หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการทั่วไปและทฤษฎี

2.1 ดินเค็ม

ดินเค็ม คือดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายอิ่มตัวที่สกัดออกมาจากดินบริเวณที่รากพืชหยั่งถึงมากกว่า 4 มิลลิโมต่อเซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส[4] เกิดจากน้ำทะเลท่วมถึงในฤดูฝน การไหลซึมของน้ำทะเล การเคลื่อนที่ของเกลือจากน้ำเค็มใต้ดินโดยทาง capillary ขึ้นไปยังผิวดินในฤดูแล้ง และจากเกลือที่ถูกชะล้างมาจากแหล่งอื่น ๆ ทับถมรวมกัน สาเหตุต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการสะสมของเกลือในชั้นดิน และที่ผิวดิน พบว่าดินเค็มชายฝั่งทะเลโดยทั่วไปประกอบด้วยเกลือคลอไรด์ เกลือซัลเฟต และเกลือไบคาร์บอเนตของโซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียม อาจจะมีเกลือไนเตรต และเกลือโพแทสเซียมบ้าง ถ้ามีเกลือต่าง ๆ เหล่านี้อยู่ในดินมากจนเกินไป จะไม่สามารถทำการเพาะปลูกพืชได้ หรือไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของต้นพืช รวมทั้งทำให้พืชให้ผลผลิตต่ำด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวซึ่งจัดเป็นพืชที่สามารถทนความเค็มได้ปานกลาง[5]

2.2 อิทธิพลของความเค็มของดินต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว

Moormann และ Van Breeman[6] ได้รายงานว่า ข้าวเป็นพืชที่ทนความเค็มได้ปานกลาง แต่จะไม่มีข้าวพันธุ์ใดที่สามารถทนต่อความเค็มที่สูงมาก ๆ ได้ตลอดวงจรการเจริญเติบโต และกล่าวว่า ข้าวจะเจริญเติบโตได้ในดินที่มีเกลือปริมาณสูง ๆ ได้มากน้อยเพียงไรนั้นจะขึ้นกับความสามารถในการทนต่อความเค็มของดินในระยะต่าง ๆ ตลอดวงจรการเจริญเติบโตของต้นข้าว ชนิดของพันธุ์ข้าวที่ใช้เพาะปลูก และระดับความเค็มของดินในบริเวณที่ทำการเพาะปลูก เป็นต้น

Akbar และ Ponnamperuma[7] ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอิทธิพลของความเค็มของดินต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะต่าง ๆ ไว้ดังนี้

- ระยะเมล็ดงอก และต้นกล้าอ่อน พบว่าข้าวทุกพันธุ์จะสามารถทนต่อความเค็มได้ในระยะเมล็ดงอก ถึงแม้ว่าเมล็ดข้าวจะงอกช้าไปบ้างก็ตาม เมื่อเพาะปลูกในดินที่มีความเค็มสูง

เช่นดินที่มีการนำไฟฟ้า 25-30 มิลลิโมต่อเซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส หลังจากที่เพาะกล้าแล้ว 1 สัปดาห์ พบว่าเมล็ดข้าวจะงอกได้เพียงร้อยละ 50 เท่านั้น และจะต้องใช้เวลาถึง 14 วัน จึงจะงอกได้ร้อยละ 100 และต้นกล้าอ่อนจะมีความไวต่อความเค็มในดินมาก พบว่าในดินที่มีการนำไฟฟ้า 5 มิลลิโมต่อเซนติเมตร ต้นกล้าอ่อนขนาดที่มี 2-3 ใบ จะเจริญเติบโตต่อไปได้เพียงร้อยละ 50 เท่านั้น การเจริญเติบโตของต้นกล้าอ่อนจะลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของเกลือที่มีปริมาณสูงมากนั้นจะทำให้ความดันออสโมซิสเพิ่มขึ้น ต้นข้าวจึงดูดน้ำขึ้นไปใช้ได้น้อย และเพื่อลดการสูญเสียน้ำของต้นข้าวที่เกิดจากการคายน้ำทางปากใบ ต้นข้าวจึงสร้างปากใบให้มีขนาดเล็กกว่าขนาดปกติ ทำให้รับกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการสังเคราะห์แสงได้น้อยลง ในขณะที่ในใบและลำต้นจะมีโซเดียมและคลอไรด์สูง เป็นสาเหตุทำให้ต้นข้าวสังเคราะห์แสง และสร้างคลอโรฟิลได้น้อยลง นอกจากนี้แล้ว การปรับสมดุลออสโมซิส และคลอไรด์อิออนก็มีผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะนี้ลดลงด้วย

- ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว พบว่าการเจริญเติบโตในช่วงนี้ต้นข้าวจะมีความทนต่อความเค็มในดินเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นข้าว เช่น ต้นข้าวที่มีอายุ 90 วัน จะสามารถทนต่อความเค็มของดินที่มีระดับความเค็มเท่ากันได้มากกว่าต้นข้าวที่มีอายุ 60 วัน และ 30 วัน ตามลำดับ ดังนั้น อายุของต้นกล้าที่นำมาปักดำในดินนาที่มีความเค็มมาก ๆ จึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวมาก ในระยะนี้ความเค็มจะมีผลต่อความสูงของต้นข้าว น้ำหนักฟางข้าว จำนวนต้นต่อกอ น้ำหนักแห้งของรากข้าว ความยาวของราก และยังจะขึ้นกับระยะเวลาตั้งแต่ปักดำจนถึงข้าวออกรวงด้วย ถ้าดินมีความเค็มสูงมาก จะทำให้ต้นข้าวแคระแกรน และไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร

- ระยะข้าวออกรวง พบว่าความเค็มของดินในระยะนี้จะมีผลมากที่สุดต่อการออกรวงของต้นข้าว เมื่อความเข้มข้นของเกลือในดินสูงมาก จะทำให้ขนาดของรวงข้าวลั้น จำนวนดอกต่อรวงจะน้อยลง ซึ่งมีผลทำให้เมล็ดข้าวลีบ หรือจำนวนเมล็ดข้าวลดน้อยลง ให้ผลผลิตต่ำ

2.3 <u>การปรับปรุงและแก้ไขดินเค็ม</u>

เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงจากการปลูกข้าวในพื้นดินบริเวณที่มีปัญหาเนื่องจากความเค็มในดิน โดยทั่วไปชาวนาจะใช้วิธีการปรับปรุงพื้นที่ดินนั้นให้มีสภาพเหมาะกับการเจริญเติบโตของต้นข้าวให้มากขึ้น และเลือกใช้พันธุ์ข้าวชนิดที่สามารถขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพดังกล่าว ขบวนการปรับปรุงดินเค็มเพื่อใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรมสามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น การใช้ระบบชลประทาน

ที่เหมาะสม การจัดทำคันดิน หรือทำนบกั้นน้ำเค็ม การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสด การใช้แกลบ การใช้สารเคมี เช่น ใส่ปูนขาว ปูนมาร์ล หรือหินฟอสเฟตในดินที่เค็ม ที่เป็นกรด หรือใส่ปูนยิบซัมในดินเค็มที่เป็นด่าง และการล้างดิน เป็นต้น แต่วิธีการที่นิยมใช้กับดินเค็มชายฝั่งทะเล คือ การล้างดินแบบขังน้ำให้ท่วมพื้นดินซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถปลูกข้าวได้พร้อมกันกับขณะที่ทำการล้างดิน เกลือที่ละลายน้ำได้จะถูกชะล้างออกจากบริเวณรากข้าว Reeve และคณะ[8] ได้รายงานว่า การขังน้ำท่วมสูงจากพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร จะสามารถล้างเกลือจากบริเวณผิวหน้าดินให้เคลื่อนที่ลงไปในดินได้ลึก 30 เซนติเมตร ทำให้สามารถปลูกข้าวซึ่งเป็นพืชที่มีรากลึกไม่เกิน 20 เซนติเมตรจากผิวดินได้

ในปี ค.ศ. 1962 Israelsen[9] ได้ทดลองล้างเกลือออกจากดินเค็มชายฝั่งทะเลด้วยน้ำจืด โดยใช้ระบบน้ำท่วมขัง พร้อมกับปรับปรุงดินให้น้ำซึมได้ดี และระบายน้ำที่ผ่านการล้างดินแล้วให้พ้นจากบริเวณพื้นดินนั้น และพบว่า การลดระดับน้ำใต้ดินให้เพียงพอ จะลดปัญหาการเพิ่มขึ้นของเกลือในชั้นผิวดินได้

ในปี ค.ศ. 1964 IRRI [10] พบวิธีป้องกันและแก้ไขปรับปรุงดินเค็มชายฝั่งทะเลโดยการแย่ดินด้วยน้ำจืด และสร้างคันดินกั้นการรุกล้ำของน้ำทะเล แต่ดินยังคงมีความเค็มสูงในช่วงที่มีน้ำทะเลหนุนสูง เพราะเกิดการรั่วซึมของน้ำเค็มเข้าสู่แปลงนา

ในปี ค.ศ. 1968 IRRI [11] ได้ใช้วิธีลดความเค็มของดินโดยวิธีการล้างดิน และใช้แกลบคลุกเคล้าลงไปในดิน เพื่อช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน เป็นการเพิ่มอัตราการไหลซึม ทำให้ดินมีการระบายน้ำได้ดีขึ้น และเพื่อลดการดึงเกลือขึ้นมาตามช่องว่างในดิน ซึ่งเกิดจากการระเหย เป็นการตัดไม่ให้ช่องว่างมีความต่อเนื่อง

ในปี พ.ศ. 2520 มานพ และคณะ[12] ได้ศึกษาอัตราการล้างเกลือออกจากดินในระดับความลึกต่าง ๆ กัน โดยใช้วิธีขังน้ำให้ท่วมพื้นดิน พบว่าอัตราการล้างเกลือจะสูงสุดที่ระดับความลึก 20-40 เซนติเมตร การล้างดินเค็มชายฝั่งทะเลด้วยน้ำคลองธรรมชาติ จะมียีดจำกัดในการลดความเค็มของดิน น้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 5-8 มิลลิโมต่อเซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส จะลดความเค็มของดินได้มากที่สุดเพียง 15-18 มิลลิโมต่อเซนติเมตรเท่านั้น และแนะนำให้ทำคันดินกั้นน้ำเค็ม เพื่อลดปัญหาน้ำเค็มจากภายนอกเข้ามาในแปลงนา

ในปี ค.ศ. 1980 Ponnamperuma และคณะ[13] ได้รวบรวมและสรุปว่า สามารถทำการเพาะปลูกในพื้นดินที่มีความเค็มสูง และให้ผลผลิตสูงได้ ถ้ามีการจัดการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยสามารถป้องกันน้ำเค็มรุกล้ำเข้ามาในแปลงนา ชะล้างเกลือออกจากดินในบริเวณที่

รากข้าวหยั่งถึงจนมีระดับความเข้มข้นที่ไม่เป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ชะล้างเกลือออกจากบริเวณผิวดินโดยวิธีการระบายน้ำที่มีระบบ หรือขังน้ำให้ท่วมพื้นดิน เติมสารปรับปรุงดินเพื่อลดความเป็นพิษของธาตุที่เกิดจากดินเป็นกรดหรือดินเป็นด่าง เติมปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารที่ไม่มีในดิน หรือมีน้อย หรือทดแทนปริมาณที่ต้องสูญเสียไปจากดิน โดยวิธีการปรับปรุงอื่น ๆ เช่น การล้างดิน ปลูกข้าวพันธุ์ที่สามารถทนความเค็มได้ดี และควรเป็นข้าวพันธุ์ที่มีช่วงระยะการเจริญเติบโตสั้นประมาณ 90-120 วัน

ปี ค.ศ. 1981 Xaun และคณะ[14] ใช้วิธีลดปริมาณเกลือและธาตุที่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว เช่น อะลูมินัมในดินบริเวณแม่โขงเดลตา โดยการล้างดินด้วยวิธี Intensive Shallow Drainage หลาย ๆ ครั้ง ในช่วงต้นฤดูฝน จนถึงเวลาที่ฝนตกหนักมากพอที่จะทำให้น้ำท่วมแปลงนาทั้งหมดจึงเริ่มปักดำข้าวโดยใช้ข้าวพันธุ์ที่ให้ผลเร็ว มีช่วงอายุประมาณ 90-120 วัน และป้องกันการไหลบ่าท่วมแปลงนาของน้ำเค็มโดยสร้างคันดินกั้นในแนวคลองระบายน้ำ

2.4 <u>แร่ดินเหนียว</u>

แร่ดินเหนียวและชนิดของแร่ดินเหนียว[15] ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมีที่เกิดขึ้นในดินนา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1 <u>แร่ดินเหนียวประเภทซิลิเกต</u> (Silicate clays) เป็นแร่ดินเหนียวที่ประกอบด้วยแผ่นซิลิกา (เป็นหน่วยโครงสร้างที่ประกอบด้วยธาตุซิลิคอน 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยธาตุออกซิเจน 4 อะตอม) และแผ่นอะลูมินา (เป็นหน่วยโครงสร้างที่ประกอบด้วยธาตุอะลูมิเนียม 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยธาตุออกซิเจน 6 อะตอม) แบ่งออกเป็น 4 พวกใหญ่ ๆ ดังนี้

2.4.1.1 <u>แร่ดินเหนียวแบบ 1:1</u> เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นซิลิกา 1 แผ่น และแผ่นอะลูมินา 1 แผ่น มีช่องว่างระหว่างแผ่นผลึกที่เรียงซ้อนกันกว้าง 0.7 นาโนเมตร เช่น แร่ดินเหนียว เคโอลิไนต์ (Kaolinite) ดินนาที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวประเภทนี้ จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ขยายตัวและหดตัวได้น้อยเมื่อเปียกและแห้ง Kawaguchi และคณะ[16] ได้รายงานว่า ในประเทศไทยพบแร่ดินเหนียวเคโอลิไนต์ทั่วไปในดินชุดโคราช ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.4.1.2 <u>แร่ดินเหนียวแบบ 2:1 ขยายตัวได้</u> เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นซิลิกา 2 แผ่น และแผ่นอะลูมินา 1 แผ่น อยู่ตรงกลาง มีช่องว่างระหว่างผลึกที่เรียงซ้อนกัน มีความกว้างในช่วง 1.0-1.8 นาโนเมตร เนื่องจากเกิด oxygen linkage ของออกซิเจนในแผ่นซิลิกาทั้งด้านบนและด้านล่างของชั้นผลึก แรงที่

เกาะกันจึงไม่แข็งแรง ทำให้ขยายตัว และหดตัวได้ โมเลกุลของน้ำหรือแคตไอออนอื่น ๆ สามารถแทรกเข้าไปอยู่ในระหว่างชั้นเหล่านี้ได้ง่าย เช่น แร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ซึ่งจะมีความสามารถในการยึดเกาะแคทไอออนอื่น ๆ ได้สูง พบทั่วไปในดินที่ราบลุ่ม(17)

2.4.1.3 แร่ดินเหนียวแบบ 2:1 ไม่ขยายตัว มีโครงสร้างคล้ายกับมอนต์-มอริลโลไนต์ แต่ขยายตัวไม่ได้ เนื่องจากอะตอมของซิลิคอนบางส่วนในแผ่นซิลิกาถูกแทนที่ด้วยอะตอมของอะลูมิเนียม ทำให้มีประจุลบเหลืออยู่ จึงเกิดการเข้าแทนที่ด้วยอะตอมของโพแทสเซียม อยู่ระหว่างชั้นในแผ่นซิลิกาที่ซ้อนอยู่ จึงขยายตัว และหดตัวได้น้อยกว่ามอนต์-มอริลโลไนต์ เช่น แร่ดินเหนียวอิลไลต์ (Illite) ในประเทศไทยพบทั่วไปในดินทางภาคเหนือ และบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง(16)

2.4.1.4 แร่ดินเหนียวแบบ 2:2 เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างประกอบ-ด้วยแผ่นซิลิกา 2 แผ่น และแผ่นอะลูมินา 2 แผ่น มีช่องว่างระหว่างแผ่นผลึกที่เรียงซ้อนกันกว้าง 1.4 นาโนเมตร เช่น แร่ดินเหนียวคลอไรต์ (Chlorite) ในประเทศไทยพบบ้างตามหุบเขาทางภาคเหนือ(16)

2.4.2 ดินเหนียวประเภทที่ไม่ใช่ซิลิเกต (non-Silicate clays) ที่สำคัญและพบมากในเขตร้อนชุ่มชื้น คือ ไฮดรัสออกไซด์ของเหล็ก และอะลูมินัม จะไม่มีชั้นผลึก มีพื้นที่ผิวต่ำ พบปนอยู่กับดินเหนียวประเภทซิลิเกต โดยเคลือบ หรือเกาะอยู่บนผิวของดินเหนียวประเภทซิลิเกต ถ้ามีไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กมาก จะมีสีน้ำตาลแดง หรือเหลืองปนน้ำตาล ดูดยึดโมเลกุลน้ำและแคทไอออนอื่น ๆ ได้น้อย การขยายตัวและหดตัวต่ำมาก

2.5 ขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในดินนา เมื่อมีน้ำขังท่วมผิวดินในฤดูทำนา

Ponnamperuma(18) ได้สรุปขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญที่เกิดขึ้นในดินนาเมื่อมีน้ำขังท่วมผิวดิน ดังนี้

2.5.1 ดินขาดกาซออกซิเจน เมื่อดินถูกน้ำท่วมขัง อากาศในดินจะถูกน้ำเข้าไปแทนที่จนหมด ทำให้ดินขาดอากาศ โดยเฉพาะออกซิเจน ในสภาพเช่นนี้ จุลินทรีย์ในดินที่ต้องการใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตจึงต้องดึงออกซิเจนจากสารประกอบที่มีออกซิเจนไปใช้ เช่น ไนเตรต ออกไซด์ของแมงกานีส เฟอริกออกไซด์ ซัลเฟต ฟอสเฟต และอินทรีย์วัตถุบางชนิด ดินจึงมีสภาพเป็นรีดักชัน ทำให้อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุช้าลง และไม่สมบูรณ์ การขาดออกซิเจน

มีผลต่อยบวนการออกซิเดชัน และรีดักชันในดิน ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดิน ดังนั้น ถ้าดินนั้นอยู่ในสภาพถูกน้ำท่วมขัง และมีระบบการระบายน้ำที่ดี จะช่วยให้ดินมีโอกาสรับออกซิเจนเพิ่มขึ้น และมีปริมาณเพียงพอกับความต้องการใช้ของจุลินทรีย์ในดินและพืช

2.5.2 <u>การเปลี่ยนแปลงค่า Redox Potential</u> (Eh) ดินที่ถูกน้ำท่วมขัง และมีสภาพรีดักชัน ค่า Eh จะลดลงอยู่ในช่วง +0.2 โวลต์ ถึง -0.3 โวลต์ ขึ้นกับชนิดของดินในแต่ละท้องที่ [18] ในขณะที่ Eh ของน้ำผิวดินและของผิวดินที่ความลึก 2-3 มิลลิเมตร จะมีค่าอยู่ระหว่าง +0.3 ถึง +0.5 โวลต์ รอบ ๆ บริเวณรากพืชในดินที่ถูกน้ำท่วมขังจะอยู่ในสภาพถูกรีดิวซ์ แต่ในดินชั้นล่าง และบางจุดในบริเวณรากข้าวจะอยู่ในสภาพออกซิไดซ์ [19] Eh มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในดิน ดังนี้ ความเข้มข้นของออกซิเจนในดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณของฟอสฟอรัส และซิลิกอนในรูปที่มีประโยชน์ต่อพืช ความเข้มข้นของ Fe^{2+} Mn^{2+} Cu^{2+} และ SO_4^{2-} โดยตรง ความเข้มข้นของ K^+ NH_4^+ Ca^{2+} Mg^{2+} Zn^{2+} $B(OH_4)^-$ และ MoO_4^{2-} โดยทางอ้อม และปริมาณของกรดอินทรีย์ เอทีลีน เมอแคปแทน สารประกอบอินทรีย์ซัลไฟด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของ Eh มีผลทั้งทางบวกและทางลบต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว คือ ทำให้ดินผลิตไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม และซิลิกอนที่เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันดินก็สูญเสียธาตุอาหารพืช เช่น โนโตรเจน โดยยบวนการเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนโตรเจน ปริมาณของกำมะถัน ทองแดง และสังกะสีที่พืชใช้ประโยชน์ได้จะลดลง และทำให้เกิดสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.5.3 <u>เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH</u> หลังจากที่ดินถูกน้ำท่วมขังประมาณ 2-3 สัปดาห์ ดินที่เป็นดินกรดอยู่แล้วจะมีค่า pH เพิ่มขึ้น และดินที่เป็นดินด่าง จะมีค่า pH ลดลง [20] การเปลี่ยนแปลงของ pH ทำให้เหล็ก (III) ถูกเปลี่ยนเป็นเหล็ก (II) เกิดการสะสมแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดิน ซัลเฟตถูกเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ Chang [21] ได้รายงานว่า ความเข้มข้นของเหล็ก (II) ในดิน ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของ pH มาก คือ เมื่อ pH เปลี่ยนไป 1 หน่วย จาก 6.25 เป็น 7.25 จะทำให้ความเข้มข้นของเหล็ก (II) ลดลงประมาณ 100 เท่า

2.5.4 <u>การเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้า</u> ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นในระยะแรกที่ดินถูกน้ำท่วมขังจนถึงจุดสูงสุด ซึ่งเกือบจะพร้อมกันกับที่ดินอยู่ในสภาพรีดักชันสูงสุด แล้วจึงค่อย ๆ ลดลง [22] และการเปลี่ยนแปลงของการนำไฟฟ้าของสารละลายนี้

จะสัมพันธ์กับปริมาณของอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในดิน เนื่องจากในการสลายตัวของสารอินทรีย์ จะทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอเนต และไอออนของสารอินทรีย์ และจะถูกใช้เป็นพลังงานในการรีดิวซ์สารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ค่าการนำไฟฟ้าของดินจะแปรตามระยะเวลาที่ดินถูกน้ำท่วมขัง และชนิดของดิน ในดินที่เป็นกรดจัดจะมีการนำไฟฟ้าเริ่มต้นต่ำ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 30 วัน หลังจากถูกน้ำท่วมขัง และจะลดลงอย่างรวดเร็วด้วย หลังจากเพิ่มถึงจุดสูงสุดแล้ว ส่วนดินที่เป็นกรดอ่อน ๆ เมื่อถูกน้ำท่วมขัง การนำไฟฟ้าจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด แล้วจึงจะลดลงช้า ๆ ทั้งนี้การนำไฟฟ้าของสารละลายดินจะเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงไรนั้นยังจะขึ้นกับชนิดของไอออนที่ละลายอยู่ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นว่าดินที่มีสารประกอบอินทรีย์มาก จะเพิ่มการละลายของเกลือแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และในดินที่เป็นกรดจัด จะมีปริมาณของเหล็ก (II) สูง ซึ่งจะมีผลทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายดินสูงมากด้วย

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติต่าง ๆ ของดินกับการนำไฟฟ้าสูงสุดในสารละลายดิน(22)

pH	O.M.%	ความเข้มข้นเป็น meq ในสารละลายดิน 1 ลิตร					การนำไฟฟ้า*
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}	NH_4^+	
7.5	2.55	12.3	17.2	1.4	0.4	1.4	3,700
7.5	1.07	4.6	4.2	0.1	0.2	0.1	1,300
5.3	3.77	10.0	9.5	12.7	0.4	1.5	2,500
5.4	1.39	4.9	3.7	0.3	1.2	0.1	710
4.9	2.68	5.3	5.4	11.6	1.3	1.1	1.550

หมายเหตุ O.M. = อินทรียวัตถุ

* การนำไฟฟ้าหน่วยเป็นไมโครโมต่อเซนติเมตร

2.5.5 การเกิดรีดักชันของเหล็ก ดินที่ถูกน้ำท่วมขัง เหล็ก (III) ออกไซด์ไฮเดรต จะถูกรีดิวซ์เป็นเหล็ก (II) ทำให้ปริมาณของเหล็ก (II) ในสารละลายดินสูง De Datta[23] รายงานว่า ในดินกรดที่มีซัลเฟต ความเข้มข้นของเหล็กที่ละลายน้ำได้อาจสูงได้ถึง 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากที่ดินถูกน้ำท่วมขังเพียง 2-3 สัปดาห์เท่านั้น และยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อความเข้มข้นของเหล็ก (II) อีก คือ สมบัติและปริมาณของเหล็ก (III) ออกไซด์ไฮเดรต pH ของดินและอุณหภูมิ สาเหตุต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความเป็นพิษของเหล็กในดิน โดยเฉพาะดินกรดที่มีซัลเฟตซึ่งจะพบทั่วไปในเขตร้อนชื้น

2.5.6 การเกิดรีดักชันของแมงกานีส ดินที่ถูกน้ำท่วมขัง จะเกิดการรีดักชันของออกไซด์ของแมงกานีส โดยเฉพาะการรีดักชันของออกไซด์ของแมงกานีส (IV) จะเกิดพร้อมกับขบวนการดิไนตริฟิเคชัน[22] และเนื่องจากออกไซด์ของแมงกานีสเป็นสารประกอบที่ถูกรีดิวซ์ได้ง่ายกว่าเหล็ก จึงพบว่าปริมาณของแมงกานีสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรกหลังจากที่ดินถูกน้ำท่วมขัง และอัตราการเพิ่มขึ้นจะลดช้าลงหลังจากนั้น

2.5.7 ขบวนการเกิดไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดินที่อยู่ในสภาพน้ำท่วมขังจะมีปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากกว่าดินที่แห้ง ถึงแม้ว่าอัตราการสลายตัวของอินทรีย์-วัตถุในดินที่ถูกน้ำท่วมขังจะช้ากว่าดินที่แห้ง ซึ่งมีสภาพเป็นแบบออกซิเดชันก็ตาม ทั้งนี้เพราะในสภาพรีดักชันมีออกซิเจนไม่พอที่จะเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนเตรตได้ ทำให้ขบวนการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนต้องหยุดที่ขั้นตอนการเกิดแอมโมเนียไนโตรเจนเท่านั้น จึงทำให้ปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จึงสูงในดินที่อยู่ในสภาพน้ำท่วมขัง และจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนในดิน pH ของดิน อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ดินถูกปล่อยให้แห้งก่อนถูกน้ำท่วมขัง[22]

2.5.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของฟอสฟอรัส และซิลิคอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

2.5.8.1 การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในดิน พบว่ามีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง สาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในดินที่ถูกน้ำท่วมขังซึ่งรวบรวมได้มีดังนี้[22]

ก. เนื่องจากเกิดขบวนการรีดักชันของเหล็ก (III) ฟอสเฟตไปเป็นเหล็ก (II) ฟอสเฟต ซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่า จึงทำให้ปริมาณของฟอสเฟตเพิ่มขึ้น และพบว่าปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะถึงจุดสูงสุดภายในเวลา 20-30 วัน หลังจากที่ดินถูกน้ำท่วมขัง

008844

i 17417685

แล้วจึงค่อย ๆ ลดลงเพราะการดูดซับของดิน

ข. เนื่องจากเกิดขบวนการไฮโดรไลซีส์ของอะลูมิเนียม-ฟอส์เฟตในดิน ทำให้ฟอส์เฟตถูกละลายออกมามากขึ้น แต่ยังน้อยเมื่อเทียบกับข้อ ก.

ค. เนื่องจากแอนไอออนของส์ารอินทรีย์ (organic anions) เข้าไปแทนที่ฟอส์เฟตในส์ารประกอบเหล็ก (III) ฟอส์เฟต และอะลูมิเนียมฟอส์เฟต จึงทำให้ปริมาณของฟอส์เฟตเพิ่มมากขึ้น

ง. เนื่องจากการส์ะส์มกาซ์คาร์บอนไดออกไซด์ในดินเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งจะไปละลายแคลเซียมฟอส์เฟต จึงทำให้ปริมาณของฟอส์เฟตเพิ่มมากขึ้น

ส่วนปริมาณฟอส์เฟตในดินที่ลดลง จะเกิดได้โดยการถูกชะล้างออกไปโดยเฉพาะพวกฟอส์เฟตที่ละลายน้ำได้ โดยจุลินทรีย์ในดิน และฟอส์เฟตบางส่วนจะถูกตกตะกอนโดยเหล็ก

2.5.8.2 <u>การเปลี่ยนแปลงของซิลิคอนในดิน</u> ส์ารประกอบซิลิคอนที่ละลายได้ในดินจะอยู่ในรูปของ monomer $Si(OH)_4$ ซึ่งจะถูกดูดซับไว้โดยเหล็ก (III) ไฮดรอกไซด์ และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นใหม่ ๆ หรือรวมเป็นส์ารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็ก (III) เป็น ferric silica complex ในส์ภาพรีดักชัน ส์ารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะถูกรีดิวซ์ ทำให้เกิดการปล่อยซิลิคอนออกมาในรูปที่ละลายน้ำได้ และเป็นประโยชน์ต่อพืช(18)

2.5.9 <u>การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแคตไอออน</u> การเพิ่มขึ้นของแคตไอออนในส์ารละลายดินบางชนิด เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} K^{+} และ Na^{+} ไม่ได้เกิดจากขบวนการรีดักชันโดยตรงเหมือนกับ Fe^{2+} และ Mn^{2+} แต่เกิดจากส์าเหตุรองซึ่งเกิดจากขบวนการรีดักชันที่ทำให้เกิดกาซ์คาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในดิน เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก เมื่อดินเป็นกรดมากขึ้น ก็จะทำให้การละลายของส์ารประกอบแคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณของแคตไอออนในส์ารละลายดินยังเพิ่มได้โดยขบวนการแลกเปลี่ยนของแคตไอออนโดย Fe^{2+} และ Mn^{2+} ในส์ารละลายดินเข้าแทนที่แคตไอออนอื่น ๆ ในดิน พบว่า การเข้าแทนที่โพแทส์เซียมไอออนในแร่ดินเหนียวจะทำให้ความเข้มข้นของโพแทส์เซียมไอออนในส์ารละลายดินเพิ่มขึ้นเกือบเป็นส์องเท่าของปริมาณเดิมก่อนที่ดินจะถูกน้ำท่วมขัง ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของดิน ดังแส์ดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ K^+ ในสารละลายดินที่ถูกน้ำท่วมขังกับสมบัติอื่น ๆ ของดิน[22]

pH	O.M.%	texture	Ex. K^+ ppm in soil	Soluble K^+ (ppm)			Sol. (ppm) Fe^{2+} and Mn^{2+}
				Start	Peak	Increase	
4.8	4.4	fine sandy	140	7.6	12.5	5.9	230
5.6	6.0	sandy loam	185	6.3	12.7	5.4	90
7.4	2.6	loamy fine sand	106	3.2	5.9	2.0	73
4.7	2.9	clay	165	2.3	7.9	5.6	342
4.7	2.3	clay	108	2.4	6.5	4.1	340
6.2	3.4	clay	160	3.5	6.0	2.5	174
6.9	1.9	clay	60	1.6	1.9	0.3	39

หมายเหตุ Ex. K^+ = โพแทสเซียมที่สกัดจากดินด้วย 1N.NH_4OAc pH 7

Sol. K^+ = โพแทสเซียมในสารละลายดิน

Start = ระยะเวลาที่เริ่มให้น้ำท่วมขัง

Peak = ระยะที่โพแทสเซียมในสารละลายดินมีปริมาณสูงสุดหลังจากที่ดินถูกน้ำท่วมขัง

Sol. Fe^{2+}, Mn^{2+} = Fe^{2+} และ Mn^{2+} ในสารละลายดิน

2.5.10 การเกิดสารพิษ มีสารประกอบหลายชนิดที่เป็นพิษ และเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารประกอบอินทรีย์ซัลไฟด์อื่น ๆ กรดอินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นกรดอะซีติก และกรดบิวทีริก ส่วนกรดฟอร์มิก และกรดแลกติก จะพบบ้างเล็กน้อยเท่านั้น สารประกอบอินทรีย์เหล่านี้เกิดจากขบวนการรีดักชันที่เป็นกลไกสำคัญในการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุอาหารพืชหลายชนิดในดิน และมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวโดยตรง[23]

2.6 การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารพืชในดินที่ถูกน้ำท่วมขัง

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในดินที่ถูกน้ำท่วมขังดังที่ได้กล่าวแล้วนั้น เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุอาหารพืชในดิน ซึ่งมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการเพิ่มผลผลิตของดิน เช่น ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวละเอียดเฉพาะไนโตรเจน และโพแทสเซียม ซึ่งทำการศึกษาวิจัยเท่านั้น

2.6.1 การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารไนโตรเจน ดินได้รับธาตุไนโตรเจนที่พืชใช้ประโยชน์ได้จากแหล่งต่าง ๆ[24] ดังนี้

จากแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรตที่มีอยู่แล้วในดินก่อนที่ดินจะถูกน้ำท่วมขัง

จากขบวนการเปลี่ยนอินทรียวัตถุ และซากพืชต่าง ๆ ในดินไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เมื่อดินถูกน้ำท่วมขัง

จากขบวนการตรึงไนโตรเจนโดยพวกสาหร่าย และบักเตรีบางชนิดในดิน

จากการเติมปุ๋ยที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบลงไปในดิน

2.6.1.1 รูปของสารประกอบไนโตรเจนในดิน[23] สารประกอบของไนโตรเจนในดินมีอยู่ได้หลายรูปแบบ แล้วแต่ขั้นตอนของการเกิด และแหล่งที่มา ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

ก. สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่พบมากที่สุดในบริเวณผิวดิน และในบริเวณที่ไม่ลึกมาก เป็นไนโตรเจนที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ แต่เป็นสารอินทรีย์ที่มีโอกาสเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่พืชใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

ข. สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เป็นสารประกอบไนโตร-เจนในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ มีหลายรูป เช่น

สารประกอบแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่แลกเปลี่ยนได้ เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนที่กับแคตไอออนอื่น ๆ ได้ ละลายน้ำได้ และเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดจากขบวนการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน

สารประกอบไนไตรต์ เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มักจะพบสะสมในดินที่เป็นด่าง และมีอากาศอยู่ด้วย สารประกอบชนิดนี้เกิดขึ้นโดยขบวนการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เป็นไนไตรต์ของจุลินทรีย์พวก Nitrosomonas และ Nitrococcus ในดินที่ถูกน้ำท่วมขัง จะพบไนไตรต์ประมาณ 0-3 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรต์ที่เกิดขึ้นในดินเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว

สารประกอบไนเตรต เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดจากขบวนการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดิน ภายใต้สภาพออกซิเดชัน ดังนั้น ในดินที่ถูกน้ำท่วมขัง ซึ่งเป็นสภาพรีดักชัน จะเกิดการสูญเสียไนเตรตอย่างรวดเร็ว

สารประกอบแอมโมเนียที่ถูกตรึง เป็นสารประกอบแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ถูกตรึงอยู่ในโครงสร้างของแร่ดินเหนียวประเภทซิลิเกต เป็นสารประกอบแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ไม่ละลายน้ำ และแลกเปลี่ยนที่กับแคตไอออนอื่น ๆ ไม่ได้

ไนตรัสออกไซด์ และกาซไนโตรเจน เป็นไนโตรเจนที่เกิดจากขบวนการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนเตรตในดินเมื่อดินมีสภาพเป็นรีดักชัน โดยจุลินทรีย์บางชนิด

2.6.1.2 ขบวนการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารไนโตรเจนในดินนา ที่สำคัญมีดังนี้

ก. ขบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นขบวนการเปลี่ยนสารประกอบไนเตรตให้เป็นออกไซด์ของไนโตรเจน หรือกาซไนโตรเจน โดยจุลินทรีย์ในดินจะดึงเอาออกซิเจนจากสารประกอบไนเตรตไปใช้ในขบวนการดำรงชีวิต เมื่อดินมีสภาพขาดออกซิเจน จึงเป็นขบวนการหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียของไนเตรตอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 สัปดาห์ หลังจากที่ดินถูกน้ำท่วมขัง สภาพของดินที่ถูกน้ำท่วมขังโดยทั่วไปจะเป็นสภาพรีดักชัน แต่ในระดับ 1-2 เซนติเมตรของชั้นผิวดิน ยังมีการแพร่ของกาซออกซิเจน จากน้ำผิวดินลงไปในดิน จึงทำให้ดินบริเวณนั้นยังคงเป็นสภาพ

ออกซิเดชัน ทำให้มีขบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ให้เป็นสารประกอบไนเตรต ดังแสดงในสมการข้างล่าง และรูปที่ 2 จะเห็นว่าในดินที่ถูกน้ำท่วมขัง อัตราการสลายไนเตรตจะสูงกว่าอัตราการสร้างไนเตรต

สมการแสดงการเกิดขบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันในดิน[23]

$$24\ NH_4^+ + 48\ O_2 \rightarrow 24\ NO_3^- + 24\ H_2O + 48\ H^+$$

$$24\ NO_3^- + 5\ C_6H_{12}O_6 + 24\ H^+ \rightarrow 12\ N_2 + 30\ CO_2 + 42\ H_2O$$

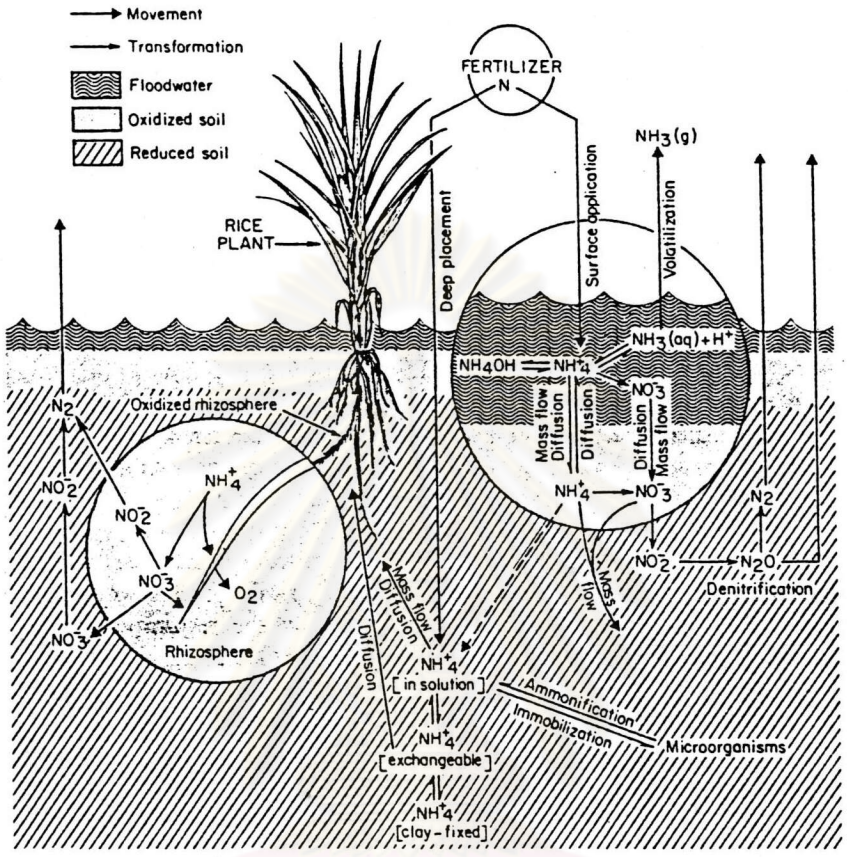
$$24\ NH_4^+ + 5\ C_6H_{12}O_6 + 48\ O_2 \rightarrow 12\ N_2 + 30\ CO_2 + 66\ H_2O + 24\ H^+$$

การที่ดินสูญเสียไนเตรตนี้ จะเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวทางอ้อม[22] เพราะไนเตรตเป็นตัวส่งเสริมขบวนการดูดธาตุต่าง ๆ ของต้นข้าว โดยเฉพาะแมงกานีส (II) ซึ่งเป็นอันตรายต่อต้นข้าว ดังนั้น เมื่อปริมาณของไนเตรตในดินมีน้อย หรือไม่มีเลย การดูดแมงกานีส (II) ขึ้นไปใช้ของต้นข้าวจึงน้อยลง ทำให้ข้าวซึ่งปลูกในดินที่ถูกน้ำท่วมขังจะเจริญเติบโตให้ผลดีกว่า และได้รับอันตรายจากแมงกานีส (II) น้อยกว่าข้าวซึ่งปลูกในดินแห้ง ดังนั้น ในการเติมปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวที่ต้องขังน้ำจึงไม่นิยมใช้การเติมปุ๋ยไนเตรต เพราะนอกจากจะเกิดผลเสียดังกล่าวแล้ว ไนเตรตยังถูกชะล้างได้ง่ายอีกด้วย ปัจจัยที่สำคัญที่ควบคุมขบวนการดีไนตริฟิเคชันมีดังต่อไปนี้

<u>ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับดิน</u> เช่น pH อุณหภูมิ ชนิด และปริมาณของอินทรียวัตถุ ปริมาณของไนเตรตไนโตรเจน และอัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน ระยะเวลาที่ดินถูกน้ำท่วมขัง ปริมาณของเม็ดดินซึ่งขึ้นกับการไถพรวนดิน แอคติวิตี (activity) ของจุลินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนในดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นต้น

<u>ปัจจัยอื่น ๆ</u> เช่น ความลึกของระดับน้ำที่ท่วมขัง ชนิดของปุ๋ยไนโตรเจนที่เติมในดิน ยาฆ่าแมลง จำนวนจุลินทรีย์ เป็นต้น

ข. <u>การสะสมของแอมโมเนียไนโตรเจน</u> เนื่องจากขบวนการสลายอินทรียไนโตรเจนในดินที่ถูกน้ำท่วมขังจะหยุดที่ขั้นตอนการเกิดแอมโมเนียไนโตรเจน และไม่สลายตัวต่อไปเป็นไนเตรต ทั้งนี้เพราะดินมีสภาพเป็นรีดักชัน จะขาดออกซิเจนซึ่ง



รูปที่ 2 แสดงขบวนการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารไนโตรเจนในดินที่ถูกน้ำท่วมขัง[23]

ต้องใช้ในขบวนการสร้างสารประกอบไนเตรต จึงทำให้ดินมีปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตร-เจนสูง Broadbent[23] ได้รายงานว่า ต้นข้าวได้ไนโตรเจนจากดินประมาณร้อยละ 50-80 ของไนโตรเจนที่ใช้ทั้งหมด ปัจจัยที่สำคัญที่ควบคุมขบวนการเกิดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดิน[22] มีดังนี้

ชนิดและปริมาณของอินทรียวัตถุ ในดินที่มีอินทรียวัตถุมากจะสลายตัวให้แอมโมเนีย-ไนโตรเจนเร็ว ดินบางชนิดจะผลิตแอมโมเนียไนโตรเจนได้สูงถึง 300 ppm ภายใน 30 วัน หลังจากที่ดินถูกน้ำท่วมขัง ส่วนดินที่มีอินทรียวัตถุน้อยอัตราการผลิตแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะช้า จึงมักจะปรับปรุงดินโดยการเติมปุ๋ยพืชสด หรือ

ปุ๋ยหมัก เป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน

การเตรียมดิน การทิ้งให้ดินแห้งชั่วระยะเวลาหนึ่งก่อนให้น้ำท่วมขัง ดินจะสามารถผลิตแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้เกือบสองเท่าของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในดินแห้ง

อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดินจะสามารถผลิตแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้มากขึ้น อุณหภูมิมีผลต่อแอคติวิตีของจุลินทรีย์ในดิน

2.6.2 การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารโพแทสเซียมในดิน

2.6.2.1 รูปของสารประกอบโพแทสเซียมในดิน สารประกอบโพแทสเซียมในดิน แบ่งตามความเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ 3 รูป[26] ดังนี้

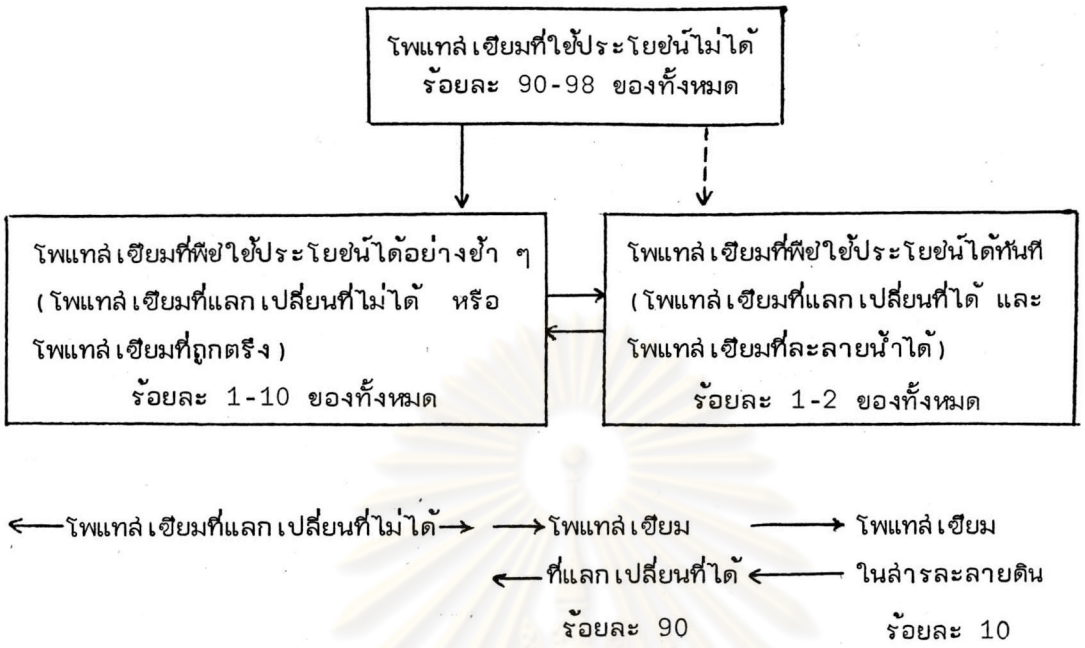
ก. โพแทสเซียมที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เป็นโพแทสเซียมรูปที่พืชไม่สามารถดูดขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้ มีประมาณร้อยละ 90-98 ของโพแทสเซียมทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน เป็นส่วนที่อยู่ในโครงสร้างของแร่ต่าง ๆ เช่น ไมกา (micas) และเฟลด์สปาร์ (feldspars) ซึ่งสลายตัวยาก แต่เป็นแหล่งที่จะให้โพแทสเซียมแก่ดินโดยจะค่อย ๆ ปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาในรูปที่พืชใช้ได้ทีละน้อย ๆ ดังสมการ

$$2\ KAlSi_3O_3 + 2\ H_2O + CO_2 \rightarrow H_4Al_2Si_2O_4 + 4\ SiO_2 + K_2CO_3$$

เฟลด์สปาร์

ข. โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้า ๆ เป็นโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ หรือเป็นโพแทสเซียมที่ถูกตรึงอยู่ระหว่างช่องว่างของชั้นผลึกของแร่ดินเหนียว โพแทสเซียมในรูปนี้จะมีประมาณร้อยละ 1-10 ของโพแทสเซียมทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน เช่น ในดินเหนียวประเภทอิลไลต์ และมอนต์มอริลโลไนต์ จะเป็นแหล่งสำคัญที่ให้โพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ในดิน

ค. โพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายดิน หรือโพแทสเซียมที่ละลายน้ำ จะอยู่ในสภาพที่สมดุลกับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตลอดเวลา เมื่อโพแทสเซียมในสารละลายดินถูกพืชดูดขึ้นไปใช้ สมดุลจะเสียไป ทำให้โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ถูกปลดปล่อยออกมาเป็นโพแทสเซียมในสารละลายดิน เพื่อให้สมดุลของโพแทสเซียมในดินคงที่อยู่เสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงสมดุลระหว่างรูปต่าง ๆ ของโพแทสเซียมในดิน[26]

2.6.1.2 การเปลี่ยนแปลงของธาตุโพแทสเซียมในดินนา ที่สำคัญมีดังนี้

ก. การเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมที่ละลายได้ และการสูญเสียโพแทสเซียมเนื่องจากการถูกชะล้าง Chang[21] พบว่า ดินที่อยู่ในสภาพถูกน้ำท่วมขัง เมื่อเกิดสภาพรีดักชัน จะทำให้ปริมาณของเหล็ก (II) และแมงกานีส (II) ที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น และสามารถเข้าแทนที่โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ทำให้ปริมาณของโพแทสเซียมในสารละลายดินสูงขึ้น และอาจเกิดการสูญเสียสูงโดยการถูกชะล้าง และ De Datta[23] ได้รายงานว่า การสูญเสียโพแทสเซียมอิออน และแคตอิออนอื่น ๆ โดยการชะล้างดิน หรือโดยการแพร่กระจายไปในชั้นผิวดิน หรือถูกชะล้างโดยน้ำท่วมไหลบ่า จะทำให้ดินแสดงสมบัติเป็นกรดมากขึ้นเมื่อดินนั้นถูกออกซิไดซ์

ข. การปลดปล่อยโพแทสเซียม เป็นการเปลี่ยนโพแทสเซียมจากรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้เป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ เมื่อโพแทสเซียมถูกต้นข้าวดูดขึ้นไปใช้มากขึ้น หรือดินสูญเสียโพแทสเซียมมากขึ้น จะเกิดการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่ถูกตรึงไว้ออกมา เพื่อรักษาสมดุลของโพแทสเซียมในดินให้คงที่ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถของดินที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายดินให้คงที่ หรือมีค่าใกล้เคียง

กับระดับความเข้มข้นเดิมได้ในช่วงระยะเวลานาน ๆ (Potassium buffering capacity)[27] เช่น ดินที่มีดินเหนียวประเภทอิลไลต์ และมอนต์มอริลโลไนต์ จะมีปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนที่ได้สูง แต่ถ้ามีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ ก็จะเป็นดินที่มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ที่ดี สามารถเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมที่ละลายได้โดยขบวนการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากที่ถูกตรึง

ค. <u>การตรึงโพแทสเซียมในดิน</u> เมื่อโพแทสเซียมที่ละลายได้ในสารละลายดินเพิ่มขึ้น จะทำให้สมดุลระหว่างโพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายดิน และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต้องเสียไป จึงต้องมีการปรับสมดุลใหม่ โดยการเปลี่ยนโพแทสเซียมที่ละลายได้บางส่วนไปอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ โดยขบวนการตรึงโพแทสเซียมซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญดังนี้[28]

<u>ธรรมชาติและปริมาณของดินคอลลอยด์</u> ดินเหนียวประเภทที่มีอิลไลต์ และเวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) จะสามารถตรึงโพแทสเซียมได้มากกว่าดินเหนียวประเภทเคโอลิโนต์ Kemmler[27] ได้รายงานระดับความสามารถในการตรึงโพแทสเซียมของดินเหนียวประเภทต่าง ๆ ไว้ดังนี้ เบนทอไนต์ อิลไลต์ และเคโอลิไนต์ จะตรึงโพแทสเซียมได้ 9.98, 10.93 และ 0.33 meq. ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้แล้ว การตรึงโพแทสเซียมยังขึ้นอยู่กับปริมาณของคอลลอยด์ในดินนั้น ๆ ด้วย

<u>การทำให้ดินเปียกและดินแห้ง</u> การทำให้ดินแห้งจะช่วยเร่งให้เกิดการตรึง หรือปลดปล่อยโพแทสเซียมได้มากขึ้น เช่น ขณะนั้นกำลังมีขบวนการตรึงโพแทสเซียมเกิดขึ้นในดิน ถ้าทำให้ดินแห้งจะเป็นการเร่งให้เกิดการตรึงโพแทสเซียมมากและเร็วขึ้น แต่ถ้าขณะนั้นกำลังมีการสูญเสียโพแทสเซียมในดินโดยการชะล้าง หรือพืชดูดขึ้นไปใช้ การทำให้ดินแห้งจะเป็นการเร่งให้เกิดการปลดปล่อยโพแทสเซียมให้เร็วขึ้นกว่าการรักษาดินให้เปียกชื้นอยู่เสมอ ดังนั้น การระบายน้ำออกจากแปลงนาในระยะที่ต้นข้าวมีอัตราการดูดโพแทสเซียมขึ้นไปใช้สูง จะเป็นการเร่งให้ดินปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการผลิตโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

<u>ปฏิกิริยาของดิน</u> ดินที่เป็นกรด การตรึงโพแทสเซียมจะมีได้น้อย เนื่องจากมีไฮโดรเจนอิออนเกิดขึ้นในสารละลายดิน และมีขนาดอิออนใกล้เคียงกับโพแทสเซียมอิออน จึงสามารถเข้าแทนที่ และตรึงในดินเหนียวได้ดีกว่า ดังนั้น การเติมปูนขาวเพื่อแก้ปัญหาดินเปรี้ยวจะช่วยทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น และเกิดการตรึงโพแทสเซียม

เพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายดินลดลง อาจจะทำให้ต้นข้าวขาดโพแทสเซียมได้ ดังนั้นจึงไม่เป็นผลดีที่จะแก้ดินเปรี้ยวโดยการเติมปูนขาวในนาที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำ เพราะจะทำให้ขาดโพแทสเซียมมากขึ้น

2.7 คุณภาพของดินนา

คุณภาพของดินนาที่จะแสดงสมบัติเกี่ยวกับความเค็ม และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว และสามารถใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของการปรับปรุงดินนาด้วยวิธีการล้างดินแบบนายกร่อง (Intensive Shallow Drainage) มีดังนี้

2.7.1 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity, CEC) หมายถึงปริมาณแคตไอออนทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ นิยมบอกเป็นค่า milliequivalent ต่อดิน 100 กรัม ค่าของ CEC จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของคอลลอยด์ ปริมาณของแร่ดินเหนียว และอินทรียวัตถุในดิน การที่ดินดูดซับแคตไอออนไว้ที่ผิวของดินเหนียวได้นี้ มีประโยชน์ต่อความอุดมสมบูรณ์ และความสามารถในการเพิ่มผลผลิตของดิน ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารของพืชในดิน โดยไม่ถูกชะล้างเมื่อมีการชะล้างดิน แต่แคตไอออนเหล่านี้จะถูกไล่ที่ หรือแลกเปลี่ยนที่ได้โดยแคตไอออนอื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลายดิน หรือจากปุ๋ยที่เติมลงไปในดิน การแลกเปลี่ยนที่ของแคตไอออนเหล่านี้จะเกิดได้มากหรือน้อยเพียงไรนั้น ยังจะขึ้นกับชนิดของแคตไอออนที่ถูกดูดซับ (adsorbed cation) และชนิดของแคตไอออนที่จะเข้ามาแทนที่ (replacing cation) ซึ่งมีความสามารถในการเข้าแทนที่ตามลำดับดังนี้ $Li^+ \sim Na^+ < K^+ \sim NH_4^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+} < Al^{3+}$ (H^+)[29] การสูญเสียแคตไอออนที่ถูกยึดติดอยู่ที่ผิวดินจะเกิดขึ้นได้เมื่ออิออนที่จะเข้ามาแลกเปลี่ยนที่มีปริมาณมาก ๆ เช่น ในดินที่ถูกน้ำท่วมขัง มีสภาพเป็นรีดักชัน ปริมาณของเหล็กที่ละลายได้ในสารละลายดินจะสูง[23] จึงเข้าแทนที่แคตไอออนอื่น ๆ ได้ ทำให้ดินสูญเสียแคตไอออนเหล่านั้นได้ถ้าหากมีการระบายน้ำออกไป

2.7.2 การนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity, EC) การนำไฟฟ้าของดินเป็นค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่ถูกทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ วัดเป็นค่ามิลลิโมต่อเซนติเมตร (millimho per centimeter) ซึ่งแสดงถึงปริมาณของเกลือชนิดต่าง ๆ ในดินที่ละลายน้ำได้ ในกรณีของดินเค็มชายฝั่งทะเล เกลือที่พบมากจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม-คลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟต ดังนั้นจึงสามารถใช้การนำไฟฟ้าของดินแสดงความเค็มของดินและความเหมาะสมของดินที่จะใช้ปลูกพืช ตลอดจนใช้บอกประสิทธิภาพของการล้างเกลือจากดินได้ด้วย

2.7.3 โซเดียม เป็นแคตไอออนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวมาก[7] แบ่งออกเป็น 2 รูป ดังนี้

2.7.3.1 โซเดียมที่ละลายน้ำได้ เป็นแคตไอออนที่พบมากในสารละลายของดินเค็มชายฝั่งทะเล วัดปริมาณของโซเดียมเป็น meq ต่อสารละลายดิน 1 ลิตร ถ้าสารละลายมีโซเดียมมากเกินไป จะเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว และถ้าในสารละลายดินมีเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงจนค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 6-8 มิลลิโมต่อเซนติเมตร จะทำให้ผลผลิตของการปลูกข้าวลดลงร้อยละ 50[6]

2.7.3.2 โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ เป็นโซเดียมไอออนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวดินเหนียว วัดปริมาณเป็น meq ต่อดิน 100 กรัม พบว่าในดินชายฝั่งทะเลปริมาณของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้จะมีค่าสูง แม้ว่าจะมีการชะล้างดินแล้วก็ยังมีปริมาณสูงอยู่ ทำให้ค่า SAR (sodium adsorption ratio) ของดินสูง ซึ่งมีผลทำให้สมบัติของดินในการซึมน้ำน้อยลงด้วย การระบายน้ำจึงไม่ดีเท่าที่ควร[30]

2.7.4 โพแทสเซียม เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อเข้าไปอยู่ในพืชแล้วจะไม่ถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์เช่นเดียวกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่จะอยู่ในรูปของเกลืออินทรีย์ หรืออนินทรีย์ซึ่งละลายได้ De Datta[31] ได้กล่าวสรุปเกี่ยวกับความสำคัญของธาตุโพแทสเซียมที่มีต่อพืชดังนี้ โพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิด เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดฟอสฟอรัสขึ้นไปใช้ของต้นข้าว เป็นตัวควบคุมขบวนการสังเคราะห์แสง และการหายใจโดยการควบคุมการปิดเปิดของปากใบ รวมทั้งทำให้พืชมีความต้านทานโรคสูงขึ้น เพราะโพแทสเซียมจะทำให้ผนังเซลล์ของพืชหนา และมั่นคงยากต่อการเข้าทำลายของโรค ถ้าพืชขาดโพแทสเซียม จะพบว่าต้นพืชจะแคระแกรน การแตกกอจะน้อย ขอบใบจะฉีกกลายเป็นสีน้ำตาล และแห้งไปในที่สุด โดยจะเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ จะเกิดขึ้นที่ใบแก่ก่อนใบอ่อน ในต้นข้าวจะทำให้เมล็ดลีบ และน้ำหนักเบาผิดปกติ สามารถแบ่งโพแทสเซียมตามรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกได้ 2 รูป ดังนี้คือ

2.7.4.1 โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ เป็นโพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายดินอิ่มตัว โดยวัดปริมาณเป็น meq ต่อสารละลายดิน 1 ลิตร

2.7.4.2 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนที่ได้ เป็นโพแทสเซียมที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของดินเหนียว โดยวัดปริมาณเป็น meq ต่อดิน 100 กรัม

2.7.5 ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีบทบาทสำคัญมากชนิดหนึ่ง De Datta[31] ได้สรุปบทบาทของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวดังนี้คือ ต้นข้าวต้องการใช้ไนโตรเจนเป็นจำนวนมากในระยะเริ่มแตกกอ และในระยะตั้งท้อง ถ้าปริมาณของไนโตรเจนเหมาะกับความต้องการของต้นข้าว จะช่วยส่งเสริมให้ใบและลำต้นเจริญเต็มที่ ควบคุมการออกรวง ให้จำนวนเมล็ดต่อรวงสูง ช่วยให้มีเมล็ดขนาดใหญ่สมบูรณ์และเพิ่มโปรตีนในเมล็ดข้าวให้มากขึ้น แต่ถ้าขาดไนโตรเจน ต้นข้าวจะมีลักษณะแคระแกรน แตกกอได้น้อย ใบจะมีขนาดเล็กและสั้น ในที่สุดจะเหลือง ให้ผลผลิตต่ำ เมล็ดลีบ จำนวนเมล็ดข้าวต่อรวงจะน้อย แต่ถ้ามีปริมาณของไนโตรเจนมากจนเกินความต้องการของต้นข้าว จะทำให้ต้นข้าวออกรวงช้า ผลผลิตลดลง เพราะพืชจะใช้ไนโตรเจนที่มากจนเกินไปสร้างลำต้นและใบมากกว่าดอกและเมล็ด ทำให้ต้นข้าวล้มง่าย และมีความต้านทานโรคน้อยลง สามารถแบ่งไนโตรเจนตามรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันทีออกเป็น 2 รูป ดังนี้คือ

2.7.5.1 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน เป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์แอมโมเนีย วัดปริมาณเป็น ppm. (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อดิน 1,000 กรัม)

2.7.5.2 ไนเตรตไนโตรเจน เป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารประกอบไนเตรต วัดปริมาณเป็น ppm. (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อดิน 1,000 กรัม)

2.7.6 คลอไรด์ เป็นแอนไอออนที่พบมากในดินเค็มชายฝั่งทะเล วัดปริมาณเป็น meq ต่อสารละลายดิน 1 ลิตร และพบว่าดินที่มีโซเดียมอยู่ในรูปของสารประกอบเกลือคลอไรด์ในปริมาณมาก ๆ จะเป็นอันตรายต่อต้นข้าวมากกว่าเมื่ออยู่ในรูปของสารประกอบของเกลือซัลเฟต[7]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย