บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ระบบการปลูกข้าว (Systems of rice culture)

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญ ประชากรกว่า 1 ใน 3 ของโลก บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะชาวเอเชีย พื้นที่ปลูกข้าวทั่วโลกมีประมาณ 153 ล้านเฮกแตร์ อยู่ในทวีปเอเชียถึงร้อยละ 90 (IRRI, 2005) ข้าวที่ปลูกบริโภคทั่วโลกมี 2 ชนิด คือข้าวปลูกเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวปลูกแอฟริกา (*Oryza glaberrima* steud.) (สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2544) โดยกระจายไปตามทวีปต่างๆ ทั้งในเอเชีย แอฟริกา ยุโรป ลาตินอเมริกา ออสเตรเลีย และบางรัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา (IRRI, 2001) ระบบการปลูกข้าวมีความแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมที่จำเพาะ หรือสภาพเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร (De Datta, 1981) เช่น ระบบการปลูกข้าวที่แบ่งโดย ใช้แหล่งของน้ำได้แก่ ข้าวนาน้ำฝน และข้าวนาชลประทาน ใช้พื้นที่และการจัดการเรื่องน้ำได้แก่ ข้าวนาสวน และข้าวไร่ ใช้ระดับน้ำ ได้แก่ ข้าวไร่ (ไม่มีน้ำที่ผิวดิน) ข้าวนาสวน (มีน้ำขัง 5-50 เซนติเมตร) ข้าวน้ำลึก (มีน้ำขังลึกกว่า 50 เซนติเมตร จนถึง 5-6 เมตร) หรือใช้ลักษณะพันธุ์ข้าว ได้แก่ ข้าวนาสวนหรือข้าวต้นเตี้ยหรือเตี้ยปานกลาง (1-2 เมตร) ข้าวไร่หรือข้าวต้นสูงปานกลางถึงสูง (130-150 เซนติเมตร) ข้าวน้ำลึกหรือข้าวต้นสูงปานกลางหรือสูง (120-150 เซนติเมตร เมื่อไม่มีน้ำขัง แล้วสูง 2-3 เมตรเมื่อระดับน้ำสูงขึ้น) และข้าวขึ้นน้ำ (สูง 150 เซนติเมตร ขึ้นไปเมื่อน้ำไม่ขัง แล้วสูง 5-6 เมตรเมื่อน้ำท่วมขัง) ดังนั้นเพื่อให้มีความเข้าใจตรงกันในเรื่องระบบนิเวศน์การปลูกข้าว De Datta (1981) จึงแบ่งระบบนิเวศน์การปลูกข้าวตามสภาพน้ำบนผิวดินได้เป็น 4 ระบบใหญ่ คือ ข้าวนาชลประทาน ข้าวนาน้ำฝน ข้าวไร่ ข้าวนาน้ำลึกและข้าวขึ้นน้ำ

1. ระบบนิเวศน์นาชลประทาน (Irrigated rice ecosystem) คือ ข้าวที่ปลูกในสภาพที่มีน้ำขัง มีการทำคันนาเพื่อกักเก็บน้ำ มีการเตรียมดินเมื่อขังน้ำนา และปรับระดับหน้าดินให้เรียบเสมอก่อนปลูก วิธีการปลูกส่วนใหญ่ใช้วิธีปักดำ หรือวิธีหว่านน้ำตม โดยปกติจะไม่มีปัญหาการควบคุมน้ำ และมักรักษาระดับน้ำไว้ประมาณ 5-15 เซนติเมตร
2. ระบบนิเวศน์ข้าวนาน้ำฝน (Rainfed rice ecosystem) คือข้าวที่ปลูกในสภาพนาน้ำขัง และมีการทำคันนาเพื่อกักเก็บน้ำ เช่นเดียวกับนาชลประทาน แต่อาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ ระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำโดยทั่วไปไม่เกิน 50 เซนติเมตร แต่บางครั้งน้ำอาจจะแห้ง หรือมีระดับน้ำสูงกว่านั้น วิธีปลูกส่วนใหญ่เป็นการปักดำ

3. ระบบนิเวศน์ข้าวน้ำลึกหรือข้าวขึ้นน้ำ (Deep water and floating rice ecosystem) หมายถึง ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่ภายหลังมีน้ำท่วมขังลึก ระดับตั้งแต่ 50 เซนติเมตร จนถึง 5-6 เมตร
4. ระบบนิเวศน์ข้าวไร่ (Upland rice ecosystem) เป็นข้าวที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนในสภาพไร่ โดยไม่มีการทำคันนาเพื่อกักเก็บน้ำ ไม่มีน้ำขังบนผิวดิน ส่วนมากปลูกด้วยวิธีหยอดหรือโรยเมล็ดข้าวแห้ง

ในเอเชีย ระบบการปลูกข้าวส่วนใหญ่จะเป็นข้าวนาชลประทาน ขณะที่ในแอฟริกา และลาตินอเมริกาจะใช้ระบบข้าวไร่ ส่วนในยุโรป ออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกา จะปลูกข้าวในระบบนาชลประทานทั้งหมด (IRRI, 2001)

2.2 ระบบนิเวศน์ข้าวนาน้ำฝน (Rainfed rice ecosystem)

พื้นที่นาน้ำฝนทั่วโลกมีประมาณร้อยละ 31 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด ในทวีปเอเชียมีพื้นที่นาน้ำฝนร้อยละ 33 ของพื้นที่ปลูกข้าวของทวีป (IRRI, 2001) เนื่องจากต้องอาศัยน้ำฝนในการทำนา จึงไม่สามารถควบคุมระดับน้ำและช่วงเวลาที่ขังน้ำได้ ระบบนิเวศน์ข้าวนาน้ำฝน จึงสามารถแบ่งออกตามสภาพน้ำ (hydrology condition) ได้เป็น 5 แบบ (Mackill *et al.*, 1996) คือ

1. Shallow, favorable เป็นพื้นที่ที่มีน้ำขังในกระทงนาตื้นๆ คล้ายกับนาชลประทาน ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำได้อย่างสมบูรณ์ แต่ปริมาณน้ำฝนก็มักเพียงพอต่อข้าว และสามารถกระจายไปได้อย่างทั่วถึง
2. Shallow, drought-prone แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ
   Drought-prone I เป็นพื้นที่นาที่มีฤดูฝนสั้น มักเกิดความแห้งแล้งตอนปลายฤดู
   Drought-prone II เป็นพื้นที่นาที่มีฤดูฝนยาวกว่าแบบแรก แต่มักเกิดฝนทิ้งช่วงตอนกลางฤดู
3. Shallow, drought-and submergence-prone เป็นพื้นที่นาที่มีน้ำท่วมเนื่องจากฝนตกหนัก หรือน้ำไหลบ่าจากแม่น้ำ สลับกับแห้งแล้ง โดยอาจเกิดขึ้นภายในฤดูปลูกเดียวกันหรือระหว่างฤดูปลูก
4. Shallow, submergence-prone เป็นพื้นที่นาที่มีน้ำขังตลอดฤดู เพียงพอต่อการผลิตข้าว
5. Medium-deep, waterlogged เป็นพื้นที่นาที่มีน้ำขังลึกประมาณ 25-50 เซนติเมตร

เนื่องจากพื้นที่นาน้ำฝนไม่สามารถควบคุมระดับน้ำและช่วงเวลามีน้ำได้ หากมีปริมาณน้ำฝนมากหรือฝนตกบ่อย ดินระบายน้ำไม่ดีจะเกิดน้ำท่วมขัง แต่หากเกิดฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานานทำให้มีความชื้นในดินต่ำ ต้นข้าวจะอยู่ในสภาพที่น้ำไม่ขัง การเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำที่เกิดขึ้นมีผลต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณออกซิเจนและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ทำให้ต้นข้าวต้องมีการปรับตัวในลักษณะ acclimation และ adaptation ที่แตกต่างกันต่อสภาพดินขังน้ำ (waterlogged soil หรือ anaerobic soil) และดินที่มีการระบายน้ำดี (aerated soil)

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 61.3 ล้านไร่ เป็นพื้นที่นาน้ำฝนถึงร้อยละ 74 (IRRI, 2001) โดยพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นนาน้ำฝนแบบ shallow, favorable และ shallow, drought-prone การขังน้ำในนาส่วนใหญ่ต้องรอไปจนกว่าฝนจะตกลงมามากพอในเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม นับแต่อดีตมามีวิธีการในการเลี่ยงปัญหาด้วยการทำนาดำโดยปลูกข้าวกล้าในแปลงเล็กก่อน เมื่อมีฝนตกมากพอขังน้ำในนา จึงนำไปดำลงในแปลงใหญ่ ซึ่งข้าวไทยพันธุ์นาชลประทานส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตในสภาพน้ำขังได้ดีกว่าในสภาพน้ำไม่ขัง แต่ความจำเป็นทางเศรษฐกิจปัจจุบันทำให้เกษตรกรหันมาปลูกข้าวโดยวิธีหว่านข้าวแห้งมากขึ้นแทนที่การทำนาดำที่มีต้นทุนที่สูง ทำให้ต้นกล้าต้องอยู่ในสภาพน้ำไม่ขังในช่วงต้นฤดูปลูก และในช่วงตอนกลางฤดูที่ฝนทิ้งช่วง ผลผลิตของข้าวในพื้นที่นาน้ำฝนจึงน้อยกว่านาชลประทานถึงร้อยละ 50 (Wade *et al*., 1999)

2.3 สภาพน้ำในดิน (Soil water condition)

น้ำเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการผลิตข้าว ในระบบนิเวศน์นาน้ำฝนนั้นไม่สามารถควบคุมระดับน้ำและช่วงเวลาที่ให้น้ำได้ ระดับน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน หากมีฝนตกน้อย ดินอาจพอเปียก หรือเมื่อฝนตกน้อยมากจนถึงฝนขาดช่วงจะทำให้เกิดภาวะแห้งแล้ง แต่หากมีฝนตกในปริมาณมาก หรือตกบ่อย รวมทั้งดินระบายน้ำไม่ดี จะเกิดน้ำท่วมขัง ในพื้นที่นาน้ำฝนข้าวจึงประสบกับภาวะแห้งแล้ง มีน้ำพอดินเปียก และน้ำขังสลับกันไป เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีดิน ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่างๆ

1. ดินน้ำขังหรือดินปลอดออกซิเจน (Waterlogged soil หรือ Anaerobic soil)

เมื่อเกิดสภาพน้ำขังหรือน้ำท่วม ออกซิเจนในดินจะถูกแทนที่ด้วยน้ำ (Ponnamperuma, 1972) และถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็วจากการหายใจของรากและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (Vartapetain and Jackson, 1997) ทำให้ดินอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีดิน ส่งผลให้ค่า pH ของดินเปลี่ยนแปลง สาเหตุที่ทำให้ค่า pH ดินเปลี่ยนแปลงได้แก่ รากข้าวปลดปล่อยออกซิเจนออกมา เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ได้เป็นเฟอริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) และโปรตอน (H^+) ทำให้เกิดสภาพกรดบริเวณราก หรือการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปลดปล่อย H^+ ออกมาโดยตรงจากรากเพื่อให้เกิดสมดุลย์ของแคทไอออนและแอนไอออน ระหว่างภายในและภายนอกราก (Begg *et* al., 1994; Kirk and Bajita, 1995) การเปลี่ยนรูปของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ และการเปลี่ยนรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ ไปเป็นก๊าซมีเทน (Ponnamperuma, 1972) การเปลี่ยนแปลงค่า pH มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร เช่น เหล็ก ฟอสฟอรัส อลูมินัม และซิลิเกต โดยมีการละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น และสามารถเคลื่อนย้ายโดยการวิธีการแพร่ (diffusion) และการไหลเป็นกลุ่มก้อนพร้อมกับน้ำ (mass flow)ได้ดี นอกจากนี้ยังช่วยลดความเป็นพิษของ อลูมินัม และเหล็ก ค่า pH ของดินจะลดลงในช่วงวันแรกเมื่อเกิดน้ำขัง และค่า pH จะเริ่มคงที่อยู่ที่ประมาณ 6.7-7.2 ในเวลาต่อมา (Ponnamperuma, 1972)

2. ดินน้ำไม่ขัง (Non-waterlogged soil หรือ Aerobic soil)

ในสภาพน้ำไม่ขัง ที่มีน้ำพอดินเปียก จะไม่พบปัญหาการขาดออกซิเจนที่จะนำไปใช้ในการหายใจของรากและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน แต่อาจพบปัญหาในเรื่องความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ซึ่งจะมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของพืช แม้ว่าสภาพดินกรดจะทำให้ธาตุอาหารบางอย่างอยู่ในสภาพที่เป็นประโยชน์ แต่ก็ทำให้อลูมินัมละลายออกมาได้มากเช่นกัน ทำให้เกิดสภาพเป็นพิษของอลูมินัม ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการจำกัดผลผลิตของพืชในหลายพื้นที่ (Lambers, 1998) นอกจากนี้ในดินกรด ยังมีความเข้มข้นของแมงกานีสสูง และอาจจะเพิ่มขึ้นจนถึงขั้นเป็นพิษต่อพืช ในขณะที่ฟอสเฟต แคลเซียม โพแทสเซียม และโมลิบดินัม จะลดลงจนอยู่ในสภาพขาด ขณะที่ในสภาพดินด่างจะทำให้ความสามารถในการละลายของฟอสเฟตและเหล็กต่ำ จึงมักพบปัญหาการขาดธาตุนี้ (Ponnamperuma, 1975) นอกจากนี้สภาพน้ำไม่ขัง ยังทำให้อัตราการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารโดยวิธี diffusion และ mass flow ลดลงเนื่องจากมีความชื้นจำกัด (Panish, 1971 อ้างจาก Ponnamperuma, 1975)

2.4 การตอบสนองของข้าวต่อสภาพน้ำในดิน

1. การตอบสนองของข้าวเมื่ออยู่ในสภาพดินน้ำขัง

ภายใต้สภาพดินน้ำขัง ออกซิเจนจะถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็วในกระบวนหายใจของรากพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในพืชบางชนิดมีการปรับตัวโดยการสร้างระบบท่ออากาศภายในรากเพื่อลำเลียงออกซิเจนจากส่วนเหนือดินสู่ปลายราก เรียกว่าโพรงอากาศ หรือ aerenchyma (Justin and Armstrong, 1987; Drew *et al.*, 1994) ในข้าวก็มีการพัฒนา aerenchyma เช่นกัน (Kirk, 2003; Colmer, 2003a) aerenchyma พัฒนาขึ้นในชั้น cortex โดยเกิดจากการแยกออกของเซลล์ (schzogenously) หรือการสลายตัวของเซลล์ (lysigenously) โดย aerenchyma ที่ขยายใหญ่จะช่วยลด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แรงต้านทานการเคลื่อนย้ายก๊าซภายในราก ทำให้ออกซิเจนแพร่ไปสู่ปลายรากได้สะดวกขึ้น และเพื่อลดการสูญเสียออกซิเจนที่แพร่ออกจากรากในแนวรัศมี (radial oxygen loss: ROL) (Kirk and Du, 1997) จึงมีโครงสร้างที่ป้องกันการรั่วไหลของออกซิเจนจากราก (barrier) ที่แน่นหนา (Colmer and Bloom, 1998; McDonald *et al.*, 2002) เชื่อว่าโครงสร้างนี้ประกอบไปด้วยสารพวกลิกนินและซูเบอลิน โดยสะสมอยู่ในชั้น exodermis (Ranathunge *et al.*, 2004) Insalud *et al.* (2006) พบว่ารากข้าวไวต่อออกซิเจนที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างฉับพลัน โดยหลังย้ายข้าวจากสภาพมีออกซิเจนปกติไปยังสภาพปลอดออกซิเจนเพียง 1 วัน รากข้าวตอบสนองโดยการลดการสูญเสียออกซิเจนจากราก (ROL) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงนี้อาจจะไปลดหรือยับยั้งการผ่านของน้ำและธาตุอาหารเข้าสู่ราก (Drew and Saker, 1986; Kronzucker *et al.*, 1998; Insalud *et al.*, 2006) ถึงแม้ว่า barrier อาจเป็นตัวยับยั้งการดูดธาตุอาหารของราก แต่การศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้โดยตรงยังมีน้อย มีรายงานจาก Kirk and Du (1997) และ Kirk (2003) ว่ารากที่มี aerenchyma เป็นรากที่ไม่มีประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหาร รากที่อยู่ในสภาพน้ำขังจึงพัฒนา lateral root ขึ้นรอบๆ adventitious root หรือรากที่มี aerenchyma โดย lateral root ที่สร้างขึ้นมีขนาดเล็ก มีความยาวเพียง 1-2 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-2 มิลลิเมตร ภายในมี aerenchyma น้อยและไม่มีการสร้าง barrier เหมือนใน adventitious root ดังนั้น lateral root จึงน่าจะเป็นรากที่มีหน้าที่ในการดูดน้ำและธาตุอาหารในสภาพน้ำขัง แต่ในขณะเดียวกัน lateral root ก็เป็นส่วนที่มีการสูญเสียออกซิเจนมาก เนื่องจากไม่มีการสร้าง barrier นอกจากนี้ข้าวยังปรับตัวโดยเพิ่มจำนวนราก adventitious ซึ่งเชื่อว่าช่วยให้ข้าวมีความทนทานต่อน้ำขัง (Colmer, 2003)

2. การตอบสนองของข้าวเมื่ออยู่ในสภาพดินน้ำไม่ขัง

ข้าวที่อยู่ในสภาพน้ำไม่ขัง รากข้าวจะได้รับออกซิเจนอย่างพอเพียง แต่ถูกจำกัดในเรื่องน้ำและมีความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารลดลง (Ponnamperuma, 1972) เนื่องจากธาตุอาหารบางตัวไม่สามารถละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ รวมทั้งการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารสู่รากพืชโดยวิธี diffusion และ mass flow ก็ลดลง รากข้าวมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้สามารถหาน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้น โดยมีจำนวนรากลดลง แต่ความยาวรากเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับรากข้าวที่อยู่ในสภาพน้ำขัง เพื่อสามารถหยั่งลึกไปหาน้ำและธาตุอาหารได้ดีขึ้น (Colmer, 2003a) การ barrier ก็ไม่หนาแน่นเท่ารากข้าวที่อยู่ในสภาพน้ำขังซึ่งจะมี barrier หนาแน่นตลอดความยาวราก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในสภาพนาน้ำฝน

ในสภาพนาน้ำฝน การเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนและความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากธาตุอาหารบางอย่างอาจมีน้อยหรือมากจนเป็นพิษ โดยพบได้ทั้งในดินกรดและดินด่าง (Wade *et al*., 1999) การเปลี่ยนแปลงจากสภาพปลอดออกซิเจน (น้ำขัง) เป็นสภาพมีออกซิเจน (น้ำไม่ขัง) มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร ข้าวนาน้ำฝนจึงมีผลผลิตเฉลี่ยเพียง 1.3 ตัน/เฮกแตร์ (IRRI, 1993) สถานะธาตุอาหารในพื้นที่นาน้ำฝนมักจะต่ำ เช่นเดียวกับการตอบสนองของข้าวต่อการใส่ธาตุอาหาร (Mazid *et al*., 1988)

1. ธาตุฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นธาตุที่จัดอยู่ในกลุ่มที่พืชต้องการในปริมาณมาก (macronutrient) โดยเป็นองค์ประกอบของสารประกอบหลายๆ ชนิดในพืช เช่น ฟอสโฟลิปิด ไฟติน โคเอนไซม์ กรดนิวคลีอิก และ ATP โดยฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินมาจาก 2 แหล่งใหญ่คือ อนินทรีย์ฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต (ยงยุทธ 2546)

ฟอสฟอรัสในดินเป็นแอนไอออนของกรดออโทฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้ 3 แบบขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยรูปของฟอสฟอรัสในดินจะขึ้นอยู่กับสารละลายดิน เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 6.8 รูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มากคือ $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชดูดไปใช้ง่ายที่สุด pH ระหว่าง 6.8-7.2 จะอยู่ในรูป $H_2PO_4^{2-}$ มากซึ่งพืชดูดไปใช้ได้น้อยกว่ารูปแรก หาก pH สูงกว่า 7.2 จะมี PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ซึ่งพืชดูดไปใช้ยาก

โดยทั่วไปความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดินจะสูงขึ้นเมื่อมีการขังน้ำ (Ponnamperuma, 1972) ในดินที่น้ำไม่ขัง ฟอสฟอรัสถูกดูดซับไว้ ละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้น้อย เช่น ในสภาพดินกรดจะ อยู่ในรูปของ เหล็กฟอสเฟต อลูมินัมฟอสเฟต หรือในดินด่างอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต แต่เมื่อขังน้ำ ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้ฟอสฟอรัสละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น

2. ธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้มีอยู่ 3 แบบคือ ไนเตรตไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และ ยูเรีย (H_2NCONH_4) ในดินที่มีการระบายอากาศดี ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไนเตรต เมื่อไนเตรตเข้าสู่พืชจะถูกรีดิวซ์ได้แอมโมเนียมแล้วจึงเข้าไปรวมตัวกับสารอินทรีย์บางชนิด แล้วสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนและเอไมด์ หากพืชดูดแอมโมเนียมเข้าไป เซลล์ก็สามารถนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโน และเอไมด์ได้ทันที ส่วนใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดินน้ำขัง ไนโตรเจนมักอยู่ในรูปแอมโมเนียม ซึ่งจะแพร่เข้าสู่รากพืช ส่วนไนเตรตจะเคลื่อนโดยวิธี diffusion และ mass flow ในสภาพน้ำขัง ข้าวจึงสามารถดูดซับปุ๋ยไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็ว (Cassman *et al.*, 1998) ทำให้ป้องกันการสูญเสียไนโตรเจนไปในรูปแก๊ส แต่การได้รับไนโตรเจนที่มากเกินไปทำให้ข้าวอ่อนแอต่อโรคและมีปัญหาการหักล้ม ดังนั้นการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแก่ข้าวจึงต้องแบ่งใส่ในปริมาณที่เหมาะสมกับช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

3. ธาตุโพแทสเซียม

โพแทสเซียมแบ่งตามความเป็นประโยชน์ได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ (1)โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ทันที ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปของแร่ feldspars และ micas เป็นต้น มีอยู่ในดินเป็นปริมาณมากคือ ประมาณ 90-98% ของโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินทั้งหมด แร่เหล่านี้จะสลายตัวปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (2)โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้อย่างช้าๆ ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่ถูกตรึงอยู่ระหว่างผลึกของแร่ดินเหนียว เรียกว่าโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ พืชจะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากโพแทสเซียมที่ถูกตรึงนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาเสียก่อน การปลดปล่อยจะช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับความสมดุลย์ระหว่างโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่อาจแลกเปลี่ยนได้และที่อยู่ในรูปของไอออนในสารละลายดิน (3) โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปของ K^+ และโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ โดยพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายแต่ก็จะถูกชะล้างได้ง่ายเช่นเดียวกัน

สภาพน้ำขังทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในดินทรายที่มีอินทรียวัตถุ เหล็ก และแมงกานีส (Yoshida, 1979) ส่วนการทำให้ดินเปียกสลับแห้ง อาจทำให้โพแทสเซียมเป็นประโยชน์มากขึ้นหรือลดลงก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าดินตรึงหรือปลดปล่อยโพแทสเซียม หากดินอยู่ในสภาพที่ปลดปล่อยโพแทสเซียม การทำให้ดินเปียกกลายเป็นดินแห้งจะทำให้มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมมากขึ้น

4. ธาตุอาหารอื่นๆ

ดินในสภาพน้ำขัง เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) สะสมอยู่ในสารละลายดินในปริมาณมาก เนื่องมาจากกระบวนการรีดักชันของเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) ลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงของ Fe^{2+} จะคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัส โดย Fe^{2+} จะเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ 1-2 เดือนหลังการขังน้ำ หลังจากนั้นจะลดลงและรักษาระดับคงที่ประมาณ 50-100 ppm ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กในดิน อินทรียวัตถุ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของแมงกานีส (Mn^{2+}) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับ Fe^{2+}

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับไอออนอื่น เช่น แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ในสารละลายดินก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการแลกเปลี่ยนแคทไอออน โดยที่ Fe^{2+} และ Mn^{2+} ที่เกิดขึ้นมาเนื่องจากกระบวนการรีดักชัน จะไปไล่แคทไอออนต่างๆ ที่บริเวณผิวคอลลอยด์ให้ออกมาอยู่ในสารละลายมากขึ้น นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของแคทไอออนยังมากขึ้น เนื่องมาจากอิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำขัง อิทธิพลที่สำคัญอีกประการของน้ำขังคือ ลดความเป็นพิษของอะลูมินัมในดินกรด (ไพบูลย์ 2546)

2.6 ความต้องการธาตุอาหารของพืช

ความต้องการธาตุอาหารของพืชแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ ความต้องการภายใน (Internal requirement) และความต้องการภายนอก (External requirement) (Atwell *et al*., 1999)

1. ความต้องการภายใน (Internal requirement) คือความเข้มข้นของธาตุอาหารภายในเนื้อเยื่อที่น้อยที่สุดที่ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตดีที่สุด
2. ความต้องการภายนอก (External requirement) คือปริมาณธาตุอาหารที่ในดินหรือที่ให้ให้แก่พืชแล้วทำให้พืชมีความเข้มข้นธาตุอาหารในเนื้อเยื่อเท่ากับความต้องการภายในหรือทำให้พืชมีการเจริญเติบโตสูงสุด ซึ่งความต้องการภายนอกนี้เป็นตัวชี้ความสามารถของรากในการดูดธาตุอาหารของพืช โดยอาจประเมินได้จากความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและการเจริญเติบโต เช่น น้ำหนักแห้ง ในการปลูกพืชหากทราบระดับ external requirement จะทำให้สามารถจัดการเรื่องธาตุอาหารให้เหมาะสมแก่ความต้องการของพืชและทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง

2.7 การตอบสนองของพืชเมื่ออยู่ภายใต้สภาพความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่ำ

พืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบเป็นไปอย่างปกติ พืชที่ขาดฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 ประการ คือใบขยายช้า จึงมีใบขนาดเล็ก และมีจำนวนใบลดลง ถึงแม้การขยายตัวของใบจะลดลงอย่างมาก แต่ปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากขนาดใบลดลงมากแต่คลอโรฟิลล์ลงน้อยกว่าทำให้ใบพืชที่ขาดฟอสฟอรัสในระยะแรกมีสีเขียวเข้มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาอัตราการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยของคลอโรฟิลล์พบว่ามีค่าลดลงไป เมื่อการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินลดลงมาก และมีผลทำให้คาร์โบไฮเดรตกระจายตัวลงมาอยู่ที่รากมากขึ้น ดังนั้นพืชที่ขาดฟอสฟอรัสจึงมีค่าสัดส่วนน้ำหนักแห้งระหว่างส่วนเหนือดินกับราก (shoot:root ratio) ลดลง (Marschner, 1995)

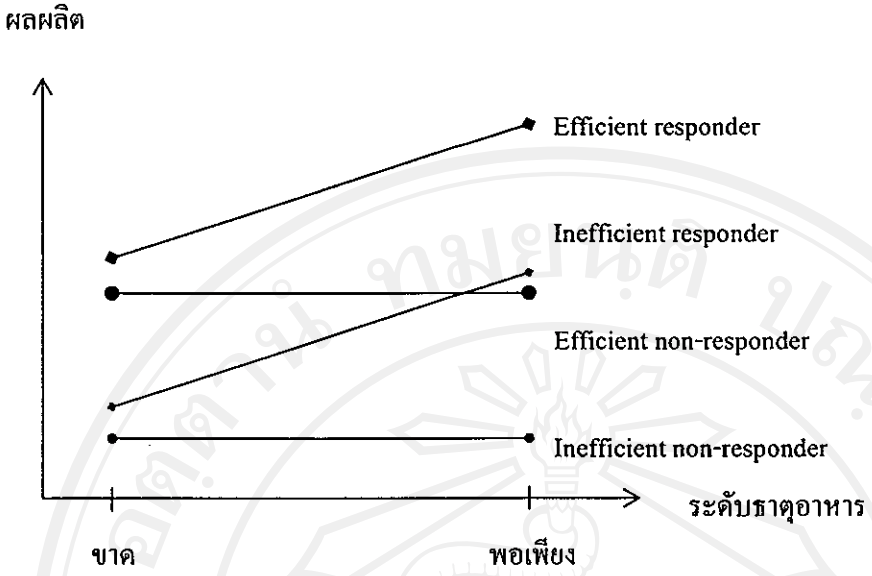
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าเมื่อพืชอยู่ในสภาพที่ฟอสฟอรัสมีความเป็นประโยชน์ต่ำ พืชจะมีกลไกการปรับตัวให้สามารถหาฟอสฟอรัสได้มากขึ้น เช่น การอยู่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่า การเพิ่มจำนวนและความยาวขนราก (Bates and Lynch, 1996; Ma *et al.*, 2001) เพิ่มความยาวราก จำนวน lateral root และพื้นที่ผิวราก (Kirk and Du, 1997) การปลดปล่อยกรดอินทรีย์ (Gardner *et al.*, 1983; Lipton *et al.*, 1987; Lu *et al.*, 1999) โปรตอน (Dunlop and Gardiner, 1993; Kirk and Du, 1997) และกรด phosphatase (Hayes *et al.*, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่า ในข้าวโพดและ common bean มีการกระตุ้นให้รากพืชสร้าง aerenchyma เพื่อลดการหายใจและความต้องการฟอสฟอรัสของราก (Fan *et al.*, 2003)

2.8 สมรรถภาพการใช้ธาตุอาหาร

พืชที่มีพันธุกรรมต่างกันจะมีสมรรถภาพในการใช้ธาตุอาหารแตกต่างกัน ซึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของรากในการหาอาหาร ประสิทธิภาพการนำไปใช้ของพืช หรือทั้งสองอย่างรวมกัน สมรรถภาพในการดูดธาตุอาหารสามารถประเมินได้จาก ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดที่พืชดูดขึ้นไปได้ อัตราการดูดใช้ธาตุอาหารต่อหน่วยความยาวราก สัดส่วนของน้ำหนักผลผลิตต่อน้ำหนักธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดขึ้นไปได้ (Marschner, 1995) นอกจากนี้การบ่งชี้สมรรถภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารของแต่ละพันธุ์ สามารถจำแนกได้โดยการพิจารณาความสามารถในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตในดินที่ธาตุอาหารธาตุใดธาตุหนึ่งขาดแคลนสำหรับพันธุ์มาตรฐานโดยไม่จำเป็นต้องรู้กลไลที่เกี่ยวข้อง (Graham, 1984) ส่วน Gerloff (1977) อ้างจาก Blair (1993) และรัตญา (2547) ได้จำแนกพืชตามการตอบสนองในการให้ผลผลิต โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มดังภาพ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.1 ลักษณะการตอบสนองต่อระดับธาตุอาหารของพืช ดัดแปลงจาก Gerloff (1977)

จากภาพที่ 2.1 จำแนกพืชตามการตอบสนองต่อระดับธาตุอาหารได้ดังนี้

1. พันธุ์ที่มีสมรรถภาพแบบมีการตอบสนอง (Efficient responders) คือ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง แม้ว่าจะอยู่ในสภาพที่มีธาตุอาหารต่ำ และผลผลิตจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณธาตุอาหารสูงขึ้น
2. พันธุ์ที่ไม่มีสมรรถภาพแบบมีการตอบสนอง (Inefficient responders) คือ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำเมื่ออยู่ในสภาพที่มีธาตุอาหารต่ำ แต่ให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร
3. พันธุ์ที่มีสมรรถภาพแบบไม่มีการตอบสนอง (Efficient non-responders) คือ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงทั้งในสภาพที่มีธาตุอาหารต่ำและมีธาตุอาหารสูง
4. พันธุ์ที่ไม่มีสมรรถภาพแบบไม่มีการตอบสนอง (Inefficient non-responders) คือ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำทั้งในสภาพที่มีธาตุอาหารต่ำและมีธาตุอาหารสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 ความหลากหลายทางพันธุกรรมในการตอบสนองต่อสภาพน้ำและความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

ในพื้นที่นาน้ำฝน ปริมาณน้ำและช่วงเวลาที่ได้รับน้ำจะมักเป็นตัวกำหนดการผลิตข้าว แต่เนื่องจากไม่สามารถควบคุมน้ำได้ ทำให้ในบางพื้นที่อยู่ในสภาพขาดน้ำ หรือหากมีฝนตกในปริมาณมากและการระบายน้ำไม่ดีก็สามารถเกิดสภาพน้ำท่วม ซึ่งจะส่งผลกระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตข้าว นอกจากนี้สภาพดินที่น้ำขังและน้ำไม่ขังสลับกันยังมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่างๆ ในดิน ซึ่งอาจจำกัดศักยภาพในการสร้างผลผลิตของข้าวได้ (Bell *et al.*, 2001) พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันไปตามระบบการปลูก แหล่งกำเนิด ประวัติพันธุ์ และการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งส่งผลออกมาในแง่ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในการตอบสนองต่อสภาพน้ำในดินรายงานโดย Kamoshita *et al.* (2000) พบว่าพันธุ์ข้าวมีการพัฒนาราก seminal แตกต่างกันเมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำและให้น้ำ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวไร่ในการตอบสนองต่อสภาพขาดน้ำ โดย Kondo *et al.* (2003) พบว่า ข้าว 11 พันธุ์มีความแตกต่างในการพัฒนาระบบรากแต่ความแตกต่างนี้มิได้สอดคล้องกับระบบนิเวศน์ของพันธุ์ข้าว คือไม่สามารถบ่งชี้ลักษณะพัฒนาการของระบบรากจาก ความเป็นข้าวไร่ ข้าวนาสวน หรือข้าวขึ้นน้ำ โดยในพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ จะมีระบบรากหยั่งลึกและมีน้ำหนักแห้งรากน้อย ส่วน Colmer (2003a) ประเมินความทนทานของพันธุ์ข้าวต่อน้ำขัง โดยดูการสร้างราก การสร้างความพรุนราก และการสูญเสียออกซิเจนจากราก ใช้ข้าวจำนวน 12 พันธุ์ จาก 3 ระบบการปลูก คือข้าวนาสวน ข้าวไร่ และข้าวขึ้นน้ำ พบว่า มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ทั้งภายในระบบปลูก และระหว่างระบบปลูก โดยพันธุ์ข้าวไร่ 6 พันธุ์จาก 7 พันธุ์ มีความทนทานต่อน้ำขังเช่นเดียวกับพันธุ์ ข้าวนาสวนและข้าวน้ำลึก

ปัจจัยสำคัญอีกอย่างที่จำกัดผลผลิตในพื้นที่ปลูกข้าวทั่วโลกคือ การขาดฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงโดยเฉพาะในดินกรดรุนแรง (Gupta and O'Toole, 1986) โดยร้อยละ 90 ของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ให้ข้าวเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ แนวทางในการแก้ปัญหาคือ การพัฒนาพันธุ์ข้าวที่สามารถใช้ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินได้ ซึ่งยังเป็นการแก้ไขปัญหาในระยะยาว (Wissuwa and Ae, 2001) ความหลากหลายทางพันธุกรรมข้าวจึงเป็นส่วนสำคัญในการหาแหล่งพันธุกรรมในการพัฒนาพันธุ์ข้าว มีรายงานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในความทนทานต่อการขาดฟอสฟอรัสขึ้นครั้งแรกในทศวรรษ 1970 (IRRI, 1971) หลังจากนั้นความพยายามในการคัดเลือกและพัฒนาสายพันธุ์ที่มีผลผลิตเฉลี่ยสูงในสภาพที่ขาดฟอสฟอรัส จึงเกิดขึ้นควบคู่ไปกับการสร้างพันธุ์ใหม่ที่สามารถเจริญได้ดีในสภาพที่ขาดฟอสฟอรัส (Hedley *et al.*, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Fageria *et al.* (1988) ทำการคัดเลือกพันธุ์ข้าว 25 พันธุ์ ในดินที่มีฟอสฟอรัส 3 ระดับคือ ขาดฟอสฟอรัส มีฟอสฟอรัสปานกลาง และมีฟอสฟอรัสสูง พบว่าจำนวนหน่อ ความยาวราก ความสูงต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต้น และพันธุ์ข้าวมีสมรรภาพในการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสแตกต่างกัน และพบว่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ความอ่อนแอต่อการขาดฟอสฟอรัส

Wissuwa and Ae (2001) คัดเลือกพันธุ์ข้าวที่ปลูกในดินที่มีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่ำ พบว่ามีความแปรปรวนทางพันธุกรรมระหว่างพันธุ์ข้าวในการใช้ธาตุฟอสฟอรัส โดยพบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีการเจริญเติบโตในสภาพที่ขาดฟอสฟอรัสดีกว่าข้าวพันธุ์ปรับปรุง เนื่องจากมีความสามารถในการใช้ดูดธาตุฟอสฟอรัสได้ดีกว่า

2.10 การจำลองสภาพออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหาร

การศึกษาเรื่องการปรับตัวของพืชในการดูดธาตุอาหารจากดินยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องน้ำและความเป็นประโยชน์ธาตุอาหาร จึงได้มีการจำลองสภาพน้ำและธาตุอาหาร โดยใช้สารละลายธาตุอาหารที่อยู่ในสภาพมีออกซิเจน (aerated nutrient solution) และสภาพปลอดออกซิเจน(stagnant nutrient solution) (Wiengweera *et al.*, 1997; Colmer, 2003a) โดยสารละลายธาตุอาหารสภาพ aerated เป็นการจำลองสภาพดินปกติที่มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อการหายใจของราก รากพืชจะไม่มีปัญหาเรื่องน้ำและสามารถเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นธาตุอาหารได้ การใช้สารละลายธาตุอาหารธรรมดา (still solution) นั้น ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสภาพจำลองน้ำขังเนื่องจากออกซิเจนยังสามารถละลายลงสู่ธาตุอาหารได้ นอกจากนี้การสร้างโพรงอากาศ ซึ่งเป็นลักษณะการตอบสนองของรากที่อยู่ในสภาพน้ำขังนั้นเกิดขึ้นน้อยกว่าการจำลองสภาพน้ำขังโดยใช้สารละลายธาตุอาหารสภาพ stagnant (Wiengweera, 1997) สำหรับสารละลายธาตุอาหารสภาพ stagnant จะผสมผงวุ้นความเข้มข้น 0.1 % (น้ำหนัก/ปริมาตร) ลงในสารละลายเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่และการถ่ายเทอากาศ และในการทดลองในข้าวสาลีโดย ข้าวสาลีที่ปลูกในสภาพ stagnant มีการสร้างโพรงอากาศใกล้เคียงกับที่ปลูกในสภาพน้ำขัง (Wiengweera *et al.*, 1997) ดังนั้นสารละลายธาตุอาหารสภาพ stagnant จึงเหมาะสมในการใช้เป็นสภาพจำลองน้ำขัง

การจำลองทั้ง 2 สภาพนี้ ช่วยให้การศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ของรากสะดวกขึ้น มีการศึกษาความแตกต่างระหว่างโครงสร้างรากที่เจริญในสภาพ aerated และ stagnant โดยที่ปัจจัยน้ำและธาตุอาหารไม่เป็นตัวจำกัด พบว่า การเจริญเติบโตของข้าวภายใต้สภาพ aerated ดีกว่าสภาพ stagnant โดยความยาวรากในสภาพ aerated ยาวกว่าสภาพ stagnant (Colmer, 2003a) ในทางตรงกันข้าม ความพรุนราก (root porosity) การสร้าง aerenchyma และ barrier ในรากที่อยู่ภายใต้สภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

stagnant มากกว่าใน aerated จึงสูญเสียออกซิเจนจากรากน้อยกว่า (Colmer and Bloom, 1998) ในรากข้าวที่เจริญอยู่ภายใต้สภาพน้ำขัง จะมีการพัฒนา barrier ตลอดความยาวราก ซึ่งมีข้อสันนิษฐานว่า barrier ที่เกิดขึ้นอาจเป็นตัวขัดขวางการดูดใช้น้ำและธาตุอาหารได้เช่นกัน (Colmer, 2003a) ซึ่งหากข้อสันนิษฐานนี้เป็นจริง รากพืชที่อยู่ในสภาพน้ำไม่ขังน่าจะมีประสิทธิภาพในการดูดน้ำและธาตุอาหารดีกว่ารากพืชที่อยู่ในสภาพน้ำขัง

ในการศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร Kirk and Du, (1997) ศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวในสภาพที่มีฟอสฟอรัสสูงและต่ำภายใต้สภาพปลอดออกซิเจน พบว่าเมื่ออยู่ในสภาพปลอดออกซิเจนรากข้าวจะเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัส โดยการสร้างสภาพความเป็นกรดบริเวณรอบๆ ราก ซึ่งเกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของเฟอรัสไอออน และการปลดปล่อยโปรตอนจากรากโดยตรง เพื่อปรับสมดุลย์ประจุภายในและภายนอกราก ทำให้ค่า pH ดินเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสในจึงดินละลายออกมาได้มากขึ้น และเมื่ออยู่ภายใต้สภาพที่ขาดฟอสฟอรัสรากข้าวจะถูกชักนำให้เพิ่มการปลดปล่อยออกซิเจนและโปรตอน รวมทั้งสร้างน้ำหนักแห้งราก พื้นที่ผิวราก ความพรุนของรากมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การศึกษาระดับฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญของข้าว และการตอบสนองของข้าวต่อสภาพน้ำควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสยังมีน้อย และดังนั้นการศึกษากลไกการปรับตัวและการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในสภาพน้ำไม่ขัง (aerated condition) จึงสามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานและใช้เป็นแนวทางสู่การพัฒนาพันธุ์ข้าวที่ปรับตัวเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสหรือมีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่ำได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved