

การเติบโตของรากข้าวในระยะต้นอ่อนภายใต้สภาพขาดออกซิเจน

Growth of rice seedling root under hypoxic condition

ประภัศร ลัดวิลวงษ์¹, เนตรนา อินสลด^{2*}, ศุภสิทธิ์ สิทธิพานิช¹ และ พรทิพย์ ศรีมงคล¹

Paphatsone Latvilayvong¹, Nednapa Insalud^{2*}, Suphasit Sitthaphanit¹

and Porntip Srimongkol¹

บทคัดย่อ: การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของรากข้าวในระยะต้นอ่อนที่ปลูกในสภาพขาดออกซิเจน วางแผนทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design ปัจจัยที่ทำการศึกษประกอบด้วย สภาพออกซิเจนในบริเวณรากข้าว (ขาดออกซิเจนและไม่ขาดออกซิเจน) และพันธุ์ข้าว 3 พันธุ์ (พันธุ์ข้าวแม่จัน พันธุ์ กข 31 และ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) โดยย้ายเมล็ดที่พร้อมงอกให้เจริญในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่ให้อากาศ และให้อากาศในสารละลาย เก็บข้อมูลความยาวราก จำนวนราก น้ำหนักแห้งรากและต้น ในวันที่ 1, 3, 5, 7 และ 10 วันหลังงอก ผลการทดลองพบว่ารากข้าวแสดงการตอบสนองต่อการขาดออกซิเจนอย่างชัดเจนในด้านการยืดขยายความยาวรากภายในเวลา 3 วันหลังงอก โดยพบว่าในสภาพขาดออกซิเจนรากข้าวจะสั้นกว่าเมื่อเทียบกับสภาพมีออกซิเจนถึงร้อยละ 40-56 และพบความแตกต่างของความยาวรากจากอิทธิพลของพันธุ์ตั้งแต่วันที่ 1 หลังงอก โดยข้าวพันธุ์ข้าวแม่จันซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวไร่มีรากยาวกว่า กข 31 และ ขาวดอกมะลิ 105 อย่างไรก็ตามพบว่า น้ำหนักแห้งรากและต้นไม่มีความแตกต่างกันเมื่อรากอยู่ในสภาพขาดออกซิเจนและไม่ขาดออกซิเจน

คำสำคัญ: ข้าว, สภาพขาดออกซิเจน, ราก, ต้นกล้า

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the rice seedling root responses to root hypoxia. The experiment was arranged as a factorial in completely randomized design with two root conditions (hypoxia and oxia) and three rice cultivars (Sew Mae Jan, RD 31 and KDML 105). Germinated seeds were grown under hypoxic and oxic conditions. Root length, root number, root and shoot dry weight were determined at 1, 3, 5, 7 and 10 days after germination. The results showed that hypoxia affected root length in the first three days after germination. Under hypoxic condition, the length of rice root was 40-56% less than those of oxic condition. Rice cultivar had effect on root length within only one day after germination. Sew Mae Jan, an upland rice cultivar, showed the longer root than RD 31 and KDML 105. However, there were no significant difference in root and shoot dry weight between hypoxic and oxic roots.

Keywords: Rice, Hypoxia, Root, Seedling

¹ ภาควิชาเกษตรและทรัพยากร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

Department of Agriculture and Resources, Faculty of Natural Resources and Agro Industry, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus

² หลักสูตรพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Sansai, Chiang Mai

* Corresponding author: nedins@hotmail.com

บทนำ

การปลูกข้าวในสภาพนาสวน และสภาพไร่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในด้านระดับน้ำและอากาศในดิน สภาพแปลงที่มีน้ำขังหรือดินที่อึดตัวด้วยน้ำเป็นสภาพที่ไม่มีอากาศหรือออกซิเจน (anoxia) หรือมีออกซิเจนละลายลงสู่น้ำในดินเพียงเล็กน้อย (hypoxia) ในขณะที่ดินนาไร่มีปริมาณอากาศหรือออกซิเจนในระดับที่ใกล้เคียงกับบรรยากาศเหนือดิน (oxia) ข้าวเมื่อได้รับปริมาณออกซิเจนในระดับที่แตกต่างกันมีการตอบสนองทั้งในระดับสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันไปตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว และระยะเวลาในการได้รับความเครียดจากการขาดออกซิเจน รวมถึงความแตกต่างเนื่องจากสายพันธุ์ Insalud et al. (2006) พบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของรากด้านการปลดปล่อยออกซิเจนออกจากรากที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพียง 1 วันหลังจากที่รากของกล้าข้าวอายุ 14 วัน ย้ายลงสู่สภาพขาดออกซิเจน และเช่นเดียวกับ ในขณะที่ Shiono et al. (2011) ศึกษาข้าวอายุ 21 วันหลังงอก พบว่ารากที่มีอายุมากกว่า (ความยาว 105-130 มม.) มีการสลายตัวของเนื้อเยื่อในชั้นคอร์เทกซ์ (cortex) ของราก ภายใน 12 ชั่วโมงเมื่อรากขาดออกซิเจน ซึ่งเร็วกว่าสองเท่าของรากที่ความยาวน้อยกว่า (65-90 มม.) การตอบสนองของต้นกล้าข้าวดังกล่าวส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการอื่น ๆ รวมถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การงอกของเมล็ดในนาหว่านส่วราย หรือในสภาพไร่ ข้าวที่งอกจากเมล็ดจะพบกับสภาพขาดออกซิเจนหรือได้รับออกซิเจนในระดับปกติทันทีตามลำดับ การตอบสนองต่อความแตกต่างของระดับออกซิเจนที่รากได้รับตั้งแต่ระยะการงอกของเมล็ด อาจส่งผลกระทบต่อการตั้งตัวและการเจริญเติบโตของข้าวต่อไปได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการศึกษากการตอบสนองของรากข้าวต่อสภาพออกซิเจนต่ำและสภาพออกซิเจนปกติตั้งแต่ระยะการงอกของเมล็ด ที่อาจส่งผลกระทบต่อการตั้งตัวและการเจริญเติบโตของต้นกล้า

วิธีการศึกษา

วางแผนทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design 3 ซ้ำ ศึกษา 2 ปัจจัย คือ สภาพออกซิเจนบริเวณราก (hypoxia และ oxia) และพันธุ์ข้าว (ข้าวพันธุ์พื้นเมืองสำหรับสภาพไร่: ชิวแม่จัน ข้าวปรับปรุงพันธุ์สำหรับนาชลประทาน: กข31 และข้าวพันธุ์พื้นเมืองสำหรับนาไร่: ขาวดอกมะลิ 105) ปลูกข้าวในสารละลายธาตุอาหารซึ่งดัดแปลงจาก Yoshida et al. (1976) โดยแช่เมล็ดข้าวในน้ำ 12 ชั่วโมง บ่มที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จากนั้นย้ายเมล็ดข้าวที่พร้อมงอกลงสู่สภาพ hypoxia หรือ oxia โดยวางเมล็ดข้าวแต่ละสายพันธุ์จำนวน 100 เมล็ด บนตาข่ายซึ่งลอยบนสารละลายธาตุอาหาร 2 ลิตร (ต่อกระถางหรือต่อซ้ำ) จำลองสภาพ hypoxia โดยผสมวุ้นในอัตรา 0.1% ในสารละลายธาตุอาหาร (Wiengweera et al., 1997) จำลองสภาพ oxia โดยให้อากาศในสารละลายตลอดเวลา ปลูกข้าวในสภาพโรงเรือน ทำการวัดความยาวรากที่ยาวที่สุดและนับจำนวนรากที่งอกจากลำต้น (nodal root) ในวันที่ 1 3 5 7 และ 10 วันหลังงอก และเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้งรากและลำต้นที่อายุ 10 วันหลังงอก โดยนำตัวอย่างต้นข้าวซึ่งตัดแยกรากและต้นอบในตู้อบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 70 ชั่วโมง บันทึกข้อมูลน้ำหนักแห้งหลังอบ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (SAS; SAS Institute Inc., Cary, North Carolina) ตามแผนการทดลองและเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษา

ความยาวและจำนวนราก

เพียง 3 วันหลังงอก รากข้าวแสดงการตอบสนองต่อการขาดออกซิเจนอย่างชัดเจนในการยืดขยายความยาวราก โดยรากข้าวที่เจริญในสภาพขาดออกซิเจนมีความยาวน้อยกว่ารากที่ได้รับออกซิเจนในระดับปกติประมาณร้อยละ 40 และเมื่อได้รับสภาพการ

ขาดออกซิเจนเป็นระยะเวลา 5 – 7 วัน รากข้าวมีการยืดขยายความยาวรากเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเพียง 0.6 ซม. ทำให้รากที่ได้รับออกซิเจนในระดับปกติมีความยาวรากที่มากกว่าถึงร้อยละ 56 ในวันที่ 5 – 7 และร้อยละ 44 ในวันที่ 10 หลังออก (Table 1) ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ พบความแตกต่างของความยาวรากเนื่องจากอิทธิพลของพันธุ์ตั้งแต่อายุ 1 วันหลังออก ชีวแม่จันซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวไร่มีความยาวรากมากกว่าพันธุ์ กข 31 และชาวดอกมะลิ 105 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความยาวรากมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ ถึง 8 เท่า ในขณะที่ กข 31 และชาวดอกมะลิ 105 มีความยาวรากไม่แตกต่างกันที่อายุ 1, 3 และ 5 วันหลังออก ส่วนที่อายุ 7 และ 10 วันหลังออก พบว่าข้าวพันธุ์ชีวแม่จันทร์และพันธุ์ กข 31 มีความยาวรากไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์ชีวแม่จันทร์มีความยาวรากที่ 8.42 และ 8.90 ซม. และพันธุ์ กข 31 มีรากยาว 8.11 และ 9.87 ซม. ที่อายุ 7 และ 10 วันหลังออกตามลำดับ ส่วนข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 มีความยาวรากน้อยที่สุดโดยมีความยาวราก 6.30 และ 6.62 ซม. ที่อายุ 7 และ 10 วันหลังออก ตามลำดับ ในการทดลองนี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมที่รากได้รับ และพันธุ์ข้าว อย่างไรก็ตามพบว่าข้าวที่ใช้ในการทดลองทั้งสามพันธุ์ที่รากอยู่ในสภาพไม่ขาดออกซิเจนมีความยาวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังอายุ 3 วันหลังออก

ด้านจำนวนรากพบว่าข้าวที่เจริญเติบโตในสภาพขาดและไม่ขาดออกซิเจนมีจำนวนรากไม่แตกต่างกันทางสถิติที่อายุ 1 3 5 และ 10 วันหลังออก แต่ที่อายุ 7 วันหลังออกพบว่าข้าวที่ปลูกในสภาพขาดออกซิเจนมีจำนวนราก 6.18 ราก ซึ่งสูงกว่าเมื่อปลูกในสภาพไม่ขาดออกซิเจนที่มีจำนวน 4.93 ราก (Table 1) ส่วนในพันธุ์ที่แตกต่างกันพบว่าจำนวนรากในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (อายุ 1-7 วันหลังออก) มีจำนวนไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่อายุ 10 วันหลังออกพบว่าข้าวพันธุ์ กข 31 และ ชาวดอกมะลิ 105 มีจำนวนรากไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีจำนวนราก 11.28 และ 10.32 ราก ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์ชีวแม่จันทร์มีจำนวนรากน้อยที่สุดที่ 7.95 ราก และไม่พบปฏิกิริยา

สัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมที่รากได้รับกับพันธุ์ข้าว อย่างไรก็ตามพบว่าข้าวทั้งสามพันธุ์ที่ปลูกในสภาพไม่ขาดออกซิเจนมีจำนวนรากเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 7-10 วันหลังออก

น้ำหนักแห้งรากและลำต้น

สำหรับน้ำหนักแห้งรากและลำต้นทำการเก็บข้อมูลที่อายุ 10 วันหลังออกพบว่าข้าวที่ปลูกในสภาพขาดและไม่ขาดออกซิเจนมีน้ำหนักแห้งรากไม่แตกต่างกันโดยในสภาพขาดออกซิเจนมีน้ำหนักแห้งราก 6.32 มก./ต้น ส่วนข้าวที่ปลูกในสภาพไม่ขาดออกซิเจนมีน้ำหนักแห้งรากที่ 6.23 มก./ต้น (Table 1) อย่างไรก็ตามพบว่าข้าวพันธุ์ กข 31 มีน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดที่ 7.30 มก./ต้น ส่วนพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 มีน้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุดที่ 5.28 มก./ต้น และไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างสภาพออกซิเจนบริเวณรากกับพันธุ์ข้าว นอกจากนี้พบว่าสภาพแวดล้อมที่รากได้รับไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งต้นซึ่งทั้งสองสภาพมีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับพันธุ์ข้าวพบว่าน้ำหนักแห้งต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 27.64-30.88 มก./ต้น

วิจารณ์

ในการศึกษานี้พบการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาด้านการยืดขยายความยาวของรากอย่างชัดเจนในข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่อรากข้าวงอกจากเมล็ดและเจริญในสภาพออกซิเจนต่ำเป็นเวลานาน 3 วัน การปรากฏผลการยับยั้งการยืดขยายความยาวรากเมื่อเจริญในสภาพออกซิเจนต่ำ อาจเป็นผลต่อเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาภายในราก เช่น การสร้างและสะสมสารประกอบฟีนอลิกในผนังเซลล์ชั้นรองก่อนชั้นคอร์เท็กซ์เพิ่มขึ้นเพื่อลดการสูญหายของออกซิเจนออกจากราก และการลดการดูดน้ำธาตุฟอสฟอรัสของรากข้าวเมื่อรากข้าวอยู่ในสภาพขาดออกซิเจนเป็นเวลานาน 4-8 วัน (Insalud et al., 2006) รวมถึงการตอบสนองในระยะสั้นตั้งแต่ 12 หรือ 24

ข้าวโม่งที่พบในการศึกษาของ Shiono et al. (2011) และ Insalud et al. (2006) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อระยะเวลาและระดับความเครียดเนื่องจากการขาดออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น กระบวนการทางสรีรวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปอาจทำให้รากข้าวมีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานหรือลักษณะที่แสดงออกมามีภายนอก ซึ่งลักษณะทางสัณฐานที่แตกต่างกันจะส่งผลถึงความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช Lorenzen et al. (2001) พบว่าในสภาพที่รากพืชได้รับออกซิเจนน้อยทำให้รากพืชมีความยาวลดลงและส่งผลให้การดูดธาตุอาหารลดลงด้วย ผลการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าในช่วง 10 วันหลังออกสภาพการขาดออกซิเจนในบริเวณรากมีผลต่อความยาวรากเพียงอย่างเดียว ส่วนจำนวนราก น้ำหนักแห้งของรากและน้ำหนักแห้งต้นไม่ได้รับอิทธิพลจาก

สภาพการขาดออกซิเจน ซึ่งแตกต่างจากพืชบางชนิด เช่น Smit et al. (1990) พบว่าการเจริญเติบโตของใบต้น Black cotton wood (*Populus trichocarpa*) ลดลงเมื่อรากอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน

สรุป

สภาพขาดออกซิเจนในบริเวณรากข้าวในระยะต้นกล้ามีผลต่อความยาวรากโดยข้าวมีการตอบสนองต่อสภาพขาดออกซิเจนอย่างรวดเร็ว แต่การขาดออกซิเจนในบริเวณรากไม่ส่งผลถึงจำนวนรากในช่วงอายุ 10 วัน หลังออกและไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักแห้งของรากและลำต้น

Table 1 Effect of root condition and cultivars on root length, root number, root dry weight and shoot dry weight of rice.

			Root length (cm)					Root number					Root dry weight (mg/plant)		Shoot dry weight (mg / plant)	
Day after germination																
Condition (A)	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10	10	10	10	10		
Hypoxia	0.75	4.00b	4.29b	4.64b	6.24b	1.00	2.74	4.41	6.18a	9.93	6.32	29.37				
Oxia	0.85	6.91a	9.69a	10.57a	11.19a	1.00	2.19	4.30	4.93b	9.70	6.23	30.11				
Cultivar (B)																
Sew Mae Jan	1.89a	8.07a	8.99a	8.42a	8.90a	1.00	3.06	4.28	5.28	7.95b	6.23ab	30.68				
RD 31	0.23b	4.69b	6.16b	8.11a	9.87a	1.00	2.56	4.55	5.78	11.28a	7.30a	30.88				
KDML 105	0.28b	3.61b	5.83b	6.30b	6.62b	1.00	1.78	4.22	5.61	10.32a	5.28b	27.64				
Source of variation																
A	ns	**	**	**	**	0	ns	ns	**	ns	ns	ns				
B	**	**	**	**	**	0	ns	ns	ns	**	**	ns				
AxB	ns	ns	ns	ns	ns	0	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
C.V. (%)	48.54	19.28	15.23	7.36	10.26	0	40.32	12.22	12.64	10.02	10.36		7.75			

Means labeled with the same letter in each column are not different as determined by DMRT (P=0.05)

เอกสารอ้างอิง

- Insalud, N., R. W. Bell, T. D. Colmer, and B. Rerkasem. 2006. Morphological and physiological responses of rice (*Oryza sativa*) to limited phosphorus supply in aerated and stagnant solution culture. *Annals of Botany*. 98: 995-1004.
- Lorenzen, B., H. Brix, I. A. Mendelssohn, K. L. McKee, and S. L. Miao. 2001. Growth, biomass allocation and nutrient use efficiency in *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* as affected by phosphorus and oxygen availability. *Aquatic Botany*. 70:117-133.
- Shiono, K., S. Ogawa, S. Yamazaki, H. Isoda, T. Fujimura, M. Nakazono, and T.D. Colmer. 2011. Contrasting dynamics of radial O_2 -loss barrier induction and aerenchyma formation in rice roots of two lengths. *Annals of Botany*. 107 (1): 89-99.
- Smit, B.A., D.S. Neinnan, and M.L. Stachowiak. 1990. Root hypoxia reduces leaf growth: role of factors in the transpiration stream. *Plant Physiology*. 92: 1021-8.
- Wiengweera, A., H. Greenway, and C.J. Thomson. 1997. The use of agar nutrient solution to simulate lack of convection in waterlogged soils. *Annals of Botany*. 80: 115-123.
- Yoshida S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1976. *Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice*. IRRI, Los Banos, Laguna. pp.83.