บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการตอบสนองของพันธุ์ข้าวต่อสภาพน้ำพบว่าโดยทั่วไปสภาพขังน้ำทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีจำนวนหน่อ จำนวนใบ และจำนวนรากเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ขังน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Insalud *et al.* (2004) ที่รายงานว่า การขังน้ำทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารมากกว่าไม่ขังน้ำ การที่ข้าวในสภาพน้ำขังมีการเจริญเติบโตดีนั้นเนื่องจากในสภาพน้ำขังธาตุอาหารบางอย่างจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น (Ponnamperuma, 1972; Kirk *et al.*, 1998; Dobermann *et al.*, 2000) นอกจากนี้จำนวนรากที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นลักษณะการปรับตัวของพืชให้ทนทานต่อน้ำขังและขาดออกซิเจน(Armstrong, 1971; Jackson and Drew, 1984; Colmer *et al.*, 1998; Colmer, 2003a) ยังเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดธาตุอาหาร ดังนั้นข้าวที่อยู่ในสภาพน้ำขังจึงมีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าในสภาพน้ำไม่ขัง

การเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำมีผลต่อเคมีดิน โดยเฉพาะปริมาณออกซิเจนและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน (Ponnamperuma, 1972) ซึ่งทำให้ยากในการควบคุม ดังนั้นจึงใช้สารละลายธาตุอาหารสภาพ aerated และ stagnant แทนการปลูกศึกษาในดิน เนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารได้ จากการศึกษาพบว่า ข้าวที่ปลูกในสภาพ aerated มีรากยาวกว่าข้าวที่ปลูกในสภาพ stagnant เนื่องจากการยืดขยายของรากถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจน (Armstrong, 1979) แต่จะมีจำนวนรากมากกว่า สอดคล้องกับ Colmer (2003a) ที่รายงานว่าข้าวจะมีการปรับตัวต่อสภาพปลอดออกซิเจนโดยลดความยาวรากลง และเพิ่มจำนวนรากขึ้น นอกจากนี้ ข้าวในสภาพ aerated มีการสะสมธาตุฟอสฟอรัสสูงกว่าข้าวที่อยู่ในสภาพ stagnant ซึ่งอาจเนื่องมาจากข้าวในสภาพ stagnant ข้าวถูกจำกัดการดูดฟอสฟอรัสลงเพราะธาตุอาหารบริเวณรากถูกรากดูดไปใช้หมด แต่มีการแพร่มาแทนที่ช้าเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสารละลายในสภาพ stagnant เกิดขึ้นได้น้อย สอดคล้องกับ Wiengweera *et al.* (1997) ที่รายงานว่าข้าวสาลีที่ปลูกในสภาพ stagnant จะถูกจำกัดการดูดธาตุอาหาร เนื่องจากการหมดไปของธาตุอาหารบริเวณรอบๆ ราก ความเป็นไปได้อีกประการ คือรากข้าวในสภาพ stagnant มีประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารลดลงเนื่องจากถูกกั้นด้วยผนังกั้นการรั่วไหลของออกซิเจน (barrier to ROL) (Drew

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

and Saker, 1986; Kronzucker *et al.*, 1998) ข้าวที่อยู่ในสภาพ stagnant จึงมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าข้าวที่อยู่ในสภาพ aerated

เมื่อพิจารณาการตอบสนองของพันธุ์ข้าวต่อการใส่ฟอสฟอรัสในดิน พบว่าเมื่อใส่ฟอสฟอรัสในดินที่ไม่ขังน้ำ ทำให้พันธุ์ชัยนาท 1 มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักแห้งรวมเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือขาวดอกมะลิ 105 ต่ำสุดคือน้ำรู แม้การใส่ฟอสฟอรัสไม่ทำให้พันธุ์ข้าวมีจำนวนหน่อ จำนวนใบ และน้ำหนักแห้งรากแตกต่างกัน แต่ทำให้จำนวนรากเพิ่มขึ้นและแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ โดยพันธุ์ที่มีจำนวนรากมากที่สุดคือพันธุ์ชัยนาท 1 รองลงมาคือขาวดอกมะลิ 105 และต่ำสุดคือน้ำรู ส่วนการใส่ฟอสฟอรัสในดินน้ำขัง พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีน้ำหนักแห้งรวมเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ชัยนาท 1 และน้ำรู เช่นเดียวกับจำนวนราก จะเห็นว่าการเพิ่มของจำนวนรากทั้งในสภาพน้ำขังและน้ำไม่ขังนั้นสอดคล้องกับการเจริญเติบโตและปริมาณฟอสฟอรัสฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นไปได้ว่าการที่ข้าวมีการตอบสนองต่อระดับฟอสฟอรัสแตกต่างกันนั้นเพราะมีความสามารถในการสร้างรากต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ฟอสฟอรัสในดินน้ำขังทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นได้น้อยกว่าการใส่ฟอสฟอรัสในดินไม่ขังน้ำ แสดงว่าข้าวทั้ง 3 พันธุ์ตอบสนองต่อการใส่ฟอสฟอรัสในดินไม่ขังน้ำได้ดีกว่าในดินขังน้ำ

ในสภาพ aerated และ stagnant การเพิ่มระดับฟอสฟอรัสทำให้การเจริญเติบโตของข้าวเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน ข้าวที่ปลูกในสภาพ aerated จะตอบสนองต่อการระดับฟอสฟอรัสได้ดีกว่าสภาพ stagnant เนื่องจากมีการเจริญเติบโตสูงกว่าแม้ได้ระดับฟอสฟอรัสเท่ากัน ในการศึกษาการตอบสนองต่อการเพิ่มระดับฟอสฟอรัสในข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าเมื่ออยู่ในการเพิ่มระดับฟอสฟอรัสทำให้ความยาวรากลดลงทั้งในสภาพ aerated และ stagnant สอดคล้องกับ Kirk and Du (1997) ที่รายงานว่าในที่สภาพฟอสฟอรัสต่ำนั้นข้าวจะมีรากยาวกว่าในสภาพฟอสฟอรัสสูง โดยที่ข้าวที่อยู่ในสภาพ stagnant นั้นมีรากสั้นกว่าในสภาพ aerated ในทุกระดับฟอสฟอรัสเนื่องจากการยืดขยายรากถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจน อย่างไรก็ตามในสภาพฟอสฟอรัสต่ำ ข้าวจะมีจำนวนรากมากขึ้น เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวรากซึ่งมีความสำคัญในการดูดธาตุอาหารภายใต้สภาพขาดฟอสฟอรัส (Wissuwa, 2003) ดังนั้นที่ระดับฟอสฟอรัสต่ำ ข้าวที่อยู่ในสภาพ stagnant จึงมีการพัฒนาของรากมากกว่าส่วนเหนือดิน ซึ่งแสดงออกมาในค่าสัดส่วนรากต่อต้นที่สูง ในส่วนการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน พบว่าการเพิ่มระดับฟอสฟอรัสทำให้ข้าวในสภาพ aerated มีการแตกกอและสะสมน้ำหนักแห้งรวมได้สูงกว่าในสภาพ stagnant ในทุกระดับฟอสฟอรัส เช่นเดียวกับปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในต้นที่เพิ่มขึ้นตามฟอสฟอรัสที่ให้ภายนอก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Colmer (1998), Insalud *et al.* (2006) และ Thang (2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองในการเจริญเติบโตและการเพิ่มระดับฟอสฟอรัส สามารถหาความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตได้สูงสุด หรือความต้องการภายนอกของธาตุฟอสฟอรัสได้ ซึ่งความต้องการนี้เป็นตัวชี้ความสามารถของรากในการดูดธาตุอาหารของพืช โดยอาจประเมินได้การเจริญเติบโต เช่น น้ำหนักแห้ง (Atwell *et al.*, 1999) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในสภาพ aerated ข้าวมีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุด 2 ppm ที่ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก และ 4 ppm ที่ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ส่วนที่สภาพ stagnant น้ำหนักแห้งรวมสูงสุด 4 ppm ที่ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ส่วนที่ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก การเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินยังคงเพิ่มขึ้นแม้จะได้รับฟอสฟอรัสจนถึง 16 ppm และเพิ่มขึ้นอีกหากมีการเพิ่มระดับฟอสฟอรัส จะเห็นได้ว่าข้าวที่อยู่ในสภาพ stagnant มีต้องการฟอสฟอรัสสูงกว่าข้าวที่อยู่ในสภาพ aerated และเมื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างพันธุ์โดยใช้ข้าวพันธุ์ ชัยนาท 1 กข 7 และขาวดอกมะลิ 105 พบว่าพันธุ์ข้าวมีการตอบสนองต่อระดับฟอสฟอรัสแตกต่างกันทั้งในสภาพ aerated และ stagnant โดยในสภาพ aerated พบว่าเพิ่มระดับฟอสฟอรัสไม่ทำให้พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักแห้งรวมเพิ่มขึ้น เช่นเดียวพันธุ์ชัยนาท 1 แสดงว่าพันธุ์ข้าวทั้งสองไม่ตอบสนองต่อระดับฟอสฟอรัสและความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ 1 ppm จึงน่าจะเพียงพอต่อการการเจริญเติบโตของพันธุ์ข้าวทั้งสองพันธุ์ ส่วนพันธุ์ กข 7 มีการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นและมีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุดที่ความเข้มข้นข้น 4 ppm ส่วนในสภาพ stagnant ทั้งสามพันธุ์มีการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับฟอสฟอรัส ในพันธุ์ชัยนาท 1 มีน้ำหนักแห้งสูงสุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 16 ppm ส่วนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และกข 7 มีน้ำหนักแห้งสูงสุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 4 ppm แสดงว่าในสภาพ stagnant ข้าวทั้งสามพันธุ์ตอบสนองต่อการเพิ่มระดับฟอสฟอรัส และมีความต้องการฟอสฟอรัสแตกต่างกัน แต่จากทั้งสองการทดลองจะพบว่า พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในการทดลองที่ 2.2 มีความต้องการฟอสฟอรัสน้อยกว่าขาวดอกมะลิ 105 ในการทดลองที่ 2.1 ความแตกต่างนี้อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในระหว่างการทดลองคือในช่วงฤดูฝน (สิงหาคม-กันยายน) และในช่วงฤดูหนาว (เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์) ซึ่ง Lambers, *et al.* (1998) กล่าวว่า อุณหภูมินั้นมีผลต่อการดูดธาตุอาหารของพืช ในสภาพอุณหภูมิต่ำ พืชมีการหายใจลดลง ทำให้กิจกรรมทางสรีรวิทยาต่างๆ ลดลงเนื่องจากมีพลังงานต่ำ ดังนั้นในสภาพอุณหภูมิต่ำ รากข้าวจึงดูดธาตุอาหารได้น้อย ดังนั้นการเพิ่มระดับฟอสฟอรัสในการทดลองที่ 2.2 จึงมีผลต่อการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อย

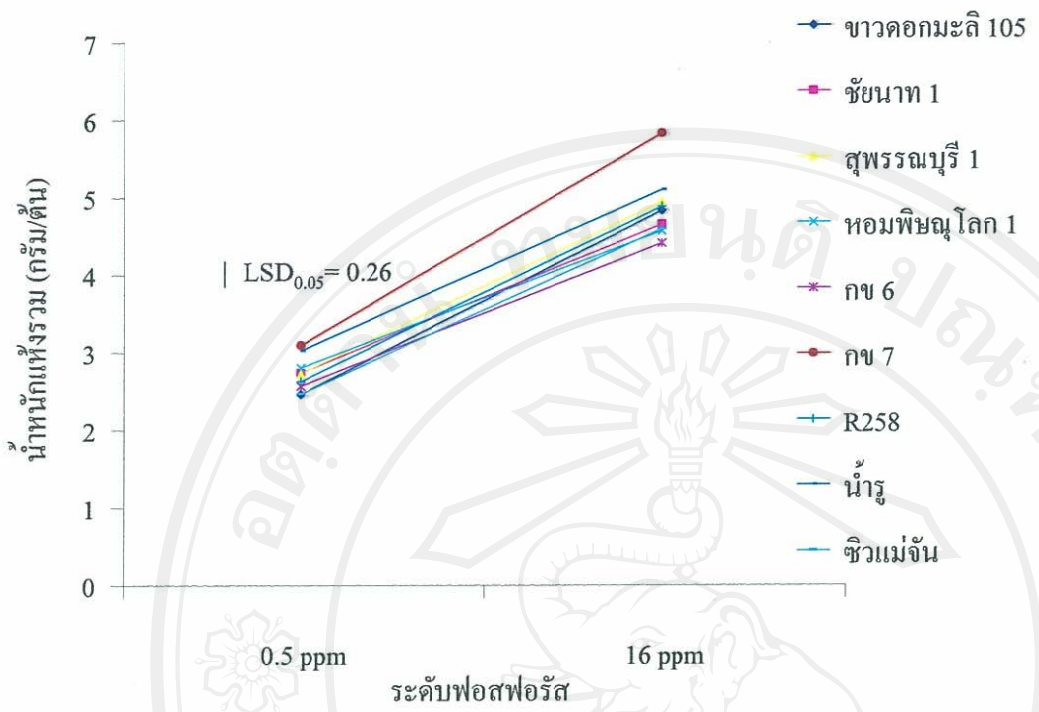
จากการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าพันธุ์ข้าวมีความต้องการฟอสฟอรัสในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่ง Marschner (1999) กล่าวไว้ว่าพันธุ์พืชมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกันเนื่องจากมีความสามารถในการนำไปใช้ได้แตกต่างกัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบความสามารถของพันธุ์ข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในสภาพขาดและเพียงพอจึงเลือกใช้ที่ความเข้มข้น 0.5 ppm (ขาด, P0.5) และ16 ppm (เพียงพอ, P16) จากการศึกษา จะพบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ตั้งแต่ที่ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก และเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนที่ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ที่ P0.5 ข้าวทั้ง 9 พันธุ์ มีจำนวนหน่อ จำนวนราก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งรวม และสมรรถภาพในการดูดธาตุฟอสฟอรัสน้อยกว่าที่ P16 สอดคล้องกับ Kirk *et al.* (1998) ที่รายงานว่า น้ำหนักแห้งรวมของข้าวจะลดลงเมื่อขาดฟอสฟอรัส แต่จะมีความยาวรากและน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Shimizu *et al.* (2004) ที่รายงานว่า การขาดฟอสฟอรัสชักนำให้รากยืดยาวขึ้น จากการทดลอง พบว่าที่ P0.5 มี 4 พันธุ์ที่มีรากยาวกว่าที่ P16 ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 หอมพิษณุโลก 1 กข 6 และ กข 7 ในส่วนของน้ำหนักแห้งรากพบว่ามี 4 พันธุ์ คือ ชัยนาท 1 หอมพิษณุโลก 1 น้ำรู และ R258 ที่เมื่ออยู่ใน P0.5 แล้วมีน้ำหนักแห้งรากสูงกว่าที่ P16 ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งรากกับการดูดธาตุฟอสฟอรัส พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นไปในทางตรงกันข้าม (r=-0.80**) แตกต่างจากน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักแห้งรวมซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นไปในทางเดียวกันกับการดูดธาตุฟอสฟอรัส (r=0.98** และ r=0.97** ตามลำดับ) เช่นเดียวกับ Wissuwa and Ae (2001) ที่พบว่าพันธุ์ข้าวมีความแตกต่างในความทนทานต่อการขาดฟอสฟอรัส โดยภายใต้สภาพที่ขาดฟอสฟอรัสในพันธุ์ทน น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักแห้งรวมจะมีความสัมพันธ์เป็นไปในทางเดียวกันกับการดูดธาตุฟอสฟอรัส (r=0.95** และ r=0.97** ตามลำดับ) ดังนั้นในการวัดความสามารถในการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในสภาพที่ขาดจึงสามารถใช้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักแห้งรวมเป็นตัวชี้วัดได้ และจากที่ Graham (1984) ได้กล่าวว่า พืชที่มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในดินที่ขาดธาตุอาหารสำหรับพันธุ์อื่นหรือพันธุ์มาตรฐาน จัดว่าเป็นพันธุ์ที่มีสมรรถภาพในการใช้ธาตุอาหาร โดยไม่จำเป็นต้องรู้กลไกที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นในการทดลองนี้พันธุ์ กข 7 และน้ำรู มีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุดที่ P0.5 จึงจัดเป็นพันธุ์ที่มีสมรรถภาพในการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (Phosphorus efficient genotype) ส่วนอีก 7 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี1 หอมพิษณุโลก 1 กข 6 R258 และซิวแม่จัน สร้างน้ำหนักแห้งรวมต่ำ จัดเป็นพันธุ์ที่ไม่มีสมรรถภาพในการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (Phosphorus inefficient genotype)

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกการตอบสนองของของพันธุ์ข้าว โดยพิจารณาจากความสามารถในการเจริญเติบโตเมื่อเพิ่มปริมาณธาตุฟอสฟอรัส (ภาพที่ 5.1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5.1 แสดงการจัดจำแนกการตอบสนองในการสร้างน้ำหนักแห้งรวมของข้าว ตามแบบการตอบสนองของ Gerloff (1977)

เมื่อพิจารณาการตอบสนองของพันธุ์ข้าวต่อระดับฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น พันธุ์ที่มีสมรรถภาพในการใช้ฟอสฟอรัส 2 พันธุ์ คือพันธุ์ กข 7 มีน้ำหนักแห้งรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 88 และพันธุ์น้ำรูเพิ่มขึ้นร้อยละ 69 ในขณะที่ไม่มีสมรรถภาพในการใช้ธาตุฟอสฟอรัสทั้ง 7 พันธุ์มีน้ำหนักแห้งรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 63-96 จะเห็นว่าพันธุ์ข้าวไร่ ได้แก่ R258 น้ำรู และซิวแม่จัน มีน้ำหนักแห้งรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับฟอสฟอรัสเช่นเดียวกับพันธุ์ข้าวนาสวน สอดคล้องกับ Insalud (2006) ที่รายงานว่าทั้งพันธุ์ข้าวไร่ ข้าวนาสวน และข้าวขึ้นน้ำ ที่ปลูกในสภาพ aerated ตอบสนองต่อฟอสฟอรัส โดยมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับฟอสฟอรัสเพิ่ม ดังนั้นการตอบสนองต่อระดับฟอสฟอรัสของพันธุ์ข้าวจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ และกล่าวได้ว่าพันธุ์ข้าวไร่ในการศึกษานี้ตอบสนองต่อการเพิ่มระดับธาตุฟอสฟอรัสเช่นเดียวกับพันธุ์ข้าวนาสวน แต่ทั้ง 9 พันธุ์อาจตอบสนองในระดับที่แตกต่างกัน โดยพันธุ์ที่มีสมรรถภาพนั้นอาจไม่ใช่พันธุ์ที่มีการตอบสนองดี ดังนั้นสมรรถภาพในการใช้ธาตุอาหารของพันธุ์ข้าวจึงไม่มีความสัมพันธ์กับการตอบสนอง เมื่อพิจารณาตามแบบการตอบสนอง Gerloff (1977) สามารถจำแนกการตอบสนองได้ 2 แบบ คือพันธุ์ กข 7 และพันธุ์น้ำรู จัดว่าเป็นพันธุ์ที่มีสมรรถภาพการใช้ฟอสฟอรัสแบบมีการตอบสนอง (Phosphorus efficient responder) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หอมพิษณุโลก 1 กข 6 R258 และชิวแม่จันจัดว่าเป็นพันธุ์ที่มีไม่มีสมรรถภาพการใช้ฟอสฟอรัสแบบมีการตอบสนอง (Phosphorus inefficient responder)

จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ามีพันธุ์ข้าวแตกต่างกันในการตอบสนองต่อระดับฟอสฟอรัส ซึ่งความแตกต่างนี้จะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการเจริญเติบโตในสภาพที่ขาด (performance) และความสามารถในการเพิ่มการเจริญเติบเมื่อได้รับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (responsiveness)

อย่างไรก็ตาม การตอบสนองของข้าวต่อระดับฟอสฟอรัสภายใต้สภาพที่มีออกซิเจนพอเพียงนี้ เป็นการศึกษาในระยะแรกของการเจริญเติบโต คือ 4-8 สัปดาห์หลังงอก ดังนั้นควรมีการศึกษาจนถึงระยะเก็บเกี่ยวเพื่อยืนยันผลอีกครั้ง รวมทั้งควรมีการศึกษาถึงกลไกที่เกี่ยวข้องในการกำหนดสมรรถภาพการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสของพันธุ์ข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved