

การปรับตัวต่อสภาพแอโรบิกของ พันธุ์ข้าวไร่ และข้าวนาสวน

Adaptation to Aerobic Condition of Upland and Wetland Rice Varieties

พุทพวงค์ มะโนคำ^{1*} ณัฐฉิณี ภัทรกุล^{1/} ศันสนีย์ จำจด^{1/}
ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย^{1/} และ เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม^{1/}
Puthapong Manokam^{1}, Nattinee Phattarakul^{1/}, Sansanee Jamjod^{1/},
Chanakan Thebault Prom-u-thai^{1/} and Benjavan Rerkasem^{1/}*

Abstract: Root system of rice genotypes differ in their adaptation to aerobic condition, both in water and nutrient uptake. However, studies of root system are time consuming and labor intensive. In Experiment 1, two rice genotypes Buebang (upland rice) and KDML 105 (wetland rice) were tested in 8 treatments to identify suitable growing media for screening genotypes of rice root system. It was found that Sansai soil and black loam soil were suitable for rice root study and Sansai soil was used further in Experiment 2. In Experiment 2, three each of upland (BueBang (BB), R258 and Seiw Mae Jan (SMJ)) and wetland (SupanBuri1 (SPR 1), Chainat1 (CNT 1) and Pathumthani1 (PTT 1)) rice were grown in two growth conditions (aerobic and flooded). Under aerobic condition, total root dry weight of BB, CNT 1 and R 258 varieties were increased. Root distribution of all wetland rice decreased at 0-30 cm depth but those of upland rice increased at 15-30 cm compared to the flooded condition. For shoot growth, shoot dry weight and number of tillers of wetland rice varieties were increased but plant height was reduced while those of upland rice were the same as in flooded. Thus, the root / shoot ratio of all upland rice varieties in aerobic were increased and all wetland rice, except CNT 1, decreased. For nutrient accumulation, nitrogen was increased only in PTT 1. Phosphorus of upland rice was decreased and wetland rice was not changed. Potassium was increased in PTT 1 but decreased in SPR 1. Calcium was increased in CNT 1 and BB, and magnesium decreased only in SPR 1.

Keywords: Adaptation, aerobic, upland rice, wetland rice, screening method

^{1/} ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

^{1/} Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

* Corresponding author E-mail: bee_240@hotmail.com

บทคัดย่อ: ข้าวมีการปรับตัวของรากต่อสภาพแอโรบิกที่แตกต่างกันทั้งด้านการดูดน้ำและอาหาร ซึ่งการศึกษาระบบรากข้าวใช้เวลานานและลำบาก ดังนั้นการประเมินและคัดเลือกพันธุ์ที่มีการปรับตัวของรากจึงทำได้ยาก การศึกษานี้เริ่มจากเปรียบเทียบการเจริญของรากข้าว 2 พันธุ์คือ พันธุ์ป๊อบ้าง (ข้าวไร่) และข้าวดอกมะลิ 105 (ข้าวนาสวน) ในวัสดุปลูก 8 ชนิดในงานทดลองที่ 1 เพื่อหาวัสดุปลูกที่เหมาะสมในการนำมาใช้ศึกษารากข้าวที่ง่ายและรวดเร็ว พบว่า ดินชุดสนทรายและดินดำเป็นวัสดุปลูกที่เหมาะสมในการศึกษาระบบรากข้าว การทดลองที่ 2 ศึกษาการปรับตัวต่อสภาพปลูกแอโรบิกเทียบกับสภาพน้ำขังพันธุ์ข้าวนาสวน 3 พันธุ์ และข้าวไร่ 3 พันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์ ป๊อบ้าง ชัยนาท 1 และ R 258 มีน้ำหนักรากเพิ่มขึ้นในสภาพแอโรบิก ส่วนการกระจายตัวของรากที่ความลึกได้ผิวดิน 0-15 เซนติเมตร ข้าวนาสวนมีน้ำหนักรากลดลงยกเว้นพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความลึก 15-30 เซนติเมตร ข้าวไร่มีน้ำหนักรากเพิ่มขึ้นแต่ข้าวนาสวนลดลง และที่ความลึกมากกว่า 30 เซนติเมตร ข้าวทุกพันธุ์มีน้ำหนักรากเพิ่มขึ้น การเจริญทางลำต้นพบ น้ำหนักต้นและจำนวนหน่อของข้าวนาสวนเพิ่มขึ้น แต่ความสูงลดลง ส่วนข้าวไร่ไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ค่า root/shoot ratio ของข้าวไร่เพิ่มขึ้นในสภาพแอโรบิก แต่ในข้าวนาสวนลดลงยกเว้นพันธุ์ชัยนาท 1 สำหรับการสะสมธาตุอาหารไนโตรเจนพบเพียงพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในสภาพแอโรบิก ฟอสฟอรัสของข้าวไร่ส่วนใหญ่ลดลงและข้าวนาสวนไม่เปลี่ยนแปลง โพแทสเซียมมีเพียงปทุมธานี 1 เพิ่มขึ้นและสุพรรณบุรี 1 ลดลง แคลเซียมเพิ่มขึ้นในพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ป๊อบ้าง และการสะสมแมกนีเซียมพบว่ามีเพียงข้าวสุพรรณบุรี 1 เท่านั้นที่ลดลงในสภาพแอโรบิกในขณะที่พันธุ์อื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ: การปรับตัว แอโรบิก ข้าวไร่ ข้าวนาสวน วิธีการประเมิน

คำนำ

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญ โดยพบว่าประชากรร้อยละ 50 ของโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก (Kundu and Ladha, 1997) โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียที่ประชากรส่วนมากบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ทำให้ในภูมิภาคนี้มีพื้นที่ปลูกข้าวถึงร้อยละ 90 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด (IRRI, 2005) แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ปลูกข้าวก็ยังมิอยู่อย่างจำกัด ไม่เพียงพอต่อการบริโภคของประชากรโลกที่เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่การปลูกข้าวถูกจำกัดด้วยปริมาณน้ำในการเพาะปลูก ดังเช่นประเทศไทย ที่พบว่าพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่เป็นน่าน้ำฝน เกษตรกรไม่สามารถควบคุมน้ำให้ขังอยู่ในดินได้ตามความต้องการของข้าวนาสวนที่จำเป็นต้องมีการขังน้ำในกระถางตลอดฤดูปลูก ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวนาสวนในเขตชลประทานมีเพียงร้อยละ 24 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ ส่วนที่เหลือเป็นพื้นที่ที่การปลูกข้าวต้องอาศัยน้ำฝน ดังนั้นการจัดการน้ำในแปลงให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าวจะเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาการผลิตข้าวของไทยได้

การปลูกข้าวแอโรบิก เป็นวิธีการปลูกข้าวที่ใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสภาพแอโรบิกมีการไหลเวียนของออกซิเจนอยู่บริเวณรากข้าวทำให้มีการหายใจบริเวณรากมากกว่าในสภาพน้ำขังโดยการปลูกข้าวแอโรบิกแตกต่างจากการทำนาสวน เพราะข้าวแอโรบิกไม่มีการทำเทือกไม่มีการขังน้ำแต่ให้ปริมาณน้ำในแปลงข้าวอย่างเพียงพอเหมือนพืชไร่ชนิดอื่น ๆ โดยมีการรักษาความชื้นในดินให้สูงกว่าจุดเหี่ยวถาวร แต่ไม่ได้ขังน้ำไว้ในกระถางเหมือนการปลูกข้าวนาสวนโดยทั่วไป (George et al., 2002) โดยพบว่า การปลูกข้าวในระบบแอโรบิกใช้น้ำเพียงสามในห้าส่วนของการปลูกข้าวแบบน่าน้ำขัง (IRRI, 2005) การปลูกข้าวแอโรบิกนอกจากจะช่วยประหยัดน้ำแล้วยังสามารถเพิ่มพื้นที่ปลูกให้มากขึ้นด้วย ถ้าคำนวณปริมาณน้ำในการเพาะปลูกเปรียบเทียบกับ การปลูกแบบขังน้ำ โดยน้ำชลประทานที่ใช้ทำนาสวน 1 ไร่ จะพอเพียงปลูกข้าวแอโรบิกได้ 3-5 ไร่ในฤดูนาปี และ 2-3 ไร่ ในฤดูนาปรัง (เบญจวรรณ, 2552) แต่นอกจากความแตกต่างในเรื่องจัดการน้ำแล้ว การปลูกข้าวแอโรบิกยังเป็นระบบปลูกข้าวที่มีการจัดการอย่างอื่นต่างจากการปลูกแบบขังน้ำ เช่น การจัดการวัชพืช การจัดการปุ๋ยและ

ธาตุอาหารในดิน และการใช้พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมต่อสภาพแอโรบิก เป็นต้น

การคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่ปรับตัวและให้ผลผลิตดีนับเป็นปัจจัยหลักในการปรับเปลี่ยนระบบการปลูกข้าวจากน้ำขังไปเป็นระบบแอโรบิก เนื่องจากพันธุ์ข้าวนาสวนใหญ่มักปรับตัวได้ไม่ดีและมีผลผลิตลดลงเมื่อปลูกในสภาพแอโรบิก โดยจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ ชัยนาท 1 มีการสร้างน้ำหนักแห้งลดลงร้อยละ 53.8 และ 67.9 ตามลำดับ เมื่อปลูกในสภาพแอโรบิก (สุวรรณี และคณะ, 2550) แต่พันธุ์ข้าวไร่อย่างพันธุ์ป๊อบบ้าง และพันธุ์ชีวแม่จัน ผลผลิตกลับไม่มีการลดลง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวนาสวนพันธุ์ปรับปรุงเช่น สุพรรณบุรี 1 ชัยนาท 1 และขาวดอกมะลิ 105 มีระบบรากที่สั้นเมื่อเทียบกับข้าวไร่อย่างเช่นพันธุ์ป๊อบบ้างที่มีระบบรากยาว เมื่อปลูกในสภาพแอโรบิกทำให้สามารถหาน้ำและอาหารได้มากกว่าและนอกจากนั้นข้าวไร่พันธุ์ป๊อบบ้างชีวแม่จัน และอาร์258 ยังสามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดจากอลูมิเนียมได้ดีด้วย (Phattarakul, 2008) ดังนั้น การคัดเลือกจากลักษณะรากที่มีระบบรากลึกและปริมาณรากหนาแน่นมากกว่าจะช่วยให้มีประสิทธิภาพในการดูดน้ำและธาตุอาหารสูงกว่าด้วย ซึ่งปัจจัยดังกล่าวน่าจะสามารถนำมาใช้เป็นปัจจัยหลักในการประเมินและการคัดเลือกพันธุ์ให้เหมาะกับการปลูกในสภาพแอโรบิกได้เป็นอย่างดี ซึ่งการพัฒนาวิธีการศึกษารากเพื่อให้ง่ายและรวดเร็วมีความสำคัญต่อการพัฒนาและคัดเลือกพันธุ์เป็นอย่างมากโดย Girdthai *et al.*, (2010) พบว่าการศึกษารากด้วยวิธีสแกนสารละลายสูตร Hoagland solution สามารถใช้แทนการปลูกในดินได้และ Lay Heng (2012) ก็สามารถปลูกข้าวโพดในท่อ PVC เพื่อเปรียบเทียบรากของข้าวโพดได้เนื่องจากรากมีการขาดไม่มาก และในข้าวก็เช่นเดียวกัน (Wang *et al.*, 2004)

การศึกษารากครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวัสดุปลูกเพื่อคัดเลือกลักษณะรากข้าวที่ปรับตัวต่อสภาพแอโรบิกและนำมาใช้ในการศึกษาความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวไร่และข้าวนาสวนโดยเปรียบเทียบลักษณะการเจริญของรากและลำต้นรวมถึงการดูดใช้ธาตุอาหารในดินในสภาพการปลูกแบบแอโรบิก

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองที่คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2554-2555 แบ่งเป็น 2 การทดลองโดยการทดลองที่ 1 ประเมินวัสดุปลูกเพื่อศึกษาการกระจายตัวของรากข้าวและความสัมพันธ์ของรากกับการเจริญงอกงามโดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design โดยมี 2 ปัจจัย คือ 1) พันธุ์ข้าวมีจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวไร่พันธุ์ป๊อบบ้าง (BB) และข้าวนาสวนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) และ 2) วัสดุปลูก มีจำนวน 8 ทรีตเมนต์ ได้แก่ T1-ดินชุดสันทราย T2-ดินดำแม่หยวก (อ.เมือง จ.เชียงใหม่) T3-ดินดำแม่หยวกผสมทรายละเอียดในสัดส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 T4-ดินดำแม่หยวกผสมทรายละเอียดในสัดส่วน 1:2 T5-ดินดำแม่หยวกผสมทรายหยาบในสัดส่วน 1:1 T6-ดินดำแม่หยวกผสมทรายหยาบในสัดส่วน (2:1) T7-สารละลายธาตุอาหารสูตรของ McDonald *et al.* (2001) ไม่ใส่ออกซิเจน และ T8-สารละลายธาตุสูตรของ McDonald *et al.* (2001) พร้อมใส่ออกซิเจน ปลูกข้าวในท่อ PVC (เส้นผ่าศูนย์กลาง 6.3 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร) โดยปลูก 2 ต้นต่อท่อใน T1 ถึง T6 ใส่ปุ๋ยรองพื้นเป็นไนโตรเจน 50 มิลลิกรัม ไนโตรเจน ต่อกลีโกรัมดิน ฟอสฟอรัส 50 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส ต่อกลีโกรัมดิน และ โพแทสเซียม 40 มิลลิกรัม โพแทสเซียม ต่อกลีโกรัมดิน รดน้ำให้อยู่ที่ระดับความจุสนามตลอดเวลา ใน T7 และ T8 ใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารของ McDonald *et al.* (2001) ปรับ pH อยู่ที่ 5.5-6.0 เปลี่ยนสารละลายทุก ๆ 7 วัน เดิมออกซิเจนใน T8 โดยการพ่นอากาศให้ที่ก้นภาชนะปลูกทดลองซ้ำ 4 ครั้ง บันทึกข้อมูลความสูงและจำนวนหน่อ ที่ระยะ 45 วัน หลังงอก นำดินมาตัดแยกเป็น 3 ระดับความลึก คือ 0-15, 15-30 และ 30-45 เซนติเมตร จากนั้นดินแยกข้างรากให้สะอาดแล้วชั่งน้ำหนักแห้งรากและส่วนเหนือดิน

การทดลองที่ 2 ศึกษาการกระจายตัวของราก การเจริญงอกงามและการใช้ธาตุอาหารของข้าว 6 พันธุ์ในสภาพแอโรบิกกับสภาพน้ำขัง โดยจัดวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design โดยมี 2 ปัจจัย คือ 1) สภาพปลูก จำนวน 2 ระบบ

ปลูกคือ ปลูกในสภาพน้ำขังและแอโรบิก และ 2) พันธุ์ข้าว จำนวน 6 พันธุ์ แบ่งเป็นข้าวนาสวน 3 พันธุ์ คือ สุพรรณบุรี 1 (SPR 1) ชัยนาท 1 (CNT 1) และปทุมธานี 1 (PTT 1) ข้าวไร่ 3 พันธุ์ คือ ป๊อบัง (BB), R258 และพันธุ์ข้าวแม่จัน (SMJ) ทดลองซ้ำ 3 ครั้งปลูกในท่อ PVC ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว ยาว 1 เมตร บรรจุวัสดุปลูก ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 โดยปลูกข้าวจำนวน 2 ต้น ต่อท่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ฟอสฟอรัส 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และโพแทสเซียม 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน โดยใช้ปุ๋ย Urea และ KH_2PO_4 เป็นปุ๋ยรองพื้น ซึ่งน้ำในระบบน้ำขังอยู่ตลอด ส่วนในระบบ แอโรบิกให้น้ำในระดับความจุสนามอยู่ตลอด บันทึก ข้อมูลความสูง และจำนวนหน่อ ที่ระยะ 60 วัน หลังออก หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างรากโดยแต่ละท่อนำดินมาตัดแยก เป็น 4 ระดับ คือ 0-15, 15-30 เซนติเมตร และลึกกว่า 30 เซนติเมตร จากนั้นนำดิน แยกล้างรากให้สะอาดแล้วชั่ง น้ำหนักแห้งรากและส่วนเหนือดินแล้วคำนวณหา root /shoot ratio หลังจากนั้นแยกส่วนลำต้นเหนือดินนำมา เเคราะห์ธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)

ทั้งสองการทดลองวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ประเมินวัสดุปลูกเพื่อศึกษาการ กระจายตัวของรากข้าวและความสัมพันธ์ของรากกับการ เจริญทางลำต้น

การกระจายตัวของรากในแต่ละชั้นดินพบว่า ที่ ความลึกจากผิวดิน 0-15 เซนติเมตร ข้าวป๊อบังมีน้ำหนัก รากเฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 การปลูกใน สารละลายแบบไม่ใสออกซิเจน (T7) มีน้ำหนักรากเฉลี่ยสูง ที่สุด รองลงมา คือ สารละลายที่ใสออกซิเจน (T8) ที่มี น้ำหนักรากเทียบเท่ากับการปลูกในดินชุดสนทราย (T1) ที่ คล้ายกับการทดลองของ Girdthai *et al.* (2010) ที่พบว่า การปลูกศึกษารากถั่วลิสงในสารละลายสูตร Hoagland

solution สามารถใช้แทนการปลูกในดินได้แต่ในข้าวยังไม่ สามารถชี้ชัดลงไปได้ว่าการใช้สารละลายสามารถแทนการ ปลูกในดินได้ ส่วนการปลูกในดินผสมทราย (T3-T6) มี น้ำหนักรากน้อยที่สุดเนื่องด้วยความสามารถในการยึด เกาะประจุของธาตุอาหารในทรายที่ต่ำกว่าในดิน (ตาราง ที่ 1.1) ที่ความลึก 15-30 เซนติเมตร พบว่าการปลูกใน สารละลาย (T7 และ T8) มีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงที่สุด โดยพันธุ์ป๊อบังมีน้ำหนักแห้งมากกว่า ข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งให้ผลเหมือนกับการทดลองของ Phattarakul (2008) เนื่องจากพันธุ์ป๊อบังมีความสามารถในการสร้างรากที่ ดีกว่าและสามารถทนกรดได้ดี และการปลูกในดินทั้ง T1 และ T2 ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ ป๊อบังมีการ สะสมน้ำหนักรากสูงกว่าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แต่ไม่พบ ความแตกต่างระหว่างพันธุ์เมื่อปลูกในดินผสมทราย (T4, T5 และ T6) และที่ความลึก 30-45 เซนติเมตร พบว่า ป๊อ บังก็ยังมีน้ำหนักรากสูงกว่าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เมื่อ ปลูกทดสอบในดิน (T1 และ T2) และให้ผลทำนอง เดียวกันที่ปลูกในดินผสมทราย (T3-T5) แต่ไม่มีการเจริญ ของรากที่ระดับนี้เมื่อปลูกทดสอบในสารละลายธาตุ อาหารที่ไม่ใสออกซิเจน (T7) เนื่องจากที่ระดับความลึกสูง ทำให้ขาดออกซิเจนกิจกรรม การ oxidation ของรากข้าว ในน้ำที่ต่ำกว่าในดินที่น้ำไม่ขังทำให้มีระบบรากในดินมี การหยั่งลึกมากกว่า (Zhang *et al.*, 2004) ชัดกับการ ทดลองของ Girdthai *et al.* (2010) ที่พบว่าการศึกษา รากถั่วลิสงในสารละลายสูตร Hoagland solution สามารถใช้แทนการปลูกในดินได้ (ตารางที่ 1.1)

เมื่อนำน้ำหนักรากทุกส่วนมารวมกันเป็นการ สะสมน้ำหนักแห้งรากรวม พบว่าพันธุ์ป๊อบังมีน้ำหนัก รากรวมสูงกว่าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทุกทรีตเมนต์ ยกเว้นใน T8 (สารละลายธาตุอาหารพร้อมใสออกซิเจน) ข้าวที่ปลูกในดินชุดสนทราย (T1) จะมีน้ำหนักแห้งราก มากกว่าที่ปลูกในชุดดินดำแม่หยวก (T2) แต่น้ำหนักราก จะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อปลูกทดสอบในดินที่ผสมทราย (T3-T6) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารจะ พบว่า ทั้งสองพันธุ์มีน้ำหนักรากใกล้เคียงกับที่ปลูกในดิน (T1 และ T2) (ตารางที่ 1.2)

Table 1.1 Root dry weight (g/plant) of two rice varieties Bue Bang (BB) and KDML 105 in 8 treatments at 0-15 cm, 15-30 cm and 30-45 cm depth at 45 days after germination

Treatment	0-15 cm			15-30 cm		30-45 cm		
	BB	KDML 105	Mean	BB	KDML 105	BB	KDML 105	
T1	1.95	1.67	1.81 B	0.47 Ca	0.32 Cb	0.89 Aa	0.60 Ab	
T2	1.26	1.03	1.14 C	0.50 Ca	0.37 Cb	0.58 Ba	0.40 Bb	
T3	0.47	0.33	0.40 DE	0.16 Da	0.12 Da	0.27 Ca	0.13 CDb	
T4	0.54	0.44	0.49 D	0.21 Da	0.19 Da	0.22 Ca	0.12 CDa	
T5	0.45	0.21	0.30 DE	0.18 Da	0.10 Da	0.20 Ca	0.04 Db	
T6	0.27	0.29	0.28 E	0.17 Da	0.09 Da	0.22 Ca	0.12 CDa	
T7	2.60	2.44	2.52 A	0.77 Ba	0.52 Bb	0.00 Da	0.00 Da	
T8	1.74	2.01	1.87 B	0.92 Ab	1.17 Aa	0.25 Ca	0.23 Ca	
MEAN	1.16 a	1.06 b		0.42	0.36	0.33	0.21	
F-TEST	V*	T**	VxT ^{ns}	V*	T**	VxT**	V**	T**
LSD _{0.05}	0.1	0.19	-	0.04	0.08	0.12	0.06	0.12
CV (%)	17.06			20.89		19.18		

ns, * and **. non significant, significant at $P<0.05$ and significant at $P<0.01$. V,T and VxT indicated F- test for variety, growth condition and variety and growth condition interaction effects, respectively. The differencesbetween varieties in the same column indicated by lower case letters. The differencesbetween growth conditions in the same row indicated by upper case letters. T1) Sansai soil, T2) black loam soil, T3) black loam soil: silk (1:1), T4) black loam soil: sand (2:1), T5) black loam soil: sand (1:1), T6) black loam soil: sand (2:1), T7) nutrient solution, T8) nutrient solution + O₂

Table 1.2 Total root dry weight (g/plant), Shoot dry weight (g/plant) and root/shoot ratio of two rice varieties (BB and KDML 105) in 8 treatments at 45 days after germination

Treatment	Total root dry weight (g/plant)			Shoot dry weight (g/plant)			Root/Shoot ratio		
	BB	KDML 105		BB	KDML 105		BB	KDML 105	
T1	3.30Aa	2.59Cb		1.50Db	2.05Da		1.78Aa	1.09Ab	
T2	2.35Ca	1.80Db		2.12Cb	3.04Ca		1.17Ba	0.58Cb	
T3	0.90Da	0.58Fb		0.61Ea	0.80EFa		1.07Ca	0.71Bb	
T4	0.97Da	0.76Eb		1.20DEa	1.22Ea		0.88Da	0.60Cb	
T5	0.82Da	0.36Gb		0.52Ea	0.59Fa		1.11BCa	0.66BCb	
T6	0.65Ea	0.50Fb		0.83Ea	0.67Fa		0.68Ea	0.66BCa	
T7	3.37Aa	2.96Bb		8.57Ab	9.26Aa		0.38Ga	0.32Eb	
T8	2.91Bb	3.40Aa		5.39Bb	7.07Ba		0.60Fa	0.48Db	
F-test	V**	T**	VxT**	V**	T**	VxT**	V**	T**	VxT**
LSD _{0.05}	0.04	0.08	0.11	0.16	0.33	0.46	0.03	0.07	0.09
CV (%)	13.77			11.47			16.05		

ns, * and **. non significant, significant at $P<0.05$ and significant at $P<0.01$. V,T and VxT indicated F- test for variety, growth condition and variety and growth condition interaction effects, respectively. The differencesbetween varieties in the same column indicated by lower case letters. The differencesbetween growth conditions in the same row in indicated by upper case letters. T1) Sansai soil, T2) black loam soil, T3) black loam soil: silk (1:1), T4) black loam soil: sand (2:1), T5) black loam soil: sand (1:1), T6) black loam soil: sand (2:1), T7) nutrient solution, T8) nutrient solution + O₂

อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตทางลำต้นไม่ได้ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการเจริญของรากเพราะข้าวแต่ละพันธุ์มีลักษณะการปรับตัวที่หลากหลายแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ ซึ่งต่างจากคำกล่าวของ Kato *et al.* (2008) ที่บอกว่ารากข้าวที่มีน้ำหนักและความยาวของรากสูงกว่าจะดูดสารอาหารได้มากกว่าทำให้น้ำหนักแห้งของส่วนอื่นสูงขึ้น แต่ในการทดลองนี้พบว่าความสามารถในการสะสมอาหารของรากข้าวยังมีความแปรปรวนไปตามสายพันธุ์ด้วย โดยพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะมีน้ำหนักแห้งต้นสูงกว่าพันธุ์ป๊อบบ้างเมื่อปลูกทดสอบในดิน (T1 และ T2) และสารละลายธาตุอาหาร (T7 และ T8) และพบว่าการปลูกในดินผสมทรายไม่มีความแตกต่างกันของทั้งสองพันธุ์ ส่งผลให้ค่า root/shoot ratio ของข้าวพันธุ์ป๊อบบ้างสูงกว่าขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 1.2) เนื่องมาจากพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีการสร้างหน่อที่มากกว่าป๊อบบ้างแม้ว่าความสูงของทั้งสองพันธุ์จะไม่ต่างกัน (ตารางที่ 1.3) ดังนั้นวัสดุที่ดีที่สุดที่ควรนำมาศึกษาคือ T1-ดินชุด

สันทรายและT2-ดินดำแม่หยวกเพราะเป็นวัสดุที่สามารถเปรียบเทียบการกระจายตัวและการสร้างน้ำหนักแห้งรากได้ชัดเจนกว่าวัสดุอื่น และพบว่าการกระจายตัวของรากไม่มีความสัมพันธ์กับการเจริญทางลำต้น

การทดลองที่ 2 ศึกษาการกระจายตัวของราก การเจริญและการใช้ธาตุอาหารของข้าว 6 พันธุ์ ในสภาพแอโรบิก

พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพปลูก และพันธุ์ข้าวในการสะสมน้ำหนักแห้งรากรวมและในการกระจายตัวทุกระดับชั้นดินที่ศึกษา (ตารางที่ 2.1) โดยภาพรวมสามารถเห็นได้ว่าการสร้างน้ำหนักกรากรวมของข้าวแต่ละพันธุ์ มีการปรับตัวต่อสภาพแอโรบิกที่ต่างกันโดยข้าวนาสวนมีแนวโน้มลดลงยกเว้นพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ไม่แตกต่างกับการปลูกแบบน้ำขังแม้ว่าการสะสมน้ำหนักแห้งจะลดลงร้อยละ 67.9 (สุวรรณณี และคณะ, 2550) แต่ในทางกลับกันข้าวไร่กลับเพิ่มขึ้นยกเว้นพันธุ์ชัยนาท 1

Table 1.3 Plant height (cm) and number of tiller (tillers/plant) of two rice varieties (BB and KDML 105) in 8 treatments at 45 days after germination

Treatment	Height (cm)			No. tillers/plant		
	BB	KDML 105	Mean	BB	KDML 105	
T1	56.88	63.25	60.06 D	4.3 CD _b	6.1 Ba	
T2	70.38	66.50	68.44 C	5.3 C _b	7.8 Ba	
T3	55.25	59.13	57.19 D	3.4 Da	3.8 Ca	
T4	67.13	71.63	69.38 C	4.5 CD _a	4.4 BC _a	
T5	53.25	62.88	58.06 D	3.3 Da	3.0 Ca	
T6	62.88	68.38	65.63 CD	3.5 Da	3.5 Ca	
T7	92.13	87.75	89.94 A	13.5 Ab	15.5A _a	
T8	84.25	84.13	84.19 B	9.0 B _b	15.5A _a	
F-test	V ^{ns}	T ^{**}	T*V ^{ns}	V ^{**}	T ^{**}	V*T ^{**}
LSD _{0.05}	-	5.73	-	0.6	1.2	1.7
CV (%)	13.38			18.20		

ns, * and **. non significant, significant at $P < 0.05$ and significant at $P < 0.01$. V,T and VxT indicated F- test for variety, growth condition and variety and growth condition interaction effects, respectively. The differences between varieties in the same column indicated by lower case letters. The differences between growth conditions in the same row indicated by upper case letters.

T1) Sansai soil, T2) black loam soil, T3) black loam soil: silk (1:1), T4) black loam soil: sand (2:1), T5) black loam soil: sand (1:1), T6) black loam soil: sand (2:1), T7) nutrient solution, T8) nutrient solution + O₂

(ภาพที่ 1a) เมื่อแยกประเมินการสะสมน้ำหนักรากในแต่ละชั้นดินพบว่า ที่ความลึกจากผิวดิน 0-15 เซนติเมตร พบเพียงพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวแม่จันที่มีการปรับตัวลดลงในสภาพแอโรบิก (ภาพที่ 1b) ที่ความลึก 15-30 เซนติเมตร พบว่า พันธุ์ข้าวไร่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสภาพแอโรบิกแต่ในข้าวนาสวนกลับลดลงยกเว้นพันธุ์ชัยนาท 1 (ภาพที่ 1c) และที่ความลึกมากกว่า 30 เซนติเมตร พบว่า

ข้าวทุกพันธุ์มีการปรับตัวเพิ่มน้ำหนักแห้งรากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพแอโรบิกสอดคล้องกับรายงานของ Insalud *et al.* (2006) ที่พบว่าในสภาพแอโรบิกรากข้าวมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้สามารถหาน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้น โดยมีการลดจำนวนรากให้น้อยลง แต่มีความยาวรากเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับรากข้าวที่อยู่ในสภาพน้ำขัง เว้นแต่พันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ไม่มีการปรับตัว (ภาพที่ 1d)

Table 2.1 Analysis of variance results for root dry weight at 0-15 cm, 15-30 cm, >30 cm and total root dry weight of water condition (W), variety (V) and W x G interaction effects

Source	Root dry weight (g/pot) at			
	0-15	15-30	>30	Total
Watercondition (W)	**	**	ns	**
Variety(V)	**	**	**	**
Wx V	**	**	**	**
CV (%)	15.88	17.58	13.68	11.85

** F test significant difference at $P < 0.01$, ns not significant

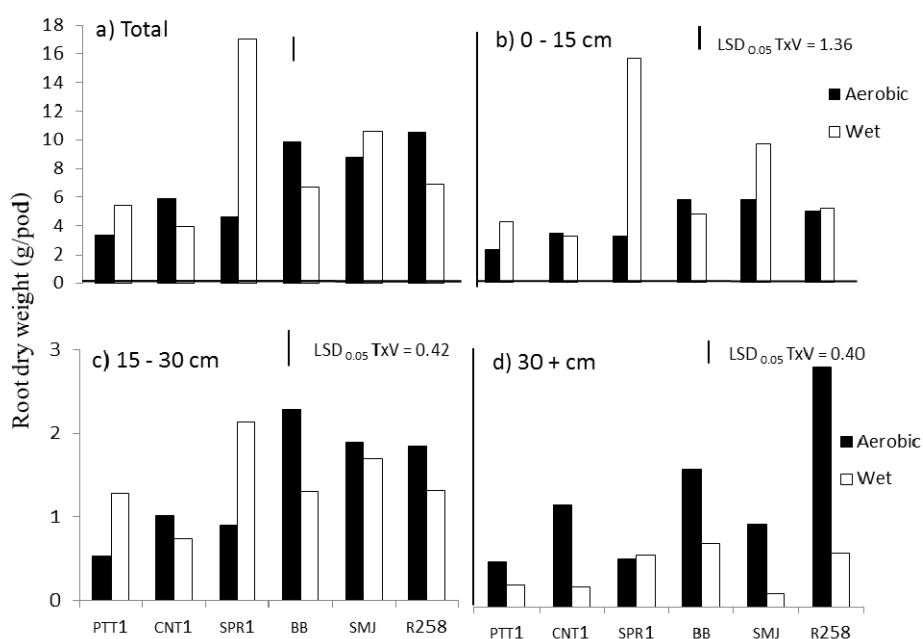


Figure 1 Total root dry weight of wetland (PTT 1, CNT 1 and SPR 1) and upland rice varieties (BB, SMJ and R 258), (a); root dry weight at depth 0-15 cm (b); 15-30 cm (c); and 30+ cm (d); in aerobic and flooded condition at 60 days after germination.

Table 2.2 Analysis of variance results for shoot dry weight, tillering, plant height and total root/shoot ratio of water condition (W), variety (V) and W x G interaction effects

Source	shoot dry weight (g/plant)	Tillering (tillers/plant)	Plant height (cm.)	Root/ shoot ratio
Water condition (W)	**	**	**	**
Variety (V)	**	**	**	**
W x V	**	ns	ns	**
CV (%)	18.86	20.58	10.20	12.01

** F test significant difference at $P < 0.01$, ns not significant

ในส่วนเหนือดิน พบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาพปลูกกับพันธุ์ในลักษณะน้ำหนักแห้งต้น และ root/shoot ratio (ตารางที่ 2.2) โดยการเจริญเติบโตทางลำต้นไม่ได้ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับการเจริญของรากทั้งหมด แม้ว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ ป๊อบังจะมีการสะสมน้ำหนักแห้งต้นสูงตามน้ำหนักราก แต่ในพันธุ์อื่นกลับพบว่าให้ผลในทางตรงกันข้ามกัน โดยพันธุ์ข้าวนาสวนมีการปรับตัวเพิ่มน้ำหนักแห้งต้นมากขึ้นในสภาพแอโรบิก ยกเว้นข้าวสุพรรณบุรี 1 และข้าวไร่ทุกพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันในส่วนของน้ำหนักแห้งต้น ดังนั้นน้ำหนักแห้งรากรวมที่สูงกว่าไม่ได้ทำให้น้ำหนักแห้งต้นสูงตามไปด้วย เนื่องจากประสิทธิภาพการดูดใช้น้ำและธาตุอาหารขึ้นอยู่กับความสามารถของพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันด้วย (Kato *et al.*, 2000) (ภาพที่ 2a) ส่งผลให้ค่า root/shoot ratio มีความแปรปรวนไปตามพันธุ์ โดยพบว่าในข้าวนาสวนที่ปลูกแบบแอโรบิก จะมีค่า root/shoot ratio ลดลงยกเว้นพันธุ์ชัยนาท 1 แต่ข้าวไร่กลับพบว่าค่า root/shoot ratio สูงกว่าเมื่อปลูกในสภาพแอโรบิกยกเว้นพันธุ์ชีวแม่จัน (ภาพที่ 2d) และพบว่าจำนวนหน่อของทั้งข้าวนาสวนและข้าวไร่ มีแนวโน้มสูงขึ้นในสภาพแอโรบิกยกเว้นในข้าวสุพรรณบุรี 1 (ภาพที่ 2b) ส่วนลักษณะความสูงพบว่าพันธุ์ข้าวไร่ไม่มีการปรับตัวเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ถูกคัดเลือกให้ปลูกในสภาพน้ำไม่ขังหรือสภาพไร่อยู่แล้วจึงสามารถปรับตัวอยู่รอดในสภาพแอโรบิกได้ดี แต่ในข้าวนาสวนลดลงเมื่อปลูกในสภาพแอโรบิกเนื่องจากต้องมีการปรับตัวในสภาพที่แตกต่างไป (ภาพที่ 2c)

การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

พบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาพปลูก และพันธุ์ข้าวในการสะสมธาตุอาหารในต้นข้าวที่วัด โดยการสะสมไนโตรเจนพบว่าในพันธุ์ข้าวไร่ เมื่อปลูกในสภาพแอโรบิก จะทำให้การสะสมไนโตรเจนรวมในต้นพืชลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Kundu and Ladha (1997) ที่ให้เหตุผลว่าในสภาพน้ำขังมีแบคทีเรียที่สามารถช่วยตรึงไนโตรเจนได้จึงสูงกว่าในสภาพแอโรบิกยกเว้นพันธุ์ชีวแม่จันที่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการปลูกในสภาพแอโรบิกและสภาพน้ำขัง ส่วนในพันธุ์ข้าวนาสวนพบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีการปรับตัวเพิ่มการสะสมไนโตรเจนสูงขึ้นในสภาพแอโรบิกไม่พบความแตกต่างในพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการปรับตัวลดลงในสภาพแอโรบิก (ตารางที่ 2.3)

การสะสมฟอสฟอรัสในพันธุ์ข้าวไร่ที่ปลูกในสภาพแอโรบิกลดลงเมื่อเทียบกับการปลูกในสภาพน้ำขัง โดยให้ผลคล้ายกับการทดลองของ สุวรรณี และคณะ (2550) ที่รายงานว่า การสะสมฟอสฟอรัสในสภาพน้ำขังสูงกว่าในสภาพไม่ขังน้ำ และมีประสิทธิภาพการดูดฟอสฟอรัสในสภาพไร่ออกซิเจนก็สูงกว่าในสภาพที่มีออกซิเจนด้วย (เจนจิรา, 2551) ยกเว้นพันธุ์ R 258 ส่วนพันธุ์ข้าวนาสวนไม่พบความแตกต่างระหว่างสภาพปลูก ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ลดการสะสมฟอสฟอรัสลงในสภาพแอโรบิก (ตารางที่ 2.3) และการวิเคราะห์โพแทสเซียมพบว่า พันธุ์ปทุมธานี 1 มีการปรับตัวเพิ่มการสะสมโพแทสเซียมเมื่อปลูกในสภาพแอโรบิก เนื่องมาจากโพแทสเซียมมีหน้าที่ในการควบคุมประจุในเซลล์พืชที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ (Marschner, 1989) เมื่อข้าว

อยู่ในสภาพที่แอโรบิก (ไม่มีน้ำขัง) ที่บางครั้งอาจขาดน้ำ ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงขึ้นและส่งผลให้เกิดการสะสมมากขึ้น โดยอาจเนื่องมาจากข้าวปทุมธานี 1 มีความสามารถทนกรดได้สูงจึงสามารถสะสมโพแทสเซียมได้สูงแต่ในพันธุ์สุพรรณบุรี 1 การปลูกในสภาพแอโรบิกมีการปรับตัวลดการสะสมโพแทสเซียมลง และพันธุ์ชัยนาท 1 ไม่มีการปรับตัวคล้ายกับข้าวไร่ทั้ง 3 พันธุ์ (ตารางที่ 2.3)

ในข้าวไร่ การสะสมแคลเซียมไม่มีความแตกต่างกันในสองสภาพปลูกยกเว้นพันธุ์ป้อบ้างที่มีการปรับตัวสูงขึ้นเช่นเดียวกับข้าวนาสวนอย่างพันธุ์ชัยนาท 1 โดยอาจเกิดจากความสามารถในการดูดใช้แคลเซียมที่สูงจน

ทำให้สมดุลธาตุอาหารในดินเปลี่ยนไป ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในสภาพไม่ขังน้ำมีสภาพเป็นกรดจนสมดุลธาตุอาหารเปลี่ยนไป (Phattarakul, 2008) แต่ในข้าวปทุมธานี 1 ไม่มีการปรับตัวและข้าวสุพรรณบุรี 1 มีการปรับตัวลดลงในสภาพแอโรบิก (ตารางที่ 2.3) ส่วนการวิเคราะห์แมกนีเซียมพบว่า ข้าวทุกพันธุ์มีการปรับตัวเพิ่มการสะสมแมกนีเซียมมากขึ้นเมื่อปลูกในสภาพแอโรบิกเพราะในสภาพที่ดินเป็นกรดทำให้การดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว, 2556) ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่มีการปรับตัวลดลงเพียงพันธุ์เดียว (ตารางที่ 2.3)

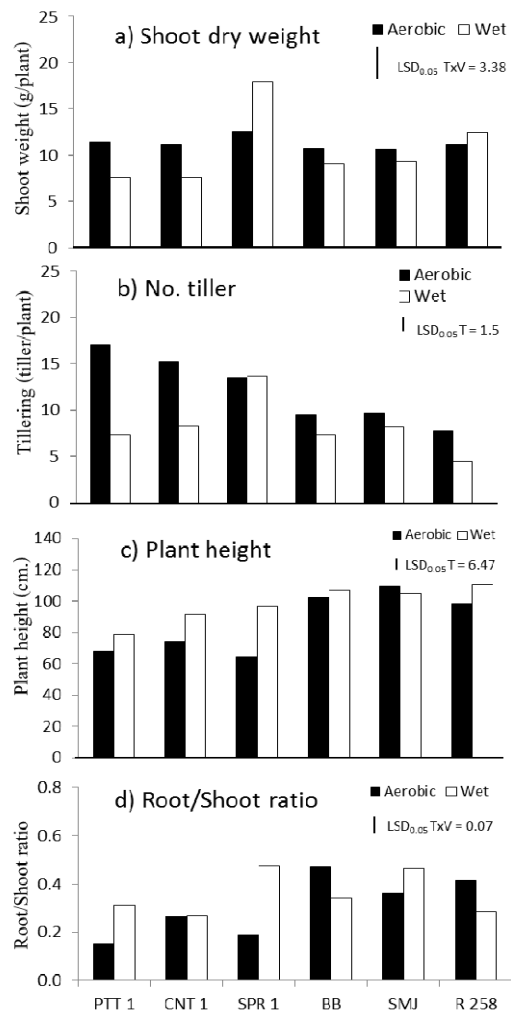


Figure 2 Shoot dry weight of wetland (PTT 1, CNT 1 and SPR 1) and upland rice varieties (BB, SMJ and R 258), (A); Tilling (B); Plant height (C); and root/Shoot ratio (D) in aerobic and flooded condition at 60 days after germination

Table 2.3 Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium contents (mg/plant) in wetland (PTT 1, CNT 1 and SPR 1) and upland (BB, SMJ and R 258) rice varieties grown in aerobic and flooded conditions at 60 days after germination

Varieties	N (mg./plant)		P (mg./plant)		K (mg./plant)		Ca (mg./plant)		Mg (mg./plant)						
	Wet	Aerobic	Wet	Aerobic	Wet	Aerobic	Wet	Aerobic	Wet	Aerobic					
PTT 1	234 Bc	585 Aa	82.9 Ad	86.7 Ac	427 Bc	704 Aab	101 Ac	102 Ab	34.6 Bbc	54.0 Ab					
CNT 1	315 Ac	347 Ab	107 Ac	92.2 Bc	495 Abc	626 Ab	72.7 Bc	112 Ab	29.6 Bc	54.5 Ab					
SPR 1	513 Aa	334 Bb	178 Aa	90.9 Bc	879 Aa	655 Bab	265 Aa	120 Bb	75.4 Aa	62.4 Bab					
BB	422 Ab	309 Bb	167 Aa	143 Bab	603 Bb	779 Aa	134 Bb	170 Aa	36.7 Bbc	65.2 Aab					
SMJ	362Abc	331 Ab	171 Aa	148 Ba	518 Bbc	713 Aab	164 Ab	147 Aa	43.3 Bb	72.8 Aa					
R258	443 Ab	366 Bb	149 Ab	133 Bb	485 Bbc	720 Aba	134 Ab	152 Aab	32.1 Bbc	64.9 Aab					
F- test	V ^{**}	T ^{ns}	V ^{**}	T ^{**}	V*T ^{**}	V ^{**}	T ^{**}	V*T ^{**}	V ^{**}	T ^{**}	V*T ^{**}				
LSD _{0.05}	48.1	-	48.1	13	7.6	18.5	95.7	55.2	135	23.2	-	32.7	8.42	4.9	11.9
CV (%)	10.61		11.6		12.7		13.9		13.6						

ns, * and **. non significant, significant at $P<0.05$ and significant at $P<0.01$. V,T and VxT indicated F-test for variety, growth condition and variety and growth condition interaction effects, respectively. The deference between varieties in the same column in indicated by lower case letters. The deference between growth conditions in the same row in indicated by upper case letters.

สรุป

การทดลองที่ 1 ประเมินวัสดุปลูกเพื่อศึกษาการกระจายตัวของรากข้าวและความสัมพันธ์ของรากกับการเจริญทางลำต้น

ดินชุดสันทราย (T1) (มีค่า pH 5.0-7.0 มีอินทรีย์วัตถุต่ำ ความอุดมสมบูรณ์และธาตุอาหารฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมค่อนข้างต่ำ เหมาะกับการปลูกพืชไร่) และดินดำแม่หยวก (T2) (มีค่า pH 6.0-7.0 มีอินทรีย์วัตถุสูง ความอุดมสมบูรณ์และธาตุอาหารฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมค่อนข้างสูง) (ดิน..ของประเทศไทย, 2556) เป็นวัสดุปลูกที่ใช้ในการศึกษาระบบรากข้าวในสภาพดินไม่ขังน้ำได้ดี เพราะสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของรากข้าวทั้งสองพันธุ์ได้อย่างชัดเจนในทุกระดับความลึกทั้งที่ความลึก 0-15, 15-30 และ 30-45 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวในการสร้างรากในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่ได้รับออกซิเจน น่าจะได้รับการศึกษาต่อไปเพราะเป็นระบบสำหรับศึกษาระบบรากข้าวได้ง่ายและสะดวก เหมาะสำหรับการคัดกรองสายพันธุ์ในโครงการปรับปรุงพันธุ์

การทดลองที่ 2 ศึกษาการกระจายตัวของราก การเจริญและการใช้ธาตุอาหารของข้าว 6 พันธุ์ ในสภาพแอโรบิก

การทดลองนี้พบว่าในสภาพแอโรบิกรากข้าวทุกพันธุ์สามารถสร้างรากได้ยาวกว่าในสภาพน้ำขังเมื่อดูจากการสะสมน้ำหนักแห้งรากในชั้นที่ลึกที่สุดแต่สำหรับการสะสมน้ำหนักแห้งของรากทั้งหมดในงานทดลองนี้พบว่ามี ความแปรปรวนระหว่างพันธุ์ โดยข้าวไร้มีแนวโน้มการสร้างน้ำหนักแห้งรากได้สูงกว่าข้าวนาสวนทั้งในสองสภาพ แต่การสร้างส่วนลำต้น การสร้างหน่อ และความสูงของข้าวกลับไม่ได้สูงตามน้ำหนักรากที่มากขึ้น ส่วนของการสะสมธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมมีความแปรปรวนไปตามสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (สกอ.) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- เจนจิรา หม่องอ้น. 2551. การปรับตัวของพันธุ์ข้าวไทยต่อสภาพดินน้ำขัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 138 หน้า.
- ดิน..ของประเทศไทย (ออนไลน์). 2556. สืบค้นจาก: http://www.1dd.go.th/thaisoils_museum/IND-EX.HTM (2 มกราคม 2557).
- เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. 2552. การปลูกข้าวประหยัดน้ำด้วยวิธีปลูกแบบแอโรบิก. นิตยสารเทคโนโลยีชาวบ้าน 20(423): 63-64.
- สุวรรณี แลน้อย คันสนีย์ จำจด และ เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. 2550. ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวไทยในการปรับตัวต่อสภาพดินไม่ขังน้ำ. วารสารเกษตร 23(ฉบับพิเศษ): 19-24.
- สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. 2556. องค์ความรู้เรื่องข้าว (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www.ricethailand.co.th> (24 เมษายน 2556).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. ผลพยากรณ์เนื้อที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวไทย (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.thaiceeexporters.or.th/production.htm> (25 เมษายน 2555).
- Girdthai, T., S. Jogloy, T. Kesmala, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, S. Wongkaew, C. C. Holbrook, and A. Patanothai. 2010. Relationship between root characteristic of peanut in hydroponic and pot. Crop Science 50: 159-167.
- George, T., R. Magbanua, P. G. Dennis, S. Brenda, A. Tuban, and J. Quiton. 2002. Rice rapid yield loss of rice cropped successively in aerobic soil. Agronomy Journal 94: 981-989.
- Insalud, N., R. W. Bell, T. D. Calmer and B. Rerkasem. 2006. Morphological and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to limited phosphorus supply in aerated and stagnant solution culture. Annals of Botany 98: 995-1004.
- International Rice Research Institute (IRRI). 2005. Ann. Report. Los Banos, Philippines.
- Kamoshita, A. R., N. Chandra Babub, B. Manikanda Boopathi and C. Shu Fukai. 2008. Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments. Field Crops Research 109: 1-23.
- Kato, Y., A. Kamoshita and J. Yamagishi. 2008. Pre-flowering abortion reduces spikelet number in upland rice (*Oryza sativa* L.) under water stress. Crop Science 48: 2389-2395.
- Kundu, D. K. and J. K. Ladha. 1997. Effect of growing rice on nitrogen mineralization in flooded soil. Soil Science Society of America Journal 61: 839-845.
- Lay Heng, S. 2010. Drought tolerance and nutrient uptake efficiency in maize. M. S. Thesis, Graduate School, Chiang Mai University, Thailand
- Marschner, H., M. Treeby and V. Römheld. 1989. Mobilization of iron and other micronutrient ations from a calcareous soil by plant-borne, microbial, and synthetic metal chelators. Plant and soil 114: 217-226.
- McDonald, A. E., B. R. Grant and W. C. Plaxton. 2001. Phosphite (phosphorous acid): Its relevance in the environment and agriculture, and influence on the plant phosphate starvation response. Journal of Plant Nutrition 24: 1505-1519.
- Phattarakul, N. 2008. Genotypic variation in tolerance to soil in local upland rice

- varieties. Ph.D. Thesis, Graduate School, Chiang Mai University, Thailand.
- Wang, H., B. A. M. Bouman, D. Zhao, C. Wang and P. F. Moya. 2004. Aerobic rice in northern China. pp. 143-154. in Water-wise rice production, International Rice Research Institute, Los Banos, The Philippines.
- Zhang, H., Y. Xue, Z. Wang, J. Yang and J. Zhang. 2009. An alternate wetting and Moderate soil drying regime improves root and shoot growth in rice. Crop Science 49: 2246-2260.
-