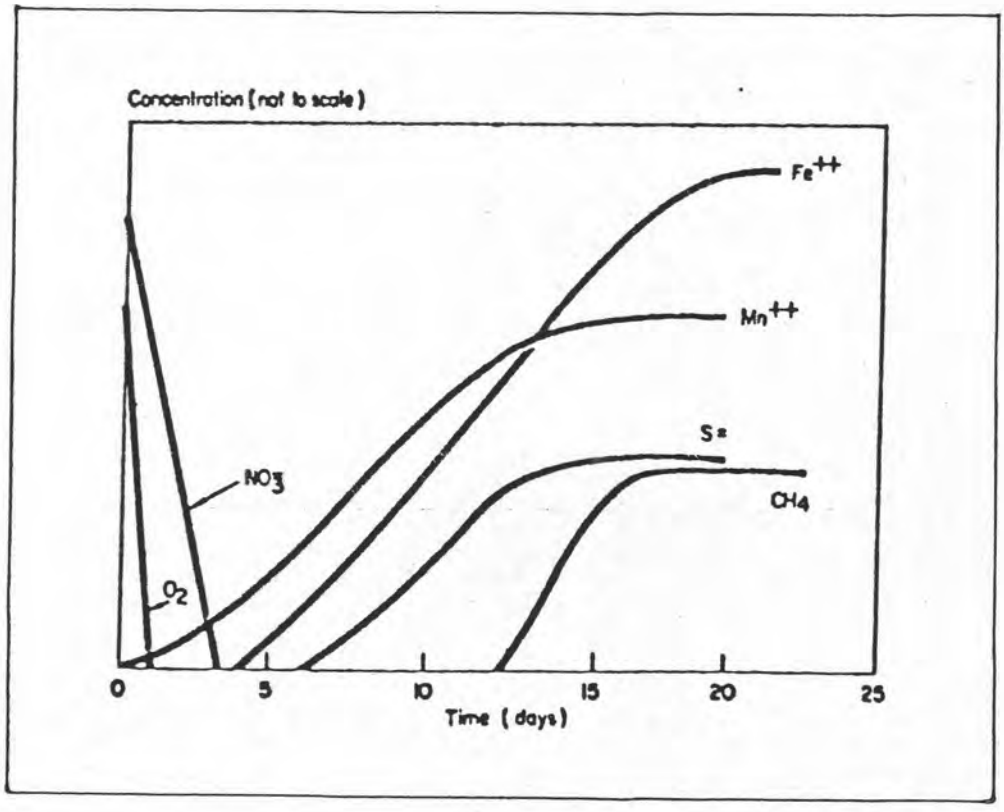
ปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่จะจำกัดกระบวนการหายใจของแอโรบิคแบคทีเรียคือ 1 % ของระดับที่อิ่มตัวด้วยอากาศที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน เนื่องจากดินนาน้ำขังมีชั้นที่ถูกออกซิไดซ์ ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 0 จนกระทั่งถึง 2-3 เซ็นติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซออกซิเจนในน้ำที่ขังอยู่เหนือดิน ดังนั้นการมีก๊าซออกซิเจน และมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลสูง ในชั้นของดินที่ถูกออกซิไดซ์ ทำให้แอโรปแบคทีเรีย มีกิจกรรมต่างๆได้ส่วนตัวรับอิเล็คตรอนที่จะถูกใช้นั้นก็อาจจะได้จากการแพร่กระจายขึ้นมาจากดินในชั้นที่ถูกรีดิวซ์ โดยมีกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นเนื่องจากแอโรปแบคทีเรีย ดังปรากฏในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชนิดของแบคทีเรียและปฏิกิริยาทางชีวะเคมีที่เกิดขึ้นในดินนาเมื่ออยู่ในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจน (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

ชนิดของแบคทีเรีย	ปฏิกิริยาทางชีวะเคมี
เฮกเทอโรโทรฟิค(Heterotrophic)	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$
เฮกเทอโรโทรฟิค(Heterotrophic)	$CH_3CH_2OH + O_2 \longrightarrow CH_3COOH + H_2O$
ไนโตรโซโมแนส(Nitrosomonas)	$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$
ไนโตรแบคเทอร(Nitrobacter)	$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^-$
แมงกานีสออกซิไดซ์(Manganese-oxidizing)	$Mn^{+2} + O_2 \longrightarrow MnO_2$
ไอออนแบคทีเรีย(Iron Bacteria)	$4Fe^{+2} + 4H^+ + O_2 \longrightarrow 4Fe^{+3} + 2H_2O$
ไทโอบาซิลัส(Thiobacillus)	$2S + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4$
เบกเกียทัว(Beggiatoa)	$2H_2S + O_2 \longrightarrow 2S + 2H_2O$
มีเทน-ออกซิไดซิง(Methane-Oxidizing)	$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$
ไฮโดรจีโนโมแนส(Hydrogenomonas)	$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$

3.2.2 กิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ขาดก๊าซออกซิเจน

เมื่อจุลินทรีย์พวกแอโรป ใช้ก๊าซออกซิเจนหมดไปแล้ว แอนแอโรปแบคทีเรีย ก็จะเป็นจุลินทรีย์ที่ทำกิจกรรมในดินที่ชังน้ำ โดยที่การหายใจของแอนแอโรปแบคทีเรียจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ทางชีวะที่ให้พลังงาน ซึ่งมีการใช้สารประกอบอนินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็คตรอน ฟาคัลเตทีฟ แอนแอโรบิค (falcultative anaerobe) เหล่านี้จะรีดิวซ์ไนเตรท(NO_3^-), แมงกานีสไดออกไซด์(MnO_2), เฟอร์ริคออกไซด์(Fe_2O_3), ซัลเฟต(SO_4^{-2}), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) และอื่นๆให้เปลี่ยนเป็น ก๊าซไนโตรเจน(N_2), แมงกานัส(Mn^{+2}), เฟอร์รัส(Fe^{+2}), ซัลไฟด์(S^{-2}), ก๊าซมีเทน(CH_4) และอื่นๆ ดังปรากฏในรูปที่ 3 และตารางที่ 5



รูปที่ 3 ปฏิกิริยารีดักชันของระบบต่างๆในดินที่เกิดขึ้นเรียงตามลำดับกัน (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

ตารางที่ 5 ชนิดของแบคทีเรียและปฏิกิริยาทางชีวะเคมีที่เกิดขึ้นในดินนาเมื่ออยู่ในสภาพที่ขาดก๊าซออกซิเจน (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

ชนิดของแบคทีเรีย	ปฏิกิริยาชีวะเคมี
เฮกเทอโรโทรฟิค(Heterotrophic)	$C_6H_{12}O_6$ ----> $2CO_2 + 2C_2H_5OH$
ดีไนตริไฟอิง(Denitrifying)	$C_6H_{12}O_6 + 4NO_3^- $ ----> $6CO_2 + 6H_2O + 2N_2$
ดีไนตริไฟอิง(Denitrifying)	$5CH_3COOH + 8NO_3^- $ ----> $10CO_2 + 6H_2O + 8OH^- + 4N_2$
ไนเตรท-รีดักชิง(Nitrate-reducing)	$CH_3COOH + NO_3^- $ ----> $2CO_2 + OH^- + NH_3$
แมงกานีส-รีดักชิง(Manganese-reducing)	$CH_3COOH + MnO_2 $ ----> $2CO_2 + Mn^{+2} + 4H^+$
ไอออน-รีดักชิง(Iron-reducing)	$CH_3COOH + 8Fe^{+3} + 2H_2O $ ----> $2CO_2 + 8Fe^{+2} + 8H^+$
ดีซัลโฟวิบริโอ(Desulfovibrio)	$4H_2 + SO_4^{-2} $ ----> $S^{-2} + 4H_2O$
ซัลเฟต-รีดักชิง(Sulfate-reducing)	$2CH_3CHOHCOOH + SO_4^{-2} $ ----> $2CH_3COOH + 2H_2O + 2CO_2 + S^{-2}$
เมทาโนโมแนส(Methanomonas)	$CO_2 + 4H_2 $ ----> $CH_4 + 2H_2O$

3.3 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในบริเวณรากข้าว

ข้าวเป็นพืชที่ขึ้นได้ในดินที่มีน้ำขัง มีลักษณะพิเศษคือก๊าซออกซิเจนสามารถจะเข้าไปที่รากข้าวได้โดยผ่านช่องอากาศ(air space)ที่บริเวณกาบใบ

รากข้าวจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในช่วงระยะที่ต้นข้าวแตกกอ และการเจริญเติบโตจะเกิดขึ้นสูงสุดในช่วงที่ข้าวออกดอกแต่รากซุปเปอร์ฟิเชียล(superficial root)นั้นจะงอกออกมาทีหลัง และเจริญอยู่ต่อไปจนกระทั่งข้าวอยู่ในระยะสุกแก่ ดังนั้นจะเห็นว่าพื้นที่ที่รากข้าวจะแพร่กระจายออกไปก็จะมีมาก ส่วนใหญ่ดินในบริเวณส่วนบน ซึ่งเป็นบริเวณที่รากข้าวแพร่กระจายอยู่ จะเป็นบริเวณที่มีก๊าซออกซิเจน เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่ได้ปลูกข้าว ดินจะอยู่ในสภาพที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน ยกเว้นชั้นบางๆของดินชั้นออกซิไดซ์เท่านั้น

ดังนั้น อาณาบริเวณรากข้าวก็จะก่อให้เกิดจุดสัมผัสระหว่าง ส่วนที่มีก๊าซออกซิเจน และส่วนที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน เหมือนกับการที่มีชั้นออกซิไดซ์สัมผัสกับชั้นรีดิวซ์ จุลินทรีย์ที่ใช้ก๊าซออกซิเจนจะใช้ก๊าซออกซิเจนในอาณาบริเวณรากนี้ จากหลักฐานการพบไส้เดือนฝอย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าอาณาบริเวณรากข้าวมีก๊าซออกซิเจน และในขณะเดียวกันในอาณาบริเวณรากข้าวก็มีการตรวจพบเบกเกียทัว(Beggiatoa) ซึ่งเป็นบักเตรีที่ออกซิไดซ์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ นอกจากนั้นยังมีรายงานเกี่ยวกับการตรึงไนโตรเจนในอาณาบริเวณรากข้าว โดยที่ก๊าซไนโตรเจนจากบรรยากาศจะซึมลงไปในดินบริเวณรากข้าว ซึ่งเป็นระบบเดียวกับที่ข้าวได้รับก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศ บริเวณนี้ก็จะมีคาร์โบไฮเดรทและก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการตรึงไนโตรเจนเหมือนกับดินชั้นบน และพบว่าประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนน้อยจะดีกว่าในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนมาก ทั้งนี้เพราะเอนไซม์ของการตรึงก๊าซไนโตรเจนจะไวต่อก๊าซออกซิเจน

บักเตรีที่อาศัยอยู่ในอาณาบริเวณรากข้าวก็มีความสำคัญ ที่จะทำให้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนสลายตัว เพราะรากข้าวไม่มีเอนไซม์ที่จะทำให้กรดอะมิโนสลายตัว นอกจากนั้นก็ยังพบว่า บักเตรีเหล่านี้จะช่วยทำให้สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสและและกำมะถันสลายตัว และเป็นประโยชน์ต่อข้าวด้วย

3.4 การตรึงไนโตรเจนในดินที่ทำการเพาะปลูกข้าว

ดินที่อยู่ในสภาพน้ำขัง จะมีการตรึงไนโตรเจนสูงกว่าดินที่ไม่มีน้ำขัง เนื่องด้วยการปลูกข้าว สภาพรีดักชันของดิน รวมทั้งอินทรีย์วัตถุที่ได้จากวัชพืชและสาหร่าย เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยส่งเสริมให้มีการตรึงไนโตรเจนในดินที่ทำการเพาะปลูกข้าว

4. <u>การเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์</u>

สภาพทางฟิสิกส์ หรือการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ของดินที่ใช้ปลูกข้าวมีความสำคัญน้อย ทั้งนี้เนื่องด้วย ในทางปฏิบัติชาวนามักจะนิยมทำดินให้เป็นตม(puddling)คือ คราดจนดินเละเป็นตม ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของดินเสียไปแต่ดินจะอุ้มน้ำไว้นานขึ้น เป็นการทำลายวัชพืชด้วย การปักดำก็ง่ายและสะดวกขึ้น ข้อเสียของการทำดินเป็นตมก็คือ ถ้าจะปลูกพืชไร่อื่นในฤดูถัดมา การไถพรวนจะทำได้ยากมากเพราะโครงสร้างของดินเสีย ดินแข็งและแน่นทึบขึ้น ดังนั้นถ้าสามารถกำจัดวัชพืชได้เป็นอย่างดีแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องทำเป็นตม

ในดินที่เนื้อหยาบ ถ้าทำดินให้อัดตัวกันแน่น(compaction) จะทำให้ผลผลิตของข้าวสูงขึ้น ลดปริมาณการใช้น้ำ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ เมื่อเปรียบเทียบการทำให้ดินเป็นตม วิธีการทำให้ดินอัดกันแน่นก็คือ ทำการไถดินและคราดดินตามปรกติ ใส่ปุ๋ย ปรับความชื้นของดินให้พอเหมาะ เอารถไถหนักๆวิ่งไปวิ่งมาจนกระทั่งได้ค่าความหนาแน่นตามต้องการแล้วเอาน้ำเข้าแปลงนาและปักดำข้าว

<u>ปัจจัยที่ส่งเสริมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว</u>

การปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง ส่งผลให้นาข้าวน้ำขังเกิดสภาพขาดก๊าซออกซิเจน เมื่อสภาพขาดก๊าซออกซิเจนของนาข้าวขังน้ำทวีความรุนแรงขึ้น จะทำให้กิจกรรมของเมทาโนจีนิคแบคทีเรียเกิดขึ้นได้ดีตามไปด้วย และในที่สุดก๊าซมีเทนก็ถูกผลิตขึ้น แล้วถูกปล่อยเข้าสู่บรรยากาศโลก การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวจะเกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใด มิใช่เกิดจากสภาพของนาข้าวน้ำขังที่ขาดก๊าซออกซิเจนแต่เพียงอย่างเดียว หากแต่เกิดขึ้นจากปัจจัยอื่นๆอีกหลายปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่ส่งเสริมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวต่างๆเหล่านั้นได้แก่

1. <u>จุลินทรีย์ดิน</u> (ทวี จิตไมตรี, 2529; สมศักดิ์ วังใน, 2524)

เมื่อนาข้าวน้ำขังเกิดสภาพขาดออกซิเจนที่รุนแรง ก๊าซมีเทนก็จะถูกผลิตขึ้น จุลินทรีย์ดินที่มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนคือ เมทธาโนจีนิคแบคทีเรีย ซึ่งเมทธาโนจีนิคแบคทีเรีย ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่เมทธาโนแบคทีเรียม(Methanobacterium) เมทธาโนคอคคัส (Methanococcus) เมทธาโนซาชิน่า(Methanosarcina) และอื่นๆอีกหลายพวก ดังปรากฏในตารางที่ 6

เมทธาโนจีนิคแบคทีเรีย ส่วนมากจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวรับอิเล็คตรอนและไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเล็คตรอน ในขบวนการหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจนอิสระหรืออีกนัยหนึ่ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกรีดิวซ์จนได้ก๊าซมีเทนดังสมการ

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

ซึ่งทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนเป็นก๊าซซึ่งได้จากการหมัก และการย่อยสลายของอินทรีย์สารต่างๆ นอกจากนั้นยังมีตัวรับอิเล็คตรอน ที่เมทธาโนจีนิคแบคทีเรียใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนอื่นๆอีกเช่น เมธานอล ฟอร์มเมท อะซิเตท เมทธิลลามีน เป็นต้น

2. <u>ต้นข้าว</u>

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า(grass family; graminea) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน (herbaceous or non woody plant)ส่วนใหญ่ข้าวเป็นพืชหญ้าล้มลุกที่มีอายุอยู่ได้เพียงปีเดียว (annual grass) มีใบเป็นชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว(monocotyledon) รากเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน(tropical zone) ซึ่งเป็นเขตมรสุม แต่ก็มีความสามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้ในเขตอบอุ่น(temperate zone) (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

การปลูกข้าวในที่นา เป็นภาวะหนึ่งที่มีส่วนช่วยส่งเสริมให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวกล่าวคือ ต้นข้าวสามารถหลั่งสารออกมาจากรากข้าว(root exudates) และให้เนื้อเยื่อที่ตายและคราบของรากข้าวที่ต้นข้าวสลัดออกมา โดยที่สารที่รากข้าวปล่อยออกมาจะประกอบไปด้วย คาร์โบไฮเดรท กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน และสารประกอบฟีนอล (Andal, Bhuvaneswari, and Subba-Rao, 1956) สิ่งที่รากหลั่งและปล่อยออกมาเหล่านี้

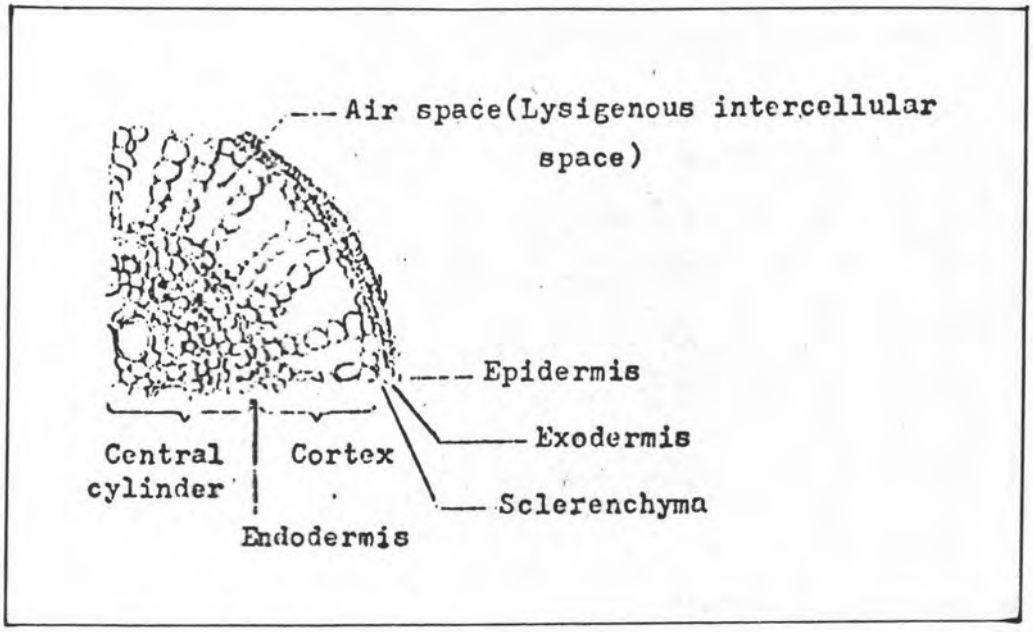
ตารางที่ ลักษณะรูปร่างของจีนัส(genus)และสปีชีส์(species)ของเมทธาโนจีนิคแบคทีเรีย รวมทั้งตัวรับอิเล็คตรอน(substrate)ที่ใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน (ทวี จิตไมตรี, 2529)

จีนัส(genus)และ สปีชีส์ (species)	รูปร่าง	ตัวรับอิเล็คตรอนที่ใช้เพื่อการผลิตก๊าซมีเทน
Methanobacterium formicium	แท่งยาว/เส้น	ก๊าซไฮโดรเจน + ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ , ฟอร์มเมท
Methanococcus vannielii	ทรงกลมโค้งเคลื่อนที่ได้	ก๊าซไฮโดรเจน + ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ , ฟอร์มเมท
mazei	ทรงกลมอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม	เมทธานอล, อะซีเตท, เมทธิลลามีน, ก๊าซไฮโดรเจน + ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
Methanosarcina barkeri	ทรงกลมขนาดใหญ่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม	ก๊าซไฮโดรเจน + ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ , ฟอร์มเมท, เมทธานอล, อะซีเตท, เมทธิลลามีน
Methanospirillum hungatei	เป็นเส้นมีทั้งขนาดสั้นและยาว, รูปร่างคดโค้ง	ก๊าซไฮโดรเจน + ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ , ฟอร์มเมท
Methanomicrobiun	แท่งสั้นเคลื่อนที่ได้ด้วยแฟเจลลาที่ขั้วของเซลล์	ก๊าซไฮโดรเจน + ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ , ฟอร์มเมท
Methanothrix soehugenii	เส้น	อะซีเตท
Methanolobus tindarius	ทรงกลมโค้ง	เมทธานอล, เมทธิลลามีน
Methanogenium	ทรงกลมขนาดเล็กและมีรูปร่างไม่แน่นอน	ก๊าซไฮโดรเจน + ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ , ฟอร์มเมท

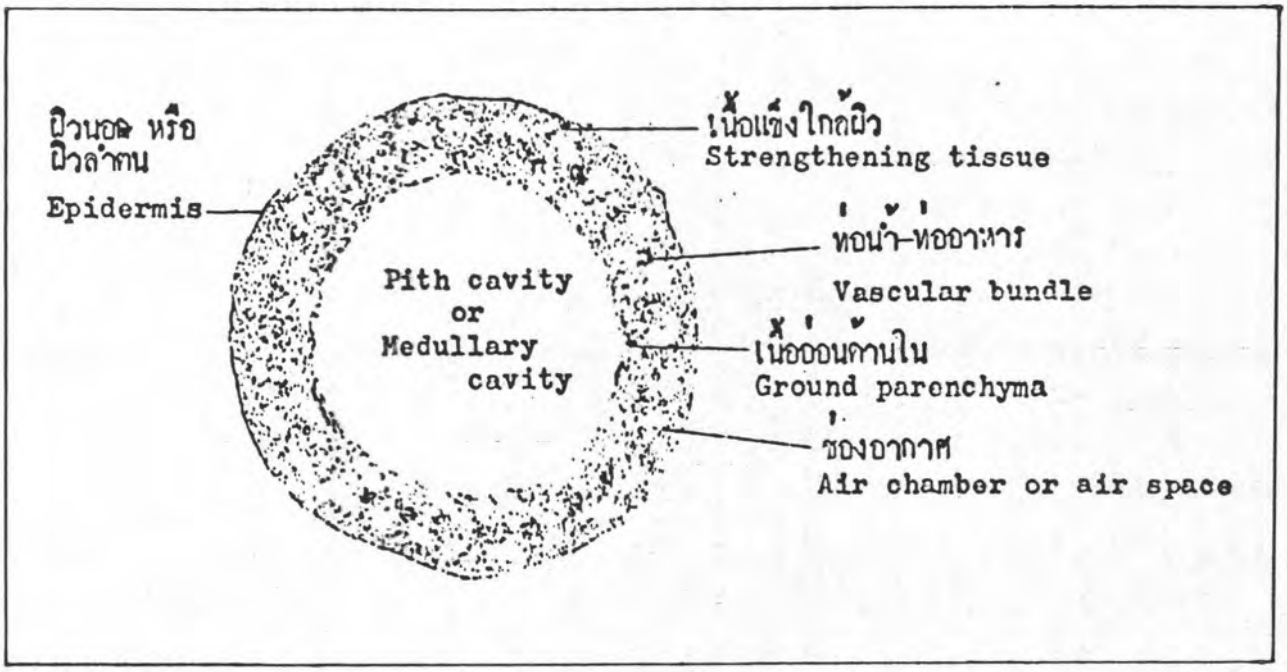
ล้วนเป็นแหล่งพลังงานสำหรับเมทธาโนจีนิคแบคทีเรีย นอกจากนั้นการหายใจของรากข้าวยังปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็คตรอนที่เมทธาโนจีนิคแบคทีเรียต้องการใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน (วิทยา มะเสนา, 2526)

นอกจากการปลูกข้าวในที่นา ซึ่งเป็นภาวะที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนแล้ว ลักษณะโครงสร้างของต้นข้าวเองเมื่อมีอายุมากหรือแก่ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว กล่าวคือเมื่อต้นข้าวมีอายุมากหรือแก่ จะเกิดช่องอากาศเกิดขึ้นในส่วนของราก ลำต้น ใบ ดังในรูปที่ 4-6 นอกจากนั้นยังเกิดช่องอากาศภายในแอนเรนไคม่า ดังในรูปที่ 7 ซึ่งจะพบแอเรนไคม่าแทรกอยู่แทบทุกส่วนของต้นข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามส่วนที่อ่อนนุ่มและอมน้ำได้มากเช่น ในชั้นคอร์เท็กซ์และพิท(pith)ของรากและลำต้น นอกจากนั้นยังพบในพาลิเสด มีโซฟิล(palisade mesopyll) และสปองจี มีโซฟิล(spongy mesopyll)ของใบ(เชาว์ ชินรักษ์, 2517) ช่องอากาศดังกล่าวนี้ทำให้มีการถ่ายเทอากาศหรือก๊าซออกซิเจน การปล่อยก๊าซมีเทนจากอาณาบริเวณรากข้าว(rhizosphere) ก็อาศัยช่องอากาศเหล่านี้ก่อนที่จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ ซึ่งอาศัยหลักการแพร่ของโมเลกุล (molecular diffusion) และความแตกต่างของความดันภายในต้นข้าวและอากาศภายนอกในการเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลของก๊าซมีเทน (Schütz et al., 1991) ในที่สุดก๊าซมีเทนจะถูกปล่อยในบริเวณกาบใบ(leaf sheath) และปากใบ(stomata) ซึ่งมีลักษณะรูปร่างดังปรากฏในรูปที่ 6 และ 8 (Nouchi et al., 1990)

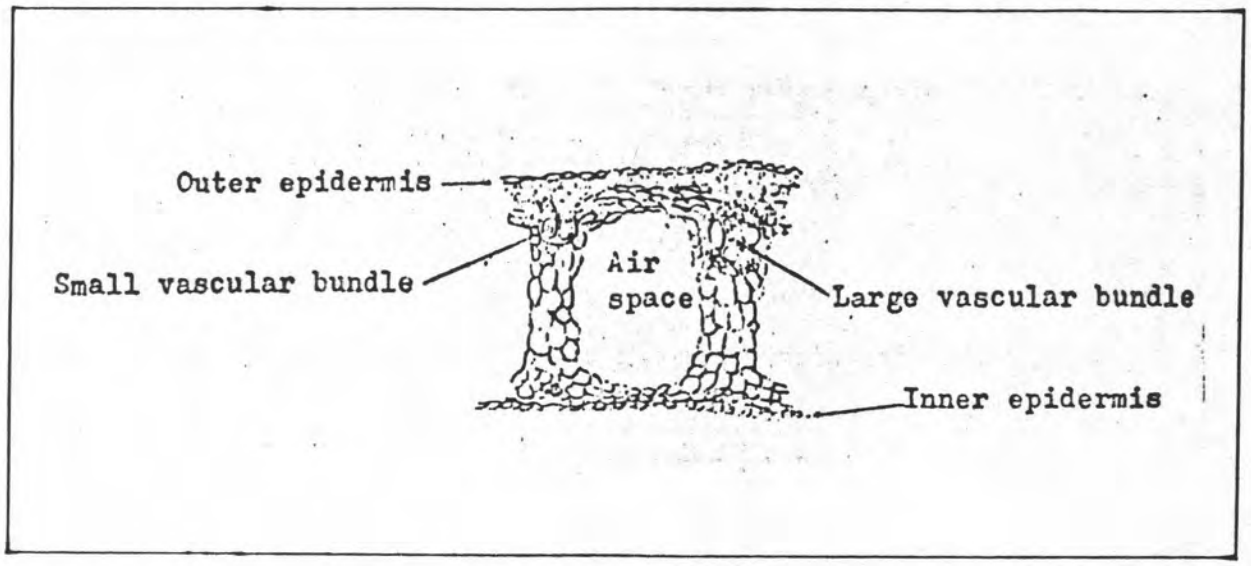
ในขณะที่ก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศถูกขนส่งลงสู่อาณาบริเวณรากข้าว พร้อมๆ กับการที่ก๊าซมีเทนถูกขนส่งออกสู่บรรยากาศ ส่งผลให้ก๊าซมีเทนที่ถูกผลิตขึ้นจากดินนาน้ำขังถูกออกซิไดซ์โดยมีเทน-ออกซิไดซิง แบคทีเรีย ซึ่งทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกผลิตขึ้นจากดินนาน้ำขังมีปริมาณลดลง แต่เนื่องด้วยก๊าซออกซิเจนมีความสามารถในการแพร่ลงสู่อาณาบริเวณรากข้าวค่อนข้างต่ำเพียง 0.12 ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตรต่อนาที(Armstrong, 1967)ดังนั้นจึงมีก๊าซมีเทนมากกว่า 90 % ของก๊าซมีเทนที่ถูกผลิตขึ้นจากดินนาน้ำขังที่จะถูกปล่อยออกจากดินนา (Holzapfel-Pschorn, Conrad, and Seiler, 1985)



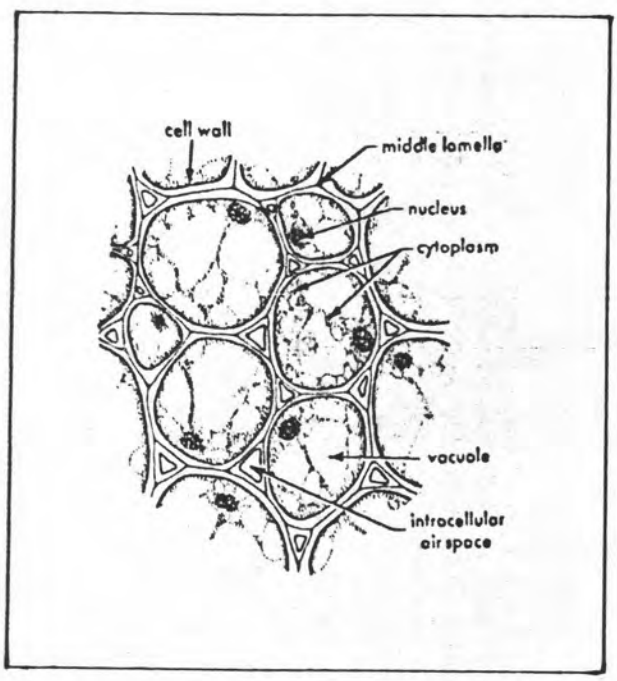
รูปที่ 4 ช่องอากาศภายในรากข้าวเมื่อมีอายุมากหรือแก่ (จำรัส ไปร่งศิริวัฒนา, 2534)



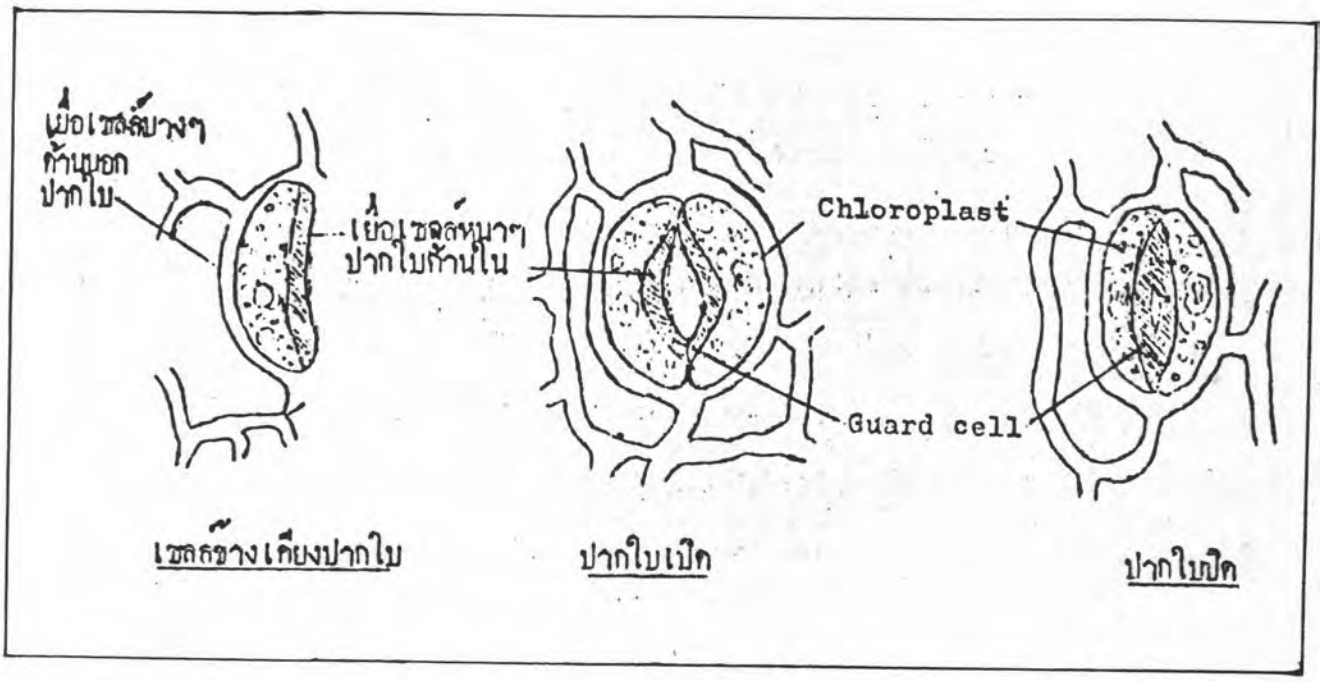
รูปที่ 5 ช่องอากาศภายในลำต้นของต้นข้าวเมื่อมีอายุมากหรือแก่ (จำรัส ไปร่งศิริวัฒนา, 2534)



รูปที่ 6 ช่องอากาศภายในกาบใบเมื่อต้นข้าวมีอายุมากหรือแก่ (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)



รูปที่ 7 ช่องอากาศภายในแอเรนไคม่า(aerenchyma)(เชาว์ ชินรักษ์, 2517)



รูปที่ 8 ลักษณะของปากใบของต้นข้าว (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

3. ลักษณะสมบัติของดิน

ลักษณะสมบัติของดินเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวน้ำขัง ลักษณะสมบัติของดินที่เอื้ออำนวยต่อกิจกรรมของเมทาโนจีนิคแบคทีเรียให้ผลิตก๊าซมีเทนจากนาข้าวน้ำขัง(วิทยา มะเสนา, 2526; Neue, 1993)ได้แก่

3.1 ค่า pH ของดินเป็นกลาง

3.2 อุณหภูมิของดินอยู่ในช่วง 25-30 °C

3.3 ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาก

3.4 ดินที่อยู่ในสภาพขาดออกซิเจนที่รุนแรง

4. สภาพพื้นที่ปลูกข้าว

โดยทั่วไปสภาพพื้นที่ปลูกข้าวมีอยู่ 3 ลักษณะคือ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม สภาพพื้นที่เป็นลาดชัน สภาพพื้นที่ที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้(จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534;

อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

การปลูกข้าวในที่ราบลุ่มและพื้นที่ที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ เป็นการปลูกข้าวที่อยู่ในสภาพที่มีน้ำแช่ขัง ซึ่งดินนาจะอยู่ในสภาพที่ขาดก๊าซออกซิเจน สภาวะเช่นนี้ก่อให้เกิดกิจกรรมของเมทธาโนจีนิคแบคทีเรีย และเป็นผลให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้น ขณะที่การปลูกข้าวในที่ลาดชันและไม่มีน้ำแช่ขังภายในแปลงนา เป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเมทธาโนจีนิคแบคทีเรียในการผลิตก๊าซมีเทน(ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; Neue, 1993)

5. <u>กิจกรรมในการเกษตร</u>

แม้ว่าการปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง จะเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเมทธาโนจินิคแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซมีเทน ถึงอย่างไรก็ตามกิจกรรมในการเกษตรก็นับได้ว่ามีบทบาทสำคัญที่ช่วยส่งเสริมกิจกรรมของเมทธาโนจีนิคแบคทีเรีย ซึ่งกิจกรรมในการเกษตรที่ช่วยส่งเสริมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว (Houghton et al., 1991; Neue, 1993) ได้แก่

5.1 การใส่ปุ๋ย

5.2 การจัดการเรื่องน้ำ ส่วนใหญ่ชาวนามักทำนาในสภาพที่มีน้ำแช่ขัง เนื่องจากสภาพนาข้าวน้ำขังมีผลทำให้ธาตุอาหารต่างๆอยู่ในรูปที่ประโยชน์ต่อต้นข้าว และต้นข้าวเองก็มีความต้องการน้ำ โดยเฉพาะช่วงระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ระยะเริ่มแตกกอ และระยะตั้งท้อง ซึ่งถ้าหากขาดน้ำในช่วงระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวดังกล่าวจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวเสียหายได้

5.3 ความหนาแน่นของการปลูกข้าว

5.4 ระบบการทำนา 2 ครั้ง

6. <u>ระยะเวลาของการปลูกข้าว</u>

ระยะเวลาของการปลูกข้าว มีส่วนสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว โดยที่ระยะเวลาของการปลูกข้าวจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่จะทำการเพาะปลูก ทั้งนี้เป็นเพราะข้าวแต่ละพันธุ์จะมีอายุเมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิต

แตกต่างกัน กล่าวคือ ถ้าหากแบ่งพันธุ์ข้าวตามอายุเมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิต สามารถแบ่งออกได้ 3 พันธุ์คือ ข้าวเบา(early variety) มีอายุเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็ว ประมาณเดือนกันยายน-ตุลาคม ขณะที่ข้าวกลาง(medium variety) มีอายุเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตอนกลางๆระหว่างข้าวเบาและข้าวหนัก ประมาณเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน และสำหรับข้าวหนัก(late variety) มีอายุเก็บเกี่ยวผลผลิตนานกว่าข้าวกลาง เก็บเกี่ยวได้ประมาณเดือนธันวาคม-มกราคม(จำรัส ไปร่งศิริวัฒนา, 2534)

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาของการปลูกข้าว มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพันธุ์ข้าวที่เลือกใช้ทำการเพาะปลูก ขณะเดียวกันก็มีความสัมพันธ์โดยตรงกับช่วงเวลาของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว(Houghton et al., 1991; Neue, 1993)

สถานการณ์การปลูกข้าวของประเทศไทย

1. ความสำคัญของการปลูกข้าวภายในประเทศ

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนส่วนใหญ่ในประเทศเอเชียตอนใต้ (ปากีสถาน อินเดีย เนปาล ภูฐาน บังคลาเทศ ศรีลังกา) และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (พม่า ไทย ลาว เขมร เวียดนาม มาเลเซีย สิงค์โปร์ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์) ซึ่งรวมเรียกว่าเอเชียเขตร้อน(tropical asia) (ทัศนีย์ อัคคะนันทน์, 2531)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีอาชีพการทำนาเป็นอาชีพหลัก และมีการปลูกข้าวประมาณปีละ 60 ล้านไร่ (จำรัส ไปร่งศิริวัฒนา, 2534) ผลผลิตข้าวนับว่ามีมูลค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับผลผลิตการเกษตรอื่นๆทุกชนิดของประเทศไทย ผลผลิตข้าวที่ผลิตได้ประมาณ 60 % ของผลผลิตข้าวจะเก็บไว้บริโภคภายในประเทศ ส่วนที่เหลือส่งออกไปยังประเทศต่างๆกว่าร้อยประเทศ ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งข้าวออกชั้นนำติดอันดับหนึ่งของของโลกเสมอมา (กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2534; ทินากร บุญอ่ำ, บรรณาธิการ, 2536; ไพบูลย์ ตราชู และ จำรัส ไปร่งศิริวัฒนา, 2535) แม้ว่าจะมีผู้ผลิตข้าวรายใหญ่ของโลกเช่น จีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ แต่เนื่องจากประเทศเหล่านี้มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ผลผลิตข้าวที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จึงใช้บริโภคภายในประเทศ ดังนั้นประเทศเหล่านี้จึงไม่ใช่ประเทศผู้ส่งข้าวออกที่สำคัญ (เมธินี ณ เชียงใหม่ และ จำรัส ไปร่งศิริวัฒนา, 2532)

I16906615

2. พื้นที่ปลูกข้าวภายในประเทศ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพภูมิประเทศ และลักษณะดินฟ้าอากาศในเขตมรสุมที่เอื้ออำนวยต่อการปลูกข้าว ดังนั้นประเทศไทยจึงเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญแหล่งหนึ่งของโลก (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) ถึงแม้ว่าประเทศไทยต้องเผชิญปัญหาภาวะขาดแคลนน้ำ และเกษตรกรบางส่วนได้หันไปปลูกพืชอื่นทดแทนแต่ความเสียหายและผลจากภาวะแห้งแล้งได้เกิดขึ้นในทุกภูมิภาคของโลก

ในปีการเพาะปลูกข้าว 2533/34 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 61.91 ล้านไร่ โดยเป็นพื้นที่ปลูกข้าวนาปี 58.205 ล้านไร่ และพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง 3.705 ล้านไร่ ขณะที่พื้นที่ปลูกข้าวของโลกมีประมาณ 919.38 ล้านไร่ อาจกล่าวได้ว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 7 % ของพื้นที่ปลูกข้าวของโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2535)

เนื่องด้วยสภาพภูมิประเทศและลักษณะดินฟ้าอากาศในเขตมรสุม ที่เอื้ออำนวยต่อการปลูกข้าวของประเทศไทย ทำให้ประเทศไทยสามารถทำการปลูกข้าวได้ในทุกภูมิภาค ดังปรากฏในตารางที่ 7 ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวนาปีในปีการเพาะปลูกข้าว 2533/34 พบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ปลูกข้าวสูงสุด รองลงมา ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคใต้ และภาคตะวันตก ตามลำดับ

ตารางที่ 7 พื้นที่ปลูกข้าวนาปี(ไร่)ในปีการเพาะปลูก 2533/34 ในภาคต่างๆของประเทศไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2535)

ภาค	พื้นที่ปลูกข้าว (ไร่)
เหนือ	13,049,873
ตะวันออกเฉียงเหนือ	31,639,413
กลาง	4,831,439
ตะวันออก	3,066,010
ตะวันตก	2,638,712
ใต้	2,979,219
รวมทั้งประเทศ	58,204,666

3. วิธีการปลูกข้าวและพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกภายในประเทศ

ในแต่ละท้องถิ่นของประเทศไทยมีวิธีการปลูกข้าวแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพสังคมและดินฟ้าอากาศของแต่ละท้องถิ่น ในท้องถิ่นที่มีพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสม่ำเสมอ มักจะทำการปลูกข้าวชนิดนาสวน ส่วนในท้องถิ่นที่มีพื้นที่ลาดชัน มักจะทำการปลูกข้าวในสภาพไร่ และสำหรับในท้องถิ่นที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้และระดับน้ำสูง มักจะทำการปลูกข้าวชนิดนาข้าวขึ้นน้ำ(จำรัส ไปร่งศิริวัฒนา, 2534; อรรควุติ ทัศน์สองชั้น, 2527)

สำหรับพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกในประเทศไทยสามารถจำแนกได้หลายวิธี แต่ถ้ายึดตามวิธีการปลูกข้าว สามารถจำแนกพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกในประเทศไทยได้ 3 กลุ่ม (จำรัส ไปร่งศิริวัฒนา, 2534)คือ

3.1 **ข้าวนาสวน(lowland rice)** คือ ข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มทั่วๆไปที่มีน้ำหล่อเลี้ยงต้นข้าวตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยว การปลูกข้าวนาสวนมักจะอยู่ในสภาพที่สามารถรักษาระดับน้ำได้และการรักษาระดับน้ำต้องไม่เกิน 1 เมตร น้ำที่หล่อเลี้ยงต้นข้าวอาจมาจากน้ำฝนหรือจากการชลประทาน วิธีการปลูกข้าวนาสวนจะใช้วิธีนาดำหรือนาหว่าน พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกคือ กข 21 กข 23 สุพรรณบุรี 90 เป็นต้น ข้าวนาสวนเป็นพันธุ์ข้าวที่ค่อนข้างเตี้ยถึงสูงปานกลาง และอาจมีบางพันธุ์ที่มีความสูงพอสมควรอยู่บ้าง กล่าวคือมีความสูงอยู่ระหว่าง 1.00-2.00 เมตร ข้าวนาสวนนิยมปลูกในทุกภาคของประเทศไทย คิดเป็นเนื้อที่ปลูกข้าวนาสวน 80 % ของพื้นที่ปลูกข้าวของประเทศไทย

3.2 **ข้าวไร่(upland rice)** คือ ข้าวที่ปลูกได้ทั้งที่ราบและราบชัน ไม่มีคันนาเพราะไม่มีน้ำขัง การปลูกข้าวไร่ทำในฤดูการทำนาปี ทั้งนี้เป็นเพราะข้าวไร่อาศัยน้ำฝนที่ตกตามฤดูกาล วิธีการปลูกข้าวไร่จะใช้วิธีนาหว่านหรือนาหยอด พันธุ์ข้าวไร่ที่นิยมปลูกคือ ชิวแม่จัน R 258 เจ้าฮ่อ เป็นต้น ข้าวไร่เป็นพันธุ์ข้าวที่มีความสูงปานกลาง โดยมีความสูงอยู่ระหว่าง 130-150 เซ็นติเมตร นิยมปลูกกันมากในบริเวณที่ราบสูงและตามไหล่เขาทั้งในภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย คิดเป็นเนื้อที่ปลูกข้าวไร่ร้อยละ 10 ของพื้นที่ปลูกข้าวของประเทศไทย

3.3 **ข้าวขึ้นน้ำ(floating rice)** คือข้าวที่สามารถปลูกหรือเจริญเติบโตได้ในที่ลุ่มและในที่มีน้ำแช่ค่อนข้างลึกหรือลึกมาก กล่าวคือเป็นบริเวณที่มีน้ำแช่ขังถึง 50 เซ็นติเมตรขึ้นไปและบางแห่งอาจลึกถึง 5-6 เมตร เป็นต้น โดยพันธุ์ข้าวขึ้นน้ำมีความสามารถพิเศษในการยืดปล้องได้ดีกว่าพันธุ์ข้าวไร่และพันธุ์ข้าวนาสวนในสภาพที่ระดับน้ำค่อยๆสูงขึ้น

การยืดปล้องของข้าวขึ้นน้ำเกิดขึ้นเมื่อต้นข้าวอายุ 4-6 อาทิตย์ขึ้นไป และเมื่อต้นข้าวอายุมาก ความสามารถพิเศษในการยืดปล้องก็จะมีมากขึ้นตามลำดับ จำนวนปล้องที่จะยืดได้มีตั้งแต่ 9 ปล้องไปจนถึง 30 ปล้อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวด้วย อย่างไรก็ตามจำนวนปล้องที่ยืด ไม่บ่งชี้ถึงความสามารถที่แท้จริงในการยืดปล้อง ข้าวขึ้นน้ำสามารถยืดปล้องได้ยาว 10-25 เซ็นติเมตร ในเวลา 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและอัตราการเพิ่มของระดับน้ำ สาเหตุการยืดปล้องของต้นข้าวเกิดจากการเพิ่มจำนวนเซลและการขยายตัวตามยาวของเซล ฮอร์โมนจิบเบอเรลลิค(gibberellic acid)และฮอร์โมนแอบซิสซิค(abscisic acid)มี

ส่วนสำคัญที่ช่วยในการยืดปล้องของต้นข้าว ภายหลังต้นข้าวให้กำเนิดเกิดช่อดอกแล้วจะมีจำนวนเพียง 4 ปล้องเท่านั้นที่สามารถจะยืดปล้องต่อไปได้ และการยืดปล้องทั้งหมดจะสิ้นสุดลงหลังจากต้นข้าวออกดอกแล้ว

การปลูกข้าวขึ้นน้ำทำในฤดูการทำนาปี วิธีการปลูกข้าวจะใช้วิธีนาหว่าน พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกคือ หันตรา 60 เล็บมือนาง 111 ปิ่นแก้ว 56 เป็นต้น ข้าวขึ้นน้ำมักจะปลูกในแถบจังหวัดพระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี ลพบุรี พิจิตร อ่างทอง ชัยนาท และสิงห์บุรี คิดเป็นเนื้อที่ปลูกข้าวขึ้นน้ำประมาณ 10 % ของพื้นที่ปลูกข้าวของประเทศไทย

ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก ที่จะศึกษาถึงการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นแหล่งปลูกข้าวชนิดนาข้าวขึ้นน้ำที่สำคัญของประเทศไทย (จำรัส โปร่งสิริวัฒนา, 2534) ซึ่งเป็นภาวะที่มีการขังน้ำในนาข้าวยาวนานกว่าวิธีการปลูกข้าวชนิดอื่น โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวของทั้งจังหวัดมากเป็นอันดับ 2 ของภาคกลางของประเทศไทยอีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วง 10 ปี (ค.ศ. 1981-1990) ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยาในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนธันวาคม การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่เด่นชัดนักอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างคงที่ จะมีก็แต่เพียงในช่วงเดือนมกราคมที่เคยมีอุณหภูมิต่ำแต่กลับมีแนวโน้มของอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ยปีละประมาณ 0.4 °C โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศของจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งจังหวัดสุพรรณบุรีเป็นจังหวัดที่มีสถานีตรวจอากาศที่อยู่ใกล้เคียงกับจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่สุด ทั้งนี้เนื่องด้วยว่าจังหวัดพระนครศรีอยุธยาไม่มีสถานีตรวจอากาศ(กรมอุตุนิยมวิทยา, 2536)