บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนส่วนใหญ่ในประเทศเอเชียตอนใต้ (ปากีสถาน อินเดีย เนปาล ภูฐาน บังคลาเทศ ศรีลังกา) และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (พม่า ไทย ลาว กัมพูชา เวียดนาม มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์) ปัจจุบันมีพื้นที่ใช้ปลูกข้าวทั้งหมดประมาณ 957 ล้านไร่ ให้ผลผลิตข้าวเปลือก 587 ล้านตัน ซึ่งพื้นที่ที่ใช้ปลูกข้าวของโลกส่วนใหญ่ประมาณ 90% กระจายอยู่ในทวีปเอเชีย แสดงให้เห็นถึงความสำคัญ และบทบาทของประเทศในเอเชียเขตร้อนในแง่ของพื้นที่ที่ใช้ปลูกข้าว

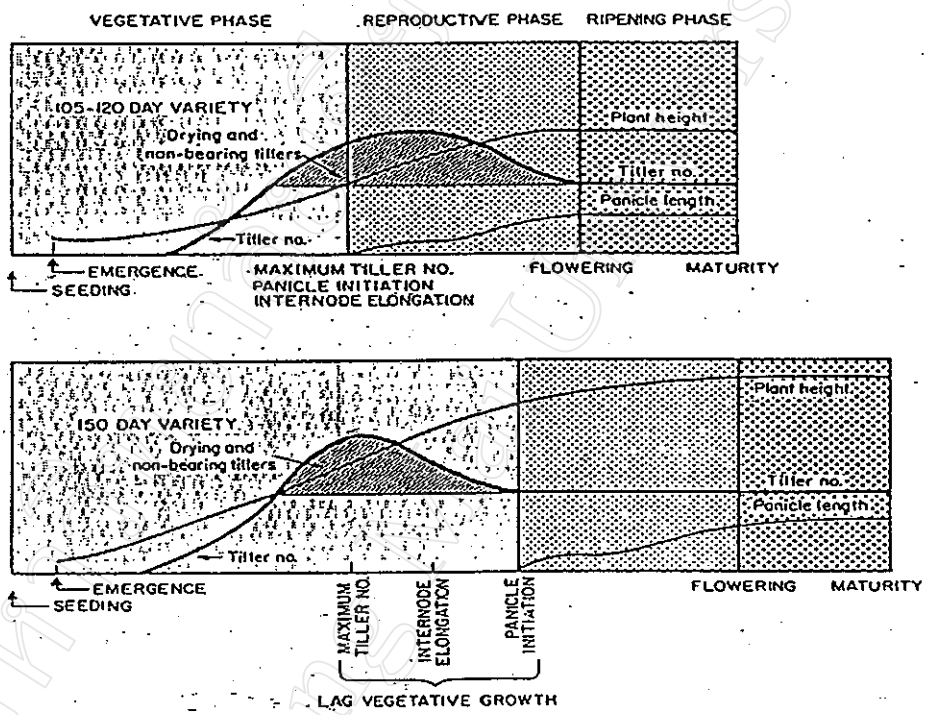
ข้าวที่ปลูกในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ คือ

Japonica มีลักษณะต้นเตี้ย ใบชี้และต้นตรง เมล็ดข้าวป้อมสั้น เมื่อหุงแล้วมีลักษณะเหนียวอ่อนและเมล็ดข้าวเกาะกัน เป็นข้าวที่ปลูกและใช้รับประทานกันอย่างแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่น เกาหลี และไต้หวัน

Indica มีลักษณะเม็ดยาว หุงแล้วข้าวร่วนซุย ไม่เกาะกัน ลักษณะต้นจะสูง และไม่ตั้งชี้เหมือน Japonica นิยมปลูกและรับประทานกันอย่างแพร่หลายในประเทศเอเชียอาคเนย์ เช่น ไทย พม่า มาเลเซีย อินโดนิเซียและฟิลิปปินส์

2.1 การเจริญเติบโตและพัฒนาของข้าว (growth and development of the rice plant) แบ่งออกเป็น 3 phase คือ

1. Vegetative phase เริ่มตั้งแต่การงอก (germination) จนถึงกำเนิดช่อดอก (panicle initiation)
2. Reproductive phase เริ่มตั้งแต่กำเนิดช่อดอกจนถึงออกดอก (flowering)
3. Ripening phase เริ่มตั้งแต่ออกดอกจนถึงข้าวแก่ (full mautrity)



ภาพแสดงรายละเอียดของระยะต่างๆของการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์เบา (105-120 วัน) และข้าวพันธุ์หนัก (150 วัน) จะเห็นว่าข้าวพันธุ์เบาระยะแตกกอสูงสุด กำเนิดช่อดอก และระยะยืดปล้องเกิดขึ้นเกือบพร้อมกัน แต่ในข้าวพันธุ์หนักจะเกิดต่อเนื่องกันและมีระยะที่เรียกว่า lag vegetative growth

1. การเจริญเติบโตในช่วง vegetative

การงอกและการเจริญเติบโตของข้าวในเขตร้อนชุ่มชื้น กล้าข้าวจะงอกภายใน 3 วัน หลังจากหว่านเมล็ด (เมล็ดข้าวเตรียมได้โดยการแช่เมล็ดไว้ 24 ชั่วโมง และหุ้มเอาไว้อีก 48 ชั่วโมง) ระยะที่เป็นต้นกล้าก็นับจากการงอกของเมล็ดข้าวจนถึงก่อนที่ข้าวแตกกอในระยะนี้ต้นกล้าจะมี seminal root และใช้อาหารจาก endosperm จนหมดต่อจากนั้นมี adventitious root เกิดขึ้นแทน seminal root

ระยะแตกกอ (tillering stage) เริ่มจากการแตกหน่อแรกจากข้อที่ต่ำสุด ซึ่งเรียกว่า primary tiller หลังจากนั้นก็เกิด secoundary tiller ระยะนี้ข้าวจะสูงและแตกกออย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นก็เกิด tertiary tiller เมื่อข้าวเจริญเติบโตมากขึ้น การเจริญเติบโตของ tertiary tiller มี 2 ระยะคือ ระยะแตกกอสูงสุด (maximum tillering stage) การเจริญเติบโตของ tertiary tiller จะดำเนินต่อไปจนถึงระยะแตกกอสูงสุด ระยะนี้มีกอเกิดขึ้นมากมายจนแทบไม่เห็นลำต้นเดิม หลังจากระยะนี้กอข้าวจะตายและมีจำนวนกอลดลง

ระยะยืดปล้อง (stem elongation stage) ระยะนี้เริ่มต้นก่อนกำเนิดช่อดอกในข้าวพันธุ์หนักและเกิดขึ้นในช่วงหลังของระยะแตกกอ ซึ่งมีระยะที่เรียกว่า lag vegetative period ส่วนในข้าวพันธุ์เบา ระยะแตกกอสูงสุด การยืดปล้องและกำเนิดช่อดอกจะเกิดขึ้นพร้อมกัน

2. การเจริญเติบโตในช่วง reproductive

การกำเนิดช่อดอก (panicle initiation stage) ระยะนี้เริ่มจากการมองเห็นช่อดอกในข้าวพันธุ์เบา (105 วันจากเมล็ดจนถึงแก่) ระยะนี้จะเป็น 40 วันหลังจากเพาะเมล็ดและจะมองเห็นช่อดอก 11 วันต่อมา ซึ่งช่อดอกนี้จะเกิดที่ลำต้นเดิมก่อนและในกออื่นๆ ถัดมา ในข้าวพันธุ์หนัก (135-160 วัน) จะมีการยืดปล้องก่อนที่จะเกิดช่อดอก ถ้ามีการขาดน้ำในช่วงนี้การเกิดช่อดอกก็อาจยืดออกไป ในระยะนี้จะมีการสะสมไนโตรเจนที่ใบสูงสุดถึง 70% โดยที่ใบธงจะมีการสะสมไนโตรเจนมากที่สุด (Norman *et al.*, 1992) ซึ่งข้าวจะได้รับไนโตรเจนในระหว่างการสร้างและพัฒนาเมล็ดจากการดูดใช้ไนโตรเจนจากดิน 14% และอีก 86% จากต้นและใบที่สะสมไว้ตั้งแต่ระยะแรกโดยได้จากแผ่นใบ 58% และกาบใบ 28% (Mae, 1986)

ระยะตั้งท้อง (booting stage) ระยะนี้เกิดขึ้นหลังจากช่อดอกเจริญเติบโตแล้วอยู่ในระยะ16 วันหลังจากที่เห็นกำเนิดช่อดอก จะเห็นกาบใบของใบธงบวม ใบจะเหี่ยวตายและเห็นกอที่ไม่มีรวง (unproductive tiller) เกิดขึ้น

ระยะช่อดอกโผล่ออกมา (heading stage) ระยะนี้เป็นระยะที่ช่อดอก (panicle) โผล่ออกมาจากกาบใบธง

ระยะออกดอก (flowering stage) เกิดขึ้นประมาณ 25 วันหลังจากมองเห็นช่อดอกไม่ว่าจะเป็นพันธุ์อะไรจะเป็นช่วงที่ดอกบาน

จากการศึกษาของ Mikkelsen *et al.* (1995) พบว่าในระยะสร้างรวงอ่อนจะมีการสะสมไนโตรเจนที่ใบ 50% ของไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยว 2 ใน 3 ของไนโตรเจนทั้งหมดจะถูกถ่ายเทไปสะสมที่เมล็ด นอกจากนั้นปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในเมล็ดยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมด้วย และระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนก็มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในเมล็ดเช่นกัน (Wilson *et al.*, 1989)

3. การเจริญเติบโตในช่วง ripening

เมล็ดข้าวเกิดขึ้นหลังจากที่มีการผสมเกสร จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นก่อนการเก็บเกี่ยวในเขตร้อนชุ่มชื้น ระยะนี้ใช้เวลา 25-35 วันไม่ว่าจะเป็นพันธุ์อะไร ส่วนในเขตอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น ออสเตรเลียใต้ และสหรัฐอเมริกา ช่วงนี้ใช้เวลา 45-60 วัน ในระยะนี้ไนโตรเจนที่สะสมในลำต้นและใบจะมีการถ่ายเทไปสะสมในเมล็ดเมื่อข้าวออกรวงได้ 90% ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว (Bofogle *et al.*, 1997) นอกจากนั้นการที่ข้าวจะให้ผลผลิตสูง จะต้องมีการถ่ายเทไนโตรเจนในระหว่างการพัฒนาและสะสมน้ำหนักของเมล็ดที่ดีด้วย (Yoneyama and Takeba, 1984) ในช่วง ripening นี้มี 3 ระยะด้วยกัน คือ

- Milk grain stage เป็นระยะที่แป้งในเมล็ดเปลี่ยนจากสภาพของเหลวเป็นสภาพเหมือนน้ำนมซึ่งจะบีบออกมาได้
- Dough grain stage ส่วนที่เป็นน้ำนมในเมล็ดจะเปลี่ยนสภาพแข็งขึ้น
- Mature grain stage สีของรวงจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลือง ระยะนี้สิ้นสุดเมื่อ 90-100% ของเมล็ดเปลี่ยนเป็นสีเหลือง จะเห็นใบบนและใบธงเหี่ยวและตายไป บางพันธุ์ต้นและใบบนอาจยังเขียวอยู่ถึงแม้เมล็ดจะแก่แล้ว (De Datta , 1981)

การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในระยะต่างๆของการเจริญเติบโตของข้าวพบว่า ภูมิอากาศ สมบัติของดิน ชนิดและปริมาณปุ๋ยที่ใส่ พันธุ์ข้าว และการเขตกรรมมีอิทธิพลต่อการดูดธาตุอาหารแต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารที่ระยะต่างๆของการเจริญเติบโตของข้าวจะคล้ายคลึงกัน โดยปริมาณไนโตรเจนในตอซัง (ใบและต้น) มีค่าสูงในระยะแรกของการเจริญเติบโตและลดลงเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้นแต่มีปริมาณน้อยกว่าในรวงข้าว ทัศนีย์ (2543) ได้ชี้ให้เห็นถึงปริมาณธาตุอาหารต่างๆในตอซังและรวงข้าวและการดูดไนโตรเจนทั้งหมดของข้าว 2 พันธุ์ ระหว่างข้าวพันธุ์ IR8 เป็นพันธุ์ที่ปรับปรุงใหม่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ Peta ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีลักษณะต้นสูง ดังนั้นปริมาณการดูดธาตุอาหารในข้าว 2 พันธุ์นั้นแตกต่างกัน โดยข้าวพันธุ์ IR8 รวงข้าวดูดไนโตรเจน 70% และฟอสฟอรัส 85%ในขณะที่ข้าวพันธุ์ Peta ดูดไนโตรเจนไปใช้เพียง 48% และฟอสฟอรัส 6%

ข้าวเป็นพืชที่ขึ้นได้ดีทั้งในดินที่มีสภาพการถ่ายเทอากาศดี เช่น ดินไร่ และดินที่ขังน้ำ ซึ่งไม่มีการถ่ายเทอากาศเลย ข้าวมีลักษณะและความต้องการในสิ่งแวดล้อมและธาตุอาหารเช่นเดียวกับธัญพืชอื่นๆ เช่น ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์แต่ข้าวเป็นพืชชนิดเดียวที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำขังซึ่ง

จะขาด O_2 อย่างรุนแรงได้ ดังนั้นข้าวต้องมีระบบรากซึ่งมีสมบัติพิเศษ ที่ทำให้รากข้าวหา O_2 มาใช้ในกระบวนการหายใจได้โดยไม่เดือดร้อนเหมือนพืชไร่อื่นๆ

รากข้าวแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. Seminal root ได้แก่ รากที่งอกมาใหม่ๆขนาดโตแต่สั้นและไม่มีรากแขนงหรือมีแต่น้อยเมื่องอกแล้วก็จะพุ่งลงในทางดิ่ง

2. Adventitious root ได้แก่ รากที่มีขนาดเล็กกว่าประเภทแรก แต่ยาวและมีรากแขนงมากมาย เป็นรากที่งอกออกมาตามข้อต่างๆของลำต้น เมื่องอกออกมาจะแผ่ออกไปในแนวระดับตามผิวดิน บางส่วนอาจลอดพุ่งโผล่ขึ้นมาเหนือดินและลอยอยู่ในน้ำที่ขังอยู่ที่ผิวดินได้ รากพวกนี้เรียกว่า superficial roots ประโยชน์ของรากพวกนี้คือ ส่วนใหญ่ทำหน้าที่ในการถ่ายทอดออกซิเจนจากบริเวณผิวดินที่มี O_2 ไปให้แก่รากประเภทที่อยู่ลึกลงไปในดินชั้นล่างที่ไม่มี O_2 ซึ่งในขณะนั้นเป็นระยะที่มีการถ่ายทอด O_2 โดยตรงจากยอดลงมายังรากลำบากขึ้นเนื่องจากการยืดปล้องของข้าว superficial root นี้จะเจริญอยู่ตลอดไปจนกระทั่งข้าวออกรวงและสุก

วิธีที่รากได้ O_2 อาจแยกออกเป็น 3 วิธีคือ

1. การที่ O_2 แพร่กระจายเข้าสู่รากได้โดยผ่าน air cavities ที่มีอยู่ทั่วไปในใบและในกาบใบ (leaf sheath) ซึ่งเป็นส่วนของลำต้นที่อยู่เหนือน้ำและช่องอากาศนี้มีอยู่ในรากเช่นเดียวกัน รากของข้าวมีช่องอากาศอยู่ 5-30% ของเนื้อเยื่อทั้งหมดของราก ซึ่งสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับรากของข้าวสาลีซึ่งมีช่องอากาศภายในรากต่ำกว่า 1%ของเนื้อเยื่อทั้งหมด

2. โดยการถ่ายทอด O_2 จากระบบรากพิเศษของข้าว ซึ่งลอยอยู่ที่ผิวดินหรือในน้ำที่ขังอยู่เหนือผิวดิน (superficial root) รากนี้จะงอกออกมาภายหลังในระยะที่ข้าวเริ่มย่างปล้อง รากพวกนี้จะดึงดูด O_2 เข้ามาแล้วถ่ายทอดสู่รากอื่นๆที่อยู่ลึกลงไปในดิน

3. การได้ O_2 โดยวิธี anaerobic respiration ซึ่งเชื่อว่าข้าวใช้เฉพาะขณะที่อยู่ในระยะงอกจากเมล็ดเท่านั้นเป็นกระบวนการออกซิเดชันที่ไม่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนโดยตรง แต่ใช้สารประกอบอินทรีย์ภายในพืชที่มีระดับ O_2 สูงแทนซึ่งสามารถปลดปล่อยพลังงานที่จำเป็นสำหรับพืชได้

2.2 การสูญเสียของปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินนาน้ำขัง

บริเวณที่มีการเกิดกระบวนการ nitrification และ denitrification ในดินนาน้ำขัง

โดยทั่วไปกระบวนการ nitrification จะเกิดได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอโดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการออกซิไดซ์ NH_4^+ไปเป็น NO_3^- ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่

$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$ (***Nitrosomonass spp.***)

$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^-$ (***Nitrobacter spp.***)

ในสภาพดินนาน้ำขังบริเวณที่จะเกิดกระบวนการดังกล่าวได้แก่

1. Oxidized layer (aerobic layer)

ในชั้นนี้จะเกิดการ oxidation ของ NH_4^+ไปเป็น NO_3^-(nitrification) ทำให้ความเข้มข้นของ NH_4^+ ใน oxidized layer ลดลงส่งผลให้ NH_4^+ ใน anaerobic layer ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าเคลื่อนที่ขึ้นมาสู่ oxidized layer โดยกระบวนการ diffusion ส่วน NO_3^- ก็จะเคลื่อนที่ลงไปสู่ anaerobic layer โดยกระบวนการ diffusion เช่นเดียวกัน และ NO_3^- จะมีการสูญเสียไปในชั้นนี้เนื่องจากจะถูกรีดิวซ์ไปเป็น N_2O และ N_2 โดยกระบวนการ denitrification

2. Oxidized rhizosphere

จากการศึกษาของ Arth *et al.* (1998) อ้างโดย De Datta (1981) ได้แสดงให้เห็นว่าในบริเวณรากข้าว (rhizosphere) กระบวนการ nitrification และ denitrification จะเกิดควบคู่กันไป เนื่องจากในบริเวณรากข้าวจะมีการปลดปล่อยออกซิเจนออกมา ทำให้บริเวณรอบๆรากข้าวมีลักษณะคล้าย oxidized layer โดยได้ทำการทดลองตัดส่วนที่อยู่เหนือผิวน้ำของต้นข้าวทิ้งไป เพื่อป้องกันการลำเลียงออกซิเจนไปสู่รากพบว่าอัตราการ emission ของ N_2O และ N_2จะเกิดขึ้น 0.034 และ 3.6 nmol N $h^{-1}cm^{-1}$ ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับตำหรับที่ไม่มีการตัดส่วนที่อยู่เหนือผิวน้ำของต้นข้าว (control) ที่มี N_2O และ N_2 เกิดขึ้น 0.35 และ 37.9 nmol N h^{-1} cm^{-1} และความเข้มข้นของ N_2 ทั้ง 2 ตำหรับจะแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด

นอกจากนี้จากการศึกษาของ Yan *et al.* (2000) พบว่าเมื่อตัดส่วนลำต้นที่อยู่เหนือผิวน้ำของข้าวออกไป N_2O flux จะลดลงทันทีถึง 55.8% และหลังจากนั้น 2 วัน N_2O flux จะเพิ่มเป็น 61.2% เมื่อเทียบกับตำหรับที่ไม่ได้ทำการตัดส่วนลำต้นที่อยู่เหนือผิวน้ำทิ้ง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวยังให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของชยงค์ (2529) ที่ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของออกซิเจนต่อขบวนการ nitrification ที่รากข้าวพบว่าข้าวสามารถถ่ายเทออกซิเจน จากอากาศผ่านใบสู่ลำต้นและไปสู่ราก ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรยากาศให้เท่ากับ 15% ส่งผลให้การเกิดกระบวนการ nitrification และ denitrification ในบริเวณรากข้าวเพิ่มสูงสุดเนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการออกซิไดซ์ NH_4^+ไปเป็น NO_3^-จะเพิ่มมากที่สุดเมื่อเทียบกับตำหรับอื่นๆ

ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจนไปโดยกระบวนการ denitrification ในการปลูกข้าวนาดำ

1. การสลับกันระหว่างช่วงขังน้ำและระบายน้ำออก (alternate drying and wetting)

ในพื้นที่ลุ่มที่มีการปลูกข้าวโดยการให้น้ำแบบชลประทานหรืออาศัยน้ำฝน จะส่งผลให้มีการสูญเสียไนโตรเจนไปโดยกระบวนการ nitrification และ denitrification เป็นอย่างมากเนื่องจากการเกิดสภาพขังน้ำและระบายน้ำสลับกันไปโดยจะเห็นได้จากการศึกษาของ Reddy และ Pattrick (1975) อ้างโดย De Datta (1981) พบว่า ไนโตรเจนจะมีการสูญเสียไปมากที่สุดในระยะที่มีการขังน้ำ 2 วันและระบายน้ำออก 2 วัน สลับกันไปเป็นวัฏจักรมากกว่าวัฏจักรอื่นๆ

นอกจากนี้การศึกษาของ Wolf *et al.* (2000) พบว่าในดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำจะมีอัตราการ reduction ของ NO_3^- ไปเป็น N_2 100% ภายในเวลา 17 วัน ในขณะที่ในดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำอัตราการ reduction จะเกิด 85.6 % โดยอัตราการ reduction จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น

2. อุณหภูมิในดิน (soil temperature)

จากการศึกษาของ Zanner *et al.* (1995) ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 4 ^{0}C ไปเป็น 20 ^{0}C อัตราการเกิด nitrification จะเพิ่มจาก 17 ไปเป็น 99 mg N $kg^{-1}d^{-1}$ จากผลการทดลองดังกล่าวอาจเป็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 4^{0}C ไปเป็น 20^{0}C จะทำให้ nitrifiers bacteria เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการเกิด nitrification เพิ่มขึ้น กระบวนการ denitrification จะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C และเกิดขึ้นได้รวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 45 ^{0}C

3. pH ของดิน (soil pH)

Stevenson *et al.* (1998) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของ pH ที่มีต่อการออกซิไดซ์ NH_4^+ ไปเป็น NO_3^- พบว่าอัตราการเกิดกระบวนการ nitrification ที่ระดับ moisture content 50 และ 60% จะสูงสุดที่ pH 8 และต่ำสุดที่ pH 6 ซึ่งโดยทั่วไปกระบวนการ denitrification จะเกิดอย่างรวดเร็วเมื่อดินมี pH ระดับที่เป็นกลาง ซึ่ง pH ระดับนี้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ การสลายตัวของอินทรียวัตถุและการใช้ออกซิเจน สามารถจะถูกกระตุ้นให้เกิดได้มากขึ้นที่ pH ระดับเป็นกลาง

4. กิจกรรมของ nitrifiers และ denitrifiers (activity of nitrifiers and denitrifiers)

จากการศึกษาของ Paavolainen *et al.* (2000) พบว่าการเกิด (NO_2^- + NO_3^-)-N จากกระบวนการ nitrification จะถูกยับยั้งเมื่อ pH ของดินเท่ากับ 5.3 หรือต่ำกว่า เนื่องจากที่ pH ต่ำจะส่งผลให้จำนวน nitrifiers ลดลงทำให้กระบวนการ nitrification ลดลงหรืออาจถูกยับยั้งได้ และการเกิด (NO_2^- + NO_3^-)-N จะเพิ่มขึ้นที่ pH 6.7 เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวน nitrifiers

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีการขังน้ำในดินปริมาณ NO_3^- จะค่อยๆเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของ denitrifiers หลังจากนั้นเมื่อชั้นดินมีการพัฒนาเป็น oxidized layer จะมีการเพิ่มปริมาณของ

denitrifiers เป็นจำนวนมาก ทำให้ชั้นนี้ไม่มีการสะสมของ NO_3^- เนื่องจากจะถูกรีดิวซ์ไปเป็น N_2O และ N_2 และในระยะต่อมาเมื่อปริมาณของ substrate ลดน้อยลงไปจำนวน denitrifiers ก็จะลดลงไปด้วย (Taki และ Uchara, 1973 อ้างโดย De Datta,1981)

5. ความลึกของดิน (soil depth)

Velthof *et al.* (1995) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของระดับความลึกของดินต่อศักยภาพในการเกิดกระบวนการ denitrification (denitrification potential : DNP) พบว่าเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น ศักยภาพการเกิด denitrification จะลดลงโดยจะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนในชั้นความลึก 0-5 และ 5-10 ซม. DNP ของ peat soil จะมีมากกว่า sand soil และ clay soil ที่ความลึก 0-5 ซม. clay soil จะมี DNP มากกว่า sand soil แต่ DNP ของดินทั้ง 3 ชนิดที่ระดับความลึกมากกว่า 10 ซม. จะอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน

6. ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter content of soil)

อินทรียวัตถุในดินจัดเป็นแหล่งคาร์บอนของ denitrifying bacteria เพราะฉะนั้นธรรมชาติและปริมาณของอินทรียวัตถุในดินน้ำขังจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิด denitrification โดยจากการศึกษาของ Broadbent และ Stofanoric (1952) อ้างโดย De Datta (1981) ได้ชี้ให้เห็นว่าการสูญเสียของไนโตรเจนจะมากที่สุดเมื่อมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Velthof *et al.* (1995) ที่พบว่าศักยภาพการเกิด denitrification ใน peat soil ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจะมากกว่าใน clay soil และ sand soil จุลินทรีย์ต้องการอินทรียวัตถุในการดำเนินกิจกรรมรีดักชันของไนเตรต ดังนั้นดินที่มีอินทรียวัตถุสูงก็จะเกิดรีดักชันของไนเตรตสูง จุลินทรีย์ที่ดำเนินกิจกรรม denitrification นี้เป็นแบคทีเรีย และส่วนใหญ่เป็น heterotrophic และยังมี autotroph บางตัว เช่น *Micrococus denitrifican* ซึ่งใช้ไนเตรตในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน โดยได้พลังงานจากออกซิเดชันของไฮโดรเจนและ *Thiobacillus denitrifican* ซึ่งได้พลังงานจากการออกซิเดชันของซัลเฟอร์

7. ระยะเวลาการขังน้ำ (submergence period)

จากการศึกษาของ Kundu *et al.* (1997) พบว่าในดินที่มีการขังน้ำก่อนปลูกข้าว 2 สัปดาห์ จะมีปริมาณ $(NH_4^+ + NO_3^-)$-N ที่สกัดโดยใช้ 2 M KCl จากในดินและข้าวรวมกัน ต่ำกว่าในดินที่มีการขังน้ำทันทีก่อนปลูกข้าว เนื่องจากว่าในดินที่มีการขังน้ำก่อนปลูกข้าว 2 สัปดาห์ ปริมาณ $(NH_4^+ + NO_3^-)$-N จะมีการสูญเสียไปโดยกระบวนการ denitrification มากกว่าที่ต้นข้าวจะดูดไปใช้ในขณะที่การขังน้ำทันทีก่อนปลูกข้าวสามารถนำ N ในรูป NH_4^+ และ NO_3^- ไปใช้ได้มากกว่าเพราะว่าระยะเวลาการสูญเสีย N ไปโดยกระบวนการ denitrification จะน้อยกว่า

8. Genotype ของข้าว

ข้าวแต่ละ genotype จะมีความสามารถในการนำ N ในรูป NH_4^+ และ NO_3^- ไปใช้ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปจะเห็นได้จากการศึกษาของ Kundu *et al.* (1997) ที่พบว่าข้าวแต่ละ

genotype จะมีความสามารถในการกระตุ้นให้เกิด ($NH_4^+ + NO_3^-$)-N และการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกันออกไปในช่วงอายุ 1 – 2 เดือน เมื่อมีการขังน้ำก่อนปลูกข้าวเป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยเปอร์เซนต์การเจริญเติบโตของข้าวและความสามารถในการกระตุ้นให้เกิด ($NH_4^+ + NO_3^-$)-N ในทุก genotype ในตำหรับที่ขังน้ำก่อนปลูกทันทีจะสูงกว่าในตำหรับที่ขังน้ำก่อนปลูก 2 สัปดาห์

2.3 การจัดการปุ๋ยอนินทรีย์ในโตรเจนเพื่อลดการสูญเสียในการปลูกข้าวนาดำ

ระยะเวลาการใส่ปุ๋ยจัดว่าเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวเนื่องจากว่า ถ้าหากใส่ปุ๋ยในปริมาณที่เพียงพอในช่วงที่พืชต้องการและสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตให้ได้มากที่สุดก็จะทำให้ช่วยลดการสูญเสียปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจนไปได้อีกทางหนึ่งซึ่งจะเกิดการสูญหายไปในกระบวนการต่างๆ ได้แก่ กระบวนการ volatilization และกระบวนการ denitrification หรืออาจสูญเสียไปโดยการชะล้างลงสู่ดินชั้นล่างอีกด้วย

ระยะเวลาการใส่ปุ๋ยจัดว่ามีความสำคัญมากเพราะว่าถ้าใส่ปุ๋ยอนินทรีย์ N ในปริมาณที่เพียงพอในช่วงที่พืชต้องการ และสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตมากที่สุด ก็จะช่วยลดการสูญเสียปุ๋ยอนินทรีย์ N ไปโดยกระบวนการ denitrification ได้ จะเห็นได้จากการศึกษาของ Shoji (1986) ที่พบว่าเมื่อมีการแบ่งใส่ปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกใส่เป็นปุ๋ยรองพื้น ครั้งที่ 2 ใส่เป็นปุ๋ยแต่งหน้า โดยพฤติกรรมของ NH_4^+-N ที่ใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นในดินอัตราต่างๆและการดูดซึมโดยข้าว จะพบว่าปริมาณของ NH_4^+-N ในดินจะมีการลดลงเรื่อยๆในขณะที่ปริมาณของ NH_4^+-N ที่ถูกดูดซึมในพืชเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนสูงสุดในระยะแตกกอ ส่งผลให้ปริมาณ NH_4^+-N จากการใส่ปุ๋ยรองพื้นอัตราต่างๆลดลงเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งอัตราการลดลงของ NH_4^+-N และปริมาณที่ถูกดูดซึมไปใช้โดยข้าว จะขึ้นกับปริมาณของปุ๋ยอนินทรีย์ N ที่ใส่รองพื้นโดยจะเห็นว่าเมื่อใส่ปุ๋ยอนินทรีย์ N รองพื้นในอัตรา 15 7 และ 0 kg N 10 a^{-1} ปริมาณเริ่มต้นของ NH_4^+-N จะต่างกัน คือ 12 5 และ 1 mg 100 g^{-1}soil ตามลำดับ

สำหรับการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เพื่อเป็นปุ๋ยแต่งหน้าพบว่า ความสามารถในการดูดซึม N ของข้าวจะสูงสุดในช่วง 15-20 วันก่อนออกรวง โดยมีปริมาณ N สะสมในใบข้าวถึง 94% หลังจากข้าวออกรวงปริมาณ N ก็จะค่อยๆ ลดลง เนื่องจากว่าในช่วง 15-20 วันก่อนออกรวงข้าวจะต้องการไนโตรเจนเพื่อไปใช้ในการออกดอก

จากการศึกษาของนัฐพงศ์ (2544) พบว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแต่งหน้ามีความจำเป็นในการเพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงขึ้น แต่การใช้ปุ๋ยแต่งหน้าปริมาณที่มากเกินพอทำให้ผลผลิตลดลงโดยผลผลิตของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีความแตกต่างกันเมื่อได้รับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้นและอัตราปุ๋ยไนโตรเจนแต่งหน้าที่แตกต่างกัน โดยที่พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้นและแต่งหน้าจะให้ผลผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 581 กก.ต่อไร่ และเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้น 8 กก.N ต่อไร่ ตามด้วยอัตราปุ๋ยไนโตรเจนแต่งหน้าอัตรา 16 กก.N ต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 760 กก.ต่อไร่ สำหรับ

ข้าวพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดมีการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้นและอัตราปุ๋ยไนโตรเจนแต่งหน้าเช่นเดียวกับพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้นและแต่งหน้าเลยจะให้ผลผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 273 กก.ต่อไร่ และมีผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 384 กก.ต่อไร่ ที่กรรมวิธีที่ใส่อัตราปุ๋ยไนโตรเจนแต่งหน้า 16 กก.N ต่อไร่ อย่างเดียวหรือกรรมวิธีที่ใส่อัตราปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้น 32 กก.N ต่อไร่ ครั้งเดียว

จากการศึกษาของชยงค์ (2527) และคณะพบว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของข้าว (ตั้งแต่ระยะปักดำจนถึงระยะแตกกอสูงสุด) ข้าวจะได้รับธาตุอาหารไนโตรเจนจากปุ๋ยรองพื้น (basal-N) ในการสร้างราก ลำต้นและใบ เพื่อเพิ่มพื้นที่ใบ และจำนวนต้นต่อกอ ส่วนในระยะการสร้างรวงและเมล็ดข้าวจะได้รับไนโตรเจนจากปุ๋ยแต่งหน้า (topdress-N) ซึ่งข้าวจะใช้ในการสร้างช่อรวง และใช้ในการสะสมน้ำหนักเมล็ดเพื่อเพิ่มจำนวนดอกต่อรวง ขนาดเมล็ดและเปอร์เซนต์ข้าวเต็มเมล็ด ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Murata (1982) นอกจากนี้ถ้าหากว่าข้าวได้รับธาตุอาหารไนโตรเจนมากพอและเหมาะสมในระยะที่ข้าวมีการพัฒนาข้อคอรวง จะทำให้เกิดรวงตัวเมีย (female panicle ; รวงที่มีระแง้ 2 หรือ 3 ระแง้บนข้อคอรวง) ได้สูงแสดงว่าต้นข้าวอยู่ในสภาพการเจริญเติบโตที่ไม่เหมาะสมต่อการเกิดรวงที่สมบูรณ์ เช่น การขาดธาตุไนโตรเจนในระยะกำเนิดช่อดอกและระยะข้าวตั้งท้องจนถึงระยะออกรวงเป็นต้น (จำรัส, 2536)

De Datta (1981) รายงานว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2 ครั้งที่ระยะปักดำ 2/3 และที่ระยะกำเนิดช่อดอก 1/3 ของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมดที่จะใส่ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในข้าวสูงถึง 51% สอดคล้องกับการศึกษาของไพบูลย์และดำรง (2528) ที่ทำการศึกษาในข้าวไร่ พบว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2 ครั้ง ในอัตรา 4 และ 8 กก.N ต่อไร่ ทำให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครั้งเดียวถึง 10.5% และ 28.5%ตามลำดับ นอกจากนั้นการเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนจาก 0 เป็น 4 จาก 4 เป็น 8 และจาก 8 เป็น 12 กก.N ต่อไร่ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 72 % 22 % และ 11 % ตามลำดับ

จากการศึกษาของชุติวัฒน์และคณะ(2542) พบว่าในนาดินเหนียวเมื่อมีการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 4-5 ครั้งแก่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกด้วยวิธีปักดำให้ผลผลิต 325-369 กก.ต่อไร่ สูงกว่าการใส่เพียง 2 ครั้งซึ่งให้ผลผลิต 268 กก.ต่อไร่ โดยเฉพาะการแบ่งใส่ 4 ครั้งเท่าๆกันที่ระยะ 1 วัน ก่อนปักดำ 20วัน หลังปักดำ ที่ระยะเริ่มกำเนิดช่อดอก และ 7 วัน หลังกำเนิดช่อดอก ให้ผลผลิตสูงสุดคือ 369 กก.ต่อไร่ ให้ผลใกล้เคียงกับการศึกษาในนาดินร่วนซึ่งพบว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 3-5 ครั้ง แก่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตมให้ผลผลิต 543-594 กก.ต่อไร่ สูงกว่าการแบ่งใส่ 2 ครั้งให้ผลผลิต 431 กก.ต่อไร่ และการแบ่งใส่ 3 ครั้ง ที่ระยะ 20 วัน หลังหว่านข้าว ที่ระยะกำเนิดช่อดอกและ 7 วัน หลังกำเนิดช่อดอก ให้ผลผลิตสูงสุด 594 กก.ต่อไร่ ส่วนการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแก่ข้าวที่ปลูกด้วยวิธีปักดำให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของสมนึกและคณะ (2520) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 9 กก.N ต่อไร่ ในระยะ 40 วัน หลังข้าวงอก และใส่ครั้งที่ 2

4.5 กก.N ต่อไร่ ในระยะกำเนิดช่อดอก หรือประมาณ 70 วันหลังข้าวงอก เป็นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

จากการศึกษาของสุจินต์และคณะ (2516) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 6 และ 12 กก.N ต่อไร่ โดยวิธีแบ่งใส่เป็นตำรับต่างๆ ตามอัตราส่วนมากน้อยต่างกันในระยะแรกก่อนปักดำ และระยะที่สอง คือ 30 วัน ก่อนข้าวออกดอกกับข้าวพันธุ์เหลืองทอง กข.1 ซี 4-03 ให้ผลตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใส่ปุ๋ยมากขึ้นในระยะที่สองคือ 30 วันก่อนข้าวออกดอกมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 6 กก.N ต่อไร่ เมื่อแบ่งใส่ระยะแรก 2 กก.N และใส่ระยะที่สอง 4 กก.N หรือใส่ทั้งหมด 6 กก.N ในระยะที่สอง ผลผลิตเพิ่มขึ้น ผลการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 12 กก.N ต่อไร่ มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน

จากการศึกษาของวิไลวรรณและคณะ (2521) พบว่า การใส่ปุ๋ยรองพื้นแอมโมเนียมฟอตเฟต (16-20-0) ในอัตรา 10 และ 20 กก.ต่อไร่ ไม่ทำให้ระยะเวลาการเกิดช่อดอกของข้าวพันธุ์ กข 1 และ กข 5 แตกต่างกัน แต่ทำให้ผลผลิตแตกต่างกัน ข้าวพันธุ์ กข 1 ให้ผลผลิตสูงกว่าเมื่อใส่ปุ๋ยรองพื้นในอัตรา 20 กก.ต่อไร่ ส่วนข้าวพันธุ์ กข 5 ให้ผลผลิตสูงกว่าเมื่อใส่ปุ๋ยรองพื้นในอัตรา 10 กก.ต่อไร่ สำหรับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตแต่งหน้าในระยะที่พบช่อดอก และระยะหลังปักดำ 45 วัน ปรากฏว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์ให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติ

จากการศึกษาของนที (2518) พบว่าเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเลยตลอดฤดูปลูก ต้นข้าวจะใช้เวลานานที่สุดในการออกดอก 50% สำหรับจำนวนเมล็ดดีต่อรวงที่ได้สูงสุดนั้น ได้จากการแบ่งปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมดออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน คือ ส่วนที่ 1 ใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปักดำ ส่วนที่ 2 3 และ 4 ใส่เป็นปุ๋ยแต่งหน้าเมื่อกำหนด 21 40 และ 50 วันหลังปักดำตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการแบ่งปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกอัตรา 4 กก. N ต่อไร่ ใช้ใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปักดำและอีกส่วนหนึ่งที่เหลืออัตรา 12 กก.ต่อไร่ ใช้ใส่เป็นปุ๋ยแต่งหน้าเมื่อกำหนด 21 วันหลังปักดำมีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดดีสูง อย่างไรก็ตามถ้าใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมดเป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปักดำจะทำให้ได้ความสูงขณะเก็บเกี่ยวและน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงสูงสุด แต่ถ้าแบ่งปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน ใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปักดำและเป็นปุ๋ยแต่งหน้าเมื่ออายุ 21 วันหลังปักดำ ทำให้จำนวนต้นต่อกอในระยะเก็บเกี่ยว จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักฟางและน้ำหนักเมล็ดข้าวต่อไร่เพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของเยาวนุช (2520) ที่พบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแต่งหน้าในระยะแรกๆของการเจริญเติบโต คือ ระยะปักดำ และระยะกำเนิดรวงอ่อน มีผลให้มีการเพิ่มผลผลิตและปริมาณโปรตีนในข้าวได้มากขึ้นซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อจะได้ผลผลิตและปริมาณโปรตีนในข้าวสูงสุด คือ การแบ่งใส่ที่ระยะกำเนิดรวงอ่อน และระยะตั้งท้อง หรือใส่ 3 ครั้งที่ระยะปักดำ กำเนิดรวงอ่อน และระยะตั้งท้อง ในอัตรา 3 6 และ 3 กก.N ต่อไร่

จากการศึกษาของวิทยาและคณะ (2527) ที่ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานีพบว่า เมื่อทำการปลูกข้าวไวแสง พันธุ์เหนียวสันป่าตอง โดยแบ่งใส่ปุ๋ยระยะต่างๆ หลังปักดำ 14-35 วัน ให้ผลผลิตข้าวทัดเทียมกับการใส่ปุ๋ยแล้วกลบก่อนปักดำ สำหรับข้าวพันธุ์ กข 10 เมื่อมีการใส่ปุ๋ยหลังปักดำ 14-35 วัน ให้ผลผลิตข้าวทัดเทียมกับการใส่ปุ๋ยแล้วกลบก่อนปักดำ ซึ่งระยะเวลาการใส่ปุ๋ยหลังปักดำข้าวพันธุ์ กข 10 14-35 วัน มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่า

ที่สถานีทดลองข้าวสกลนคร ใช้ข้าวไวแสงพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ปรากฏว่าการใส่ปุ๋ย 14-15 วันหลังปักดำ ได้ผลผลิตข้าวสูงไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยแล้วกลบก่อนปักดำ ส่วนข้าวไม่ไวแสง เมื่อมีการใส่ปุ๋ยแล้วคราดกลบ ได้ผลผลิตข้าวสูงไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยหลังปักดำ 28 วัน

ที่สถานีทดลองข้าวชุมแพ ใช้ข้าวไวแสงพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ปรากฏว่าการใส่ปุ๋ยวันที่ปักดำได้ผลผลิตข้าวใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยหลังปักดำ 7-28 วัน การใส่ปุ๋ยหลังปักดำ 14 และ 28 วัน ได้ผลผลิตข้าวสูงกว่าการใส่ปุ๋ยแล้วกลบก่อนปักดำ สำหรับข้าวไม่ไวแสง (กข 10) ปรากฏว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยแล้วกลบก่อนปักดำ ได้ผลผลิตสูงไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยหลังปักดำ 21-35 วัน แต่ในปีถัดมาปรากฏว่าการใส่ปุ๋ยหลังปักดำ 14 วัน ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด

สถานีทดลองข้าวพิมาย ใช้ข้าวไวแสงพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 การใส่ปุ๋ยหลังปักดำ 21-35 วันได้ผลผลิตสูง ในปีถัดมาปรากฏว่าการใส่ปุ๋ยแล้วกลบก่อนปักดำได้ผลผลิตสูงทัดเทียมกับการใส่ปุ๋ยหลังปักดำ 14-35 วัน

จะเห็นได้ว่าผลการทดลองจากศูนย์วิจัยและสถานีทดลองข้าวทั้ง 3 แห่ง โดยการใช้ข้าวพันธุ์ไวแสงและไม่ไวแสง ส่วนใหญ่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแก่ข้าวระยะเวลาต่างๆให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติให้ผลการทดลองใกล้เคียงกันกับการศึกษาของกิ่งแก้วและคณะ (2536) ซึ่งพบว่าเมื่อทำการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ช่วงระยะต่างๆรวม 4 ระยะของการเจริญเติบโต ไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตเมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแต่งหน้าครั้งเดียว

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ในนาน้ำขังในนาราษฎร์ จ.ราชบุรี โดยจินตนาและคณะ (2527) พบว่าเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเลยจะได้ผลผลิต 738 กก.ต่อไร่ แต่เมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 9.6 กก.ต่อไร่ โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ตามที่นักวิชาการแนะนำ (2/3 ใส่ก่อนปักดำ และ 1/3 ใส่ 5-7 วันก่อนข้าวจะออกช่อดอก) ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดคือ 914 กก.ต่อไร่ แต่พบว่าให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยยูเรียเป็นแถวโดยใช้เครื่อง หรือไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยยูเรียอัดเม็ดแบบเป็นจุดลึก 10 ซม. หลังทำการปักดำข้าวไม่เกิน 7 วัน ซึ่งให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 895 และ 890 กก.ต่อไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียธรรมดาแบบเกษตรกร (1/2 ใส่หลังปักดำ 15 วันและอีก 1/2 ใส่หลังปักดำประมาณ 35 วัน) จะให้ผลผลิตเฉลี่ย 826 กก. ต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยยูเรียอัดเม็ดแบบจุดให้ผลผลิต 955 กก.ต่อไร่ แต่เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ย

ยูเรียเป็น 14.4 กก.ไร่ และมีการใส่ตามที่นักวิชาการแนะนำปรากฏว่าให้ผลผลิต 955 กก.ต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเป็นแถวโดยใช้เครื่องมือหรือใส่เป็นจุดลึก 10 ซม. หรือใส่ตามที่นักวิชาการแนะนำในอัตรา 9.6 กก.ต่อไร่ โดยให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 895 890 และ 914 กก.ต่อไร่ ตามลำดับ จากการศึกษาจะเห็นว่าการใส่ปุ๋ยตามหลักวิชาการที่อัตราปุ๋ย 9.6 กก.ต่อไร่ มีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยดีที่สุด ส่วนการใส่ปุ๋ยตามหลักวิชาการที่อัตราปุ๋ย 14.4 กก.ต่อไร่ จะให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยไม่แตกต่างทางสถิติที่อัตราปุ๋ย 9.6 กก.ต่อไร่

จากการศึกษาของสมนึกและคณะ (2527) ซึ่งทำการทดลองเหมือนกับจินตนาและคณะ(2527) ที่ จ.ชัยนาถพบว่าข้าวมีผลตอบสนองต่อปุ๋ยยูเรียอัตรา 9.6 กก.ต่อไร่ ทั้งกรรมวิธีการใส่แบบเกษตรกรแบบที่นักวิชาการแนะนำ แบบเป็นแถวด้วยเครื่อง และแบบฝังเป็นจุดระหว่างกอ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เป็นเพราะใช้ปุ๋ยอัตราเดียวกันในดินนาที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินค่อนข้างดี อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยแบบฝังเป็นจุดระหว่างกอมีปริมาณผลผลิตข้าวมากกว่าการใช้ปุ๋ยกรรมวิธีอื่นๆ จากการศึกษานี้ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของวิชัยและคณะ (2527) ที่ทำการทดลองเหมือนกันแต่ทำใน จ. พระนครศรีอยุธยา ซึ่งปรากฏว่าทุกตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียชนิดเม็ด และวิธีใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกัน แต่ทุกตำหรับที่ใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าตำรับไม่ใส่ปุ๋ยทางสถิติ และตำรับที่ใส่ปุ๋ยยูเรียชนิดเม็ดด้วยมือระหว่างกอข้าวลึก 10 ซม. มีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกันกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยยูเรียธรรมดา แบบที่นักวิชาการแนะนำและแบบเกษตรกร อัตรา 9.6 กก. ต่อไร่

จากการศึกษาของ Ponnamperuma (1978) พบว่า ดินที่ปลูกข้าวในเขตร้อนมีการสูญเสียไนเตรตอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 วันหลังจากดินมีน้ำขังเนื่องจากกระบวนการ denitrification โดยการสำรวจดินในประเทศฟิลิปปินส์ 280 แห่ง พบว่ามีไนเตรตระหว่าง 5-39 มก.NO_3^--N ต่อ กก. และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13 มก.ต่อกก. ก่อนที่ดินจะมีน้ำขัง ถ้าไนเตรตทั้งหมดนี้ถูก denitrified ฟิลิปปินส์จะสูญเสียปริมาณไนโตรเจนถึง 78,000 ตันต่อปี จากนาข้าวทั้งหมด 18 ล้านไร่

ในส่วนของการสะสมของ NH_4^+ ในดินนาน้ำขังมีประโยชน์ต่อข้าวมาก เพราะข้าวจะดูดไนโตรเจนจากดินปริมาณสูงถึง 70% และการที่ดินขาดไนโตรเจนหรือมีไนโตรเจนมากเกินไปในระยะใดระยะหนึ่งของการเจริญเติบโตมีผลกระทบต่อน้ำหนักเมล็ดเป็นอย่างมาก ซึ่งได้กำหนดแนวทางการใส่ปุ๋ยให้กับข้าว คือ ดินที่มี total N ต่ำ (0.1%) ต้องการปุ๋ยรองพื้นและปุ๋ยแต่งหน้า ดินที่มี total N ปานกลาง (0.1-0.2%) ต้องการเพียงปุ๋ยแต่งหน้าเท่านั้น และดินที่มี total N สูง (> 0.2%) อาจไม่ต้องการปุ๋ยไนโตรเจน

ไนโตรเจนที่สลายตัวได้เกือบทั้งหมดจะถูกปลดปล่อยออกมาในระยะ 2 สัปดาห์ของการขังน้ำ ถ้าอุณหภูมิเหมาะสม ดินไม่เป็นกรดจัดและไม่ขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง ปริมาณ NH_4^+ ที่เกิดขึ้นในช่วง 2 สัปดาห์ของการขังน้ำ อาจมีค่าอยู่ระหว่าง 50-350 มก.N ต่อลิตร ส่วนในสารละลายดินอาจมี

ปริมาณ NH_4^+ 2-100 มก.Nต่อ ลิตร ขึ้นอยู่กับเนื้อดินและปริมาณอินทรียวัตถุโดยในสภาพดินปลูกข้าวที่มีการขังน้ำปริมาณอินทรียวัตถุจะสูงกว่าดินไร่ ซึ่งอยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดีเนื่องจากน้ำและออกซิเจนเป็นตัวจำกัด ทำให้การสลายตัวเกิดขึ้นน้อยและยังมีอินทรียวัตถุที่ได้จากฟางข้าวและรากข้าว โดยปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ปลูกข้าวจะถูกควบคุมโดยปัจจัยต่างๆ เช่น ภูมิอากาศ เนื้อดินและการขังน้ำ (Mitsushi , 1974) สำหรับค่าเฉลี่ยสูงสุดของ NH_4^+ ในดินน้ำขังอาจสูงถึง 30% ของไนโตรเจนทั้งหมดและจากการศึกษา kinetic ของ NH_4^+ ได้ชี้ให้เห็นว่า

- ในดินที่มีอินทรียวัตถุอย่างเพียงพอไม่ต้องการปุ๋ยไนโตรเจน
- ในดินที่มีอินทรียวัตถุปานกลางอาจไม่ต้องการปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้น
- ในดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำ ต้องการปุ๋ยไนโตรเจนทั้งรองพื้นและแต่งหน้า
- ดินที่มีเนื้อหยาบจะสูญเสีย NH_4^+ โดยการชะล้างได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหลายครั้ง (ทัศนีย์, 2543)

จะเห็นได้ว่า ข้าวเมื่อได้รับปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งจัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต จากการศึกษาของ Sinclair and Wit (1975) พบว่า ในข้าวสาลี และข้าวมีความต้องการไนโตรเจนประมาณ 16 และ 10 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อน้ำหนักแห้งพืช 1 g ตามลำดับ ในส่วนของข้าว indica type เมื่อมีการให้ปุ๋ยไนโตรเจน 1 กก. สามารถสร้างผลผลิตได้ 15-20 กก. ทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง จะตอบสนองต่อไนโตรเจนในอัตรา 12 - 18 กก.ต่อไร่ ดังนั้นปัญหาการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับการปลูกข้าวในสภาพดินนาน้ำขังที่มีลักษณะสำคัญ คือ การมีข้อจำกัดของปริมาณ O_2 ที่จะส่งผลให้เกิดกระบวนการ denitrification จึงทำให้ต้องมีการศึกษาถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงของ NH_4^+/NO_3^- ในช่วงฤดูการปลูกข้าวซึ่งอยู่ในสภาวะน้ำขัง โดยทำการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของข้าว เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจนในสภาพดินนาน้ำขัง