

การประเมินลักษณะรากข้าวในประชากรชั่วที่ 2 จากคู่ผสมระหว่างข้าวนาสวนและข้าวไร่

Phenotypic Evaluation of Root Traits in F₂ Progenies from Cross Between Lowland and Upland Rice

กฤษฎาพร ฝนวงศ์, ธาณี ศรีวงศ์ชัย* และประภา และศรีพิจิติกต์

ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

เชนษฎ์ ม้าลำพอง

ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Kritsadaphon Phonwong, Taneer Sreewongchai* and Prapa Sripichitt

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok Campus,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900

Chanet Malumpong

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,

Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

บทคัดย่อ

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีลักษณะรากที่ดีเป็นเป้าหมายหนึ่งในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีเสถียรภาพในสภาวะแล้ง ข้าวพันธุ์ที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีมักมีระบบรากตื้นทำให้อ่อนแอต่อสภาวะแล้ง การปรับปรุงพันธุ์ให้มีระบบรากลึกสามารถทำให้ข้าวที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีทนทานต่อสภาวะแล้งมากขึ้น การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะรากในประชากรชั่วที่ 2 จากคู่ผสมระหว่าง ข้าวนาสวนพันธุ์ กข 49 และข้าวไร่พันธุ์พญาลิมาแกม จำนวน 126 สายพันธุ์ โดยใช้วิธีตะกร้า (basket method) ผลการทดลองพบว่า ข้าวไร่พันธุ์พญาลิมาแกมมีจำนวนรากลึก (deep root number, DRN) และอัตราส่วนการหยั่งรากลึก (ratio of deep rooting, RDR) มากกว่าข้าวนาสวนพันธุ์ กข 49 แต่มีจำนวนรากตื้น (shallow root number, SRN) น้อยกว่าพันธุ์ กข 49 ส่วนจำนวนรากรวม (total root number, TRN) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ในประชากรชั่วที่ 2 พบว่าจำนวนรากตื้น จำนวนรากลึก และจำนวนรากรวม มีค่าอยู่ระหว่าง 5-153, 4-106 และ 9-210 ราก ตามลำดับ อัตราส่วนการหยั่งรากลึก มีค่าอยู่ระหว่าง 8.0-65.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจำนวนรากตื้น จำนวนรากรวม และอัตราส่วนการหยั่งรากลึกมีการกระจายตัวแบบปกติ และมี transgressive segregation ซึ่งสามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่ให้อัตราส่วนการหยั่งรากลึกและจำนวนรากรวมเพิ่มขึ้นมากกว่าพันธุ์พ่อแม่ได้

คำสำคัญ : ข้าว; ระบบราก; ความทนทานต่อสภาวะแล้ง; จำนวนรากรวม; อัตราส่วนการหยั่งรากลึก

Abstract

Good root traits are targeted phenotypes for improving rice yield under drought condition. The shallow-rooting rice cultivars with good economic trait could be improved root system architecture for drought tolerance. In this study, the root traits were evaluated in 126 F_2 progenies derived from a cross between lowland rice, RD49 and upland rice, Prayaleumgang (PLG) rice varieties. The parental varieties and F_2 progenies were evaluated for shallow root number (SRN), deep root number (DRN), total root number (TRN) and ratio of deep rooting (RDR) using the basket method. The result showed that PLG had higher DRN and RDR than RD49 but lower shallow SRN than RD49. The TRN was not significantly different between PLG and RD49. In F_2 population, SRN, DRN, TRN and RDR ranged from 5 to 153, 4 to 106, 9 to 210 roots and 8.0 to 65.5 percent, respectively. SRN, TRN and RDR showed normal distribution and transgressive segregation in the F_2 population. Thus, the rice lines carrying high ratio of deep rooting and total root number can be selected in this segregating population.

Keywords: rice; root system; drought tolerant; total root number; ratio of deep rooting

1. คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชที่สำคัญชนิดหนึ่ง เป็นพืชอาหารหลักของประชากรเกือบครึ่งหนึ่งของประชากรโลก (Mohanty *et al.*, 2013) และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ผลผลิตข้าวของโลกในปี พ.ศ. 2558/2559 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 994.81 ล้านไร่ ผลผลิต 472.11 ล้านตันข้าวสาร (703.80 ล้านตันข้าวเปลือก) และผลผลิตต่อไร่ 707 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ปัญหาที่พบในการเพาะปลูกข้าว เช่น โรค แมลง ศัตรูข้าว น้ำท่วม รวมทั้งสภาวะแล้ง ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณฝนไม่เพียงพอ หรือฝนไม่ตกตามฤดูกาลส่งผลให้ผลผลิตของข้าวนาสวนในเขตนาน้ำฝนลดลงอย่างมาก และส่งผลให้ผลผลิตข้าวโดยรวมลดลงด้วย ในปัจจุบันสภาวะแล้งเป็นปัญหาที่สำคัญในการเพาะปลูกข้าวทั้งในประเทศไทยและทั่วโลก เนื่องจากสภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไป การเกิดสภาวะโลกร้อนส่งผลให้เกิดสภาวะแล้งมีแนวโน้มรุนแรงและยาวนานขึ้น โดยสภาวะแล้งจัดเป็นสภาวะเครียดทางกายภาพ (abiotic stress)

อย่างหนึ่งที่ส่งผลให้พื้นที่เพาะปลูกข้าว และผลผลิตข้าวทั้งในเขตนาน้ำฝนและเขตชลประทานลดลง หากเกิดสถานการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นบ่อยครั้งอาจทำให้ผลผลิตข้าวไม่เพียงพอต่อการบริโภคของประชากรโลก (Kondo *et al.*, 2000; Kumar *et al.*, 2014) สภาวะแล้งส่งผลกระทบต่อการใช้พื้นที่ปลูกข้าวในเอเชียถึงร้อยละ 20 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด (Gowda *et al.*, 2011) สำหรับในประเทศไทยการผลิตข้าวนาปีและนาปรัง ในปี พ.ศ. 2558/ 2559 มีเนื้อที่เพาะปลูกผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ลดลงเนื่องจากปริมาณฝนรวมต่ำกว่าค่าเฉลี่ยเกือบทุกภาค และฝนตกกระจายไม่สม่ำเสมอ ในข้าวนาปีส่งผลให้เกษตรกรปลูกข้าวลำช้า ส่วนในข้าวนาปรังคาดว่าเนื้อที่เพาะปลูกของทุกภาคลดลงเนื่องจากปี พ.ศ. 2558 ฝนตกช้า ปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปี พ.ศ. 2557 และต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ส่งผลให้ปริมาณน้ำในเขื่อนไม่เพียงพอสำหรับการปลูกข้าวนาปรัง สำหรับผลผลิตต่อไร่ที่ลดลงคาดว่าเนื่องจากจากปริมาณน้ำไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต ต้นข้าวบางส่วนจึงแห้งตายส่งผลให้ภาพรวมผลผลิตทั้งประเทศลดลง

(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ดังนั้นการเพิ่มความต้านทานต่อสภาวะแล้งในข้าวโดยการพัฒนาพันธุ์ข้าวให้ทนทานต่อสภาวะแล้งและมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงในสภาวะแล้งจึงเป็นเป้าหมายหลักเป้าหมายหนึ่งในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวนาสวนในเขตนาน้ำฝนให้มีเสถียรภาพ

พืชมีกลไกในการตอบสนองต่อสภาวะแล้งที่แตกต่างกัน เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากสภาวะแล้ง การเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวจะมีเสถียรภาพได้ต้องเกิดจากการเจริญเติบโตทางรากที่เหมาะสม เพราะระบบรากของข้าวไม่เพียงแต่มีหน้าที่ยึดลำต้นของข้าวกับพื้นดินเท่านั้น แต่ยังมีหน้าที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวด้วย เนื่องจากทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและธาตุอาหารจากดินเข้าสู่ลำต้นและลำเรียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของข้าว ข้าวที่มีระบบรากที่มีประสิทธิภาพจะสามารถดูดซึมน้ำและธาตุอาหารได้ดี และนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้นด้วย (Obara *et al.*, 2010; Wu and Cheng, 2014) ภายใต้สภาวะแล้งข้าวมีกลไกการปรับตัวเพื่อการหลีกเลี่ยงต่อสภาวะแล้ง โดยการพัฒนาระบบรากให้สามารถทนทานต่อสภาวะแล้งได้หลายลักษณะ เช่น เพิ่มความหนาของราก ความลึกของราก และความยาวในการขนานของรากในดิน เพื่อให้รากและยอดสามารถรักษาสภาพน้ำ (water status) ในต้นพืชให้สูงอยู่ได้ แม้ปริมาณน้ำภายนอกต้นพืชมีน้อย ระบบรากที่สามารถสกัดน้ำออกจากดินได้มากจะมีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตภายใต้สภาวะแล้ง (Ali *et al.*, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับ Pantuwan และคณะ (1994) ที่รายงานว่าในสภาวะแล้งข้าวที่มีรากลึกจะสามารถขนานของรากในดินได้ลึกเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหารได้มากกว่าข้าวที่มีระบบรากตื้น ดังนั้นข้าวที่มีระบบรากลึกจึงทนแล้งได้มากกว่าข้าวที่มีระบบรากตื้น

ระบบรากของข้าว จัดเป็นระบบรากฝอย ประกอบด้วยราก 2 ชนิด คือ seminal root และ

adventitious root ลักษณะรากที่นิยมศึกษาในการปรับปรุงพันธุ์ให้ต้านทานต่อสภาวะแล้งมีหลายลักษณะ ได้แก่ ความลึกของรากสูงสุด (maximum root depth) ความยาวรากทั้งหมด (total root length) พื้นที่ผิวราก (root surface area) ปริมาตรราก (root volume), เส้นผ่าศูนย์กลางของราก (root diameter) ความหนาแน่นของราก (root length density) อัตราส่วนของรากต่อยอด (root to shoot ratio) อัตราส่วนการหยั่งรากลึก (ratio of deep rooting) เป็นต้น ซึ่งแต่ละลักษณะมีหน้าที่ที่สำคัญแตกต่างกันไป โดยความลึกของรากสูงสุดแสดงถึงศักยภาพในการดูดความชื้นและธาตุอาหารจากดินในระดับลึก ซึ่งพันธุ์ที่ต่างกันที่ปลูกในที่นั้น ๆ จะมีความแตกต่างกันอย่างมาก แต่จะมีผลของสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จำนวนรากแสดงถึงศักยภาพของรากในการสร้างระบบราก (Uga *et al.* 2005; Gowda *et al.*, 2011) และอัตราส่วนการหยั่งรากลึกแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างจำนวนรากลึกต่อจำนวนรากทั้งหมดแสดงถึงความสามารถในการทนทานต่อสภาวะแล้ง

ในสภาพไร่ ข้าวไร่มีรากลึกและรากมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ข้าวไร่ยังมีการตอบสนองต่อสภาพขาดน้ำได้ดี โดยสร้างรากยาวและมีขนาดใหญ่ แต่ข้าวไร่มีศักยภาพการให้ผลผลิตที่ต่ำกว่าข้าวนาสวน จากรายงานพบว่าในข้าวนาสวนญี่ปุ่นมีลักษณะทางการเกษตรที่ดีกว่าข้าวไร่ เช่น จำนวนหน่อตอกมาก ต้นเตี้ยตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยดี คุณภาพเมล็ดดี แต่มีระบบรากตื้นและไม่ทนแล้ง (O'Toole and Bland, 1987)

ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวนาสวนที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีให้มีระบบรากที่สามารถปรับตัวต่อสภาวะแล้งได้ดีจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ทนทานต่อสภาวะแล้งและมีผลผลิตสูง ซึ่งวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้ คือ การผสมข้ามระหว่างข้าวไร่และข้าวนาสวน ในการ

ทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวและอิทธิพลของลักษณะรากในประชากรข้าวที่ 2 จากการผสมระหว่างข้าวนาสวนพันธุ์ กข 49 และข้าวไร่พันธุ์พญาลิมแกง โดยใช้วิธีตะกร้า (basket method)

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พันธุ์ข้าวที่ใช้

ข้าวพันธุ์แม่ที่ใช้ คือ ข้าวนาสวนพันธุ์ กข 49 ซึ่งข้าวที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดี เป็นข้าวเจ้า ไม่ไวต่อแสง ลำต้นแข็งแรง ผลผลิตสูงต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลชีวชนิดใหม่คุณภาพการสีดีมาก ข้าวเมื่อหุงสุก ค่อนข้างนุ่ม และร่วน (ชวนชม และคณะ, 2556) มีระบบรากตื้น และข้าวพันธุ์พ่อ คือ ข้าวไร่พันธุ์พญาลิมแกง เป็นข้าวไร่ข้าวเหนียว ซึ่งมีลักษณะประจำพันธุ์ที่โดดเด่นหารับประทานแบบข้าวกล้องข้าวเหนียวจะมีรสชาติอร่อยมาก มีโปรตีนสูง (8.16 กรัม) อายุเบาและต้านทานต่อโรคไหม้ดี (ระดับคะแนน 2-3) (เจริญจิต และคณะ, 2556)

สร้างประชากรข้าวที่ 2 โดยปลูกข้าวพันธุ์พ่อ-แม่ แล้วผสมข้ามเพื่อสร้างลูกผสมข้าวที่ 1 จากนั้นปลูกประชากรข้าวที่ 1 แล้วปล่อยให้ผสมตัวเองเพื่อสร้างประชากรข้าวที่ 2

2.2 การศึกษาลักษณะรากโดยใช้วิธีตะกร้า

การประเมินลักษณะรากพันธุ์พ่อ-แม่และในประชากรข้าวที่ 2 ใช้วิธีตะกร้า (basket method) ซึ่งดัดแปลงจาก Uga และคณะ (2011) ทดลองในสภาพโรงเรือนทดลอง ณ โรงเรือนปฏิบัติการด้านข้าว ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร โดยเตรียมตะกร้าพลาสติกความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลางปากตะกร้า 15 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้นตะกร้า 8.2 เซนติเมตร สูง 5

เซนติเมตร ใส่ดินเต็มตะกร้า จากนั้นใส่ลงในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ที่มีดินอยู่ครึ่งกระถาง เติมดินลงในช่องว่างของกระถางให้เสมอขอบตะกร้า และเตรียมต้นกล้าโดยเฉพาะเมล็ดข้าวพันธุ์ทดลองเป็นเวลา 3 วัน แล้วย้ายลงถาดหลุมหลุมละ 3 เมล็ด เมื่อต้นกล้าอายุได้ 14 วัน ย้ายลงในตะกร้าที่เตรียมไว้ เมื่อข้าวอายุได้ 21 วัน ถอนแยกให้เหลือตะกร้าละ 1 ต้น เก็บข้อมูลลักษณะรากที่อายุ 60 วันหลังปลูก โดยล้างดินรอบตะกร้าออกอย่างระมัดระวังแล้วนับจำนวนรากตื้น (shallow root number, SRN) โดยนับจำนวนรากที่รอดผ่านรูตะกร้าที่อยู่ด้านข้างซึ่งมีมุมระหว่างรากกับผิวดิน 0-70 องศา นับจำนวนรากลึก (deep root number, DRN) โดยนับจำนวนรากที่รอดผ่านรูตะกร้าที่ด้านล่างตะกร้าซึ่งรากทำมุมกับผิวดิน 71-90 องศา หลังจากนั้นคำนวณจำนวนรากรวม (total root number, TRN) = SRN + DRN และอัตราส่วนการหยั่งรากลึก (ratio of deep rooting, RDR) = DRN + TRN

จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและพันธุ์แม่โดยใช้ t-test ทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของลักษณะรากในประชากรข้าวที่สองด้วยการทดสอบไคสแควร์ (Chi-square test, χ^2) และวิเคราะห์วาเรียนซ์ของลักษณะรากแต่ละลักษณะด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวแบบไม่มีซ้ำ (one-way ANOVA with no replication) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2013 และคำนวณอัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง (broad-sense heritability, h_b^2) ของลักษณะรากในประชากรข้าวที่ 2 จาก วาเรียนซ์ของพันธุ์พ่อ-แม่ และวาเรียนซ์ระหว่างประชากรข้าวที่สอง จากสูตร

$$h_b^2 [F_2] = \{V_p [F_2] - (V_p [P_1] + V_p [P_2]) \div 2\} \div V_p [F_2]$$

โดย $V_p [F_2]$ คือ วาเรียนซ์ของลักษณะรากแต่ละลักษณะระหว่างประชากรข้าวที่ 2 และ $V_p [P_1]$, $V_p [P_2]$ คือ วาเรียนซ์ของลักษณะรากแต่ละ

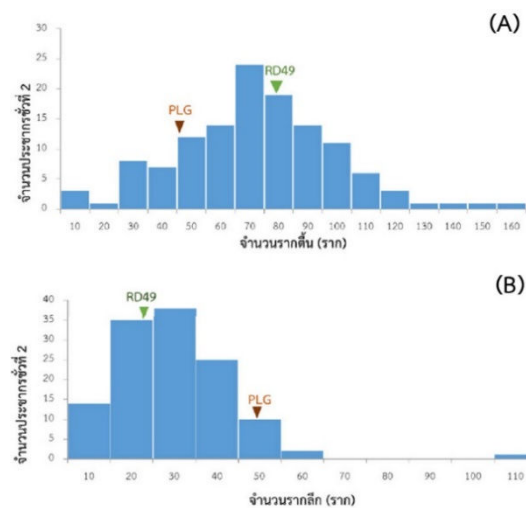
ลักษณะของพันธุ์พ่อ-แม่ ตามลำดับ (Uga *et al.*, 2015)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 จำนวนรากต้น

ผลการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์ กข 49 มีจำนวนรากต้นเฉลี่ย 74 ± 19.6 ราก ซึ่งมากกว่าพันธุ์พญาลิ้มแกงที่มีจำนวนรากต้น 41 ± 14.4 ราก เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลักษณะจำนวนรากต้นโดยวิธี t-test พบว่าพันธุ์พญาลิ้มแกงมีจำนวนรากต้นมากกว่าพันธุ์ กข 49 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.0137$) และเมื่อพิจารณาในประชากรชั่วที่ 2 พบว่าจำนวนรากต้นมีการกระจายตัวอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อ-แม่ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5-153 ราก และมีจำนวนรากต้นเฉลี่ยเท่ากับ 68 ± 27.5 ราก (ตารางที่ 1) โดยการกระจายตัวของลักษณะจำนวนรากต้นในประชากรชั่วที่ 2 เป็นแบบต่อเนื่อง และมี transgressive segregation (รูปที่ 1A)

3.2 จำนวนรากลึก

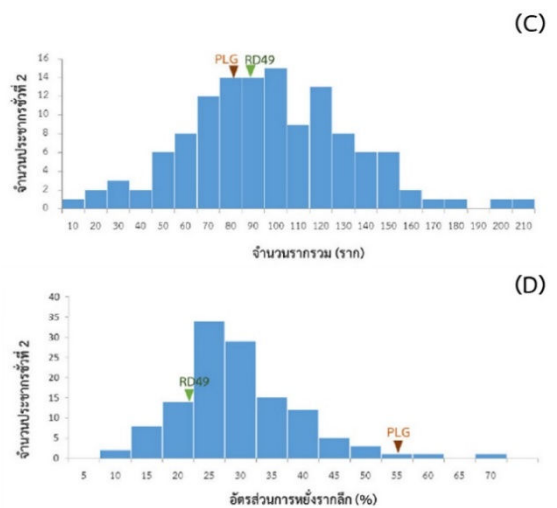


รูปที่ 1 การกระจายตัวของลักษณะรากในประชากรชั่วที่ 2 จากการผสมระหว่าง กข 49 (RD49) และพญาลิ้มแกง (PLG): (A) จำนวนรากต้น, (B) จำนวนรากลึก, (C) จำนวนรากรวม และ (D) อัตราส่วนการหยั่งรากลึก

ลักษณะจำนวนรากลึกของพันธุ์พ่อและแม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.0047$) โดยพันธุ์พญาลิ้มแกงมีจำนวนรากลึก 45 ± 8.5 ราก ซึ่งมากกว่าพันธุ์ กข 49 ซึ่งมีจำนวนรากลึก 19 ± 7.2 ราก เมื่อพิจารณาในประชากรชั่วที่ 2 พบว่าจำนวนรากลึกมีการกระจายตัวอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อ-แม่ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 4-106 ราก และมีจำนวนรากลึกเฉลี่ยเท่ากับ 25 ± 13.9 ราก (ตารางที่ 1) โดยการกระจายตัวของลักษณะจำนวนรากลึกในประชากรชั่วที่ 2 เป็นแบบต่อเนื่อง และมี transgressive segregation (รูปที่ 1B)

3.3 จำนวนรากรวม

ลักษณะจำนวนรากรวมของพันธุ์พ่อและแม่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P = 0.3522$) โดยพันธุ์ กข 49 และพันธุ์พญาลิ้มแกง มีจำนวนรากรวม 93 ± 23.7 และ 86 ± 22.9 ราก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในประชากรชั่วที่ 2 พบว่าจำนวนรากรวมมีการกระจายตัวอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อ-แม่ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 9-210 ราก และมีจำนวนรากรวมเฉลี่ยเท่ากับ 93 ± 36.5 ราก (ตารางที่ 1) โดยการกระจาย



ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของจำนวนรากต้น จำนวนรากลึก จำนวนรากรวม และอัตราส่วนการหยั่งรากลึก ในประชากรชั่วที่ 2 จากการผสมข้ามระหว่างข้าวพันธุ์ กข 49 และพญาลิมาแก

ลักษณะ	จำนวน รากต้น (ราก)	จำนวน รากลึก (ราก)	จำนวน รากรวม (ราก)	อัตราส่วน การหยั่งรากลึก (%)
F ₂ ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD	68 $\pm$ 27.5	25 $\pm$ 13.9	93 $\pm$ 36.5	27.1 $\pm$ 9.6
ช่วงข้อมูล	5-153	4-106	9-210	8.0-65.5
พันธุ์แม่ (กข 49)	74 $\pm$ 19.6	19 $\pm$ 7.2	93 $\pm$ 23.7	20.0 $\pm$ 5.2
พันธุ์พ่อ (พญาลิมาแก)	41 $\pm$ 14.4	45 $\pm$ 8.5	86 $\pm$ 22.9	53.4 $\pm$ 3.8
t-test ระหว่างพันธุ์แม่และพันธุ์พ่อ	*	**	ns	**

*ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05; **ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01; ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตัวของลักษณะจำนวนรากรวมในประชากรชั่วที่ 2 เป็นแบบต่อเนื่อง และมี transgressive segregation (รูป 1C)

3.4 อัตราส่วนการหยั่งรากลึก

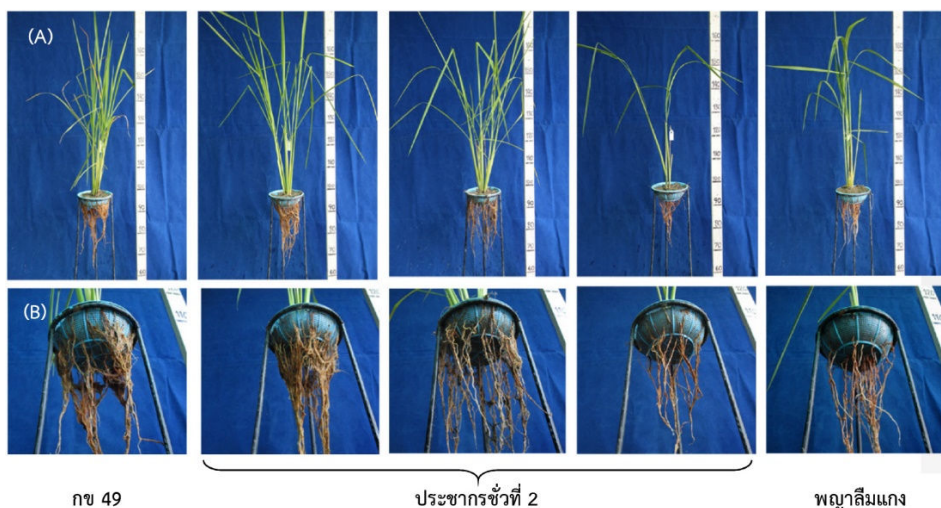
อัตราส่วนการหยั่งรากลึกของพันธุ์พ่อ และแม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์ กข 49 มีอัตราส่วนการหยั่งรากลึกน้อยกว่าพันธุ์พญาลิมาแก โดยพันธุ์ กข 49 มีอัตราส่วนการหยั่งรากลึก 20.0 $\pm$ 5.2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์พญาลิมาแกมีอัตราส่วนการหยั่งรากลึก 53.4 $\pm$ 3.8 เปอร์เซ็นต์ ประชากรชั่วที่ 2 มีการกระจายตัวอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อ-แม่ โดยมีค่าอัตราส่วนการหยั่งรากลึกอยู่ระหว่าง 8.0-65.6 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนการหยั่งรากลึกในประชากรชั่วที่ 2 เท่ากับ 27.1 $\pm$ 9.6 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1) โดยการกระจายตัวของอัตราส่วนการหยั่งรากลึกในประชากรชั่วที่ 2 มีการกระจายตัวเป็นแบบต่อเนื่อง และมี transgressive segregation (รูป 1D)

การทดลองพบว่าข้าวไร่พันธุ์พญาลิมาแกมีรากที่รูดผ่านรูดะกร้าด้านล่างมากกว่า

ด้านข้าง ส่วนข้าวนาสวนพันธุ์ กข 49 มีรากที่รูดผ่านรูดะกร้าด้านข้างมากกว่าด้านกันตะกร้า ลักษณะรากมีการแตกแขนงเป็นรากฝอยมากกว่าพันธุ์พญาลิมาแก ดังนั้นข้าวพันธุ์พญาลิมาแกจึงมีจำนวนรากลึกและอัตราส่วนการหยั่งรากลึกสูงกว่าพันธุ์ กข 49 แต่มีจำนวนรากรวมน้อยกว่าข้าวพันธุ์ กข 49 ซึ่งสอดคล้องกับ Li และคณะ (2011) ที่รายงานไว้ว่าข้าวไร่มีรากขนาดใหญ่และมีระบบรากลึก ในขณะที่ข้าวนาสวนมีระบบรากตื้น รากมีขนาดเล็ก และมีจำนวนรากมาก ส่วนในประชากรชั่วที่ 2 พบว่ามีลักษณะรากกระจายตัวหลายลักษณะ คือ มีทั้งต้นที่มีจำนวนรากรวมน้อยและรากลึกเหมือนพันธุ์พญาลิมาแก ต้นที่มีจำนวนรากรวมสูงเหมือนพันธุ์ กข 49 และต้นที่มีจำนวนรากรวมและอัตราส่วนการหยั่งรากลึกสูง โดยเป็นลักษณะที่เหมือนทั้งพันธุ์ กข 49 และพญาลิมาแก (รูปที่ 2) ซึ่งเป็นลักษณะที่ดี เหมาะสมที่จะคัดเลือกเพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้ทนทานต่อสภาวะแล้งต่อไป การกระจายตัวของลักษณะรากในประชากรชั่วที่ 2 ในลักษณะเช่นนี้เป็นการกระจายตัวแบบต่อเนื่อง (รูปที่ 1) โดยจำนวนรากต้น จำนวนรากรวม และ

อัตราส่วนการหยั่งรากลึกมีการกระจายตัวแบบปกติ ($\chi^2 = 3.75, 0.67, 12.09 < \chi^2 0.05 = 11.07, 12.59, 12.59$ ตามลำดับ) ส่วนจำนวนรากลึกมีการกระจายตัวไม่ปกติ ($\chi^2 = 13.17 < \chi^2 0.05 = 12.59$) และลักษณะรากทุกลักษณะมี transgressive segregation ในทางบวกซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Uga และคณะ (2011) ที่พบว่าประชากรข้าวที่ 2 ที่ได้จากการผสมระหว่างข้าวนาสวนพันธุ์ IR64 และข้าวไร่พันธุ์ Kinandang Patong การกระจายตัวของลักษณะรากเป็นแบบต่อเนื่อง และมี transgressive segregation ซึ่ง transgressive segregation คือ ลักษณะของรุ่นลูกที่มีการแสดงออกทางฟีโนไทป์มากกว่าพ่อแม่ โดยมีทั้งดีกว่าหรือด้อยกว่าพ่อแม่ (Riseberg *et al.*, 2003a; Janwan *et al.*, 2012) ทั้งนี้อาจเกิดจากการเข้าคู่กันของอัลลีล จากพ่อและแม่ที่มีการแสดงออกในลักษณะเดียวกัน (complementary gene action) แล้วเกิดปฏิกริยาบวกลบข่มเกิน (overdomonance) หรือข่มข้ามคู่ (epistasis) ของยีนขึ้น จึงทำให้รุ่นลูกมีการแสดงออกมากกว่าหรือน้อยกว่าพ่อแม่ ซึ่งประชากรรุ่นลูกมีการแสดงออกที่ดีเด่นกว่าพ่อแม่แสดงถึงโอกาสประสบ

ความสำเร็จในการปรับปรุงพันธุ์ลักษณะนั้นสูง (Riseberg *et al.*, 2003a; Riseberg *et al.*, 2003b) จากการที่ประชากรข้าวที่ 2 มีการกระจายตัวของลักษณะรากเป็นแบบต่อเนื่อง และมี transgressive segregation แสดงให้เห็นว่าลักษณะรากทุกลักษณะนั้นแสดงการถ่ายทอดเชิงปริมาณ (quantitative inheritance) มียีนที่ควบคุมการแสดงออกหลายคู่ (polygene) (สุทัศน์, 2553) ซึ่งสอดคล้องกับ Gowda และคณะ (2011) ที่รายงานว่าลักษณะรากเป็นลักษณะที่ซับซ้อนถูกควบคุมโดยยีนหลายยีน เมื่อพิจารณาอัตราพันธุกรรม (heritability) พบว่าจำนวนรากตื้น จำนวนรากลึก จำนวนรากรวมและอัตราส่วนการหยั่งรากลึก มีค่าอัตราพันธุกรรม 61, 68, 60 และ 77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งจัดเป็นค่าอัตราพันธุกรรมสูง โดยอ้างอิงจากสมเกียรติ (2537) ที่กล่าวว่าอัตราพันธุกรรมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 อัตราพันธุกรรมระดับสูงมีค่าตั้งแต่ 0.4 หรือ 40 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (สิğun, 2561) แสดงให้เห็นว่าลักษณะเหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากยีนสูง จึงสามารถถ่ายทอดลักษณะพ่อแม่ไปยังลูกได้สูง ส่งผลให้โอกาสประสบความสำเร็จในการคัดเลือกสูง



รูปที่ 2 ความแตกต่างของลักษณะรากระหว่างพันธุ์แม่ (กข 49) ประชากรข้าวที่ 2 และพันธุ์พ่อ (พญาลิ้มแกง): (A) ลักษณะรากและทรงต้น และ (B) ลักษณะรากที่รอดผ่านรูตะกร้า

ตารางที่ 2 วาเรียนซ์ (V_p) และอัตราพันธุกรรม (heritability, h_B^2) ของจำนวนรากต้น จำนวนรากลึก จำนวนรากรวม และอัตราส่วนการหยั่งรากลึก ในข้าวนาสวนพันธุ์ กข 49 ข้าวไร่พันธุ์พญาลิ้มแกง และประชากรชั่วที่ 2 จากการผสมข้ามระหว่างข้าวสวนพันธุ์ กข 49 และข้าวไร่พันธุ์พญาลิ้มแกง

ลักษณะราก	V_p [F_2]*	V_p [P_{PLG} ***]	V_p [P_{RD49} **]	h_B^2 [F_2] (%)
จำนวนรากต้น (SRN)	757.1	206.3	383.6	61
จำนวนรากลึก (DRN)	192.8	72.3	51.9	68
จำนวนรากรวม (TRN)	1340.8	523.0	559.9	60
อัตราส่วนการหยั่งรากลึก (% RDR)	92.3	14.7	27.2	77

* V_p [F_2] คือ วาเรียนซ์ของลักษณะรากแต่ละลักษณะระหว่างประชากรชั่วที่ 2; ** V_p [P_{RD49}] คือ วาเรียนซ์ของลักษณะรากแต่ละลักษณะของพันธุ์แม่; *** V_p [P_{PLG}] คือ วาเรียนซ์ของลักษณะรากแต่ละลักษณะของพันธุ์พ่อ

ด้วยเช่นกัน (สุทัศน์, 2553; สีกัน, 2561) จึงกล่าวได้ว่าจำนวนรากต้น จำนวนรากลึก จำนวนรากรวม และอัตราส่วนการหยั่งรากลึกสามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่มายังรุ่นลูกได้สูง ซึ่งนักปรับปรุงพันธุ์เชื่อว่าลักษณะเหล่านี้มีส่วนสำคัญที่จะทำให้ข้าวหลีกเลี่ยง (avoid) หรือทนทาน (tolerate) ต่อสภาวะแล้งได้ (Uga *et al.*, 2015) ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวนาสวนให้หลีกเลี่ยง (avoid) หรือทนทาน (tolerate) ต่อสภาวะแล้งจึงมีโอกาสนประสบความสำเร็จสูง

การศึกษครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะพัฒนาพันธุ์ข้าวเพื่อส่งเสริมในเขตชลประทาน ดังนั้นบางสายพันธุ์ที่ได้รับลักษณะของข้าวไร่มาจากพันธุ์พ่อ คือ พันธุ์พญาลิ้มแกงอาจไม่สามารถแสดงออกลักษณะที่ดีได้ เนื่องจากทดลองในสภาพน้ำท่วมขังจึงควรมีการศึกษาในระบบการเพาะปลูกแบบข้าวไร่เพื่อที่จะคัดเลือกข้าวพันธุ์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดี มีระบบรากที่ดีและให้ผลผลิตสูงในสภาพไร่เพื่อที่จะใช้พัฒนาพันธุ์ข้าวที่มีระบบรากลึกทนแล้งและผลผลิตสูงเพื่อใช้ส่งเสริมให้ปลูกในระบบข้าวไร่ได้ด้วย

4. สรุป

การทดลองสรุปได้ว่าข้าวไร่พันธุ์พญาลิ้มแกงมีจำนวนรากลึก และอัตราส่วนการหยั่งรากลึก

มากกว่าข้าวนาสวนพันธุ์ กข 49 แต่มีจำนวนรากต้นน้อยกว่าพันธุ์ กข 49 ประชากรส่วนใหญ่ของประชากรชั่วที่ 2 ลักษณะทุกลักษณะที่ศึกษาประชากรส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อ-แม่ มีการกระจายตัวแบบต่อเนื่อง จำนวนรากต้น จำนวนรากรวม และอัตราส่วนการหยั่งรากลึกมีการกระจายตัวแบบปกติ จำนวนรากต้น จำนวนรากรวมมี transgressive segregation แบบบวก และลักษณะรากทุกลักษณะมีอัตราพันธุกรรมสูงดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวนาสวนให้หลีกเลี่ยง (avoid) หรือทนทาน (tolerate) ต่อสภาวะแล้งจึงมีโอกาสนประสบความสำเร็จสูง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โครงการการประเมินพันธุกรรมและพัฒนาพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะรากข้าวที่ดีเพื่อการหลบเลี่ยงสภาวะแล้ง

6. รายการอ้างอิง

จริญจิต เฟื่องรัตน์, สุวัฒน์ เจียรคงมั่ง, อัมพล สุวรรณวงศ์, พิศาล กองหาโคตร, กิจตพงษ์ เฟื่องรัตน์, สุวิทยา ภาโสภะ, สมใจ สาลีโท, วิ

- ระศักดิ์ หอมสมบัติ, กฤษณา สุตทะสาร, พร
รณิจิตตา, สุพัฒนา บุรีรัตน์ และวิไลลักษณ์ สุข
ปรากฏ, 2556, ญาลิมแกง : มหัจจรรยข้าว
พื้นเมืองไทย, น. 72-90, การประชุมวิชาการ
ข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 30, โรงแรม
มารวยการ์เดน, กรุงเทพฯ.
- ชวนชม ตีรศมี, มุ่งมาตร วังกะ, ดวงกมล บุญช่วย,
ชัยรัตน์ จันทรหนู, ดวงพร วิฐูรจิตต์, สุรเดช
पालะวิสุทธิ, อัจฉราพร ณ ลำปาง เนินพลับ,
วิไล ปาละวิสุทธิ, สุพัตรา สุวรรณธาดา,
วรรณกรณ อินทรสถิตย์, ภมร ปัตตาวะตัง,
สอวาง ไชยรินทร์, เจตต์ คชฤกษ์, ดวงอร อริย
พฤกษ์, ควพร พุ่มเซย, เบญจวรรณ พลโคต,
พรสุรี กาญจนนา, จิตติชัย อนาวงษ์, จัตูรงค์
พิพัฒน์พิริยานนท์, เปรมกมล มูลนิลตา,
วิภาวดี ชำนาญ, นัยกร สงวนแก้ว, วันทนา ศรี
รัตนศักดิ์ และรัศมีวุฒิ เกียรติพงศ์, 2556, กข
49 : ข้าวนาชลประทานผลผลิตสูง ด้านทาน
เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, น. 33-54, การประชุม
วิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 30,
โรงแรมมารวยการ์เดน, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559, สถาน การณ
สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2560,
แหล่งที่มา : [http://www.oae.go.th/download
/document_tendency/agri_situation2560.pdf](http://www.oae.go.th/download/document_tendency/agri_situation2560.pdf)
f, 17 มีนาคม 2560.
- สีกุน นุชชา, อัตราพันธุกรรม, แหล่งที่มา : [http://
www.seekun.net/a-im-4-4-2.pdf](http://www.seekun.net/a-im-4-4-2.pdf), 26 กุมภาพันธ์
2561.
- สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์, 2553, การปรับปรุงพันธุ์พืช,
พิมพ์ครั้งที่ 3, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 259 น.
- Ali, M., Pathan, M., Zhang, Bai, J., Sarkarung,
G.S. and Nguyen, H.T., 2000, Mapping
QTLs for root traits in a recombinant inbred
population from two indica ecotypes in rice,
Theor. Appl. Genet. 101: 756.
- Gowda, V., Henrya, R., Yamauchic, P.A.A.,
Shashidharb, H.E. and Serraj, R., 2011,
Root biology and genetic improvement for
drought avoidance in rice, Field Crops Res.
122: 1-13.
- Janwan, M., Sreewongchai, T. and Sripijitt, P.,
2012, Rice breeding for high yield by
advanced single seed descent method od
selection, J. Plant Sci. 8: 24-30.
- Kondo, M., Pablico, P.P., Aragones, D.V.,
Agbisit, R., Abe, J., Morita, S. and Courtois,
B, 2000, Genotypic and environmental
variations in root morphology in rice
genotypes under upland field conditions,
Plant Soil 255: 189-200.
- Kumar, A., Dixit, S., Ram, T., Yadaw, R.B.,
Mishra, K.K. and Mandal, N.P., 2014,
Breeding high-yielding drought-tolerant
rice: Genetic variations and conventional
and molecular approaches, J. Exp. Bot. 65:
6265-6278.
- Li, J., Wang, D., Xie, Y., Zhang, H., Hu, G., Li,
J., Dai, A., Liu, L. and Li, Z., 2011,
Development of upland rice introgression
lines and identification of QTLs for basal
root thickness under different water
regimes, J. Genet. Genomics 38: 547-556.
- Mohanty, S., Wassmann, R., Nelson, A., Moya,
P. and Jagadish, S.V.K., 2013, Rice and
Climate Change: Significance for Food
Security and Vulnerability, IRRI Discussion
Paper Series No. 49., International Rice
Research Institute, Los Baños, 14 p.

- O'Toole, J.C. and Bland, W.L., 1987, Genotypic variation in crop plant root systems, *Adv. Agron.* 41: 91-145.
- Obara, M., Wataru, T., Takeshi, E., Masahiro, Y., Tadashi, S. and Tomoyuki, Y., 2010, Fine-mapping of qRL6.1, a major QTL for root length of rice seedlings grown under a wide range of NH_4^+ concentrations in hydroponic conditions, *Theor. Appl. Genet.* 121: 535-547.
- Pantuwan, G., Ingram, K.T. and Sharma, P.K., 1996, 198- 206, Rice root systems development under rainfed conditions, In *Physiology of Stress Tolerance in Rice*, Proceedings of the International Conference on Stress Physiology of Rice, Lucknow, U.P.
- Riseberg, L.H., Archer, M.A. and Wayne, R.K., 2003a, Transgressive segregation, adaptation and speciation, *Heredity* 83: 363-372.
- Riseberg, L.H., Widmer, A., Arntz, A.M. and Burke, J.M., 2003b, The genetic architecture necessary for transgressive segregation is common in both natural and domesticated populations, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 358: 1141-1147.
- Uga, Y., Kitomi, Y., Ishikawa, S. and Yano, M., 2015, Genetic improvement for root growth angle to enhance crop production, *Breed Sci. Mar.* 65: 111-119.
- Uga, Y., Kitomi, Y., Yamamoto, E., Kanno, N., Kawai, S., Mizubayashi, T. and Fukuoka, S., 2015, A QTL for root growth angle on rice chromosome 7 is involved in the genetic pathway of DEEPER ROOTING 1, *Rice* 8: 8.
- Uga, Y., Okuno, K. and Yano, M, 2011, Dro1, a major QTL involved in deep rooting of rice under upland field conditions, *J. Exp. Bot.* 62: 2485-2494.
- Wu, W. and Cheng, S., 2014, Root genetic research, an opportunity and challenge to rice improvement, *Field Crops Res.* 165: 111-124.