

การประเมินสายพันธุ์ข้าวหน้าข้าวกำแพงดำไม่ไวต่อช่วงแสงรุ่นที่ 7 และ 8 ระหว่างข้าวพันธุ์กำแพงดำดอยสะเก็ดและพันธุ์ปทุมธานี 1

Evaluation of purple rice advanced lines for photoperiod insensitivity during F₇ and F₈ generations between Kum Doi Saket and Pathum Thani 1

ชยานนท์ วงศ์พุฒิ¹, ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย^{1,2}, ต่อนภา ผุสดี^{1,2} และ ศันสนีย์ จำจด^{1,2*}

Chayanon Wongput¹, Chanakan Thebault Prom-u-thai^{1,2}, Tonapha Pusadee^{1,2} and Sansanee Jamjod^{1,2*}

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

¹ Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

² ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

² Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

บทคัดย่อ: ข้าวเหนียวพันธุ์กำแพงดำดอยสะเก็ดเป็นข้าวกำแพงดำที่คัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมืองในภาคเหนือ มีแอนโทไซยานินสูง มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ แต่มีข้อเสียคือผลผลิตต่ำ และปลูกได้เพียงปีละครั้ง เพื่อแก้ไขข้อเสียดังกล่าวและเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค กลุ่มวิจัยปรับปรุงพันธุ์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ผสมพันธุ์และคัดเลือกลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวพันธุ์กำแพงดำดอยสะเก็ดและพันธุ์ปทุมธานี 1 ไว้และในส่วนของงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยต่อเนื่องโดยเป็นการประเมินและเปรียบเทียบสายพันธุ์ข้าวหน้าในลูกผสมรุ่นที่ 7 และ 8 เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ไม่ไวต่อช่วงแสง มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ และให้ผลผลิตสูง ได้ทั้งหมด 5 สายพันธุ์ คือ NGP 1-5 ซึ่งมีลักษณะแผ่นใบและกาบใบสีเขียว หูใบและปล้องสีขาว เปลือกเมล็ดสีฟาง เป็นข้าวเจ้าเหมือนพันธุ์พ่อคือปทุมธานี 1 แต่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำเหมือนพันธุ์แม่คือกำแพงดำดอยสะเก็ด นำมาปลูกประเมินในแปลงทดลองในรุ่นที่ 7 ในฤดูนาปี ปี 2559 และรุ่นที่ 8 ในฤดูนาปรัง ปี 2560 พบว่าในแต่ละฤดูมีอายุออกดอกระหว่าง 114-120 วัน และ 122-126 วัน มีความสูงต้นอยู่ระหว่าง 54-80 และ 76-122 ซม. ให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 591-751 และ 586-851 กก./ไร่ มีปริมาณแอนโทไซยานินระหว่าง 3.7-36.3 และ 10.2-36.3 มก./100 ก. ตามลำดับ สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวหน้าตรงตามความต้องการที่มีผลผลิตและปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงได้ 2 สายพันธุ์คือ NGP3 และ NGP1 ให้ผลผลิต 663 กก./ไร่ และ 751 กก./ไร่ ในฤดูนาปี ปี 2559 และ 580 กก./ไร่ และ 850 กก./ไร่ ในฤดูนาปรัง ปี 2560 ตามลำดับ มีแอนโทไซยานิน 35.8 มก./100 ก. และ 36.3 มก./100 ก. ตามลำดับในทั้งสองฤดู ซึ่งสูงกว่าพันธุ์กำแพงดำดอยสะเก็ดในฤดูนาปี ที่มีค่า 31.1 มก./100 ก. มีปริมาณ อมิโลสระดับใกล้เคียงกับพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 โดยทั้งสองสายพันธุ์จะได้ขยายพันธุ์และปลูกทดสอบในแปลงเกษตรกรในรุ่นหลังๆ ต่อไป

คำสำคัญ: การประเมิน; ข้าวเจ้า; ไม่ไวต่อช่วงแสง; ผลผลิต; แอนโทไซยานิน

ABSTRACT: Kum Doi Saket (KDK) is a glutinous purple rice variety, selected from local rice in northern of Thailand, contains high grain anthocyanin. However, KDK has low yield and photoperiod insensitivity thus can be grow only once per year. To resolve this limitation, plant breeding group at Division of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University has developed progenies from the cross between Kam Doi Saket (KDK) and Pathum Thani 1 (PTT1). The present research is continuing to evaluate and select the lines with photoperiod insensitivity, black pericarp and high grain yield in F₇ to F₈ generations from a cross between KDK and PTT1. There were five non-glutinous lines

* Corresponding author: sansanee.cm@gmail.com

(NGP 1-5) with green leaf blade, leaf sheath, stipule and internode similar to male parent (PTT1), but had black pericarp similar to their female parent (KDK). The F₇ and F₈ generations were evaluated in the field during wet season of 2016 and dry season of 2017, respectively. The result suggested that day of flowering among the lines varied between 114-120 days and 122-126 days, plant height between 54-801 cm and 76-122 cm. yield between 591-751 and 586-851 kg/rai and content of anthocyanin between 3.7-36.3 and 10.2-36.3 mg/100 g, respectively. Taken together, two advanced lines were selected, NGP3 and NGP1, with yield at 663 and 751 kg/rai in wet season of 2016 and 580 and 850 kg/rai in dry season of 2017 and grain anthocyanin was 35 and 36 mg/100 g in both seasons, respectively which is higher than the female parent (KDK) in the wet season with 31.1 mg/100 g. The amylose content of both advanced lines was similar as male parent (PTT1). Both advanced lines will be grown for seed multiplication and yield trial in farmers' fields in the following generations.

Keywords: evaluation; purple rice; photoperiod insensitivity; yield, anthocyanin

บทนำ

ข้าวเก่าหรือข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ เป็นข้าวพื้นเมืองของประเทศไทย มีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากข้าวทั่วไปโดยพบสีม่วงปรากฏบนส่วนต่างๆ เช่น แฉกใบ กาบใบ เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด (ดาเนิน และ ศันสนีย์, 2543) ซึ่งรวงข้าวมีลักษณะสีม่วงที่ปรากฏคือสารประกอบในกลุ่มของแอนโทไซยานิน โดยแอนโทไซยานินมีฤทธิ์ต่อการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์มะเร็ง เช่น มะเร็งเต้านม (Chen et al., 2015) และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคสำคัญอีกหลายชนิด (Hui et al., 2010)

ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสีให้เป็นทางเลือกแก่ผู้บริโภค เช่น การปรับปรุงข้าวพันธุ์หอมนิล โดย อภิชาติ และคณะ (2558) ได้คัดเลือกและพัฒนาสายพันธุ์และมีผลผลิตอยู่ในช่วง 400 – 700 กก./ไร่ และปริมาณแอนโทไซยานิน 40.0 มก./100 ก. และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เป็นข้าวลูกผสมพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลและข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ผลผลิต 300-500 กก./ไร่ (อภิชาติ และคณะ, 2558) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสียังไม่หลากหลายมากเมื่อเทียบกับข้าวขาวทั่วไป ซึ่งน่าจะเพิ่มงานปรับปรุงพันธุ์ให้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภคที่มีความต้องการบริโภคข้าวสีคุณภาพต่างๆ และเกษตรกรที่ต้องการให้มีผลผลิตสูงไปขณะเดียวกัน

ก๋าดอยสะเก็ดเป็นข้าวเก่าที่ปรับปรุงพันธุ์โดยการคัดเลือกเป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์จากพันธุ์กรรมพื้นเมือง โดยพบว่ามีความแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงเท่ากับ 28.6 มก./100 ก. (ดาเนิน และ ศันสนีย์, 2543) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้าวก๋าดอยสะเก็ดคัดเลือกมาจากพันธุ์พื้นเมืองจึงมีข้อเสียคือมีลำต้นสูง หักล้มง่ายและให้ผลผลิตต่ำเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์สมัยใหม่ และนอกจากนี้ยังตอบสนองต่อช่วงแสงทำให้ปลูกได้เพียงปีละครั้งเท่านั้น เพื่อให้เป็นทางเลือกแก่ผู้บริโภคที่นิยมบริโภคข้าวเจ้าและเกษตรกรในพื้นที่ต่างๆ ที่ต้องการเพิ่มผลผลิตและจำนวนครั้งในการปลูกข้าว โครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวจึงต้องการปรับปรุงพันธุ์ให้เป็นข้าวเก่าเจ้าที่มีลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสงสามารถปลูกได้ตลอดปีและมีผลผลิตสูง กลุ่มวิจัยและปรับปรุงพันธุ์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จึงสร้างลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวพันธุ์ก๋าดอยสะเก็ดและพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นข้าวคุณภาพดีพันธุ์สมัยใหม่ผลผลิตสูงและไม่ไวต่อช่วงแสง พิรพันธ์ และคณะ (2557) ได้ประเมินลูกผสมรุ่นที่ 3 จากคู่ผสมดังกล่าวพบว่าการกระจายตัวในหลายๆ ลักษณะ เช่น ความสูงของต้นไม่สม่ำเสมอในรุ่นต้นๆ สีต้นยังมีทั้งต้นสีเขียวและม่วงกระจายตัวอยู่ในสายพันธุ์ สีเยื่อหุ้มเมล็ดที่พบจะสามารถแบ่งได้ 3 สี คือ สีม่วง น้ำตาล และขาว มีค่าแอนโทไซยานินอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อแม่ และประชากรนี้ยังมีการกระจายตัวของชนิดแป้งทั้งชนิดข้าวเจ้าข้าวเหนียวและต้นที่มีทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวอยู่รวมกัน ธรรมบุญ และคณะ (2559) ศึกษาลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวพันธุ์ก๋าดอยสะเก็ดและพันธุ์ปทุมธานี 1 ในประชากรรุ่นที่ 7 ได้คัดเลือก 10 สายพันธุ์ พบว่ามีผลผลิตระหว่าง 74.3-204.9 กก./ไร่ และแอนโทไซยานินมีค่าในช่วง 31.4-58.4 มก./100 ก.

งานวิจัยนี้ได้นำเมล็ดพันธุ์ลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวพันธุ์ก๋าดอยสะเก็ดและพันธุ์ปทุมธานี 1 จากรุ่นที่ 3 (พิรพันธ์ และคณะ, 2557) โดยคัดเลือกจากต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำตั้งแต่ครั้งแรกเมล็ดขึ้นไปมาเป็นประชากรตั้งต้น โดยปลูกขยายพันธุ์และคัดเลือกต่อไปจนถึงรุ่นที่ 6 จากนั้นคัดเลือกสายพันธุ์และประเมินสายพันธุ์ก๋าดหน้าต่อรุ่นที่ 7 และ 8 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกข้าวสายพันธุ์ก๋าดหน้าชนิดข้าวเจ้าที่มีค่าแอนโทไซยานินสูง ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสงสามารถออกดอกได้ตลอดทั้งปี และให้ผลผลิตสูง ซึ่งจะทำให้ได้สายพันธุ์

ก้าวหน้าไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและเป็นฐานพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวและเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการปลูกและบริโภคข้าวเพื่อสุขภาพสายพันธุ์ใหม่แก่เกษตรกรและผู้บริโภคข้าวต่อไป

วิธีการศึกษา

ประชากรลูกผสม

ใช้ประชากรลูกผสมรุ่นที่ 7 ระหว่างข้าวเหนียวดำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด (KDK) ที่มีค่าแอนโทไซยานินสูงแต่ไวต่อช่วงแสงกับข้าวเจ้าขาวพันธุ์ปทุมธานี 1 (PTT1) ที่เป็นข้าวคุณภาพดีพันธุ์สมัยใหม่ไม่ไวต่อช่วงแสงและให้ผลผลิตสูง โดยประชากรลูกผสมรุ่นที่ 7 ที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำเต็มเมล็ด ให้ผลผลิตสูง มีชนิดแบ่งเป็นข้าวเจ้า โดยเก็บเกี่ยวเมล็ดจากต้นที่สม่ำเสมอภายในสายพันธุ์รุ่นที่ 6 จำนวน 5 สายพันธุ์ รวมกันเป็นตัวแทนสายพันธุ์รุ่นที่ 7 ให้สัญลักษณ์ NGP1-NGP5 ทุกสายพันธุ์มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเหมือนกันคือ มีแผ่นใบกาบใบและปล้องสีเขียว หูใบสีขาว เปลือกหุ้มเมล็ดสีฟาง และเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำทั้งเมล็ด (Table 1)

การเปรียบเทียบสายพันธุ์ก้าวหน้า

ปลูกเปรียบเทียบสายพันธุ์ที่คัดเลือกทั้ง 5 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 4 พันธุ์ คือ ก่ำดอยสะเก็ด (KDK) ปทุมธานี 1 (PTT1) หอมนิล (HN) และก่ำเจ้ามช. 107 (KJ) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละแปลงปลูกสายพันธุ์ละ 4 แถวๆ ยาว 2 ม. ระยะปลูก 25x25 ซม. ขนาดแปลง 1x2 ม. หลังจากปลูก 30 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 20 กก./ไร่ และหลังจากปลูก 60 วันใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กก./ไร่ ดูแลรักษาและป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชเมื่อพบการระบาด บันทึกลักษณะทางสัณฐานวิทยา ส่วนลักษณะทางพืชไร่ เมื่อถึงระยะออกดอกบันทึกอายุออกดอก และที่ระยะสุกแก่สุ่มเก็บเกี่ยวในพื้นที่ 1 ตารางเมตร บันทึกผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต สุ่มตัวอย่างเมล็ดไปวิเคราะห์ค่าอมิโลส (Juliano, 1981) และแอนโทไซยานินโดยวิธี pH differential method (Abdel-Aal and Hucl, 1999) ศึกษา 2 ฤดูปลูก โดยปลูกสายพันธุ์ก้าวหน้ารุ่นที่ 7 ฤดูนาปี พ.ศ. 2559 และรุ่นที่ 8 ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2560

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษา

ลักษณะทางพืชไร่และปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ด

ฤดูนาปี

อายุออกดอก พันธุ์เปรียบเทียบหอมนิลออกดอกเร็วที่สุดที่ 98 วันและก่ำดอยสะเก็ดออกช้าที่สุดที่ 134 วัน สายพันธุ์ก้าวหน้ามีอายุออกดอกไม่แตกต่างจากพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีค่าระหว่าง 114-120 วัน โดย NGP5 ออกดอกเร็วที่สุด

ความสูงต้น พันธุ์แม่ก่ำดอยสะเก็ดและพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีต้นสูง 76.8 และ 55 ซม. ตามลำดับ สายพันธุ์ก้าวหน้าทุกสายพันธุ์ยกเว้น NGP4 มีต้นเตี้ยไม่แตกต่างจากปทุมธานี 1 มีค่าระหว่าง 54.3-55.6 ซม. ขณะที่ NGP4 มีต้นสูงระดับเดียวกับพันธุ์แม่เท่ากับ 80.7 ซม.

องค์ประกอบผลผลิต พันธุ์แม่ก่ำดอยสะเก็ดมีจำนวนรวงต่อต้นน้อยกว่าพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีค่าเท่ากับ 12 และ 16 รวงต่อต้น ตามลำดับ สายพันธุ์ก้าวหน้าทุกสายพันธุ์มีจำนวนรวงไม่แตกต่างจากปทุมธานี 1 มีค่าระหว่าง 15-17 รวงต่อต้น ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในลักษณะช่อดอกต่อรวง พันธุ์แม่ก่ำดอยสะเก็ดและพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีช่อดอกต่อรวงเท่ากับ 106 และ 138 ช่อดอกต่อรวงตามลำดับ สายพันธุ์ก้าวหน้ามีค่าระหว่าง 119-130 ช่อดอกต่อรวง สำหรับลักษณะเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี พบว่าพันธุ์แม่ก่ำดอยสะเก็ดติดเมล็ดน้อยกว่าพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 โดยมีเมล็ดดีเท่ากับ 78.7 และ 54.1% ตามลำดับ สายพันธุ์ก้าวหน้าทุกสายพันธุ์ ยกเว้น NGP4 มีการติดเมล็ดไม่แตกต่างจากปทุมธานี 1 มีค่าระหว่าง 74.5-78.2% NGP4 ติดเมล็ดน้อยกว่า เท่ากับ 66.7% ในลักษณะน้ำหนัก 1000 เมล็ด

พันธุ์แม่ก่าตอยสะเกิดมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 29.3 ก. ขณะที่พันธุ์พ่อมีค่าเท่ากับ 26.4 ก. สายพันธุ์ก่าวหน้า NGP4 น้ำหนัก 1000 เมล็ด สูงสุดไม่แตกต่างจากพันธุ์แม่ ส่วนที่เหลือมีค่าระหว่าง 22.9-28.4 ก. โดย NPG3 มีค่าต่ำที่สุด (Table 2)

ผลผลิต พันธุ์พ่อปทุมธานี 1 ให้ผลผลิตสูงสุด มีค่าเท่ากับ 907.2 กก./ไร่ และพันธุ์แม่ก่าตอยสะเกิดให้ผลผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 343.2 กก./ไร่ สายพันธุ์ก่าวหน้า NPG3 ให้ผลผลิตสูงไม่แตกต่างจากพันธุ์พ่อ เท่ากับ 751.4 กก./ไร่ สายพันธุ์ก่าวหน้าที่เหลืออีก 4 สายพันธุ์มีผลผลิตระหว่าง 590.9-663.5 กก./ไร่ มีค่าสูงกว่าพันธุ์แม่ก่าตอยสะเกิดและอยู่ระดับเดียวกับข้าวพันธุ์หอมนิลและก่าเจ้ามข. 107

แอนโทไซยานินในเมล็ด ไม่พบแอนโทไซยานินในข้าวขาวพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 พันธุ์แม่ก่าตอยสะเกิดมีค่าเท่ากับ 31.1 มก./100 ก. พันธุ์เปรียบเทียบกับข้าวสีดำพันธุ์หอมนิลมีค่า 1.2 และก่าเจ้ามข. 107 มีค่าเท่ากับ 29.9 มก./100 ก. สายพันธุ์ก่าวหน้า NGP1 และ NPG3 มีค่าแอนโทไซยานินสูงที่สุด เท่ากับ 36.3 และ 35.8 มก./100 ก. ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ NGP2 มีค่า 29.5 มก./100 ก. สายพันธุ์ก่าวหน้าที่เหลืออีก 2 สายพันธุ์ค่าแอนโทไซยานินน้อยกว่า 3.7 และ 4.4 มก./100 ก. ตามลำดับ ไม่แตกต่างจากพันธุ์หอมนิล (Table 2)

ฤดูนาปรัง

อายุออกดอก พันธุ์ปทุมธานี 1 และหอมนิลออกดอกที่ 126 และ 121 วัน ตามลำดับ ขณะที่พันธุ์แม่ก่าตอยสะเกิดและก่าเจ้ามข. 107 ไม่ออกดอก สายพันธุ์ก่าวหน้า NGP1 และ NGP4 ออกดอกที่ 125-126 วัน ไม่แตกต่างจากพันธุ์พ่อ ที่เหลือออกดอกเร็วกว่า 2-4 วัน

ความสูงต้น พันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีต้นสูง 86.9 ซม. สายพันธุ์ก่าวหน้า NGP4 มีต้นสูงที่สุดเท่ากับ 122.1 ซม. สายพันธุ์ที่เหลือมีค่าความสูงระหว่าง 76-82.6 ซม. น้อยกว่าหรือเท่ากับพันธุ์พ่อปทุมธานี 1

องค์ประกอบผลผลิต พันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีจำนวนรวงเท่ากับ 18 รวงต่อต้น สายพันธุ์ก่าวหน้ามีจำนวนรวงระหว่าง 17-23 รวงต่อต้นโดย NGP5 มีค่าสูงที่สุดและ NGP4 มีค่าต่ำที่สุด ลักษณะจำนวนช่อดอกพบว่าพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีจำนวนช่อดอกเท่ากับ 132 ช่อดอกต่อรวง สายพันธุ์ก่าวหน้า NGP5 มีจำนวนช่อดอกมากที่สุดเท่ากับ 151 ช่อดอกต่อรวง สายพันธุ์ที่เหลือจำนวนช่อดอกไม่แตกต่างจากพันธุ์พ่อ มีค่าระหว่าง 123-134 ช่อดอกต่อรวง สายพันธุ์ก่าวหน้าทุกสายพันธุ์ ยกเว้น NGP5 มีการติดเมล็ดไม่แตกต่างจากปทุมธานี 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีระหว่าง 87.4-92.3% NGP5 ติดเมล็ดน้อยที่สุดเท่ากับ 69.2% สำหรับน้ำหนัก 1000 เมล็ด พันธุ์พ่อปทุมธานี 1 สายพันธุ์ก่าวหน้า NGP2 และ NGP4 มีค่าสูงกว่าสายพันธุ์อื่น ระหว่าง 30.1-30.8 กรัม อีกสามสายพันธุ์ที่เหลือมีค่าน้อยกว่า โดยมีน้ำหนัก 1000 เมล็ดระหว่าง 26.0-26.9 กรัม (Table 2)

ผลผลิต พันธุ์พ่อปทุมธานี 1 ให้ผลผลิตสูงสุด มีค่าเท่ากับ 876.3 กก./ไร่ ในกลุ่มสายพันธุ์ก่าวหน้า พบว่า NGP3 และ NGP4 ให้ผลผลิตสูงสุดและไม่แตกต่างจากพันธุ์พ่อ มีค่าเท่ากับ 851.2 และ 832.5 กก./ไร่ ตามลำดับ สายพันธุ์ที่เหลือมีผลผลิตระหว่าง 586.4-740.3 กก./ไร่

แอนโทไซยานินในเมล็ด ไม่พบสารแอนโทไซยานินในพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 พันธุ์เปรียบเทียบกับข้าวสีดำพันธุ์หอมนิลมีค่า 0.6 มก./100 ก. สายพันธุ์ก่าวหน้า NGP1 และ NPG3 มีค่าแอนโทไซยานินสูงที่สุด เท่ากับ 36.3 และ 34.7 มก./100 ก. ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ NGP2 มีค่า 20.9 มก./100 ก. สายพันธุ์ก่าวหน้าที่เหลืออีก 2 สายพันธุ์มีแอนโทไซยานินเท่ากับ 10.2 และ 19.9 มก./100 ก. ตามลำดับ มากกว่าพันธุ์หอมนิล (Table 2)

ขนาดเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้องและปริมาณอะมิโลส

ฤดูนาปี

พบความแตกต่างในความกว้างเมล็ดข้าวเปลือก ไม่แตกต่างในความยาวเมล็ด มีค่าระหว่าง 9-10.3 มม. พันธุ์แม่มีเมล็ดข้าวเปลือกกว้างที่สุด เท่ากับ 3.4 มม. พันธุ์พ่อกว้างน้อยกว่า มีขนาด 2.5 มม. สายพันธุ์ก่าวหน้ามีความกว้างเมล็ดน้อยกว่าพันธุ์แม่ใกล้เคียงหรือกว้างกว่าพันธุ์พ่อ ลักษณะเมล็ดข้าวกล้อง พบความแตกต่างในความกว้าง และความยาวเมล็ดข้าวกล้อง พันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีเมล็ดข้าวกล้องยาวที่สุด เท่ากับ 7.3 มม. พันธุ์แม่เท่ากับ 6.4 มม. พันธุ์แม่มีเมล็ดข้าวเปลือกกว้างที่สุด เท่ากับ 2.7 มม. พันธุ์พ่อกว้างน้อยกว่า มีขนาด 2.1 มม. สัดส่วนความยาวต่อความกว้างพันธุ์พ่อมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 3.4 พันธุ์แม่ต่ำสุดเท่ากับ 2.4 สายพันธุ์ก่าวหน้ามี

ค่าความกว้าง ความยาวและสัดส่วนยาวต่อกว้างระหว่างพ่อแม่ โดย NGP4 และ NGP5 มีเมล็ดยาวกว่าสายพันธุ์อื่น NGP5 มีค่าสัดส่วนยาวต่อกว้าง มากกว่า 3 จัดอยู่ในกลุ่มรูปร่างเมล็ดเรียว ที่เหลือมีค่า 2.8-2.9 จัดอยู่ในกลุ่มรูปร่างเมล็ดปานกลาง

พันธุ์พ่อเป็นข้าวเจ้า มีปริมาณอมิโลสเท่ากับ 12.8% พันธุ์แม่เป็นข้าวเหนียวมีอมิโลสต่ำ สายพันธุ์ก้าวหน้าเป็นข้าวเจ้าเกือบทุกสายพันธุ์มีค่าอมิโลสไม่แตกต่างจากพันธุ์พอยกเว้น NPG5 มีค่าอมิโลสสูงสุดเท่ากับ 15.4%

ฤดูกาลปลูก

พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในความกว้าง และความยาวเมล็ดข้าวกล้อง พันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีเมล็ดข้าวกล้องยาวที่สุดเท่ากับ 7.8 มม. แต่มีความกว้างน้อยที่สุดเท่ากับ 2.2 มม. และมีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างสูงสุดเท่ากับ 3.6 สายพันธุ์ก้าวหน้ามีความกว้างมากกว่า แต่มีความยาวน้อยกว่าพันธุ์พ่อ โดยเมื่อเปรียบเทียบความยาวเมล็ด NGP4 และ NGP5 มีเมล็ดยาวกว่าสายพันธุ์อื่นเท่ากับ 7.3 และ 7.1 มม. ตามลำดับ สายพันธุ์ก้าวหน้ามีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างระหว่าง 2.8-3.0 จัดอยู่ในกลุ่มรูปร่างเมล็ดปานกลางโดย NGP5 มีค่าสูงสุด ในฤดูกาลปลูกนี้ไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในปริมาณอมิโลส มีค่าระหว่าง 12.4-13.2%

Table 1 Morphological characteristics of 5 selected lines (NGP1-5) and 4 check varieties (PTT1, KDK, HN and KJ)

Lines/ Varieties	Morphological character						
	Leaf blade color	Ligule color	Auricle color	Node color	Hull color	Pericarp color	Endosperm type
NGP1	Green	White	White	Green	straw	Black	Non-glutinous
NGP2	Green	White	White	Green	straw	Black	Non-glutinous
NGP3	Green	White	White	Green	straw	Black	Non-glutinous
NGP4	Green	White	White	Green	straw	Black	Non-glutinous
NGP5	Green	White	White	Green	straw	Black	Non-glutinous
Check varieties							
PTT1	Green	White	White	Green	straw	White	Non-glutinous
KDK	Purple	Purple	Purple	Green	Purple	Black	Glutinous
HN	Purple margins	light purple	Purple	Green	Purple	Black	Non-glutinous
KJ	Green	Green	Green	Green	straw	Black	Non-glutinous

Table 2 Evaluation of agronomical characteristics and anthocyanin in 5 selected lines (NGP1-5) and 4 check varieties (PTT1, KDK, HN and KJ) of the 7th generation in wet season, 2016

Lines/varieties	Days to flowering	Plant height (cm.)	Number of panicles/plant	Number of spikelets/plant	Filled grains (%)	1000 grain weight (g)	Yield (kg/rai)	Anthocyanin (mg/100g)
Selected lines								
NGP1	118 cd	55.6 d	17 a	130	74.5 bc	25.8 de	663.5 bc	36.3 a
NGP2	118 ccd	55.8 d	17 a	121	78.2 ab	25.3 e	616.9 bc	29.5 c
NGP3	119 c	54.3 d	16 ab	125	75.9 ab	22.9 f	751.4 ab	35.8 ab
NGP4	120 c	80.7 a	16 ab	120	66.7 d	29.4 a	649.9 bc	3.7 d
NGP5	114 d	54.3 d	15 a	119	78.2 ab	28.4 b	590.9 bc	4.4 d
Check varieties								
PTT1	117 cd	55.0 d	16 ab	138	78.7 ab	26.4 d	907.2 a	not detected
KDK	134 a	76.8 a	12 c	106	54.1 e	29.3 a	343.2 d	31.1 bc
HN	98 e	61.1 c	13 c	117	80.7 e	25.4 e	505.9 cd	1.2 d
KJ	125 b	71.7 b	12 c	109	69.1 c	27.5 c	565.9 c	29.9 c
F test	*	*	*	ns	*	*	*	*
LSD _{0.05}	5.1	4.0	1.6		6.0	0.7	181.5	5.1
CV (%)	1.9	2.7	4.7		3.6	1.2	12.7	10.0

ns and * are non-significantly difference and significantly difference at P<0.05, respectively

Table 3 Grain characteristics and amylose content of 5 selected lines (NGP1-5) and 4 check varieties (PTT1, KDK, HN and KJ) of the 7th generation in wet season, 2016

Lines/Varieties	Paddy rice (mm)			Brown rice (mm)			Amylose (%)
	Width	Length	Length/width ratio	Width	Length	Length/width ratio	
Selected lines							
NGP1	2.6 de	9.1	3.5 bc	2.3 d	6.3 cd	2.8 d	13.1 c
NGP2	2.7 d	9.1	3.4 cd	2.3 cd	6.5 c	2.8 d	13.5 bc
NGP3	2.6 de	9.4	3.6 bc	2.3 d	6.4 cd	2.9 d	13.5 bc
NGP4	3.0 c	9.0	3.0 de	2.4 c	6.9 b	2.9 d	14.0 abc
NGP5	2.6 de	9.9	3.8 ab	2.3 d	7.0 b	3.1 c	15.4 ab
Check varieties							
PTT1	2.5 e	10.3	4.1 a	2.1 e	7.3 a	3.4 a	12.8 c
KDK	3.4 a	9.4	2.8 e	2.7 a	6.4 cd	2.4 e	5.1 d
HN	2.6 de	10.1	3.9 ab	2.1 e	6.9 b	3.2 b	15.7 a
KJ	3.2 b	9.1	2.8 e	2.5 b	6.2 d	2.5 e	13.1 c
F-test	*	ns	*	*	*	*	*
LSD _{0.05}	0.1		0.4	0.1	0.3	0.2	2.0
CV (%)	2.3		5.0	2.0	1.7	2.4	6.7

ns and * are non-significantly difference and significantly difference at P<0.05, respectively

Table 4 Evaluation of agronomical characteristics and anthocyanin in 5 selected lines (NGP1-5) and 4 check varieties (PTT1, KDK, HN and KJ) of 8th generation in dry season, 2017

Lines/Varieties	Days to flowering		Plant height (cm)		Number of panicles/plant		Number of spikelets/plant		Filled grains (%)		1000 grain weight (g)		Yield (kg/rai)		Anthocyanin (mg/100g)	
Selected lines																
NGP1	125	ab	76.2	cd	19	abc	133	b	88.3	ab	26.9	b	586.4	de	34.7	a
NGP2	122	c	81.7	bc	21	ab	131	bc	92.3	a	30.5	a	677.8	cd	20.9	b
NGP3	122	c	76.0	cd	19	abc	123	bc	91.7	ab	26.0	c	851.2	ab	36.3	a
NGP4	126	a	122.1	a	17	bc	134	b	87.4	ab	30.8	a	832.5	ab	10.2	bc
NGP5	124	b	82.6	b	23	a	151	a	69.2	c	26.0	c	740.3	bc	19.9	b
Check varieties																
PTT1	126	a	86.9	b	18	abc	132	bc	93.0	a	30.1	a	876.3	a	not detected	
KDK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
HN	121	c	72.0	d	15	c	118	c	85.5	b	25.5	c	538.2	e	0.6	c
KJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ftest	*		*		*		*		*		*		*		*	
LSD _{0.05}	1.7		6.4		5.9		15.2		6.6		0.8		117.0		11.4	
CV (%)	0.6		3.1		12.7		4.7		3.1		1.1		6.6		21.6	

* = significantly difference at P<0.05

Table 5 Grain characteristics and amylose of 5 selected lines (NGP1-5) and 4 check varieties (PTT1, KDK, HN and KJ) of 8th generation in dry season, 2017

Lines/Varieties	Paddy rice (mm)				Brown rice (mm)				Amylose (%)		
	Width	Length	Length/width ratio		Width	Length	Length/width ratio				
Selected lines											
NGP1	2.8	ab	11.6	4.2	2.4	ab	6.9	cd	2.9	b	12.0
NGP2	2.7	b	9.7	3.6	2.4	a	6.8	cd	2.8	b	12.2
NGP3	2.6	c	9.5	3.7	2.3	b	6.6	d	2.9	b	12.4
NGP4	2.9	a	10.3	3.6	2.5	a	7.3	b	2.9	b	12.8
NGP5	2.7	b	10.1	3.7	2.4	ab	7.1	bc	3	b	13.2
Check varieties											
PTT1	2.4	d	10.9	4.5	2.2	c	7.8	a	3.6	a	12.4
KDK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HN	2.3	d	10.2	4.4	2.1	c	7.1	bc	3.4	a	10.7
KJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F-test	*		ns	ns	*		*		*		ns
LSD _{0.05}	0.1				0.1		0.4		0.2		
CV (%)	2				2		2		3		

ns and * are non-significantly difference and significantly difference at P<0.05, respectively

วิจารณ์

สายพันธุ์ก้านหน้าแสดงลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสง มีผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตสูงกว่าพันธุ์แม่ก่าตอยสะเก็ดที่ไวต่อช่วงแสง โดยให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์แม่ประมาณสองเท่าในฤดูนาปี และให้ผลผลิตได้ในฤดูนาปรังขณะที่พันธุ์แม่ไม่ออกดอก สายพันธุ์ก้านหน้าทุกสายพันธุ์มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำและมีสารแอนโทไซยานินในเมล็ดเหมือนพันธุ์แม่ มีเมล็ดยาวและรูปร่างเมล็ดเรียวยาวใกล้เคียงพันธุ์พ่อแต่มีลักษณะเด่นคือเป็นข้าวเจ้า และมีปริมาณอะมิโลสใกล้เคียงพันธุ์พ่ออยู่ในกลุ่มอะมิโลสต่ำ (10-19%) ที่จะมีคุณภาพของข้าวหุงสุกเหนียวนุ่ม

สายพันธุ์ก้านหน้าทุกสายพันธุ์ที่ศึกษามีลักษณะทางสัณฐานภายในสายพันธุ์สม่ำเสมอและออกดอกในฤดูนาปรังได้เป็นปกติ ไม่พบการกระจายตัวภายในสายพันธุ์อีกในรุ่นที่ศึกษา การศึกษาคั้งนี้ในรุ่นต้นๆ ได้คัดเลือกลักษณะเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำและคัดต้นไม่ไวต่อช่วงแสงในฤดูนาปรัง สายพันธุ์ก้านหน้าทั้ง 5 สายพันธุ์ มีลักษณะสีแผ่นใบและกาบใบสีเขียว หูใบขาว ปล้องเขียว เปลือกเมล็ดสีฟางและไม้ไวต่อช่วงแสงเหมือนพันธุ์พ่อ แต่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำทั้งเมล็ดเหมือนพันธุ์แม่แสดงว่าลักษณะเหล่านี้ตอบสนองต่อการคัดเลือกได้เป็นอย่างดี สามารถคัดเลือกในรุ่นต้นๆ โดยในรุ่นหลังๆ ของการคัดเลือกไม่พบการกระจายตัวภายในสายพันธุ์อีก

สำหรับลักษณะสีเยื่อหุ้มเมล็ด วรรณภา และคณะ (2556) พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีเยื่อหุ้มเมล็ดกับปริมาณแอนโทไซยานิน ($r=0.54^{**}$) แสดงว่าสีเยื่อหุ้มเมล็ดอาจใช้เป็นตัวชี้วัดปริมาณสารแอนโทไซยานินได้สะดวกรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม พิรพันธ์ และคณะ (2557) พบความแตกต่างในปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำทั้งเมล็ดของลูกผสมรุ่นที่ 3 ของคู่ผสมเดียวกับการศึกษาคั้งนี้ โดยพบตั้งแต่มีค่าสูง พบบ้างเล็กน้อย จนถึงไม่พบเลย ในทำนองเดียวกัน สายพันธุ์ก้านหน้าถูกคัดเลือกด้วยสายตาในลักษณะสีเยื่อหุ้มเมล็ดในรุ่นต้นๆ ถึงแม้จะมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำทั้งหมด แต่พบว่ามีความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ในปริมาณแอนโทไซยานินเมื่อทดสอบในรุ่นหลังๆ สามารถแบ่งตามปริมาณแอนโทไซยานินได้สองกลุ่ม คือ กลุ่มแรกประกอบด้วย NGP3 และ NGP1 มีค่าแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 36.3 และ 35.8 มก./100 ก. ในฤดูนาปี และเท่ากับ 34.7 และ 36.3 มก./100 ก. ในฤดูนาปรัง ตามลำดับ กลุ่มที่สองมีปริมาณแอนโทไซยานินปานกลางถึงน้อย ได้แก่ NGP2, NGP4 และ NGP5 มีปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดน้อยกว่ากลุ่มแรก โดยเฉพาะ NGP4 มีแอนโทไซยานินเท่ากับ 4 มก./100 ก. ในฤดูนาปีและ 10.2 มก./100 ก. ในฤดูนาปรัง เท่านั้น ดังนั้นในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวสีดำเพื่อปริมาณแอนโทไซยานินสูงนอกจากจะคัดเลือกโดยสายตาแล้วควรจะมีการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินโดยวิธีทางเคมีร่วมด้วยเพื่อยืนยันผลการคัดเลือก

ในการประเมินครั้งนี้สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดได้แก่ NGP3 ให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 เท่ากับ 751 กก.ต่อไร่ ในฤดูนาปี และ 851 กก.ต่อไร่ ในฤดูนาปรัง และมีค่าแอนโทไซยานินอยู่ในกลุ่มสูงสุดทั้งสองฤดู 35.8 และ 36.3 มก./100 ก. ในนาปีและนาปรัง ตามลำดับ สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงอันดับรองลงมาคือ NGP1 (663 กก.ต่อไร่) ในฤดูนาปีและ NGP4 (832 กก.ต่อไร่) ในฤดูนาปรัง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ด พบว่าสายพันธุ์ NGP1 และ NGP3 มีค่าแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงที่สุด ถึงแม้ว่า NGP4 สามารถให้ผลผลิตสูง แต่พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดน้อยกว่า ดังนั้นจะได้คัดเลือก NGP3 ที่ให้ผลผลิตและมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดและรองลงมาได้แก่ NGP1 เพื่อขยายพันธุ์และปลูกปลูกทดสอบในฤดูถัดไป

พันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีความยาวเมล็ดข้าวกล้อง 7.3-7.8 มม. การจำแนกขนาดเมล็ดระบุว่า หากเมล็ดข้าวกล้องยาว > 7 มม. จัดอยู่ในกลุ่มเมล็ดยาวชั้น 1 (extra long) หากยาว 6.6-7.0 อยู่ในกลุ่มเมล็ดยาวชั้น 2 (long) (Jennings et al., 1979) สายพันธุ์ก้านหน้าเมื่อปลูกรุ่นที่ 7 ในฤดูนาปี ทุกสายพันธุ์มีความยาวเมล็ดข้าวกล้องระหว่าง 6.4-7.0 มม. อยู่ในกลุ่มเมล็ดยาว (long) เมื่อปลูกรุ่นที่ 8 ในฤดูนาปรัง NGP 4 และ NGP5 จัดในกลุ่ม extra long และสามสายพันธุ์ที่เหลืออยู่ในกลุ่มเมล็ดยาว (long) ส่วนรูปร่างเมล็ด หากสัดส่วนความยาวต่อความกว้างเมล็ดมากกว่า 3 จะอยู่ในกลุ่มเมล็ดเรียวยาว (slender) 2.0-3.0 ปานกลาง (medium) และน้อยกว่า 2.0 ถูกจัดเป็นเมล็ดป้อม (bold) (Jennings et al., 1979; Prom-u-thai et al., 2007) สายพันธุ์ก้านหน้าทั้งหมดมีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างมากกว่าพันธุ์แม่ เกือบทุกสายพันธุ์มีค่าระหว่าง 2.8-3.0 จัดอยู่ในกลุ่มปานกลาง NGP5 มีเมล็ดเรียวยาวที่สุดในกลุ่ม ในฤดูนาปีมีค่าสัดส่วนความยาวต่อความกว้าง 3.1 เป็นชนิดเมล็ดเรียวยาว ทุกสายพันธุ์มีค่าอมิโลสระหว่าง 10-19% ข้าวหุงสุกเหนียวนุ่ม ในระดับเดียวกับปทุมธานี 1 ทั้งสองฤดูปลูก ยกเว้น NGP5 ในฤดูนาปีมีค่าอมิโลส 15.4% สูงกว่าปทุมธานี 1 ที่มีค่า 12.8% ซึ่งควรจะได้มีการทดสอบในรุ่นต่อไปเพื่อยืนยันผลที่ได้

สรุป

ได้ประเมินสายพันธุ์ข้าวหน้าข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง 5 สายพันธุ์ พันธุ์พ่อข้าวเจ้าขาวปทุมธานี 1 และพันธุ์แม่ข้าวเหนียวดำ ก่ำดอยสะเก็ด ในฤดูนาปีและฤดูนาปรัง พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ในลักษณะทางพีซีไร่ ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต รูปร่างเมล็ด ปริมาณอะมิโลสและปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ด ได้คัดเลือกสายพันธุ์ดีเด่น 2 สายพันธุ์ คือ NGP3 และ NGP1 มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ และมีปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงเท่ากับพันธุ์แม่ก่ำดอยสะเก็ด ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย ให้ผลผลิตสูงเหมือนพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 เท่ากับ 751 และ 663 กก./ไร่ ในฤดูนาปีและ 850 และ 580 กก./ไร่ ในฤดูนาปรัง ตามลำดับ ทั้งสองสายพันธุ์มีลักษณะ รูปร่างเมล็ด และปริมาณอะมิโลสใกล้เคียงกับพันธุ์ปทุมธานี 1 ทั้งสองสายพันธุ์จะนำไปปลูกขยายพันธุ์และปลูกทดสอบในระดับแปลงใหญ่ในรุ่นหลังต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ดำเนิน กาละดี และศันสนีย์ จำจด. 2543. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องพันธุศาสตร์การปรับปรุงพันธุ์และโภชนศาสตร์เกษตรของข้าวเหนียวดำ. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ธรรมบุญ หัทยานันท์, ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย, และศันสนีย์ จำจด. 2559. การคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวหน้าพันธุ์เจ้าก่ำไม่ไวต่อช่วงแสง. วารสารเกษตร. 33(1): 81-90.
- พิรณันท์ มาบั้น, สุพรรณิกา ตีบขัน, ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย, ดำเนิน กาละดี, และศันสนีย์ จำจด. 2557. การคัดเลือกในช่วงต้นเพื่อลักษณะแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงและไม่ไวต่อช่วงแสง ในลูกผสมชั่วที่ 2 ระหว่างข้าวพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดและปทุมธานี 1. วารสารนเรศวรพะเยา. 7(2): 160-171
- วรรณภา กำถ้วย, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม, ศันสนีย์ จำจด, ณัฐฉิณี ภัทรกุล, และชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย. 2556. ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำต่อผลผลิตและปริมาณสารแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวดำ 2 พันธุ์. แก่นเกษตร. 41: 403-410.
- อภิชาติ วรรณวิจิตร, อธิษฐาน ตูจินดา, และสมวงษ์ ตระกูลรุ่ง. 2558. ข้าวเจ้าพันธุ์หอมนิล. เกษตรนวัตกรรม รวบรวมผลงานนวัตกรรมทางการค้นคว้าวิจัยในวาระครบรอบ 72 ปี แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อภิชาติ วรรณวิจิตร, อธิษฐาน ตูจินดา, สมวงษ์ ตระกูลรุ่ง, ศิริพัฒน์ เรืองพยัคฆ์, และจรรยาศักดิ์ สุขชิงค์. 2558. ข้าวพันธุ์โรซเบอรี่. เกษตรนวัตกรรม รวบรวมผลงานนวัตกรรมทางการค้นคว้าวิจัยในวาระครบรอบ 72 ปี แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Abdel-Aal, E-SM, and P. A. Hucl. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*. 76: 350-354.
- Chen, X. Y., J. Zhou, L. P. Luo, B. Han, F. Li, J. Y. Chen, Y. F. Zhu, W. Chen, and X. P. Yu. 2015. Black rice anthocyanins suppress metastasis of breast cancer cells by targeting RAS/RAF/MAPK pathway. *BioMed Research International*. P.1-11.
- Hui, C., Y. Bin, Y. Xiaoping, Y. Long, C. Chunye, M. Mantian, and L. Wenhua. 2010. Anticancer activities of an anthocyanin-rich extract from black rice against breast cancer cells in vitro and in vivo. *Nutrition and Cancer*. 62(8): 1128-1136.
- Jennings, P. R., W. R. Coffman, and H. E. Kauffman. 1979. *Rice Improvement*. IRRI: Los Banos. Laguna, Philippines.
- Juliano, B. O., C. M. Perez, A. S. Blakeney, D. Castillot, N. Kongseree, B. Laingnelet, E. T. Lapis, V. S. Murty, C. M. Paule, and B. D. Webb. 1981. International cooperative testing on the amylose content of milled rice. *Starch/Starke*. 33: 157-162.
- Prom-u-thai, C., C. Sanchai, B. Rerkasem, S. Jamjod, S. Fukai, I.D. Godwin, and L. Huang. 2007. Effect of grain morphology on degree of milling and iron loss in rice. *Cereal Chemistry*. 84(4): 384-388.