สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของดินสำหรับปลูกข้าว

การปลูกข้าวโดยทั่วไปสามารถปลูกได้ทั้งแบบข้าวไร่ (Upland rice) และข้าวนาสวน (Lowland rice) ซึ่งการปลูกแบบข้าวไร่จะปลูกในสภาพที่ดินไม่มีน้ำขัง ส่วนข้าวนาสวนจะปลูกในสภาพที่ดินมีน้ำขัง (Submerged soil) ในการปลูกข้าวของประเทศไทยส่วนใหญ่จะนิยมปลูกกันในสภาพที่ดินมีน้ำขังเพราะจะให้ผลผลิตสูงกว่า ข้าวจึงเป็นพืชที่มีสมบัติบางอย่างที่ต่างไปจากพืชไร่อื่นๆ และสภาพของดินนาน้ำขังจะมีธรรมชาติและสมบัติบางประการที่ทำให้ข้าวเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดีแต่พืชไร่อื่นๆ ไม่สามารถจะเจริญเติบโตได้ สิ่งที่เห็นได้อย่างเด่นชัดก็คือ ดินนาน้ำขังนั้นอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน (Anaerobic condition) เนื่องจากออกซิเจนในดินจะถูกแทนที่ด้วยน้ำและลดปริมาณลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งหมดไปในระยะเวลา 1-2 วัน (Greenwood, 1961 อ้างถึงใน สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511) ในสภาพเช่นนี้สมบัติต่างๆ ของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งทางด้านกายภาพ การเปลี่ยนแปลงสภาวะทางเคมี และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดิน รวมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน และส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวทั้งทางตรงและทางอ้อม (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) โดยการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ และทำให้ดินนาเหมาะแก่การเจริญเติบโตของข้าวมีดังนี้

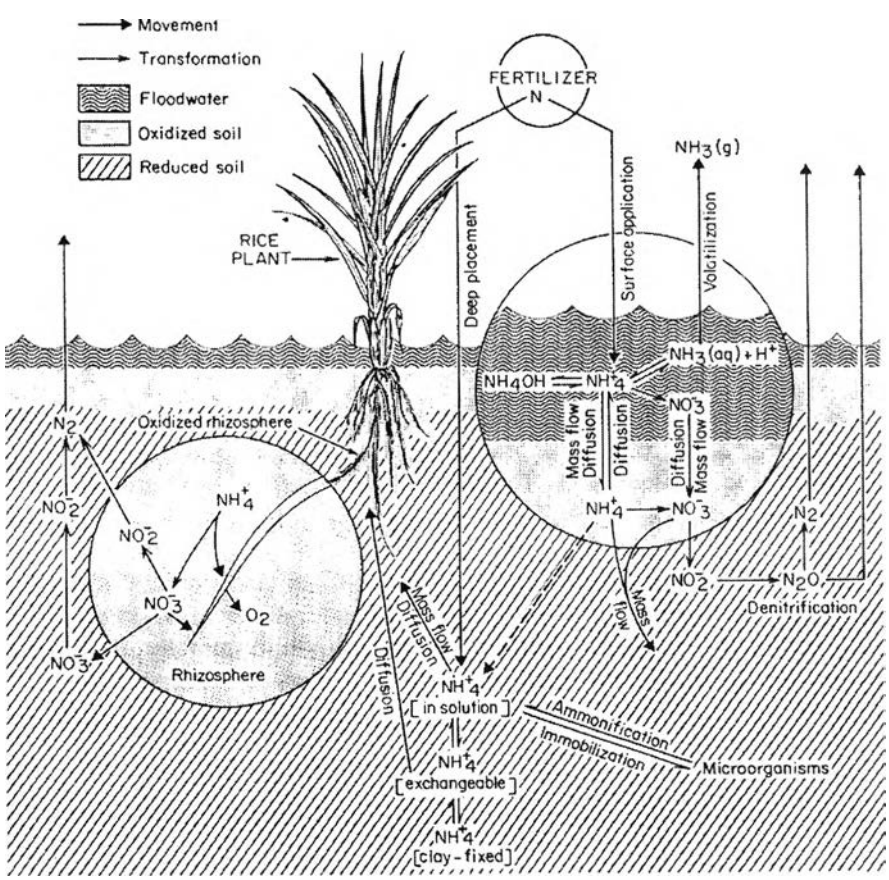
2.1.1 ปริมาณธาตุอาหารในดินนา

1) ไนโตรเจน

1.1) กระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน

ไนโตรเจน (N) มีความสำคัญและมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของข้าวเป็นอย่างมาก รูปที่เป็นประโยชน์ที่ข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ได้ คือ แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรต (NO_3^-) จากการศึกษาถึงพฤติกรรมของไนโตรเจนในดินนาน้ำขัง พบว่าปริมาณไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ โดยขึ้นกับปัจจัยต่างๆ หลายประการ เช่น ระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) อุณหภูมิดิน ตลอดจนสภาพออกซิเดชัน (Oxidation) และรีดักชัน(Reduction) ของดิน เป็นต้น สภาพแวดล้อมในดินนาน้ำขังเมื่อพิจารณาจากหน้าตัดดินลึกลงไป (รูปที่ 2.1) จะแบ่งเป็นชั้นๆ หรือสภาพต่างๆ ดังนี้ ชั้นที่เป็นน้ำ (Floodwater) ซึ่งอยู่ชั้นบนสุดจะมีออกซิเจนจากอากาศซึมเข้ามา

เจือปนอยู่ NH_4^+ ที่เคลื่อนย้ายอยู่ในส่วนชั้นน้ำนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) โดยกระบวนการ Volatilization อีกทั้งในน้ำมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ดังนั้นในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำมีค่าความเป็นด่างสูงมาก จึงทำให้ NH_4^+ เปลี่ยนเป็นแก๊ส NH_3 สูญหายไปในอากาศ ชั้นถัดมา คือ ชั้นที่มีออกซิเจน (Oxidized zone หรือ Oxidized soil) อยู่ระหว่างชั้นที่เป็นน้ำและดิน ชั้นนี้จะมีออกซิเจนที่ซึมผ่านจากชั้นที่เป็นน้ำมาสะสมอยู่ รากข้าวจะมีลักษณะเป็น Oxidized rhizosphere ซึ่งเกิดจากมีออกซิเจนผ่านต้นข้าวโดยซึมผ่านเนื้อเยื่อจากใบและลำต้นมาสู่ราก และปลดปล่อยออกไปรอบ ๆ รากข้าว (Rhizosphere) สำหรับใช้ในการหายใจ และการดูดธาตุอาหารของราก NH_4^+ ที่เคลื่อนที่อยู่ในชั้นนี้จะถูกเปลี่ยนเป็น NO_3^- โดยกระบวนการ Nitrification ชั้นสุดท้าย คือ ชั้นที่ไม่มีออกซิเจน (Reduced zone หรือ Reduced soil) NO_3^- ที่เกิดขึ้นจากชั้น Oxidized zone จะแพร่กระจายมายังชั้นนี้ และเกิดกระบวนการ Denitrification โดย NO_3^- ถูกเปลี่ยนเป็น NO_2^- และ NO_2^- จะเปลี่ยนเป็น N_2O และในที่สุดจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊ส N_2 สูญหายไปในอากาศ (Reddy and Patrick, 1980; Savant and De Datta, 1980)



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของไนโตรเจนในดินนาน้ำขัง (Savant and De Datta, 1980)

ดินนาในสภาพน้ำขังมีผลดีในแง่ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อข้าว คือ NH_4^+ ซึ่งจะเสถียรภาพในดินน้ำขัง ส่วน NO_3^- จะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนสูญหายไป การสะสม NH_4^+ ในดินจะเกิดได้อย่างรวดเร็วในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการขังน้ำ แต่ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม NH_4^+ จะเกิดได้น้อย เช่น ในดินเปรี้ยวซึ่งมี pH ต่ำ และขาดฟอสฟอรัส NH_4^+ จึงเกิดได้ค่อนข้างน้อยมาก แม้ว่าดินเปรี้ยวจะมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินค่อนข้างสูงกว่าดินนาทั่วไป แต่สภาพดังกล่าวไม่เหมาะสมอย่างยิ่งต่อการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ปกติการสะสม NH_4^+ ในดินที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่สูงจนกระทั่งเกิดเป็นพิษขึ้นกับข้าว แต่ถ้ามีการใส่ปุ๋ยพวกแอมโมเนียมเป็นจำนวนมาก ๆ การสะสม NH_4^+ ในดินอาจจะเกิดเป็นพิษแก่ข้าวได้ และจะทำให้เป็นโรคปลายใบไหม้ (Tip burn) (Lin, 1946 อ้างถึงใน สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511) อีกทั้งปริมาณ NH_4^+ ในดินนายังเป็นประโยชน์ในการแนะนำการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับนาข้าวได้ และจากการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนาบริเวณชั้นผิวดิน (0-15 ซม.) ของประเทศไทย พบว่า ดินนาภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.118, 0.133, 0.118 และ 0.043 % N ตามลำดับ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินจะลดลงตามระดับความลึกของดิน (Motomura, Seirayoskol and Cholitkul, 1984)

1.2) การสูญเสียไนโตรเจน

การสูญเสียไนโตรเจนในดินนาน้ำขังที่สำคัญและพบได้มาก คือ เกิดจากกระบวนการ Denitrification และ Ammonia volatilization

1.2.1) กระบวนการ Denitrification

การสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแก๊สไนโตรเจน (N_2) จากกระบวนการ Denitrification เป็นการสูญเสียไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินหรือปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงไปในดิน ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก Facultative anaerobe เพราะในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนจุลินทรีย์เหล่านี้จะเปลี่ยนสารประกอบของไนโตรเจนในดินรูป NO_3^- เป็น NO_2^- และ NO_2^- เป็น N_2O และในที่สุดจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊ส N_2 สูญหายไปในอากาศ โดยอัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากกระบวนการนี้จะเกิดได้สูงในดินที่มีการใส่ปุ๋ยมากกว่าในดินที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (Watanabe et al., 1982)

การลดอัตราการสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนโดยขบวนการ Denitrification มีข้อแนะนำการใช้ปุ๋ยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด คือ ให้ใช้ปุ๋ยที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียม ทั้งนี้เพราะต้องการหลีกเลี่ยงหรือลดการสูญเสียไนโตรเจนจากปุ๋ย และการให้ปุ๋ยจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุดต้องใส่ให้ลึกใต้ผิวดิน (Deep incorporated or placement) หรือใส่ในชั้นของ Reduced zone (Shioiri and

Tanada, 1952 อ้างถึงใน สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511) เพราะถ้าใส่ปุ๋ยให้อยู่ในชั้น Oxidized zone จะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนโดยกระบวนการดังกล่าวในอัตราที่สูงมาก โดยทั่วไปการสูญเสียไนโตรเจนโดยกระบวนการนี้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในดินนาเขตร้อนที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ (Kawaguchi and Kyuma, 1977) แต่ถ้าดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจะเร่งให้เกิดได้เร็วขึ้น เพราะอินทรียวัตถุเป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ดินที่ใช้ในกระบวนการนี้ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสำคัญอื่นๆ เช่น pH ดิน ชนิดของดิน อุณหภูมิดิน โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเกิดกระบวนการนี้คือ 5-45 ^{0}C (Ponnamperuma, 1977; Gotoh and Araragi, 1984) และจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจะเห็นได้ว่าดินนาไทยหรือดินในเขตร้อนมีแนวโน้มที่จะเกิดกระบวนการ Denitrification ได้สูงมาก สำหรับ pH ของดินกรดหรือดินด่างเมื่อถูกน้ำขังจะปรับขึ้นหรือลงให้มาอยู่ในระดับที่เกือบเป็นกลาง ยกเว้นในดินเปรี้ยวจัด (Acid sulfate soils) ดังนั้น pH ของดินนาส่วนใหญ่หลังการขังน้ำจึงเอื้ออำนวยต่อการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (Ponnamperuma, 1972)

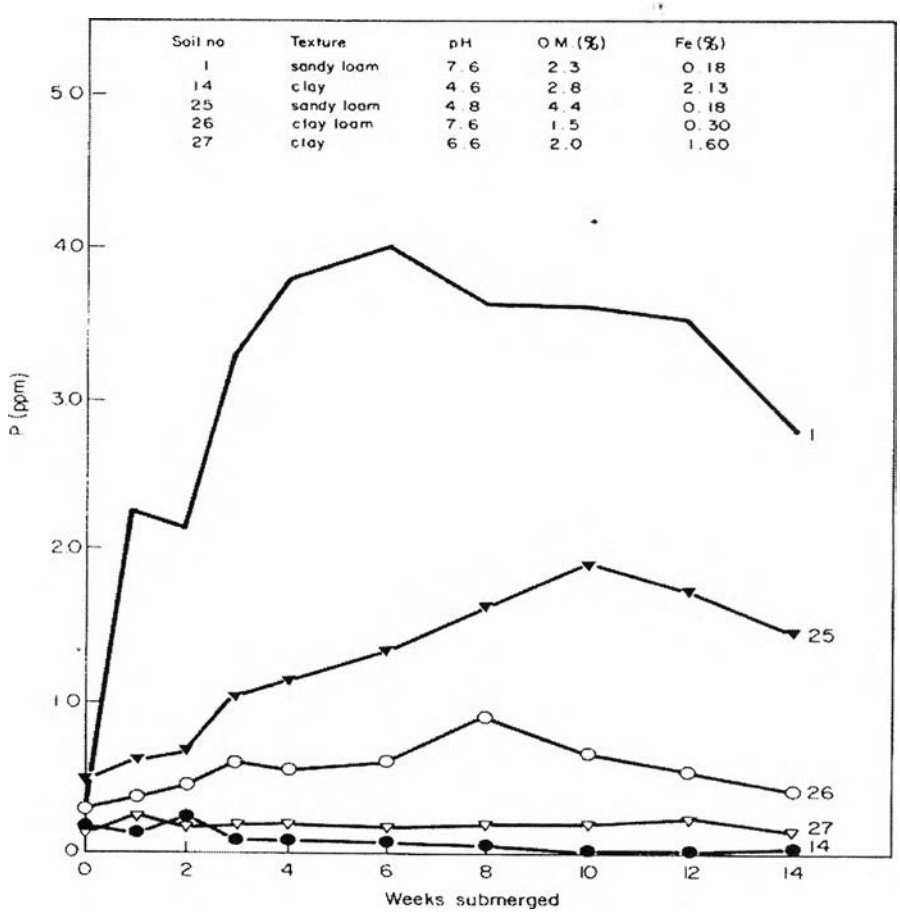
1.2.2) กระบวนการ Ammonia volatilization

การสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) จากกระบวนการ Ammonia volatilization เป็นการสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในนาข้าวในรูปของปุ๋ยแอมโมเนียม หรือยูเรีย ปัจจัยสำคัญในการเกิดกระบวนการนี้ คือ pH ดิน อุณหภูมิดิน เนื้อดิน ความชื้นในดิน วิธีและช่วงเวลาในการให้ปุ๋ย เป็นต้น (Wahhab, Randhawa and Alam, 1957) การสูญเสียแอมโมเนียในลักษณะนี้ จะเกิดได้สูงมากเมื่อใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยยูเรีย ไม่ว่าจะใส่ปุ๋ยโดยการหว่านบนผิวดิน (Broadcasting) หรือไถกลบลงดิน (Incorporated) ซึ่งการหว่านบนผิวดินจะเกิดการสูญหายมากกว่า เพราะยูเรียเมื่อละลายน้ำจะถูก hydrolyze แล้วเปลี่ยนรูปไปเป็น Ammonium carbonate เป็นผลให้ pH ของน้ำในนาสูงขึ้นจนอยู่ในสภาพเป็นด่าง แอมโมเนียจากปุ๋ยจึงระเหยสูญหายไป ช่วง pH ที่เหมาะสมในการเกิดกระบวนการนี้คือ 9-11 (Mikkelsen, De Datta, and Obcemea, 1978) ในทางกลับกันการใส่ปุ๋ยพวกแอมโมเนียมซัลเฟตจะมีผลทำให้ pH ของน้ำในนาลดลง เนื่องจากเกิดกรดขึ้นจากขบวนการ Nitrification ขณะที่การสูญหายของแอมโมเนียโดยปุ๋ยนี้จะต่ำมากเมื่อเทียบกับปุ๋ยยูเรีย (Vlek and Craswell, 1979) การสูญหายกรณีที่ใส่ปุ๋ยยูเรียถ้าเกิดรุนแรงอาจสูงถึง 60 % ของปุ๋ย (Demmead, Simpson and Freney; อ้างถึงใน วิศิษฐ์ โชลิตกุล และประพิศ แสงทอง, 2535)

ดังนั้นการลดการสูญเสียไนโตรเจนจากดิน หรือเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนและอินทรียวัตถุที่ใส่ในดินเพื่อให้ข้าวได้ใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่นั้น การใส่ปุ๋ยเคมีหรืออินทรียวัตถุในนาข้าวต้องใส่ให้ลึกลงใต้ผิวดิน

2) ฟอสฟอรัส

ดินนาในสภาพน้ำขัง ปริมาณของฟอสฟอรัส (P) ที่เป็นประโยชน์จะเพิ่มขึ้น โดยในระยะแรกจะมีปริมาณฟอสเฟตในสารละลายดินค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อระยะเวลาขังน้ำนานขึ้นปริมาณฟอสเฟตในสารละลายดินจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับหนึ่งแล้วจะกลับลดลง การเปลี่ยนแปลงระดับของฟอสเฟตในสารละลายดินจะขึ้นอยู่กับสมบัติต่างๆ ของดิน เช่น pH ดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ เนื้อดิน ปริมาณเหล็ก และอลูมินัมในดิน (รูปที่ 2.2) ในดินที่มีอินทรียวัตถุสูง มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบ และมีปริมาณเหล็กต่ำ การเพิ่มปริมาณฟอสเฟตในสารละลายดินเมื่อดินถูกน้ำขังจะสูงขึ้น ส่วนดินที่เป็นกรดมาก ๆ มีอินทรียวัตถุต่ำ และมีปริมาณเหล็กสูง การเพิ่มปริมาณฟอสเฟตในสารละลายดินจะน้อยมาก เพราะอัตราการตรึงฟอสเฟตในดินสูง (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Ponnamperuma, 1965) และโดยเฉลี่ยแล้วดินในประเทศไทยจะมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูป Fe-P 35 % Red-P 19 % Al-P 5 % และ Ca-P 4 % (Cholitkul and Tyner, 1971)



รูปที่ 2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสในดินนาน้ำขัง (Ponnamperuma, 1976)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนของฟอสฟอรัสในดินนาน้ำขังมีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากกับระดับความรุนแรงของกระบวนการรีดักชันในดิน โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่าง ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมา มีดังนี้

2.1) กระบวนการ Reduction ของ Ferric phosphate ($FePO_4.2H_2O$) ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้น้อยจะถูกรีดิวซ์เป็น Ferrous phosphate [$Fe_3(PO_4)_2.8H_2O$] ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่ายและเป็นประโยชน์ต่อข้าว จึงมีผลทำให้สารละลายดินมีปริมาณฟอสเฟตสูงขึ้น โดยปริมาณการละลายของ Ferrous phosphate จะขึ้นอยู่กับ pH และความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนในสารละลายดิน (Fujiwara, 1950) กระบวนการนี้เป็นการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในสภาพดินนาน้ำขังที่สำคัญและเกิดขึ้นมากที่สุด ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่จะทำให้พืชได้รับประโยชน์จากฟอสฟอรัสได้มากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของธาตุเหล็กในดินด้วย

นอกจากนั้นในสภาพรีดักชันจะมีแก๊ส H_2S เกิดขึ้น และทำปฏิกิริยากับ Ferrous phosphate ได้ไดไฮโดรเจนออโทฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$) ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย และเป็นประโยชน์ต่อข้าว ดังสมการ

$$Fe_3(PO_4)_2 + H_2S \longrightarrow 3FeS + 2H_3PO_4$$

$$H_3PO_4 \longrightarrow H^+ + H_2PO_4^-$$

2.2) กระบวนการ Hydrolysis ของ Aluminum phosphate ($AlPO_4.2H_2O$ หรือ Al-P) และ Ferric phosphate ($FePO_4.2H_2O$ หรือ Fe-P) ในดินที่เป็นกรด เมื่อถูกน้ำขัง pH ของดินจะสูงขึ้น สารประกอบดังกล่าวจึงถูก Hydrolyze ได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นขบวนการที่สำคัญขบวนการหนึ่งที่ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อข้าวได้มากขึ้น (Lindsay and Moreno, 1960)

2.3) เกิดการแทนที่ของ Organic anion เข้าแทนที่ Fe-P และ Al-P ทำให้ฟอสเฟตถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในสารละลายเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะ Organic anion จะมีอยู่เป็นจำนวนมากในดินนาน้ำขัง (Ponnamperuma, 1965; Patrick and Mahapatra, 1968)

2.4) ฟอสเฟตจากอินทรียวัตถุในดินจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ แล้วสามารถคงสภาพละลายอยู่ในสารละลายดินได้ดีกว่าที่ดินนั้นอยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดี ทั้งนี้เพราะในสภาพที่น้ำขังจะมีสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากขบวนการ Anaerobic metabolism นั้นสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับ เหล็ก แมงกานีส และอลูมินัมในดินได้ ซึ่งมีผลทำให้อัตราการตกตะกอนของฟอสเฟตที่อาจจะเกิดขึ้นได้นั้นลดน้อยลง (IRRI, 1964) อีกประการหนึ่งในสภาพ Reduction นี้พวก Ferric hydroxides ต่างๆ จะถูกรีดิวซ์ ดังนั้นจึงทำให้อำนาจในการ

ตรึงฟอสเฟตในสารละลายดินโดย Ferric hydroxides เหล่านี้ ลดน้อยลง ซึ่งก็มีผลทำให้ฟอสเฟตที่เกิดขึ้นจากอินทรียวัตถุนี้คงสภาพละลายอยู่ในสารละลายดินได้นานขึ้น (Ponnamperuma, 1955)

2.5) การกระทำของ Phosphate dissolving bacteria เพราะดินที่น้ำขังจะมีแบคทีเรียบางชนิดซึ่งสามารถละลายสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำให้ละลายน้ำได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียพวกนี้มักจะปลดปล่อยสารที่เป็นกรดต่างๆ ออกมาจากขบวนการ Anaerobic metabolism ของมัน ซึ่งสามารถละลายสารประกอบฟอสเฟตโดยเฉพาะพวก Calcium phosphate ให้กลายมาอยู่ในสภาพของสารละลายได้ง่ายขึ้น (IRRI, 1964)

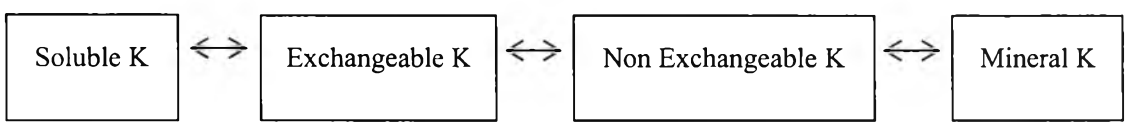
2.6) การสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายดิน เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำจะเกิดกรด H_2CO_3 ซึ่งจะไปละลายแร่ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ และปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา

จากสาเหตุต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ ถึงแม้จะมีผลทำให้ฟอสเฟตละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินได้มากขึ้นก็ตาม แต่ในเวลาเดียวกันในดินก็จะมีปฏิกิริยาต่างๆ ที่คอยลดระดับฟอสเฟตในสารละลายดินให้น้อยลง เช่น ปฏิกิริยาการตกตะกอน (Precipitation) การดูดซับ (Adsorption) และการแทนที่ (Replacement) ของฟอสเฟตไอออน เป็นต้น เพื่อให้เกิดความสมดุลกับอัตราการปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาจากอินทรียวัตถุ และแร่ต่างๆ ในดิน ดังนั้นจึงมีผลทำให้บางครั้งการเพิ่มขึ้นของฟอสเฟตในดินบางชนิดเมื่อถูกน้ำขังแล้วจะสูงขึ้นไม่มากนัก (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511) โดยปกติแล้วข้าวหรือพืชอื่นที่เจริญเติบโตได้ในดินน้ำขังมักจะไม่ค่อยตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับดินชนิดเดียวกันที่อยู่ในสภาพไม่มีน้ำขังจะมีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตได้ดีกว่า (Patrick and Mahapatra, 1968) แต่อย่างไรก็ตามยังจำเป็นที่จะต้องใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในดินนา เพราะดินนาหลายชนิดถึงแม้เมื่อน้ำขังจะมีปริมาณฟอสเฟตในสารละลายดินสูงขึ้นแต่ก็ไม่มากพอกับความต้องการของข้าว โดยเฉพาะในดินกรดจัดซึ่งมีการตรึงฟอสเฟตสูง มีปริมาณฟอสเฟตในดินต่ำมาก ขณะที่ฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งจะถูกนำออกไปจากดินโดยส่วนของพืชที่ดูดขึ้นไปใช้ หรือการนำส่วนของพืช คือ เมล็ดข้าวหรือฟางข้าวออกไปจากพื้นที่นา ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าว ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเสริมให้กับข้าวยังเป็นสิ่งจำเป็นถึงแม้จะอยู่ในสภาพที่ดินถูกน้ำขังก็ตาม (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511)

3) โพแทสเซียม

ดินนาในสภาพน้ำขังโพแทสเซียม (K) จะถูกปลดปล่อยออกมาเพิ่มมากขึ้น รูปของโพแทสเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มี 2 รูป คือ รูปของโพแทสเซียมที่ละลายได้ (Soluble K) และโพแทสเซียมที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวคอลลอยด์ดินและสามารถแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) โพแทสเซียมทั้ง 2 รูปจะรักษาสมดุลซึ่งกันและกัน คือ เมื่อSoluble K ใน

สารละลายดินสูญเสียไปจะเกิดการเสียสมดุลขึ้น Exchangeable K จะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปของโพแทสเซียมไอออน (K^+) ออกสู่สารละลายดิน (Su, 1976 อ้างถึงใน มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) ส่วนโพแทสเซียมในรูปที่พืชไม่สามารถเอาไปใช้ได้ทันที คือ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (Non Exchangeable K) เพราะถูกดูดซับหรือถูกตรึงไว้ที่ผิวคอลลอยด์ดิน (รูปที่ 2.3) โดยการตรึงโพแทสเซียมจะเกิดในแร่ดินเหนียวพวกอิลไลต์ (Illite) เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) และแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 โดยจะตรึงโพแทสเซียมไว้ภายในหลืบ (ช่องว่างระหว่างผลึก) ได้อย่างรวดเร็วในปริมาณที่มาก (McLean, 1978) การปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาจากการถูกตรึงจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับความสมดุลของปฏิกิริยาระหว่าง Soluble K และ Exchangeable K ดังนั้นจะพบว่าดินนาในประเทศไทยบางพื้นที่ที่มีองค์ประกอบของดินเป็นแร่ดินเหนียวประเภทอิลไลต์ ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของโพแทสเซียมในดิน จึงมีความสามารถในการรักษาระดับโพแทสเซียม ทำให้ไม่จำเป็นต้องให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในดินนาเหล่านี้ ดังนั้น ปุ๋ยที่ใช้จึงเป็นสูตร 16-20-0 ขณะที่ในดินทราย ดินพรุ และดินที่มีแร่ดินเหนียวประเภทเคโอลิไนต์ (Kaolinite) จะมีความสามารถในการรักษาระดับโพแทสเซียมต่ำ ดังนั้นจึงควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเป็นระยะๆ เพื่อเพิ่มระดับโพแทสเซียมในดินให้เพียงพอกับความต้องการของพืช (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมในดินนาน้ำขัง (Su, 1976)

ในประเทศไทย ดินนาที่ใช้ปลูกข้าวส่วนใหญ่มีระดับ Exchangeable K ปานกลาง ยกเว้นดินโคราชที่มีระดับต่ำมาก (Kawaguchi and Kyuma, 1969) ปริมาณ Exchangeable K จากการศึกษาดิน 63 ตัวอย่างใน 10 ประเทศของเอเชีย พบว่า มีค่าระหว่าง 0.06-1.21 meq/100 g ดิน (Tanaka and Yoshida, 1970) สาเหตุสำคัญที่ทำให้โพแทสเซียมละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เช่น สภาพรีดักชันของดินจะทำให้ Fe^{2+} และ Mn^{2+} ถูกปลดปล่อยออกมามาก และจะไปแทนที่ K^+ ที่ถูกดูดยึดโดยอนุภาคของดิน ทำให้โพแทสเซียมถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปของ Soluble K เพิ่มขึ้น แต่อาจเกิดการสูญเสียโพแทสเซียมในดินเนื้อหยาบที่การระบายน้ำดี (Ponnamperuma, 1965) ขณะที่ ถ้าทำให้เกิดสภาพดินเปียกและดินแห้งสลับกัน(Alternate wetting and drying) โพแทสเซียมจะถูกปลดปล่อยออกมา 15-47 % ส่วนดินที่มีน้ำขังตลอดเวลา (Continuously moist soil) 50-60 วัน โพแทสเซียมจะถูกปลดปล่อยออกมาเพียง 1.8-3.6 % (Kadrekar and Kibe, 1973 อ้างถึงใน อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) ดังนั้น ถึงแม้ว่าในดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำ แต่ถ้าทำให้เกิดสภาพดินเปียกและดินแห้งสลับกันจะเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินได้

4) ซิลิกอน

ซิลิกอน (Si) ในดินจะอยู่ในรูปของซิลิกา (SiO_2) ซึ่งอาจเป็นผลึกหรืออสัณฐาน (Amorphous) และในรูปของซิลิเกต (Silicate) ถูกดูดซับหรือตกตะกอนร่วมกับ Hydrous oxide ของ Al^{3+} Fe^{3+} และ Mn^{4+} ส่วนซิลิกอนที่ข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ได้ละลายอยู่ในสารละลายดินในรูปของกรดโมโนซิลิซิก (Monosilicic acid; $Si(OH)_4$) ซึ่งอยู่ในสมดุลกับ SiO_2 ในดิน (Yoshida, 1975) ดินนาเมื่อน้ำขังความเข้มข้นของซิลิกอนในสารละลายดินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากการขังน้ำ และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อดินขังน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้นและอาจมีค่าต่ำกว่าช่วงแรกของการขังน้ำ (Ponnamperuma, 1972; Yoshida, 1981) ปริมาณซิลิกอนที่เพิ่มขึ้นนั้นเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยซิลิกอนที่ถูกดูดซับกับ hydroxide ของเหล็ก และอลูมินัม (Imaizumi and Yoshida, 1958) และการละลายได้ของซิลิกอนจะไม่ขึ้นอยู่กับ pH ช่วง 2-9 (Iler,1979; Tisdale et al., 1985)

ความสำคัญของซิลิกอนต่อข้าวถึงแม้ว่าซิลิกอนจะไม่ใช่ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชทั่วไป แต่ซิลิกอนเป็นธาตุอาหารเสริมประโยชน์ (Beneficial nutrient) ที่สำคัญในข้าว (Sommer, 1926; Yoshida, 1975) และเป็นธาตุที่ข้าวต้องการปริมาณมาก เพราะมีประโยชน์ทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของข้าวรวมถึงมีบทบาทสำคัญทางสรีรวิทยาของข้าว (Yoshida, 1975; Takahashi, Ma and Miyake, 1990) ประโยชน์ของซิลิกอนต่อข้าว มีดังนี้

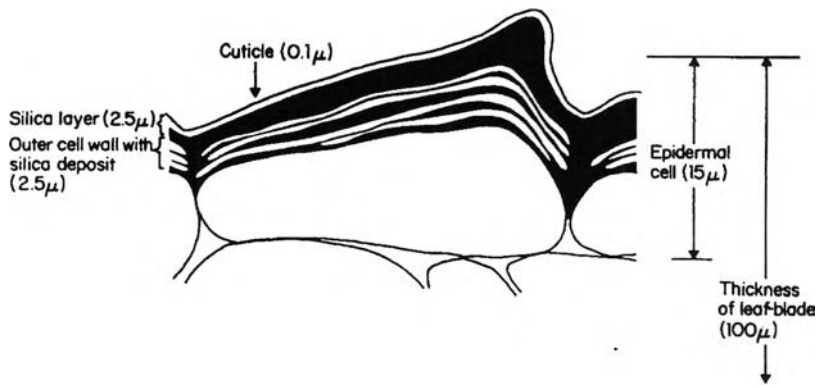
4.1) เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินให้สูงขึ้น เนื่องจากสารประกอบพวกซิลิเกตจะลดการตรึงฟอสเฟตในดินที่มีการตรึงฟอสเฟตสูงโดยสารประกอบพวกซิลิเกตจะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัม ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (Takahashi, 1968; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511 ; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

4.2) ลดความเป็นพิษของอลูมินัม โดยซิลิกอนจะทำปฏิกิริยากับอลูมินัมเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในรูปของ Aluminosilicate ตกตะกอนบริเวณผนังเซลล์ของรากข้าว และมีผลยับยั้งการดูดดึงอลูมินัมที่มากเกินไป ทำให้การดูดดึงอลูมินัมในข้าวลดลง (Hammond, Evans and Hodson, 1995)

4.3) ลดความเป็นพิษของเหล็กและแมงกานีสที่มากเกินไป เนื่องจากซิลิกอนจะส่งเสริมให้รากมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูงขึ้น รากจึงสามารถออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษต่อข้าว (Tadano and Yoshida,1978)

4.4) เพิ่มความต้านทานต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง เนื่องจากซิลิกอนจะตกผลึกในผนังเซลล์ชั้นนอก และเคลือบอยู่ตามผิวของใบหรือส่วนต่างๆ ของลำต้น ทำให้ผนังเซลล์

หนาและแข็งขึ้น (รูปที่ 2.4) จึงเป็นอุปสรรคต่อการเข้าทำลายของโรค แมลง และไร เป็นต้น (Imaizumi and Yoshida, 1958)



รูปที่ 2.4 การสะสมซิลิกอนในใบข้าว (Yoshida, 1965)

4.5) เพิ่มผลผลิตข้าว เนื่องจากซิลิกอนมีความจำเป็นในกรณีที่ต้องการผลผลิตที่สูง เพราะซิลิกอนทำให้ใบข้าวมีลักษณะแข็งและตั้งตรง (Erect leaves) ใบไม่ลู่ (Drooping) ซึ่งเป็นลักษณะดีของใบข้าวที่สามารถจะรับแสงแดดได้มากโดยไม่บังแสงซึ่งกันและกัน ทำให้พื้นที่ใบในการรับแสงมากขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง ขณะที่ต้นข้าวมีความแข็งแรง การล้มของต้นข้าวจึงลดลง และส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น (Imaizumi and Yoshida, 1958; Takahashi, 1968) ส่วนประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นถึง 10 เปอร์เซ็นต์ (Yoshida, 1981)

4.6) ช่วยลดปริมาณการสูญเสียน้ำจากใบจากขบวนการคายน้ำ (Transpiration) เนื่องจากการมี Cuticle ที่หนาขึ้น (Yoshida, 1975)

4.7) ส่งเสริมให้ข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้ดีขึ้นโดยการใส่ซิลิกอนร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เหมาะสม เนื่องจากข้าวที่ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้สูงมักจะมีปริมาณของซิลิกอนในต้นสูงด้วย เพราะผลจากซิลิกอนที่ทำให้การสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ข้าวสร้างแป้งและน้ำตาลได้มากขึ้น ดังนั้น ประสิทธิภาพในการดึงดูดปุ๋ยขึ้นมาใช้จึงสูงขึ้นตามไปด้วย (Yoshida, Naveser and Ramirez, 1969)

5) เหล็ก

ธาตุเหล็ก (Fe) มีบทบาทสำคัญมากต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินนาหลังจากถูกน้ำขัง โดยก่อนถูกน้ำขังเหล็กจะอยู่ในรูปเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ซึ่งละลายน้ำได้น้อย แต่เมื่อน้ำขังเฟอร์ริกไอออนถูกรีดิวซ์เป็นเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ซึ่งละลายน้ำได้ดี และข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ได้ง่าย โดยหลังจากดินถูกน้ำขังความเข้มข้นของ Fe^{2+} ในสารละลายดินจะเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็วจนถึงจุดสูงสุดก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน เนื่องจาก Fe^{2+} ทำปฏิกิริยากับ CO_2 กลายเป็น $FeCO_3$ ซึ่งละลายน้ำได้น้อยลง ดินนาที่เป็นกรดเมื่อถูกน้ำขัง ความเข้มข้นของ Fe^{2+} ที่เพิ่มขึ้นในสารละลายดินอาจสูงถึง 600 ppm ถ้าเป็นดินเปรี้ยวจัดหลังจากขังน้ำได้ 2-3 สัปดาห์ ปริมาณ Fe^{2+} ในสารละลายดินอาจสูงถึง 5,000 ppm (Ponnamperuma, 1976) ในระยะนี้หากทำการปักดำต้นกล้าจะได้รับอันตรายจากความเป็นพิษของเหล็กในดิน โดยทั่วไปความเข้มข้นของ Fe^{2+} ใน สารละลายดินที่ประมาณ 200 ppm จะทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโต แต่ถ้า Fe^{2+} สูงถึง 600 ppm ขึ้นไปจะทำให้ข้าวตายได้ สำหรับดินด่าง และดินที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (Calcareous soil) เมื่อน้ำขัง Fe^{2+} ในสารละลายดินจะเพิ่มขึ้นเพียง 1-20 ppm ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการของข้าว ดังนั้นมักจะพบว่าข้าวที่ปลูกในดินดังกล่าวจะเกิดโรคขาดธาตุเหล็ก (Chlorosis) ปรากฏอยู่บ่อยๆ ขณะที่ดินพวก Latosol ซึ่งมี Fe^{2+} อยู่เป็นจำนวนมากเมื่อใช้ทำนาควรจะหลีกเลี่ยงการไถกลบพวกปุ๋ยพืชสดลงไปในดินเหล่านี้ เพราะอินทรียวัตถุจะส่งเสริมการปลดปล่อย Fe^{2+} ให้ออกมาอยู่ในสารละลายดินมากยิ่งขึ้นเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขัง (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511)

ความเป็นพิษของเหล็กที่เกิดขึ้นในข้าวจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของ Fe^{2+} ในสารละลายดิน ปัจจัยที่ควบคุมปริมาณ Fe^{2+} ในสารละลายดิน คือ pH ปริมาณอินทรียวัตถุ เหล็ก แมงกานีส และระยะเวลาของการขังน้ำ ความเข้มข้นของ Fe^{2+} ที่สูงขึ้นจะลดการดูดดึงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในข้าว (Ponnamperuma, 1965) แต่การเพิ่มขึ้นของ Fe^{2+} มีผลดีต่อข้าว เพราะข้าวเป็นพืชที่ต้องการธาตุเหล็กปริมาณมาก และทนต่อความเป็นพิษของเหล็กสูงกว่าพืชอื่นๆ

6) แมงกานีส

ดินนาในสภาพน้ำขังจะส่งเสริมให้แมงกานีส (Mn) รูปที่เป็นประโยชน์ต่อข้าว คือ แมงกานัส (Mn^{2+}) ละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินเพิ่มขึ้น และจะค่อยๆ ลดลงในเวลาต่อมา (Ponnamperuma, 1965) ปริมาณของ Mn^{2+} ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นประโยชน์ต่อข้าวเมื่อดินมี pH ใกล้เป็นกลาง โดยความเข้มข้นของแมงกานีสที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวอยู่ในช่วง 0.1-0.5 ppm และถ้าสูงเกินกว่า 10 ppm จะเป็นพิษต่อข้าวได้ (Ishizuka et al., 1961; Tanaka and Navasero, 1966a) ขณะที่ดินกรดจัดซึ่งมี pH ต่ำ ความเข้มข้นของแมงกานีสที่ละลายน้ำได้มีปริมาณสูงทำให้เป็นพิษต่อข้าว (Tanado and Yoshida, 1978) การควบคุมการดูดดึงแมงกานีสที่มากเกินไปในข้าว พบว่าดินที่มีปริมาณเหล็กในสารละลายดินสูงจะช่วยป้องกันการดูดดึงแมงกานีสเข้าไปในข้าวมากเกินไปจนเป็นพิษแก่ข้าว ในทางกลับกันถ้าในดินมีปริมาณแมงกานีสในสารละลายดินสูง เหล็กในสารละลายดินจะช่วยป้องกันมิให้ข้าวดูดดึงแมงกานีสเข้าไปมากเกินไปจนเป็นพิษแก่ข้าวได้เช่นกัน (Ishizuka et al, 1961)

7) ซัลเฟอร์

ดินนาในสภาพน้ำขัง ซัลเฟอร์ (S) ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อข้าว คือ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะมีปริมาณลดลง เนื่องจากในสภาพ Reduction SO_4^{2-} จะถูกรีดิวซ์เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e^- \longrightarrow H_2S + 4H_2O$$

H_2S ที่เกิดขึ้นจะเป็นพิษต่อรากข้าว แต่ถ้าในดินมีปริมาณเหล็กอยู่มาก เหล็กในรูป Fe^{2+} จะทำปฏิกิริยากับ H_2S ได้เป็น FeS ดังสมการ

$$Fe^{2+} + H_2S \longrightarrow FeS + 2H^+$$

FeS ที่เกิดขึ้นนี้จะช่วยป้องกันความเป็นพิษของ H_2S ต่อรากข้าว ในบางกรณีที่ดินมีปริมาณเหล็กอยู่น้อย เช่น ดินทราย (Sandy) และ ทรายแป้ง (Silty) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย จะทำให้เกิด H_2S ในดินสูง เพราะมีเหล็กที่จะมาทำปฏิกิริยากับ H_2S ให้เกิดเป็น FeS ได้น้อย จึงมีผลทำให้ H_2S สะสมอยู่ในดินเป็นจำนวนมากถึงขั้นเป็นพิษต่อรากข้าว โดยรากจะเน่าเป็นสีดำ และไม่สามารถจะดูดอาหารได้ ส่วนอัตราการเกิด SO_4^{2-} ขึ้นกับคุณสมบัติของดิน เช่น ปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในดิน และ pH ของดิน เป็นต้น ในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลาง และดินที่เป็นด่าง ปริมาณ SO_4^{2-} สูงสุดในดินเท่ากับ 1,500 ppm และจะลดลงเป็น 0 ภายใน 6 สัปดาห์หลังจากขังน้ำ ส่วนในดินกรดซึ่งดินมี pH ต่ำ และความเข้มข้นของ Fe^{2+} ในสารละลายสูง จะทำให้ H_2S ในสารละลายดินสะสมอยู่ในดินน้อยและไม่เป็นอันตรายต่อรากข้าว (Ponnamperuma, 1972)

2.1.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อดินถูกน้ำขังกระบวนการต่างๆ โดยเฉพาะกระบวนการทางชีวเคมี ที่เกิดจากจุลินทรีย์ในดินจะทำให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลงไป โดย pH ของดินไม่ว่าจะเป็นดินกรดหรือดินด่าง หลังจากดินถูกน้ำขัง 2-3 สัปดาห์ pH ของดินจะปรับเข้าสู่ความเป็นกลางและอยู่ในช่วง 6-7 (Ponnamperuma, 1976; Patrick and Reddy, 1978) ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับข้าวคือ 6.6 เพราะว่าที่ pH ระดับนี้จุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรียวัตถุแล้วปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกมาได้มาก ทำให้ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น อีกทั้งทองแดง สังกะสี และโมลิบดินัม มีปริมาณเพียงพอ ความเข้มข้นของสารประกอบต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อการดูดดึงธาตุอาหารหรือเป็นพิษต่อข้าว เช่น เหล็ก อลูมินัม แมงกานีส และกรดอินทรีย์อยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อข้าว (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) ขณะที่ในดินเปรี้ยวจัดซึ่งมีค่า pH ต่ำ มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง และมี

Reducible Fe น้อย เมื่อดินถูกน้ำขัง pH จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การควบคุมการเปลี่ยนแปลง pH ของดินพบว่า ในดินโซดิก (Sodic soil) ถูกควบคุมโดยระบบ Na_2CO_3-CO_2-H_2O ส่วนดินด่างจัด (Calcareous soil) ถูกควบคุมโดยระบบ CO_3-CO_2-H_2O ขณะที่ในดินพวก Ferruginous ถูกควบคุมด้วยระบบ $Fe(OH)_3$-Fe^{2+} ซึ่งจะควบคุมความเป็นกรดของดินให้อยู่ในช่วง 6.5-7 ยกเว้นในดินเปรี้ยวจัดซึ่งค่า pH จะไม่เพิ่มขึ้นในช่วง pH ดังกล่าว (Ponnamperuma, Castro and Valencia, 1969) ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลงเมื่อถูกน้ำขัง ได้แก่ เนื้อดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน การสะสมแอมโมเนียม การเปลี่ยนรูปของเหล็กจากเฟอร์ริกไอออนไปเป็นเฟอร์รัสไอออน ปริมาณแมงกานีส การเปลี่ยนรูปของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ และการเปลี่ยนรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นแก๊สมีเทน เป็นต้น (Ponnamperuma, 1976)

- **ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่า pH**

1) เมื่อ pH ปรับเข้าสู่ความเป็นกลางความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการละลายของฟอสเฟตในดินสูงขึ้น เพราะสารประกอบพวก Ferric phosphate จะถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูปของ Ferrous phosphate มีผลทำให้ฟอสเฟตละลายออกมาอยู่ในสารละลายได้มากขึ้น

2) กระบวนการ Hydrolysis ของ Al-P และ Fe-P ในดินที่เป็นกรด เมื่อถูกน้ำขัง pH ของดินจะสูงขึ้น สารประกอบดังกล่าวจึงถูก Hydrolyze ได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นขบวนการที่สำคัญขบวนการหนึ่งที่ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อข้าวได้มากขึ้น (Fujiwara, 1950)

3) เมื่อ pH ปรับเข้าสู่ความเป็นกลางจะเหมาะสมสำหรับกระบวนการ Mineralization ของอินทรียวัตถุในดิน การสะสมสารประกอบพวก Organic acid ต่างๆ ซึ่งเป็น Reduction product ในดินจะลดลงเพราะอัตราการสลายตัวของ Organic acid เหล่านี้โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจะดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว

4) ค่า pH ที่ใกล้เป็นกลางและเป็นด่างจะส่งเสริมขบวนการ Denitrification ให้ดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วมากกว่าเมื่อดินเป็นกรด (De and Sakar, 1936)

5) เมื่อ pH ของดินใกล้เป็นกลางและด่าง จะส่งเสริมขบวนการ Sulfate reduction ในดินให้เกิดได้อย่างรวดเร็ว โดยซัลเฟตในดินจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นแก๊ส H_2S ทั้งนี้เพราะระดับ pH ของดินดังกล่าวเหมาะสมกับกิจกรรมของพวก Sulfur reducing bacteria ผลที่เกิดขึ้น คือ ถ้าดินมีปริมาณซัลเฟตต่ำอยู่แล้ว อาจจะมีผลทำให้ข้าวขาดธาตุซัลเฟอร์ได้ หรือถ้าดินมีปริมาณซัลเฟตสูงโอกาสที่ข้าวจะได้รับอันตรายจากความเป็นพิษของแก๊ส H_2S ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสะสมอยู่ในดินนั้นก็อาจจะเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกัน

6) ดินที่มีระดับ Active Fe เหล็กต่ำๆ การที่ pH ของดินสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณ Fe^{2+} ในสารละลายดินลดลง และอาจเกิดผลเสียขึ้นได้ เพราะถ้าระดับเหล็กในดินลดลงมากจนไม่เพียงพอแก่ความต้องการของข้าวจะทำให้ข้าวขาดธาตุเหล็ก ประกอบกับรากของข้าวมีอำนาจในการ Oxidized ดังนั้น จึงทำให้สารที่อยู่ในสภาพรีดักชัน ซึ่งรวมทั้ง Fe^{2+} ด้วยจะถูก Oxidized การขาดธาตุเหล็กก็จะมีความรุนแรงยิ่งขึ้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511)

2.1.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ

อินทรียวัตถุ (Organic matter) ในดินมีความสำคัญอย่างยิ่งในแง่ของการควบคุมหรือมีอิทธิพลต่อสมบัติของดิน ทั้งสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ อันจะส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินนาในสภาพน้ำขัง การสลายตัวของอินทรียวัตถุจะแตกต่างไปจากดินในสภาพไม่ขังน้ำเป็นอย่างมาก เมื่อใส่อินทรียวัตถุลงไปขณะน้ำขังจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งผลิตผล (Products) ที่ได้ คือ เกิดการสะสมแก๊สมีเทน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ Volatile Fatty Acid (VFA) เช่น Acetic acid และ Butyric acid เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งถ้าเกิดการสะสมมากๆ จะเป็นพิษต่อรากข้าวได้ (Watanabe, 1984) ดังนั้น การใส่อินทรียวัตถุที่ยังสลายตัวไม่ดีลงไปในดินนาขังน้ำเมื่อไถกลบแล้วควรทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะปลูกข้าวต่อไปเพื่อที่จะให้สารที่เป็นพิษต่อพืชนั้นสลายตัวหรือเจือจางไป อินทรียวัตถุ โดยบทบาทของอินทรียวัตถุในดินที่สำคัญ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) มีดังนี้

1) ผลทางด้านกายภาพ (Physical effects)

1.1) อินทรียวัตถุมีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมอนุภาคจะส่งเสริมให้อนุภาคดินจับตัวกันเป็นก้อน (Aggregation) ก่อให้เกิดโครงสร้างของดินที่ดี สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มาก ขณะเดียวกันก็ทำให้ดินมีสภาพร่วนซุย และระบายอากาศดี การที่ดินยึดตัวกันได้ดีขึ้นนี้จะช่วยให้ยากต่อการแตกสลายและถูกพัดพาเอาหน้าดินซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ออกไป

1.2) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน เนื่องจากอินทรียวัตถุมีพื้นที่ผิวมากจึงทำให้อุ้มน้ำได้เกิน 20 เท่าของน้ำหนักตัว จึงมีผลอย่างมากต่อการอุ้มน้ำในดิน การที่ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงก็จะมีผลทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น ลักษณะดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจนในดินทรายที่มีการเพิ่มอินทรียวัตถุให้มากขึ้น ความชื้นในดินจะคงอยู่ได้นานกว่าการไม่ใส่อินทรียวัตถุ การจัดการดังกล่าวจะมีผลอย่างมากต่อความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินที่พืชจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

1.3) สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินอย่างฉับพลัน จากการที่อินทรียวัตถุมีพื้นที่ผิวจำนวนมากจึงสามารถเก็บความร้อนไว้กับตัวได้มาก จึงเป็นฉนวนต่อความร้อนของแสงแดดไม่ให้กระทบกระเทือนต่อรากพืชมากเกินไป

2) ผลทางด้านเคมี (Chemical effects)

2.1) เป็นธาตุอาหารพืชโดยตรง เนื่องจากอินทรียวัตถุได้จากการสลายตัวของซากพืช ซากสัตว์ ดังนั้นจึงมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองค่อนข้างครบถ้วนที่พืชจะใช้ในการเจริญเติบโตรวมถึงธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อยที่สำคัญ เช่น Fe, Cu, Zn และ Mo เป็นต้น ถึงแม้ว่าธาตุอาหารจะมีปริมาณไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี แต่ธาตุอาหารเหล่านี้จะค่อยๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชระยะยาว โดยปริมาณการปลดปล่อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอินทรียวัตถุแต่ละชนิด แต่ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น อากาศร้อนและฝนตกชุก ทำให้อินทรียวัตถุในดินสลายตัวอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเหลือน้อยลงเป็นลำดับ ดังนั้นการใส่อินทรียวัตถุในดินเพื่อเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารจึงมีความจำเป็น

2.2) ช่วยให้ดินมีความสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชได้สูง เนื่องจากอินทรียวัตถุมีพื้นที่ผิวหน้าสัมผัสมากและมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเป็นส่วนใหญ่ จึงมีความสามารถดูดซับประจุบวกไว้ได้มาก กล่าวคือ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, C.E.C.) ได้สูงกว่าดินเหนียวชนิดอื่น เนื่องจากอินทรียวัตถุที่สลายตัวดีแล้ว C.E.C. เฉลี่ยสูงถึง 300 meq/100 กรัมของฮิวมัส (Goh, 1980) สูงกว่าของแร่ดินเหนียวประมาณ 2-30 เท่าตัว จึงเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารพืช และยึดเหนี่ยวธาตุอาหารไม่ให้ถูกชะล้าง ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ ไว้ได้

2.3) ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (Buffer capacity) เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินมีประจุลบเป็นจำนวนมาก และมีความสามารถดูดซับแคตไอออนได้สูง จึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดินได้ดี

2.4) ช่วยลดความเป็นพิษของธาตุบางชนิด เช่น Fe Al และ Mn ซึ่งมีอยู่มากในดินกรด โดยฮิวมัสจะรวมตัวกับธาตุเหล่านี้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว และอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำทำให้ความเป็นพิษของธาตุเหล่านี้น้อยลง

3) ผลต่อจุลินทรีย์ดิน (Biological effects)

3.1) เป็นการเพิ่มแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ดิน อินทรียวัตถุถือว่าเป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ จึงมีผลทำให้ปริมาณและกิจกรรมเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชในดิน นอกจากนี้การเจริญของเชื้อจุลิทรีย์ทำให้เกิดกรดอินทรีย์หลายชนิด ซึ่งกรดอินทรีย์บางชนิดพืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง และบางชนิดมีผลต่อการปลดปล่อยและเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอีกทีหนึ่ง

3.2) การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์จะช่วยยับยั้งการเจริญและความสามารถในการก่อให้เกิดโรคพืชของเชื้อโรคได้ โดยสารปฏิชีวนะที่ขับออกมาจากเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด

จากการศึกษาปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาของประเทศไทย พบว่า ดินนาในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคใต้ มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินประมาณ 1.1-2.0 % ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าน้อยกว่า 1.0 % (นิลประไพ และ คณะ, 2528) นอกจากนี้ยังพบว่า ลักษณะเนื้อดินมีอิทธิพลต่อปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งดินนาในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคใต้ มีลักษณะเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว หรือดินร่วนปนดินเหนียว จะมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าดินนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย หรือดินทรายปนดินร่วน (นิลประไพ และคณะ, 2528; Motomura, Seirayoskol and Cholitkul, 1984)

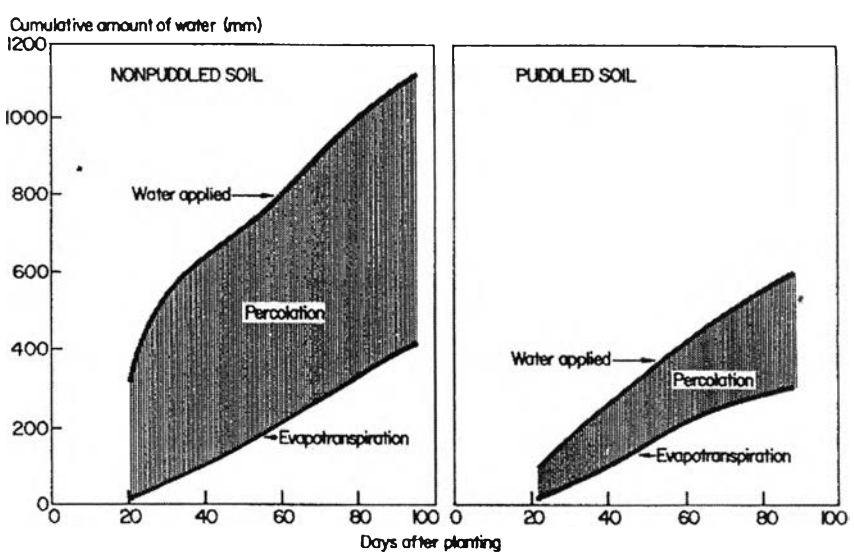
2.1.4 ลักษณะทางกายภาพของดินนา

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของดินนา มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการปลูกข้าว เนื่องจากดินจะอยู่ในสภาพเปียกและแห้งสลับกัน เมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขังสมบัติทางกายภาพจะเปลี่ยนไปจากเดิมที่อยู่ในสภาพแห้ง ดินนาส่วนใหญ่เป็นดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างเหนียว ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียว (Clay) และทรายแป้ง (Silt) อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้ดินมีคุณสมบัติในการขังน้ำได้ดี เมื่อดินถูกน้ำขังอนุภาคดินเหนียวและทรายแป้งที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนและบาง (Platety) จะตกตะกอนเรียงซ้อนทับกันอย่างมีระเบียบในทางราบ ทำให้สามารถอัดตัวกันได้แน่นที่สุด และเมื่อดินนานี้แห้งลงอนุภาคของดินเหล่านี้จะมีพื้นที่เกาะและประสานกันได้มากที่สุดเช่นกัน จึงมีผลทำให้ดินมีลักษณะแข็งมากเมื่อแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณผิวดินบนส่งผลให้การไถพรวนดินนาขณะแห้งอยู่นั้นทำได้ลำบาก แต่เมื่อดินนาได้รับน้ำจนเปียกชุ่มอนุภาคของดินที่เกาะกันอยู่อย่างแน่นทึบนั้นจะกลับหลวมตัวขึ้นอีก โดยอำนาจการแทรกซึมของโมเลกุลของน้ำที่เรียกว่า Hydrating Action ทำให้ดินอ่อนและสามารถไถได้โดยสะดวก แต่ดินนาในสภาพที่ชุ่มน้ำเมื่อถูกไถจะยังคงจับกันเป็นก้อนและมีความเหนียวอยู่ยังไม่เหมาะที่จะทำการปักดำ จึงต้องมีการเทือก (Puddling) ก่อนซึ่งเป็นการทำให้ดินนิ่มและเหลว โดยจะทำหลังจากปล่อยน้ำเข้ามาขังในนาพอสมควร แล้วทำการคราดดินซ้ำไปซ้ำมาหลายๆ ครั้ง โดยใช้คราดจนกระทั่งก้อนดินแตกสลาย และอนุภาคของดินแพร่กระจายออกมาแขวนลอยอยู่ในน้ำและทำให้น้ำกลายเป็นตมไป จากนั้นปรับระดับดินให้เสมอกันเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการปลูกข้าวต่อไป (De Datta and Barker, 1978; Adachi, 1992; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินนา**

ดินนาเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขัง สมบัติทางกายภาพจะเปลี่ยนไปจากเดิมที่อยู่ในสภาพแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าดินถูกไถคราดให้เป็นตมสมบัติทางกายภาพของดินจะเปลี่ยนแปลงไปมาก แต่จะเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยสักแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพเดิมของดิน เช่น ชนิดของเนื้อดิน และสภาพให้ซึมได้ (Permeability) ของน้ำในดิน เป็นต้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) ประโยชน์ของการทำเทือก เช่น การปักดำทำได้ง่าย สะดวกและรวดเร็วขึ้น ช่วยควบคุมวัชพืช โดยลดการแข่งขันระหว่างวัชพืชและข้าวในระยะแรกของการเจริญเติบโต ทำให้ข้าวที่ถูกปักดำถูกรบกวนโดยวัชพืชน้อยลง (De Datta and Barker,1977; Adachi, 1992) การกระจายตัวของช่องว่างขนาดใหญ่ (Macroporosity) ลดลง และช่องว่างขนาดเล็กจะเพิ่มมากขึ้น (Microporosity) ผลที่ตามมาคือ สภาพให้ซึมได้ของน้ำในดินจะลดลง ความจุอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ของดินสูงขึ้น ส่งผลให้ดินสามารถอุ้มน้ำไว้ได้นานขึ้น (Jamison, 1953; De Datta and Kerim, 1974; Sharma and De Datta, 1985) ส่วนการสูญเสียน้ำในนาจากการไหลซึมผ่าน (Percolation) ชั้นของดิน และการคายระเหย (Evapotranspiration) จะลดลง 2 เท่าเมื่อเทียบกับดินที่ไม่ได้ทำเทือก (รูปที่ 2.5) ซึ่งการทำเทือกเป็นการปฏิบัติที่จำเป็นสำหรับดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบและมีอัตราการซึมของน้ำสูง (Sanchez, 1973b) ขณะที่ผลผลิตข้าวในดินที่ทำเทือกเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกโดยไม่ได้ทำเทือกก่อนจะเพิ่มขึ้นจาก 576 กก./ไร่ เป็น 1,264 กก./ไร่ (De Datta et al.,1973)



รูปที่ 2.5 อัตราการไหลซึมผ่านและการคายระเหยในดินที่ทำเทือกและไม่ทำเทือก (De Datta and Kerim, 1974)

อย่างไรก็ตาม การทำเทือกถึงแม้จะมีผลดีต่อการเจริญเติบโตของข้าวแต่ผลกระทบที่เห็นเด่นชัด คือ การทำเทือกต้องใช้น้ำปริมาณที่มากในการเตรียมดินประมาณ 150 มม. ขณะที่ดินไม่ได้ทำเทือกจะใช้น้ำเพียง 50 % ของน้ำที่ใช้ทำเทือกตลอดช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (De Datta et al., 1973) ความต้องการน้ำปริมาณที่มากนี้จะเป็นปัญหากับพื้นที่ที่ขาดน้ำ ผลกระทบอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น ทำให้โครงสร้างของดินเสียไป ดินมีความแข็งและแน่นทึบมากขึ้นเมื่อแห้ง ส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นรวม (Bulk density) สูงขึ้น (Bodman and Rubin, 1948 cited in De Datta and Barker, 1978) ทำให้การไถพรวนในฤดูกาลถัดไปทำได้ลำบาก ดังนั้น ถ้าพื้นที่ที่มีการชลประทานดีและสามารถควบคุมน้ำได้ ขณะที่ใช้ดินนั้นปลูกข้าวอาจปลูกในสภาพที่ดินมีน้ำขังเพื่อช่วยรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเอาไว้และไม่จำเป็นต้องทำเทือกก่อนการปลูกข้าว (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511)

2.2 การใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยลิกไนต์ทางการเกษตร

การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (Agricultural utilization) เป็นการเพิ่มทางเลือกหนึ่งในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อช่วยลดปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากต่อวัน และใช้เป็นแนวทางเตรียมความพร้อมในการจัดการเถ้าลอยที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเมื่อมีการขยายการผลิตไฟฟ้าซึ่งจะทำให้มีปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้นอีกได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

2.2.1 ศักยภาพของเถ้าลอยลิกไนต์ทางการเกษตร

เถ้าลอยลิกไนต์มีศักยภาพที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งทางด้านกายภาพ และทางเคมีได้ ขณะเดียวกันการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ก็อาจก่อให้เกิดผลกระทบทั้งต่อดิน พืช และจุลินทรีย์ดิน โดยการใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยลิกไนต์ทางการเกษตรนั้นสามารถแยกพิจารณาได้ ดังนี้

1) การปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดิน

เถ้าลอยลิกไนต์ส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 10-12 (วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2530; กรมพัฒนาที่ดิน, 2541; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546) มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบปริมาณมากทำให้เถ้าลอยลิกไนต์แสดงความเป็นด่างจัด (Ma et al., 1999; Han and Jiang, 2001) ดังนั้นจึงมีการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุง pH ของดิน เช่น การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาช่วยทำให้ดินกรด (Acidic soil) เป็นกลาง ซึ่งจะต้องใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณที่มากกว่าปกติหลายเท่าในการปรับค่า pH ให้สูงขึ้น (Phung, Lund and Page, 1978; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546) ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในดินที่มีปริมาณแคลเซียมสูง

(Calcareous soil) สามารถยกระดับ pH จาก 8.0 เป็น 10.8 (Page, Elseewi and Straughan, 1979) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 50 % โดยน้ำหนักในดินกรด 2 ชนิด คือ Typic Plinthudult และ Typic Hapludults ทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้น 3.1 และ 3.5 ยูนิต ตามลำดับ และสภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ของดินเพิ่มขึ้นจาก 0.033 เป็น 0.53 Sm^{-1} และ 0.025 เป็น 0.51 Sm^{-1} ตามลำดับ (Lu and Zhu, 2004) อีกทั้งเถ้าลอยลิกไนต์ยังมีองค์ประกอบทางเคมีของธาตุอาหารพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ โดยนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับพืช ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมประโยชน์ เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และซิลิกอน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542; วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2530; U.S.EPA, 1988) ส่วนไนโตรเจนปริมาณที่พบมีน้อยมาก (Adriano et al., 1980) ทั้งนี้ การเป็นแหล่งธาตุอาหารของเถ้าลอยลิกไนต์จะขึ้นกับชนิดแหล่งที่มา และกรรมวิธีในการผลิตถ่านหินลิกไนต์ ซึ่งมีผลต่อธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์

2) การปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดิน

เถ้าลอยลิกไนต์ ประกอบด้วยอนุภาคขนาดทรายแป้ง (Silt) เป็นส่วนใหญ่ (Chang et al., 1977; Ma et al., 1999) โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งในเถ้าลอยลิกไนต์มีประมาณ 63.2 % (Sharma et.al. 1989) เถ้าลอยลิกไนต์เมื่อเติมลงในดินทรายหรือดินเหนียว จะสามารถใช้ปรับปรุงเนื้อดิน (Soil texture) ทำให้โครงสร้างดิน (Soil Structure) ดีขึ้น (Chang et al., 1977) ขณะที่การกระจายขนาดอนุภาคของดินเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในดินร่วนเหนียว (Clay loam) ทำให้เปอร์เซ็นต์อนุภาคทรายแป้งขนาด 0.01-0.15 มม. เพิ่มขึ้นจาก 36.7 % เป็น 56.8 % และอนุภาคดินเหนียวขนาด < 0.002 มม. มีปริมาณลดลงจาก 28.6 % เป็น 14.4 % (Lu and Zhu, 2004) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทั้งในดินทราย (Sand) และดินเหนียว (Clay) มีแนวโน้มที่จะทำให้ดินร่วนขึ้น (Capp, 1978) อีกทั้งการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) ในดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay) มีค่าลดลง ดินมีความพรุนมากขึ้น การแทงผ่านของรากเกิดขึ้นได้ดี และเพิ่มการระบายอากาศของดิน แต่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตราสูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในดินที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (Calcareous soil) และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในดินกรด ทำให้สภาพนำน้ำ (Hydraulic conductivity) ลดลง (Chang et al., 1977) ในดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราสูงทำให้ความจุอุ้มน้ำของดิน (Water holding capacity) มีค่าเพิ่มขึ้น (Adriano and Weber, 2001) ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในดินทราย ทำให้ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน(Available water) เพิ่มขึ้น 7-13 % ในช่วงความดันบรรยากาศ 0.1-0.3 MPa (Gangloff et al., 2000) ทั้งนี้ การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ปรับปรุงดินอาจมีศักยภาพในการทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นโดยการไปลดค่าความหนาแน่นรวมของดิน และเพิ่มปริมาณน้ำ

ที่เป็นประโยชน์ในดินบริเวณรอบ ๆ รากให้มากขึ้น (Aitken and Bell, 1985) แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังได้กล่าวมานี้จะขึ้นอยู่ทั้งคุณสมบัติของเถ้าลอยลิกไนต์ และลักษณะของดินที่ทำการศึกษา

นอกจากนี้ พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ในการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ระยะข้าวงอก ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก 468.71 เป็น 640.96 กก./ไร่ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และเจนจิรา พวงทับทิม, 2547) เช่นเดียวกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 0.50 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 431.87 เป็น 540.45 กก./ไร่ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และสิทธิพร เกตุวรสุนทร, 2547) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในพื้นที่ภาคสนามของประเทศอินเดียในการปลูกข้าวสาลี มัสตาร์ด และข้าวโพด พบว่า ผลผลิตมัสตาร์ดและข้าวโพดเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 1,600 กก./ไร่ อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ผลผลิตข้าวสาลีเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 3,200 กก./ไร่ และลดลงเมื่ออัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์สูงขึ้นแต่ยังมีปริมาณสูงกว่าการไม่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ (Naveen et al., 1998) อีกทั้งการทดลองในเรือนกระจกเพื่อศึกษาผลของเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 0, 2, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักแห้งผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก และองค์ประกอบธาตุอาหารในต้นข้าวที่อายุ 60 วัน พบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตราปานกลาง (2-4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำให้น้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตราสูง (8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และธาตุไนโตรเจน ซัลเฟอร์ แคลเซียม โซเดียม และเหล็ก มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณฟอสฟอรัสและสังกะสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญในต้นข้าว (Sikka and Kansal, 1995) นอกจากนี้เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ตัน/ไร่ ในการปลูกข้าว ส่งผลต่อองค์ประกอบผลผลิตเฉลี่ยข้าวเปลือก ได้แก่ จำนวนเมล็ด/รวง เพิ่มขึ้นจาก 108, 109, 118, 130 และ 137 ตัน/ไร่ ตามลำดับ แต่สำหรับน้ำหนักเมล็ดข้าว/รวงเฉลี่ย 1,000 เมล็ด จะอยู่ในช่วง 27-28 กรัม ซึ่งเป็นอัตราปกติ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และกรมพัฒนาที่ดิน, 2541) อีกทั้งการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 0.25 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 31.25 กก./ไร่ ในการปลูกหญ้าขนที่ใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในหญ้าขนเพิ่มขึ้น และเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับจำนวนครั้งในการตัดที่มากขึ้นทำให้ปริมาณเยื่อใยในส่วนของเฮมิเซลลูโลสมีปริมาณสูงขึ้นและซิลิกอนมีปริมาณลดลงส่งผลให้ความน่ากินของหญ้าขนเพิ่มขึ้น (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และสิริพร สุกใส, 2547) ส่วนการทดลองนำเถ้าลอยลิกไนต์ผสมกับขี้เถ้าแกลบ ทรายหยาบ และขุยมะพร้าว เพื่อเป็นวัสดุปักกิ่งชำเบญจมาศ และคาร์เนชั่น พบว่า เมื่อใช้เถ้าลอยลิกไนต์ผสมกับขุยมะพร้าวอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ทำให้จำนวนรากและความยาวรากในพืชทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นสูงสุด (ปิยนุช ปิยะตระกูล และคณะ, 2543)

2.2.2 ผลกระทบจากการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

1) ผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีของดิน

เถ้าลอยลิกไนต์นอกจากจะมีธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแล้ว ยังมีส่วนประกอบของโลหะหนักที่เป็นพิษ เช่น Cd, Pb, Hg, Ni และ As ปนเปื้อนอยู่ด้วย โลหะหนักทุกชนิดจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่า pH (Siriratpiriya et al., 1985) โดยโลหะหนักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทางเคมีเมื่อ pH ของดินเปลี่ยนไป ค่า pH ที่สูงของเถ้าลอยสามารถลดการละลายของธาตุบางชนิดได้ (Scotti, Silva and Botteschi, 1999) จากการทดลอง พบว่าค่า pH ที่สูงขึ้นเมื่อเติมเถ้าลอย ทำให้ความเข้มข้นของ Fe และ Mn ลดลง เนื่องจากเกิดกระบวนการตกตะกอนของธาตุเมื่ออยู่ในสารละลาย ขณะที่ความเข้มข้นของ Cu, Ni และ Zn มีปริมาณลดลงเช่นกัน (Albanis et al., 1998) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยอัตราที่สูงในดิน และทำให้ค่า pH สูงขึ้นอาจลดความเป็นประโยชน์ของธาตุบางชนิดที่จำเป็นสำหรับการเจริญของพืช (Matsi and Keramidas, 1999; Han and Jiang, 2001) การเติมเถ้าลอยลงในดินที่เป็นดินเหนียว อาจก่อให้เกิดการสะสมจุลธาตุอาหารและธาตุพิษที่เป็นโลหะหนักได้ดีกว่าดินทราย เนื่องจากดินเหนียวมีส่วนที่เป็น Clay Fraction ซึ่งจุลธาตุอาหารและธาตุพิษที่เป็นโลหะหนักบางชนิดมีความสามารถยึดเกาะ (Fixation Capacity) ในส่วนที่เป็น Clay Fraction ได้ดี ขณะที่ดินทรายมีส่วนที่เป็น Clay Fraction น้อย (Dias and Polo, 1988) ดังนั้นน้ำที่ชะล้างผ่านดินเหนียวลงสู่ใต้ดินจึงไม่ค่อยมีการปนเปื้อนโลหะหนัก (Genevini et al., 1984)

2) ผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของดิน

เนื่องจากเถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานทำให้การเติมเถ้าลอยลงในดินเป็นสาเหตุให้เกิดการก่อซีเมนต์ (Cementation) ขึ้นในดินนั้นได้ โดยอาจทำให้การไหลซึมของน้ำ และการชอนไชของรากพืชเป็นไปได้ลำบาก โดยการเติมเถ้าลอยที่เป็นด่าง (pH 12.5) อัตราที่มากกว่า 20 % โดยน้ำหนักในดินที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (Calcareous soil) และในอัตราที่มากกว่า 10 % โดยน้ำหนักในดินกรดทำให้สภาพนำน้ำ (Hydraulic conductivity) ของดินลดลง (Chang et al., 1977) ขณะที่เมื่อเติมเถ้าลอยที่เป็นกรดลงในดินร่วนปนทรายทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิคได้ (Pozzolanic Reaction) (Furr et al., 1978) แต่ทั้งนี้ผลจากการเป็นสารปอซโซลานของเถ้าลอยเมื่อเติมลงดินแล้วนั้นยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเถ้าลอยนั้นๆ และลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณนั้นมาก่อน (Weeldreyer and Fine, 1981)

3) ผลกระทบต่อจุลินทรีย์ดิน

งานวิจัยที่ศึกษาถึงผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ยังมีอยู่น้อย แต่จากการศึกษาที่มีอยู่นั้นพบว่า การเติมเถ้าลอยทำให้การหายใจของจุลินทรีย์ดินลดลงครึ่งหนึ่งในดินทราย และลดลงเล็กน้อยในดินร่วนปนทราย (Wong and Wong, 1986) ขณะที่การเติมเถ้าลอยอัตราปานกลางลงในดินร่วนปนทรายแป้งทำให้การหายใจของจุลินทรีย์ดินลดลงเช่นกัน และน่าจะเป็นผลมาจากความเป็นพิษจากโลหะหนักที่มีในเถ้าลอย (Arthur et al., 1984) ส่วนการเติมเถ้าลอยในดินร่วนปนทรายจะลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินในกระบวนการ Nitrification ลง ซึ่งน่าจะเป็นผลกระทบจากความเป็นด่างจัดของเถ้าลอยที่มี pH 12 (Cervelli et al., 1986)

2.3 ฟางข้าว

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรรม มีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 79.9 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 24.93 % ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย ฟางข้าวจึงเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมาก หาได้ง่าย และมีราคาถูก จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และต้องมีการจัดการที่ดีและเหมาะสม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) ดังนี้

2.3.1 การจัดการฟางข้าว

การจัดการฟางข้าวมีความสำคัญมากต่อปริมาณธาตุอาหารสำหรับข้าว โดยฟางข้าวถือเป็นแหล่งของวัสดุอินทรีย์หลักที่สำคัญของชาวนา ประมาณ 40 % ของไนโตรเจน 80 -85 % ของโพแทสเซียม 30-35 % ของฟอสฟอรัส และ 40-50 % ของซัลเฟอร์ที่ข้าวดูดดึงขึ้นไปและจะสะสมอยู่ในส่วนของฟางข้าว (Doberman and Fairhurst, 2002) โดยทั่วไปเกษตรกรมีการจัดการฟางข้าวหลายวิธี ดังนี้

1) การเผาฟางข้าว (Burning)

การเผาฟางข้าว เป็นวิธีที่ชาวนาส่วนมากนิยมทำหลังการนวดข้าว เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก และประหยัดเวลาในการเตรียมดิน สามารถที่จะกำจัดวัชพืช แมลงศัตรูพืช ทำลายโรคแมลงที่ติดอยู่กับฟางได้ แต่อาจก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศและเกิดผลกระทบต่อดิน เนื่องจากความร้อนจากการเผาฟางข้าวจะแผ่ไปทั่วผิวดินทำให้ดินมีอุณหภูมิสูง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน (Hungerford et al., 1991) ดังนี้

1.1) โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลงไป โดยทำให้อนุภาคของดินจับตัวกันแน่นและแข็ง ส่งผลต่อความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มขึ้น และการชอนไชของรากพืชในดินเป็นไปได้ยาก

1.2) เกิดการสูญเสียธาตุอาหาร โดยที่ธาตุคาร์บอนในดินจะแปรสภาพกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกไปสู่บรรยากาศ และการเผาฟาง 1 ตัน/ไร่ ทำให้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูญเสียไป 6.9, 0.8 และ 15.6 กก./ไร่ ตามลำดับ (ประเสริฐ สองเมือง, 2543)

1.3) จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินถูกทำลายไป ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินลดลง เช่นการตรึงไนโตรเจนมีประสิทธิภาพลดลง และการเผาผิวหน้าดินอาจก่อให้เกิดการแพร่ระบาดของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคกับพืชที่เพาะปลูก เนื่องจากเกิดความไม่สมดุลในระบบนิเวศน์ของจุลินทรีย์ดิน

1.4) เกิดการสูญเสียน้ำในดิน เพราะการเผาทำให้ผิวหน้าดินมีอุณหภูมิสูงถึง 95 ^{0}C ทำให้น้ำในดินระเหยออกสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว (Campbell et al., 1995)

2) การไถกลบฟางข้าว (Incorporation)

การไถกลบฟางข้าว มีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน และปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ รวมถึงทดแทนธาตุอาหารบางส่วนที่พืชนำไปใช้และติดไปกับผลผลิต เป็นวิธีที่ช่วยเก็บรักษาและสำรองธาตุอาหารไว้ในนาข้าวได้ในระยะยาว การไถกลบฟางข้าวต้องทำก่อนปลูกข้าว 1 เดือน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายในฟางข้าวที่สมบูรณ์ (วราภรณ์ คำบุญเรือง, 2538) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ชาวนานิยมไถกลบฟางข้าวหลังจากนวดข้าวแล้ว แต่การไถกลบฟางข้าวจำเป็นต้องใช้รถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่และต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ทำให้ชาวนาบางส่วนนิยมที่จะเผาฟางข้าวแทน (ประเสริฐ สองเมือง, 2543)

3) การเคลื่อนย้ายฟางข้าวออกจากพื้นที่ (Removal of straw)

การเคลื่อนย้ายฟางข้าว เป็นวิธีนำฟางออกไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ใช้เป็นอาหารหรือรองพื้นคอกสัตว์ ใช้ในการเพาะเห็ดฟาง เป็นแหล่งเชื้อเพลิง และใช้คลุมแปลงผัก เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยการสูญเสียธาตุอาหารพืชโดยวิธีนี้เกิดขึ้นน้อยกว่าการเผาฟาง (ประเสริฐ สองเมือง, 2543) และการเคลื่อนย้ายฟางออกไปจะสูญเสียธาตุโพแทสเซียม และซิลิกอนในดินเป็นจำนวนมากกว่าธาตุอื่นๆ โดยการเคลื่อนย้ายฟางข้าว 1 ตันจะสูญเสียโพแทสเซียมและซิลิกอนไป 1.92-2.72 และ 6.4-11.2 กก./ไร่ ตามลำดับ (Doberman and Fairhurst, 2002)

4) การปล่อยฟางข้าวทิ้งไว้ในนาข้าว (Spread in the field)

การปล่อยฟางข้าวทิ้งไว้ในนาข้าว คือการทิ้งฟางไว้ในนาเพื่อให้ผุสลายเองตามธรรมชาติ ซึ่งอาจต้องใช้เวลานาน แต่ธาตุอาหารพืชทั้งหมดจะกลับคืนสู่นาข้าว

2.3.2 การใช้ประโยชน์จากฟางข้าว

การใช้ประโยชน์จากฟางข้าวทำได้หลายอย่าง แต่ส่วนใหญ่นิยมนำฟางมาใช้ในการเพาะเห็ด และทำปุ๋ยหมัก ดังนี้

1) การใช้ฟางข้าวเพาะเห็ด

การเพาะเห็ดฟางส่วนใหญ่จะใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิต เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูก สามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่าวัสดุเพาะชนิดอื่นๆ มีปริมาณธาตุอาหารสูง การเก็บรักษาฟางข้าวทำได้โดยสะดวก ทำให้ต้นทุนในการเพาะเห็ดฟางต่ำ และสามารถทำได้ตลอดทั้งปี จากการสำรวจพบว่าพื้นที่ปลูกข้าว 1 ไร่ ถ้าได้ข้าวเปลือก 100 ถัง จะมีฟางข้าวเหลือประมาณ 3,000 กก. การเพาะเห็ดฟางโดยทั่วไปถ้าใช้ฟางแห้ง 10 กก. จะผลิตเห็ดฟางได้ 1 กก. ดังนั้นฟางข้าว 3,000 กก. จะได้เห็ดสด 300 กก. นับเป็นปริมาณที่สูงมาก และขายได้ราคาดี เนื่องจากเห็ดฟางมีรสดี มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าพืชผักหลายชนิด และไม่มีการใช้สารฆ่าแมลง อีกทั้งมีการคิดค้น ดัดแปลงวัสดุเพาะ วิธีเพาะ และอาหารเสริมเพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้มาก ดังนั้น การส่งเสริมการเพาะเห็ดฟางเพื่อเป็นอาชีพหลัก หรือใช้เป็นอาชีพเสริมหลังฤดูทำนาเพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร จึงเป็นสิ่งที่ควรสนับสนุนมากทางหนึ่ง (วารสารเห็ด, 2525)

2) การทำปุ๋ยหมักฟางข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

ปุ๋ยหมักฟางข้าว (Rice straw compost) คือ ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำฟางข้าวมาหมักจนเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดเกิดเป็นสารอินทรียวัตถุสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในการผลิตปุ๋ยหมักจะนิยมใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากฟางข้าวมีปริมาณการเกิดขึ้นประมาณ 25.45 ล้านตันต่อปี ซึ่งนับเป็นปริมาณที่สูงมาก แต่ถ้านำมาทำเป็นปุ๋ยหมักจะช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารจากฟางข้าวที่เกิดจากการที่ชาวนานิยมเผาฟางได้เป็นอย่างดี เนื่องจากปัจจุบันการทำปุ๋ยหมักจะนิยมใช้สารเร่งพด.1 ที่ประกอบไปด้วยเชื้อแบคทีเรียแอคติโนมัยซีส และรา ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสูงในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ เพื่อผลิตปุ๋ยหมักให้ใช้ได้ในช่วงระยะเวลาอันสั้น และก่อนที่จะใช้ประโยชน์จากปุ๋ยหมักฟางข้าวนั้นต้อง

มีการตรวจสอบก่อนว่าสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่เกิดผลเสียต่อพืช โดยมีหลักการพิจารณา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) ดังนี้

2.1) หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์และสะดวกต่อการปฏิบัติในภาคสนาม มีดังนี้

2.1.1) สี : มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือดำ

2.1.2) ลักษณะวัสดุ : มีลักษณะยุ่ย ละเอียด แยกขาดออกจากกันได้ง่าย

2.1.3) กลิ่น : ไม่มีกลิ่นเหม็นแต่มีกลิ่นคล้ายลักษณะดินธรรมชาติ

2.1.4) ความร้อนในกองปุ๋ย : อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิ ภายนอก

2.1.5) การเจริญของพืชบนกองปุ๋ย : เมล็ดพืชงอก และเจริญเติบโตบนกองปุ๋ยหมักได้

2.1.6) การวิเคราะห์ทางเคมี : อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ไม่เกิน 20:1

2.2) คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ต่างๆ จะมีคุณสมบัติบางประการแตกต่างกัน ดังนั้น จึงได้กำหนดคุณภาพและมาตรฐานเป็นแนวทางที่จะยึดเป็นหลักเกณฑ์ของปุ๋ยหมักที่ดี และเมื่อใส่ลงดินแล้วไม่ทำให้เป็นอันตรายต่อพืช ดังนี้

2.2.1) ค่า C/N ratio ไม่เกิน 20:1

2.2.2) เกรดปุ๋ยไม่ต่ำกว่า 0.5-0.5-1.0 (% ของ N, P_2O_5, K_2O)

2.2.3) ความชื้นไม่เกิน 35-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.2.4) ปริมาณอินทรียวัตถุประมาณ 25-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.2.5) ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.0-8.0

2.2.6) ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 3.5 เดซิซีเมนต่อเมตร

2.2.7) ไม่มีวัสดุอื่นเจือปน

2.3.3 ปริมาณธาตุอาหารในฟางข้าวและปุ๋ยหมักฟางข้าว

ปริมาณธาตุอาหารในฟางข้าวก่อนนำมาทำปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักฟางข้าว จำเป็นต้องทำการศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีก่อนนำไปใช้ เพื่อประเมินความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่มีอยู่ว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่ ซึ่งลักษณะสมบัติทางเคมีของฟางข้าวโดยเฉลี่ย คือ % N, % P_2O_5, % K_2O, % C, C/N ratio และ ค่า pH เท่ากับ 0.55, 0.09, 2.39, 48.82, 89 และ 8.2 ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546) ขณะที่ลักษณะสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าวจะแตกต่างกันไปขึ้นกับคุณสมบัติและแหล่งที่มาของฟางข้าว (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าว (Tanaka, 1978)

องค์ประกอบ	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
pH	9.4	5.9	7.9
C (%)	13.3	1.4	7.9
C/N ratio	12:1	20:1	20:1
N (%)	1.07	0.07	0.39
P_2O_5 (%)	0.57	0.03	0.19
K_2O (%)	2.22	0.09	0.70
CaO (%)	1.49	0.08	0.45
MgO (%)	0.49	0.02	0.13
Na_2O (%)	0.45	0.01	0.13
MnO (ppm)	600.00	41.00	248.00
B (ppm)	11.9	0.3	1.9
SiO_2 (%)	16.4	0.01	4.5

2.3.4 ผลของปุ๋ยหมักฟางข้าวต่อดิน

1) สมบัติทางกายภาพของดิน

เนื่องจากปุ๋ยหมักที่ใส่ลงในดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ทำให้อนุภาคดินมีการจับตัวเป็นก้อนได้ดีขึ้น ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน ลดความหนาแน่นของดิน ช่วยให้เกิดความสะดวกในการไถพรวน และการเตรียมดิน การระบายอากาศของดินเพิ่มมากขึ้น ทำให้ระบบรากของพืชสามารถแผ่กระจายในดินได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งมีผลให้พืชดูดธาตุอาหารได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยหมักยังช่วยในด้านการซึมผ่านของน้ำและความสามารถ

ในการอุ้มน้ำของดินให้ดีขึ้น ทำให้ดินคงความชุ่มชื้นได้ยาวนานกว่าในดินที่มีโครงสร้างไม่ดี ในลักษณะดังกล่าวจะมีผลทางอ้อมต่อการช่วยควบคุมการเกิดการชะล้างพังทลาย (Soil erosion) ของหน้าดินได้อีกด้วย (Cosico, 1985; lm, 1982)

2) สมบัติทางเคมีของดิน

การใส่ปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ซึ่งเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินโดยตรง ถึงแม้จะไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี แต่ปุ๋ยหมักจะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารให้เป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาว ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้หลายชนิด ดังนั้นจึงมีทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองค่อนข้างครบถ้วนที่พืชจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต รวมถึงธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (Stefen, 1979)

ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (C.E.C.) ค่อนข้างสูง ซึ่งจะมีส่วนให้ปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปประจุบวกบางชนิดถูกดูดยึดไว้ไม่ให้สูญเสียไป และพืชก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่อพืช นอกจากนี้ในบางกรณีปุ๋ยหมักยังช่วยลดความเป็นพิษของการที่มีธาตุอาหารมากเกินไป เช่น การใส่ปุ๋ยหมักในดินกรดสามารถช่วยลดความเป็นพิษของอลูมินัม และแมงกานีส โดยช่วยดูดยึดธาตุทั้งสองไว้ ทำให้ละลายในสารละลายดินลดลง (สุรพันธ์ อัตนะรัต และครรชิต ภูรมะโรหิต, 2526) การใส่ปุ๋ยหมักในดินยังเป็นการช่วยเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นต่างของดิน (Buffer capacity) ทำให้การเปลี่ยนแปลงไม่เกิดเร็วเกินไปจนก่อให้เกิดอันตรายต่อพืช

3) สมบัติทางชีวภาพของดิน

การใส่ปุ๋ยหมักลงไปในดินเป็นการเพิ่มแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มปริมาณมากขึ้น และพบว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์ดินเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน ได้แก่ กระบวนการย่อยสลายอินทรียสาร กระบวนการแปรสภาพของอนินทรียสารจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น การเปลี่ยนรูปอนุมูลแอมโมเนียมซึ่งเป็นรูปที่พืชดูดไปใช้ได้ยากให้อยู่ในรูป NO_2^- เป็น NO_3^- ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ง่าย และในกระบวนการตรึงไนโตรเจน เป็นต้น (Gray and William, 1971; Alexander, 1977) รวมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์พวกไมคอไรซา (Mycorrhiza) ที่บริเวณรากพืชด้วย นอกจากนั้นยังพบว่าการใส่ปุ๋ยหมักทำให้ปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน การเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียมีผลช่วยยับยั้งการเจริญและความสามารถในการก่อให้เกิดโรคพืชของเชื้อโรค

โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้รากพืช ดังนั้นจึงมักพบรายงานว่าการใส่ปุ๋ยหมักในดินมีผลช่วยลดปริมาณเชื้อโรคพืชบางชนิดในดิน และมีผลให้พืชเกิดโรคดังกล่าวน้อยลง (Nishio and Kusano, 1980)

การเจริญของจุลินทรีย์ดินทำให้เกิดกรดอินทรีย์หลายชนิด ซึ่งกรดอินทรีย์บางชนิดพืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง บางชนิดมีผลต่อการปลดปล่อยและเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอีกทีหนึ่ง (Kucey, 1983) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อการควบคุมปริมาณไส้เดือนฝอย (Nematode) ในดิน จากผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรามากขึ้นจะทำให้มีปริมาณไส้เดือนฝอยในดินเพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีพบว่าช่วยทำให้ปริมาณของไส้เดือนฝอยลดน้อยลง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) ปรากฏการณ์นี้คล้ายคลึงกับการลดลงของเชื้อโรคในดินดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น

2.4 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (ธีรพร บุศยอังกูล, 2543)

ปทุมธานี 1 หรือสายพันธุ์ PTT90071-93-8-1-1 เป็นข้าวเจ้าหอมพันธุ์ใหม่ของสถาบันวิจัยข้าวที่ได้รับการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรในปี พ.ศ. 2543 เป็นพันธุ์ข้าวหอมไม่ไวต่อช่วงแสง สามารถปลูกได้ตลอดปี คัดเลือกได้จากการผสมพันธุ์ข้าวระหว่างสายพันธุ์ข้าวหอม BKNA6-18-3-2 เป็นสายพันธุ์แม่ และ PTT85061-86-3-2-1 เป็นสายพันธุ์พ่อ ทำการผสมพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2533 สายพันธุ์แม่ BKNA6-18-3-2 มีลักษณะความหอมที่ได้มาจากพันธุ์ข้าวกข 15 หรือขาวดอกมะลิ 105 ที่กลายพันธุ์ อายุเบา สายพันธุ์พ่อ PTT85061-86-3-2-1 ได้ลักษณะความหอมของข้าวหอมมะลิจากจังหวัดร้อยเอ็ดที่ชนะการประกวด ซึ่งจัดโดยกระทรวงพาณิชย์ ในปี พ.ศ. 2525 จากการเริ่มดำเนินการผสมพันธุ์เมื่อ พ.ศ. 2533 ได้ปลูกคัดเลือกพันธุ์แบบสืบตระกูล (Pedigree method) จนถึงชั่วรุ่น (Generation) ที่ 6 แล้วนำไปปลูกศึกษาลักษณะพันธุ์ในปี พ.ศ. 2536 และผ่านการประเมินผลผลิต คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ และทางเคมี ความด้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าว ในงานทดลองการเปรียบเทียบผลผลิตข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงภายในสถานี และระหว่างสถานี ระหว่างปี พ.ศ. 2537 ถึง 2539 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี และสถานีทดลองข้าวในเครือข่ายรวม 5 แห่ง ได้รับการพิจารณาคัดเลือกให้เป็นข้าวสายพันธุ์ดีเพื่อนำไปทดสอบผลผลิตในนาราษฎร์ของภาคกลาง รวม 8 จังหวัด ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2540 ถึง 2542 ปทุมธานี 1 มีเสถียรภาพการให้ผลผลิตสูง และให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงในสภาพแวดล้อมต่างกัน เช่นเดียวกับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และสามารถตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับ 6 ถึง 12 กก.N/ไร่ ในดินอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และประมาณ 18 กก. N/ไร่ ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

2.4.1 ลักษณะเด่น

1) เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสง

2) คุณภาพการหุงต้ม จัดเป็นข้าวหุงสุกง่าย เมื่อหุงสุกมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ข้าวสุกมีสีขาวนวล ผิวค่อนข้างมัน เป็นข้าวนุ่มค่อนข้างเหนียว เช่นเดียวกับข้าวขาวดอกมะลิ105

3) ต้านทานต่อโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลค่อนข้างสูง และเพลี้ยกระโดดหลังขาวในระดับปานกลาง

4) ให้ผลผลิตเฉลี่ย 650 – 774 กิโลกรัมต่อไร่

2.4.2 ลักษณะประจำพันธุ์

1) เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ทั้งฤดูนาปี และนาปรัง

2) อายุการเก็บเกี่ยว นาดำ 113-126 วัน นาหว่านน้ำตม 104-114 วัน

3) ดัชนีการเก็บเกี่ยว นาดำ 0.46 (0.44-0.49) นาหว่านน้ำตม 0.46 (0.43-0.48)

4) ต้นสูงประมาณ 104-113 เซนติเมตร

5) ทรงกอตั้ง

6) ใบธงแก่ช้า คอรวงสั้น รวงอยู่ใต้ใบธง

7) เปลือกเมล็ดสีฟาง มีขน มีหาง กลีบรองดอกสีฟาง

8) เมล็ดมีลักษณะเรียวยาว ท้องไข่น้อย และคุณภาพการสีดี

9) เมล็ดข้าวเปลือกเฉลี่ยยาว 10.52 มม. กว้าง 2.47 มม. และหนา 1.95 มม.

10) เมล็ดข้าวกล้องเฉลี่ยยาว 7.60 มม. กว้าง 2.17 มม. และหนา 1.72 มม.

11) ระยะพักตัวของเมล็ด 3-4 สัปดาห์

12) เมล็ดมีค่าอมิโลสต่ำ 15-18 % ค่าความคงตัวของแป้งสุก 83-85 มม. และการสลายตัวในด่าง 6.1-6.9

2.4.3 ข้อควรระวัง

1) ค่อนข้างไม่ต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม

2) ไม่ควรใช้ปุ๋ยในอัตราสูง โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน เช่น ยูเรีย ในพื้นที่นาที่มีความอุดมสมบูรณ์ดีปานกลาง ไม่ควรใช้เกิน 15 กก./ไร่ ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ฟางอ่อน ต้นข้าวล้มและ

ผลผลิตลดลง และถ้าใช้ปุ๋ยยูเรียในเวลาที่ไม่เหมาะสมและมากเกินความจำเป็น ทำให้ต้นข้าวเฝือใบ อาจทำให้หนอนม้วนใบระบาดรุนแรง

3) การเก็บเกี่ยวมีผลต่อคุณภาพข้าว ควรเก็บเกี่ยวในระยะพลับพลึง หรือหลังจากข้าวออกดอก 28-30 วัน เนื่องจากข้าวพันธุ์นี้ใบธงแก่ช้า จึงไม่ควรรอจนใบธงเหลืองหรือแห้ง เมล็ดข้าวจะแตกหักง่ายจากการสี ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งคือ ข้าวพันธุ์นี้เป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงจึงควรปลูกข้าวในระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงการเก็บเกี่ยวที่ตรงกับช่วงฝนชุก ข้าวที่เปียกน้ำจะทำให้คุณภาพเมล็ดเสื่อม ควรดูแลการตากหรืออบลดความชื้น ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงมาก มิฉะนั้นกลิ่นหอมของข้าวจะระเหยหายไป