

การประเมินประชากรลูกผสมระหว่างข้าวกำแพงแสน 5 ที่มีสารฟีนอลสูงในเมล็ด กับข้าวพันธุ์สมัยใหม่ปทุมธานี 1

Evaluation of Progeny Populations Between Purple Rice with High Grain Phenol cv. Saeng 5 and Modern Variety cv. Pathum Thani 1

พัทธพล ตันกิ่ง¹ ชนาکانด์ เทโบลต์ พรหมอุทัย^{1,2} ต่อนภา ผุสดี^{1,2} และ ศันสนีย์ จำจด^{1,2*}
Pattapon Tonking¹, Chanakan Thebault Prom-u-thai^{1,2}, Tonapha Pusadee^{1,2} and Sansanee Jamjod^{1,2*}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

²ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

*Corresponding author: Email: sansanee.cm@gmail.com

(Received: 1 November 2021; Accepted: 9 February 2022)

Abstract: Khao Saeng 5 (KS5) is a “Khao Kam” with purple kernel and contained high phenol content in rice grain. It is traditional improved variety by pure line selection method from purple rice landraces in the highlands of northern Thailand. Phenolic compounds are considered as essential substances found in purple rice with antioxidant properties help to reduce the risk of various major chronic diseases. However, KS5 is a landrace rice variety with lower yielding than the modern varieties. Therefore, to improve KS5 with higher yields, the hybridization was conducted between KS5 and the modern white rice variety Pathum Thani 1. This study aimed to evaluate the agronomical characteristics of first- and second-generation hybrids and select plants with high phenol content from the second - generation population. The results showed that almost agronomical characteristics of F1 plants grown in wet season 2017 was ranged between KS5 and PTT1, excepted plant height had exceeded their parents, while the percent of filled grain was lower than their parents. In dry season 2018, the 129 F2 plants with purple pericarp were selected from 280 F2 plants. Almost all the selected purple pericarp F2 plants had the range of almost agronomical characters wider than their parents, except the percentage of filled grain was lower than female parent KS5. Grain yield was varied between 6.2 -56.5 g/plant and skewed to KS5. Phenol content showed a continuous distribution ranging from 28 to 272 mg gallic acid equivalent/100 g. There was no relationship between grain yield and phenol content. The eight F2 plants with the highest grain phenol ranging from 199.7 -272.3 mg gallic acid equivalent/ 100 g and grain yield ranging from 7.6-34.2 g/plant were selected. These F2 plant could be used as the genetic sources for subsequence selection to improve high grain quality purple rice.

Keywords: Purple rice, black glutinous rice, rice landraces, phenol, evaluation

บทคัดย่อ: ข้าวเก่าพันธุ์แสง 5 เป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงดำและมีปริมาณสารฟีนอลในเมล็ดสูงซึ่งได้คัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์มาจากพันธุ์พื้นเมืองท้องถิ่นบนพื้นที่สูงในภาคเหนือของประเทศไทย โดยสารประกอบฟีนอลถือเป็นสารสำคัญที่พบมากในข้าวเก่าซึ่งมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคเรื้อรังสำคัญต่างๆ อย่างไรก็ตาม ข้าวพันธุ์แสง 5 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีผลผลิตต่ำเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่ ดังนั้นเพื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าวแสง 5 ให้มีผลผลิตสูงขึ้นจึงได้ผสมพันธุ์กับข้าวขาวพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่พันธุ์ทุมธานี 1 การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะทางพืชไร่ของลูกผสมชั่วที่ 1 และชั่วที่ 2 และเพื่อคัดเลือกต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำที่มีปริมาณสารฟีนอลสูงจากประชากรลูกผสมชั่วที่ 2 โดยปลูกลูกผสมชั่วที่ 1 ในฤดูนาปี พ.ศ. 2560 ผลการทดลองพบว่า ลูกผสมชั่วแรกมีลักษณะทางพืชไร่ส่วนใหญ่และผลผลิตต่อต้นอยู่ระหว่างพ่อแม่ ยกเว้นลักษณะความสูงที่มากกว่าพันธุ์พ่อแม่ส่วนเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดน้อยกว่าพันธุ์พ่อแม่ ปลูกประชากรชั่วที่ 2 จำนวน 280 ต้นคัดเลือกต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำได้ 129 ต้น นำไปประเมินลักษณะทางพืชไร่ พบว่า ลักษณะทางพืชไร่กระจายตัวนอกเหนือขอบเขตของพ่อแม่ ลูกผสมส่วนใหญ่ติดเมล็ดน้อยกว่าพ่อแม่ มีค่าผลผลิตอยู่ระหว่าง 6.2-56.5 กรัมต่อต้น ส่วนใหญ่ค่อนข้างไปทางพันธุ์แม่ วิเคราะห์สารฟีนอลในเมล็ดพบว่า มีการกระจายตัวแบบต่อเนื่องตั้งแต่ 28 ถึง 272 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับปริมาณฟีนอลในเมล็ดข้าว คัดเลือกลูกผสมที่มีค่าปริมาณฟีนอลสูงสุด 8 ต้น มีค่าระหว่าง 199.7 - 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม มีผลผลิตระหว่าง 7.6 - 34.2 กรัมต่อต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าต้นที่คัดเลือกสามารถใช้เป็นฐานพันธุ์กรรมในการคัดเลือกในรุ่นต่อไปได้

คำสำคัญ: ข้าวเก่า ข้าวเหนียวดำ พันธุ์พื้นเมือง ฟีนอล การประเมิน

คำนำ

ประเทศไทยเป็นศูนย์รวมความหลากหลายของพันธุ์ข้าวที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยข้าวเก่า (purple rice) หรือข้าวเหนียวดำ (black glutinous rice) เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่นิยมปลูกทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีลักษณะต่างจากข้าวทั่วไป คือ มีการปรากฏของสีม่วงของส่วนต่างๆ ได้แก่ แผ่นใบ กาบใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด โดยคุณค่าทางอาหารของข้าวเก่าประกอบด้วย โปรตีน ฟอสฟอรัส ไขมัน แคลเซียม และโพแทสเซียม (Kaladee *et al.*, 2000) สารสีม่วงที่พบเกิดจากการสะสมของสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลิกหรือสารประกอบฟีนอล (phenol) ที่พบในปริมาณที่สูงในข้าวเก่า ซึ่งฟีนอลสามารถละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Pham, 2016) ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือด

หัวใจ โรคเบาหวาน โรคกระดูกพรุน รวมถึงโรคตับจากแอลกอฮอล์ (Xiao *et al.*, 2020) จากคุณสมบัติชีวภาพทางการแพทย์ที่โดดเด่นในข้าวเก่าพันธุ์พื้นเมือง ข้าวเก่าจึงได้รับความนิยมมากขึ้นในยุคปัจจุบันที่ผู้บริโภคหันมาใส่ใจเรื่องสุขภาพมากขึ้น ข้าวเก่ายังเป็นวัตถุดิบคุณภาพสูงที่เหมาะสมสำหรับผู้ประกอบการร้านอาหารสุขภาพและผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพหลากหลายชนิด ตลอดจนการสกัดเอาสารสำคัญพิเศษในข้าวเก่าเพื่อการผลิตเครื่องสำอางและการใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ที่กำลังเป็นกลุ่มสินค้าที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องในยุคปัจจุบัน ดังนั้น เพื่อสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค ภาคการผลิตโดยเฉพาะการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงมีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดปริมาณและคุณภาพของข้าวเก่าคุณภาพสูง ดังนั้น การสร้างฐานพันธุ์กรรมข้าวพื้นเมือง จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าไปสู่การได้มาซึ่งพันธุ์กรรมตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ในขณะเดียวกันการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสามารถสร้างความหลากหลายให้กับผลผลิตของข้าว และผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีมูลค่าสูงทางเศรษฐกิจของประเทศไทยต่อไป

ข้าวพันธุ์พื้นเมืองบ่งบอกความหลากหลายชีวภาพของไทย รายงานของกลุ่มวิจัยทรัพยากรพันธุกรรมและธาตุอาหารพืช มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้สำรวจและเก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวท้องถิ่นจากที่สูงตามแหล่งต่าง ๆ ใน 3 จังหวัดภาคเหนือ คือ เชียงใหม่ เชียงราย และแม่ฮ่องสอน ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง 2558 โดยในปีแรกสามารถคัดเลือกมาได้ไม่น้อยกว่า 100 เชื้อพันธุ์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ ประเมินและจำแนกคุณภาพพิเศษในเมล็ดข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อผู้บริโภค เทียบกับสายพันธุ์ตรวจสอบนิยมบริโภคทั่วไป คัดเลือกได้ประชากรข้าวเหนียวดำพื้นเมืองที่เป็นข้าวไร่มีปริมาณสารฟีนอลสูงโดยวิธีการคัดเลือกพันธุ์บริสุทธิ์ (Jamjod *et al.*, 2015) จากนั้น นำมาปลูกประเมินลักษณะทางสัณฐานและการเจริญเติบโต รวมทั้งประเมินปริมาณสารฟีนอลเปรียบเทียบกับพันธุ์มาตรฐาน 5 พันธุ์ ได้แก่ กำดอย สะเก็ด กำหอม มข. ขาวดอกมะลิ 105 กข6 และข้าวแม่จัน ผลการศึกษา พบว่า มีความสม่ำเสมอของสายพันธุ์และไม่พบการกระจายตัวในลักษณะทางสัณฐานและการเจริญเติบโต และสามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีค่าปริมาณฟีนอลสูง คือ พันธุ์แสง 5 มข. (Khao Saeng 5; KS5) ซึ่งมีปริมาณฟีนอลในเมล็ดข้าวกล้องสูง 655.4 กรัม กรดแกลลิกสมมูล ต่อ กิโลกรัม (Plant Varieties Protection Office, 2020) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าข้าวแสง 5 มข. ที่คัดเลือกได้มีปริมาณสารฟีนอลในเมล็ดสูง แต่เนื่องด้วยลักษณะที่ถูกควบคุมทางพันธุกรรมที่เป็นข้าวเหนียวพื้นเมือง ชนิดข้าวไร่ให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ ส่งผลให้ข้าวพันธุ์แสง 5 มข. มีข้อจำกัดสำหรับการเพาะปลูกเพื่อการบริโภคและการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ในระยะยาว ดังนั้น เพื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีเมล็ดสีดำ มีสารฟีนอลสูง และมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์แม่ดั้งเดิม จึงได้ผสมพันธุ์ระหว่างข้าวพันธุ์แสง 5 มข. ที่มีค่าฟีนอลสูงกับข้าวขาวพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่พันธุ์ปทุมธานี 1 โดยการทดลองในครั้งนี้ได้ปลูกลูกผสมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะของลูกผสมชั่วที่ 1 และ 2 และใช้เป็นฐานพันธุกรรมในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวสำหรับการปรับปรุงข้าวทำให้ตรงตามความต้องการต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พันธุกรรม

ใช้ข้าวพันธุ์แสง 5 ที่มีปริมาณฟีนอลสูง เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากพื้นที่สูง แบ่งในเมล็ดเป็นชนิดข้าวเหนียว มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำเป็นพันธุ์แม่ และใช้พันธุ์ปทุมธานี 1 (Pathum Thani 1; PTT1) ซึ่งเป็นพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่ ชนิดข้าวเจ้า มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาว มีศักยภาพให้ผลผลิตสูง เป็นพันธุ์พ่อ สร้างเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 เริ่มจากเพาะเมล็ดพันธุ์-พ่อแม่ในจานเพาะ (Petri-dish) เมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 15 วัน ย้ายปลูกในกระถางสูง 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 28 เซนติเมตร ที่บรรจุดินเต็มกระถาง ปลูกข้าว 1 ต้นต่อหลุม กระถางละ 5 ต้น จำนวนสายพันธุ์ละ 3 กระถาง ปลูกในสภาพน้ำขัง โดยจัดช่วงระยะห่างของเวลาในการปลูกข้าวทุก ๆ 10 วัน จำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อให้ข้าวมีระยะออกดอกที่ใกล้เคียงกัน เมื่อถึงระยะออกดอกกำจัดเกสรตัวผู้ ของข้าวพันธุ์แม่ KS5 และนำเกสรตัวผู้จากพันธุ์พ่อ PTT1 มาผสมกับพันธุ์แม่ เมื่อถึงระยะสุกแก่เก็บเมล็ดลูกผสมจากต้นแม่ KS5 ไว้ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การประเมินลูกผสมชั่วที่ 1

ปลูกข้าวลูกผสมชั่วที่ 1 (F1) พันธุ์แม่ KS5 และพันธุ์พ่อ PTT1 ในฤดูนาปี ระหว่างเดือนกรกฎาคม-ตุลาคม พ.ศ. 2560 ที่โรงเรียนทดลองสาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยเพาะเมล็ดข้าว ในจานเพาะ เมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 15 วัน ย้ายลงปลูกในกระถางพลาสติกบรรจุดินที่มีขนาดเส้นผ่า-ศูนย์กลาง 17 เซนติเมตร ความสูง 14 เซนติเมตร กระถางละ 1 ต้น โดยปลูก F1 และพันธุ์พ่อแม่ พันธุ์ละ 10 กระถาง เมื่อต้นกล้าอายุครบ 20 วันหลังย้ายปลูก ใส่ปุ๋ยเกรด 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ (0.35 กรัมต่อกระถาง) และเมื่อต้นข้าวอายุครบ 60 วัน หลังปลูก ใส่ปุ๋ยเกรด 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่

(0.14 กรัมต่อกระถาง) เมื่อถึงระยะออกดอกบันทึกวันดอกบาน เมื่อถึงระยะสุกแก่บันทึกลักษณะทางพืชไร่ ได้แก่ ความสูง จำนวนหน่อต่อต้น ประเมินองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนรวงต่อต้น ความยาวรวง จำนวนระแงะ จำนวนช่อดอกต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และผลผลิตต่อต้น จากนั้นเก็บเมล็ดจากต้น F1 ใช้เป็นตัวแทนประชากร F2 ปลูกในชั้วต่อไป

การประเมินลูกผสมชั่วที่ 2

ปลูกลูกผสมชั่วที่ 2 (F2) และพันธุ์พ่อแม่ในฤดูนาปรัง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - กรกฎาคม พ.ศ. 2561 ที่แปลงทดลองสาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพาะเมล็ด F2 และพันธุ์พ่อแม่ ในกระบะที่บรรจุดินขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร เมื่อต้นกล้าอายุครบ 15 วัน ย้ายปลูกด้วยวิธีปักดำที่ระยะปลูก 25 x 25 เซนติเมตร ปลูก F2 จำนวน 280 ต้น ปลูกพันธุ์พ่อแม่พันธุ์ละ 50 ต้น บันทึกลักษณะทางพืชไร่เช่นเดียวกับชั่วที่ 1 แต่ละต้นสุ่มเมล็ดจำนวน 5 เมล็ด เพื่อประเมินสีเยื่อหุ้มเมล็ด จากนั้นคัดเลือกเฉพาะต้น F2 ที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำและดำบางส่วนจำนวน 129 ต้น และพันธุ์พ่อแม่ พันธุ์ละ 5 ต้น (Figure 1) เพื่อทดสอบชนิดแป้งของเมล็ดด้วยสารละลายไอโอดีน 1 เปอร์เซ็นต์ (potassium iodide, KI) (Chang and Bardenas, 1965) โดยสุ่มตัวอย่างต้นละ 5 เมล็ดแกะเปลือกออกด้วยมือ

โดยเมล็ดข้าวกล้องที่ย้อมติดสีแดงหรือน้ำตาลแสดงว่า มีชนิดแป้งแบบข้าวเหนียว ส่วนที่เมล็ดที่ย้อมติดสีน้ำเงินแสดงว่ามีชนิดแป้งแบบข้าวเจ้า และวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลโดยดัดแปลงตามวิธีของ Folin and Ciocalteu (1927) นำตัวอย่างข้าวกล้องปริมาณ 2.5 กรัม ไปบดให้ละเอียดเป็นแป้งแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.5 กรัมใส่ใน centrifuge tube ขนาดความจุ 50 มิลลิลิตร สกัดฟีนอลด้วยสารละลายเมทานอล (methanol) เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วดูดสารละลายเหนือตะกอน (supernatant) ใส่ใน centrifuge tube หลอดใหม่ ขนาดความจุ 50 มิลลิลิตร สกัดฟีนอลซ้ำอีก 2 รอบ จากนั้นดูดสารสกัด 1 มิลลิลิตร ใส่ใน centrifuge tube ขนาดความจุ 15 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin Ciocalteu reagent จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1.5 มิลลิลิตร และเติม deionized water จำนวน 7 มิลลิลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดความเข้มของสารละลาย ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 760 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายเข้มข้นมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid) ที่ระดับ 0, 25, 50, 75, 100, 125, 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในการสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของกรดแกลลิกในสารละลายตัวอย่าง

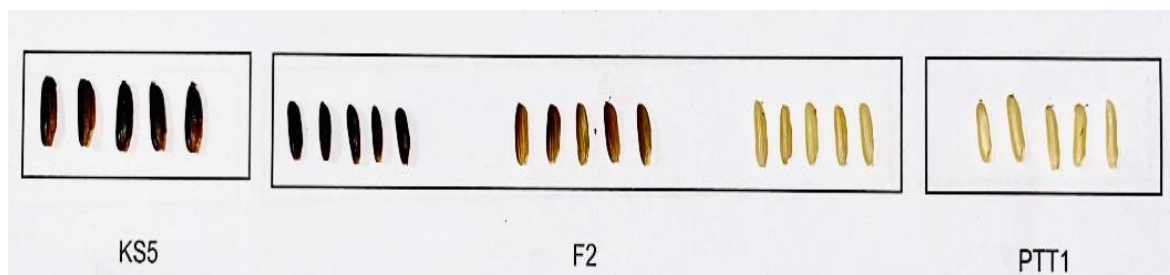


Figure 1. The black pericarp color of female parent Khao Saeng 5 (KS5), variation of pericarp color of F2 plants e.g., black, partial black and white and white pericarp color of male parent Pathum Thani 1 (PTT1)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลในการประเมินลูกผสม F1 ด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยใช้ least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนลูกผสม F2 วิเคราะห์ช่วงของการกระจายตัว (range) ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และหาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและปริมาณฟีนอลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลูกผสมชั่วที่ 1

ลูกผสมชั่วแรกมีลักษณะทางพืชไร่แตกต่างจากพันธุ์พ่อแม่เกือบทุกลักษณะยกเว้นจำนวนหน่อต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น และจำนวนรวงต่อรวง มีอายุออกดอกเร็วกว่า และต้นสูงกว่าพ่อแม่ โดย

ออกดอกที่ 83 วัน และต้นสูง 95 เซนติเมตร ขณะที่พ่อแม่ออกดอกระหว่าง 88 - 90 วัน และมีความสูงต้นระหว่าง 74 - 80 เซนติเมตร มีความยาวรวงอยู่ในช่วงระหว่างพ่อแม่ ติดเมล็ดเพียง 57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าพ่อแม่ มีจำนวนช่อดอกต่อรวงและให้ผลผลิตน้อยกว่าพันธุ์พ่อแม่และไม่แตกต่างจากพันธุ์แม่ (Table 1)

การประเมินลูกผสมชั่วที่ 2

ลักษณะทางพืชไร่

อายุออกดอก พบว่า ข้าวพันธุ์พ่อแม่ PTT1 และพันธุ์แม่ KS5 มีอายุออกดอกเฉลี่ย เท่ากับ 118 และ 91 วัน นับจากวันเพาะเมล็ด ตามลำดับ ประชากร F2 มีอายุออกดอกกระจายตัวในช่วงกว้างตั้งแต่ 66 - 140 วัน มีค่าเฉลี่ยอายุออกดอก 91 วัน โดยส่วนใหญ่่ออกดอกใกล้เคียงพันธุ์แม่ (Figure 2A) ลักษณะความสูง พบว่าพันธุ์พ่อแม่และพันธุ์แม่มีค่าเฉลี่ยความสูงใกล้เคียงกันเท่ากับ 72.4 และ 73.6 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนประชากร F2 มีการกระจายตัวของลักษณะความสูง

Table 1. Comparison of agronomic traits among F1 population, female parent Khao Saeng 5 (KS5) and male parent Pathum Thani 1 (PTT1)

Traits	P1 (KS5)	P2 (PTT1)	F1	F-test	LSD _{0.05}
Days to flowering	88 b	90 a	83 c	***	0.7
Plant height (cm)	80 b	74 b	95 a	***	6.5
Tillers per plant	4	5	4	ns	
Panicles per plant	4	5	4	ns	
Panicles length (cm)	22 c	28 a	24 b	**	2.3
Branches per panicle	7	8	7	ns	
Spikelets per panicle	69 b	119 a	89 b	**	21.0
Filled grain (%)	82 a	82 a	57 b	**	13.6
Grain yield per plant (g)	4.0 b	9.1 a	5.8 b	*	3.0

*, ** and *** indicated significantly difference at $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$, respectively. ns indicated non-significantly difference at $P < 0.05$

นอกเหนือจากขอบเขตของพันธุ์พ่อและแม่ โดยมีค่าความสูงกระจายตัวอยู่ระหว่าง 49 - 118 เซนติเมตร (Figure 2B) ส่วนความยาวรวง พบว่า พันธุ์พ่อ PTT1 มีค่าเฉลี่ยของความยาวรวงมากกว่าพันธุ์แม่ KS5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28 และ 23 เซนติเมตร ตามลำดับ ในประชากร F2 พบการกระจายตัวเป็นแบบต่อเนื่อง นอกเหนือจากขอบเขตพันธุ์พ่อและแม่ โดยมีความยาวรวงกระจายตัวตั้งแต่ 17 - 33 เซนติเมตร (Figure 2C) สำหรับลักษณะจำนวนช่อดอกต่อรวง พบว่า จำนวนช่อดอกต่อรวงของพันธุ์พ่อ PTT1 และพันธุ์แม่ KS5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 135 และ 61 ช่อดอก ตามลำดับ ส่วนประชากร F2 มีค่าอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อและแม่ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 99 ช่อดอกต่อรวง (Figure 2D) ด้านเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด พบว่า พันธุ์พ่อ PTT1 และพันธุ์แม่ KS5 ติดเมล็ดระหว่าง 80 - 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในลูกผสม F2 มีการกระจายตัวของเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดเป็นแบบต่อเนื่อง มีค่าระหว่าง 10 ไปจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 54.7 เปอร์เซ็นต์ โดยต้น F2 ส่วนใหญ่กระจายตัวติดเมล็ดน้อยกว่าพ่อแม่ (Figure 2E) และลักษณะผลผลิต พบว่า พันธุ์พ่อ PTT1 มีค่าเฉลี่ยผลผลิตเท่ากับ 39.1 กรัม มากกว่าพันธุ์แม่ KS5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.0 กรัม ส่วนประชากร F2 พบการกระจายตัวของน้ำหนักเมล็ดต่อต้นในช่วงระหว่าง 6.2 - 56.5 กรัมต่อต้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.4 กรัม โดยต้น F2 ส่วนใหญ่มีผลผลิตต่ำค่อนข้างไปทางพันธุ์แม่ (Figure 2F)

การผสมระหว่างข้าวแสง 5 (พันธุ์แม่) กับ ปทุมธานี 1 (พันธุ์พ่อ) เป็นการผสมระหว่างข้าวไร่และข้าวนา โดยที่พันธุ์พ่อมีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมอย่างมาก ส่งผลให้เกิดปัญหาในลูกผสม เช่น ผสมไม่ติด ลูกผสมอ่อนแอ ไปจนถึงลูกผสมเป็นหมัน แต่อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า สามารถผสมติด และให้ลูกผสมที่มีการเจริญเป็นปกติได้แต่ลูกผสม F1 มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดน้อยกว่าพ่อแม่ ส่งผลให้ผลผลิตน้อยตามไปด้วย สอดคล้องกับงานทดลอง Khodruankeaw *et al.* (2020) ที่ได้ผสมพันธุ์ระหว่างข้าวไร่พันธุ์ข้าวท่าหอม มช. กับข้าวนาพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ลูกผสม F1 สามารถ

ให้ผลผลิตได้ แต่ลูกผสม F1 มีการติดเมล็ดน้อยและสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติได้ใน F2 ซึ่งตรงกันข้ามกับ Jaksomsak (2007) ที่ได้ผสมข้าวไร่พันธุ์ท่าหอม มช. กับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พบว่า ลูกผสม F1 มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดน้อยมาก แต่ลูกผสม F2 ไม่สามารถติดเมล็ดได้ เนื่องจากเป็นหมันทั้งหมด แสดงว่าการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวไร่กับข้าวนามีโอกาสที่จะเกิดปัญหาความเข้ากันได้ทางพันธุกรรมระหว่างพันธุ์พ่อแม่ และหากผสมติดเมล็ดได้ลูกแล้วส่วนใหญ่ให้ผลผลิตต่ำ การคัดเลือกในช่วงที่มีการกระจายตัวจึงควรใช้ประชากรขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มโอกาสในการพบต้นที่มีผลผลิตสูงและมีลักษณะอื่นที่ต้องการ

ชนิดแบ่ง

ประเมินชนิดแบ่งด้วยสารละลายไอโอดีน พบว่า ประชากร F2 มีการกระจายตัวของชนิดแบ่งในเมล็ดเป็น 3 แบบ คือข้าวเจ้าทุกเมล็ด ข้าวเหนียวทุกเมล็ด และข้าวเจ้าปนกับข้าวเหนียวภายในต้นเดียวกัน โดยชนิดข้าวเจ้าปนข้าวเหนียวพบมากที่สุดถึง 41.1 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือชนิดข้าวเจ้า 34.9 เปอร์เซ็นต์ และน้อยที่สุดคือข้าวเหนียว 24 เปอร์เซ็นต์ (Table 2)

ปริมาณสารฟีนอลในเมล็ด

พันธุ์พ่อ PTT1 มีค่าปริมาณสารฟีนอลระหว่าง 50.1 - 77.2 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม เฉลี่ยเท่ากับ 60.2 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม พันธุ์แม่ KS5 มีค่าฟีนอลในเมล็ดระหว่าง 198.7 - 289.0 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม เฉลี่ยเท่ากับ 242.2 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม โดยมีปริมาณสารฟีนอลสูงกว่าพันธุ์พ่อประมาณ 4 เท่า ส่วนประชากรลูกผสม F2 พบการกระจายตัวกว้าง และมีค่าการกระจายตัวตั้งแต่ 28 - 272 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96.8 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม (Figure 3)

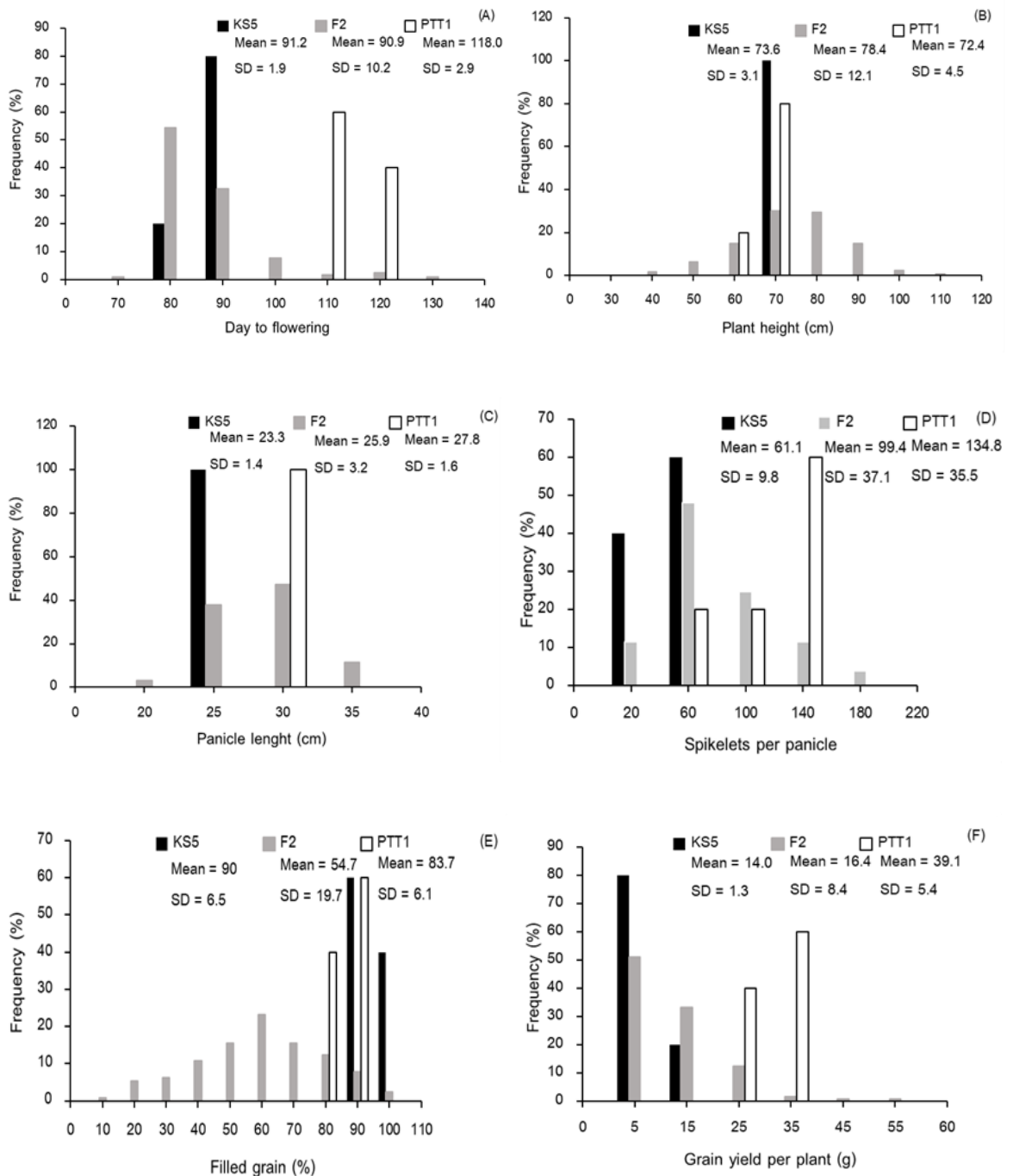


Figure 2. Distribution of days to flowering (A), plant height (B), panicle length (C), spikelets per spike (D), percent filled grain (E) and grain yield per plant (F) of F2 population. (The black, white and gray bars represented value of female parent Khao Saeng 5 (KS5), male parent Pathum Thani 1 (PTT1) and F2 population, respectively)

Table 2. Distribution of starch type of endosperm within F2 population from between male parent Pathum Thani 1 (PTT1) and female parent Khao Saeng 5 (KS5)

Family	Endosperm type	Number of plants	%
Family 2	Non-glutinous	45	34.9
	Glutinous	31	24.0
	Non-glutinous and glutinous	53	41.1
Total		129	100
KS 5	Glutinous	5	100
PTT 1	Non-glutinous	5	100

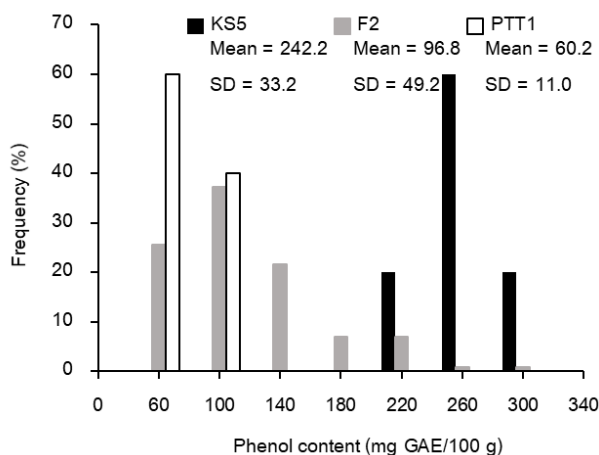


Figure 3. Distribution of phenol content of F2 population and Pathum Thani 1 (PTT1) and Khao Saeng 5 (KS5) parents grown in wet season 2018 in the experiment at Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

การกระจายตัวของปริมาณฟีนอลในประชากรลูกผสม F2 มีการกระจายตัวแบบต่อเนื่อง (continuous distribution) ซึ่งกระจายตัวค่อนข้างไปในทิศทางของปริมาณฟีนอลต่ำ และพบประชากร F2 ที่มีปริมาณฟีนอลสูงใกล้เคียงพันธุ์แม่ในสัดส่วนน้อย ซึ่งต้นที่มีปริมาณฟีนอลสูง มีในสัดส่วนน้อยมาก จึงคาดว่ามีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบปริมาณ ถูกควบคุมด้วยยีนจำนวนมาก ต้นที่มีปริมาณฟีนอลในเมล็ดที่สูงส่วนใหญ่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำเข้ม ในขณะที่ต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำน้อยมีค่าน้อยมากซึ่งแทบไม่พบสารฟีนอลอยู่เลย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Rungwattanapong (2011) พบความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดข้าวกล้องของข้าวเหนียวเก่าตั้งแต่

250.57 - 1085.81 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม เช่นเดียวกันกับ (Goffman and Bergman 2004; Min *et al.*, 2012) พบความแปรปรวนของปริมาณฟีนอลที่แตกต่างกันระหว่างพันธุ์ข้าว โดยข้าวที่มีเมล็ดสีแตกต่างกันจะมีความแปรปรวนของปริมาณฟีนอลที่แตกต่างกัน ซึ่งพบปริมาณฟีนอลในข้าวเก่าและข้าวแดงมากกว่าข้าวขาว การกระจายตัวของลักษณะสีเยื่อหุ้มเมล็ดที่ปรากฏนั้น โดย Somboon *et al.* (2017) ได้ศึกษาสีเยื่อหุ้มเมล็ดในลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวดำจากที่สูงกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยพบว่า สีเยื่อหุ้มเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีนจำนวน 2 คู่ และมีการแสดงออกแบบข่มข้ามคู่ (recessive epistasis)

การกระจายตัวระหว่างผลผลิตและปริมาณฟีนอลในเมล็ด

การสร้างกราฟการกระจายตัวระหว่างปริมาณผลผลิตต่อต้นและปริมาณฟีนอลในเมล็ด ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างสองลักษณะ ($r = -0.0635$; ns) (Figure 4) พบต้นที่มีปริมาณฟีนอลในเมล็ดสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมด 48 ต้น มีปริมาณฟีนอลระหว่าง 101.5 - 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม และผลผลิตระหว่าง 6.2 - 56.5 กรัมต่อต้น และต้นที่มีปริมาณฟีนอลสูงสุดเท่ากับ 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม แต่ให้ผลผลิตอยู่ที่ 9.9 กรัมต่อต้น

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวระหว่างผลผลิตกับปริมาณฟีนอลในเมล็ด ไม่พบความสัมพันธ์กันของทั้งสองลักษณะ สอดคล้องกับงานของ Khempet and Jongkaewwattana (2012) ที่ประเมินลักษณะทางพืชไร่กับปริมาณฟีนอลของข้าวกำแพงแสน 24 พันธุ์และไม่พบความสัมพันธ์ผลผลิตกับปริมาณฟีนอล ซึ่งการไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างผลผลิตกับปริมาณฟีนอลนั้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณฟีนอลไม่เกี่ยวข้องกับการสร้างผลผลิตของข้าวลูกผสม อาจเป็นสิ่งที่ดีในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวลูกผสมให้มีปริมาณ

ฟีนอลสูง โดยไม่มีการสูญเสียผลผลิต อย่างไรก็ตามเนื่องจากปริมาณฟีนอลในเมล็ดของประชากรลูกผสม F2 ที่ศึกษาในการทดลองนี้ มีช่วงการกระจายตัวกว้าง ส่วนใหญ่มีค่าปริมาณฟีนอลน้อยไปในทิศทางของพันธุ์ปทุมธานี 1 แต่ยังสามารถคัดเลือกต้นที่มีปริมาณฟีนอลในเมล็ดอยู่ในช่วงของพันธุ์แม่ได้จำนวน 8 ต้น (family) ปริมาณฟีนอลในเมล็ดของต้นลูกผสมที่คัดเลือกนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 199.7 - 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม สูงกว่าปริมาณฟีนอลในเมล็ดที่พบในพันธุ์ข้าวปทุมธานี 3 - 4 เท่า มีค่าผลผลิตอยู่ระหว่าง 7.6 - 34.2 กรัมต่อต้น ส่วนชนิดแป้งนั้นเป็นทั้งชนิดข้าวเหนียวและข้าวเจ้า (Table 3) การผสมพันธุ์ระหว่างข้าวไร่กับข้าวนาพบว่าลูกผสมทั้งชั่วแรกและชั่วที่สองส่วนใหญ่ให้ผลผลิตต่ำซึ่งเกิดจากการมีเปอร์เซ็นต์ดีดเมล็ดต่ำ (Table 1, Figure 2E) อย่างไรก็ตาม พบบางต้นกระจายตัวให้ผลผลิตสูงและปริมาณฟีนอลสูงด้วย จากทั้ง 8 ต้นที่คัดเลือก พบว่า ต้นคัดเลือกที่ 3 มีค่าผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 34.2. กรัมต่อต้น ไม่แตกต่างจากพันธุ์พ่อ ที่เหลือมีค่าผลผลิตใกล้เคียงหรือน้อยกว่าพันธุ์แม่ ในช่วงถัดไปวางแผนในการปลูกลูกผสมให้กระจายตัวเพื่อให้มีโอกาสคัดเลือกต้นที่มีปริมาณสารฟีนอลและผลผลิตสูงได้

Table 3. Agronomic traits, starch type and phenol content of 8 selected F2 plants with black pericarp, female Khao Saeng 5 (KS5) and male Pathum Thani 1 (PTT1) parents

Selection	F2 family	Days to flowering (days)	Plant height (cm)	Tillers per plant	Panicles per plant	Panicle length (cm)	Spikelets per panicle	Filled grain (%)	Grain yield per plant (g)	Phenol Content (mg GAE/100 g)	Starch type	Pericarp color
1	2	82	96	6	6	32.5	91	47.3	9.9	272.3	Both type	Black
2	39	90	79	10	10	21	71	62.0	7.7	250.4	Non-glutinous	Black
3	28	106	94	10	10	25.8	139	79.1	34.2	217.0	Non-glutinous	Black
4	1	82	81	8	8	26	112	33.9	10.7	216.2	Glutinous	Black
5	35	87	97	5	5	24.6	88	43.2	7.6	211.9	Glutinous	Black
6	121	84	88	11	11	29.5	121	57.9	12.6	206.1	Non-glutinous	Black
7	123	92	87	6	6	25.4	80	23.8	12.6	201.2	Glutinous	Black
8	62	87	92	9	9	26.4	95	28.4	14.2	199.7	Both type	Black
Parent	P1(KS5)	91(1.9)	74(3.1)	7(1.1)	6(0.5)	23(1.4)	61(9.8)	90(6.5)	14.0(1.3)	242.3(33.2)	Glutinous	Black
	P2(PTT1)	118(2.9)	72(4.5)	17(4.9)	17(4.9)	28(1.6)	135(35.5)	84(6.1)	39.1(5.4)	60.2(11.0)	Non-glutinous	White

The value in parenthesis represented standard deviation (sd)

สรุป

จากการศึกษาในคู่ผสมระหว่าง ข้าวเหนียวดำ ที่เป็นข้าวไรซ์พันธุ์พื้นเมือง ปริมาณฟีนอลในเมล็ดสูง (แสง 5) ที่ใช้เป็นพันธุ์แม่ กับข้าวนาสวน ที่เป็นข้าวเจ้าขาว ไม่ไวต่อช่วงแสง ผลผลิตสูง มีปริมาณฟีนอลในเมล็ดต่ำ (ปทุมธานี 1) ที่ใช้เป็นพันธุ์พ่อ ประเมินในช่วงที่ 1 และ 2 พบว่าลูกผสม F1 มีลักษณะทางพีชไร มีค่าอยู่ระหว่างพ่อแม่ ยกเว้นลักษณะความสูงและเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี มีต้นสูงกว่าพ่อแม่แต่ติดเมล็ดน้อยกว่า ในลูกผสม F2 ลักษณะสัณฐานเมล็ดพบการกระจายตัวของชนิดแบ่ง 3 ชนิด คือข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า และข้าวเหนียวภายในต้นเดียวกัน โดยส่วนใหญ่พบการกระจายตัวแบบชนิดข้าวเจ้าและข้าวเหนียวภายในต้นเดียวกันมากที่สุด ลักษณะทางพีชไร เช่น ลักษณะความสูงต้น ความยาวรวง จำนวนช่อดอกต่อรวง เปอร์เซ็นต์ เมล็ดดี และผลผลิต พบการกระจายตัวแบบต่อเนื่อง (continuous distribution) อยู่บนอกเหนือขอบเขตของพ่อแม่ (transgressive segregation) โดยผลผลิตมีค่าอยู่ระหว่าง 6.2 - 56.5 กรัมต่อต้น ส่วนใหญ่มีค่าผลผลิตต่ำไปทางพันธุ์แม่ โดยพันธุ์แม่มีผลผลิตอยู่ที่ 14 กรัม และพันธุ์พ่อก็มีผลผลิตอยู่ที่ 39.1 กรัม ส่วนปริมาณฟีนอลมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 28 - 272 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม โดยส่วนใหญ่มีค่าปริมาณฟีนอลค่อนข้างต่ำไปทางพันธุ์พ่อ และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลในเมล็ดกับผลผลิตในลูกผสม F2 อย่างไรก็ตาม สามารถคัดเลือกลูกผสม F2 ที่มีปริมาณฟีนอลสูงใกล้เคียงพันธุ์แม่ได้ 8 ต้น มีค่าอยู่ระหว่าง 199.7 - 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม สามารถใช้เป็นฐานพันธุ์กรรมเพื่อพัฒนา และคัดเลือกข้าวสายพันธุ์คุณภาพพิเศษพันธุ์ใหม่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตรของกรมมหชน (สวก.)

เอกสารอ้างอิง

- Chang, T.T and E.A. Bardenas. 1965. The Morphology and Varietal Characteristics of the Rice Plant. Technical Bulletin 4. The International Rice Research Institute, Laguna.
- Folin, O. and V. Ciocalteu. 1927. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. The Journal of Biological Chemistry 73(2): 627-650.
- Goffman, F.D. and C.J. Bergman. 2004. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. Journal of the Science of Food and Agriculture 84(10): 1235-1240.
- Jaksomsak, P. 2007. Genetic control of iron content in rice grain. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 93 p. (in Thai)
- Jamjod, S., C. Thebault Prom-u-thai, N. Yimyam and S. Lordkaew. 2015. Collection, evaluation and characterization for special quality in Thai rice varieties from Chiang Mai, Chiang Rai and Mae Hong Son provinces. Final report. Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai. 71 p. (in Thai)
- Kaladee, D., P. Pongpiachan and S. Jamjod. 2000. Genetics, breeding and agriculture nutritional immunity of purple rice (*Oryza sativa* L.). Final report Science and Technology Research Institute. Chiang Mai University. Chiang Mai. 74 p. (in Thai)
- Khempet, S. and S. Jongkaewwattana. 2012. Comparison of Agronomic Characteristics and Total Phenolic Content of Native Purple Glutinous Rice. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences

- (Special Issue on Agricultural & Natural Resources) 11(1): 359-369.
- Khodruankeaw, T., C. Thebault Prom-u-thai, T. Pusadee and S. Jamjod. 2020. Evaluation of progeny population between upland rice KumHomMorChor and photoperiod insensitive rice varieties. *Khon Kaen Agriculture Journal* 48(3): 535-546. (in Thai)
- Min, B., L. Gu, A.M. Mc Clung, C.J. Bergman and M.H. Chen. 2012. Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (*Oryza sativa* L.) of different bran colours. *Food Chemistry* 133(3): 715-722.
- Pham, V.H. 2016. Phenolic compounds of cereals and their antioxidant capacity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56(1): 25-35.
- Plant Varieties Protection Office. 2020. Advertisement of a request for the certificate of a new plant variety registration according to the Plant Varieties Protection Act, B.E. 1975. (Online). Available: https://www.doa.go.th/pvp/wp-content/uploads/2020/11/AnnoDOA_Public_233.pdf (August 5, 2021). (in Thai)
- Rungwattanapong, T. 2011. Relationship between anthocyanin total phenolic content and antioxidant activities of local purple glutinous rice. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 83 p. (in Thai)
- Somboon, P., C. Thebault Prom-u-thai, T. Pusadee and S. Jamjod. 2017. Gene segregation for anthocyanin contents in F2 population between purple glutinous rice from highland and Pathum Thani 1 grown at lowland and highland locations. *Journal of Agriculture* 33(3): 323-332. (in Thai)
- Xiao, J, C. Wu, Y. He, M. Guo, Z. Peng, Y. Liu, L. Liu, L. Dong, Z. Guo, R. Zhang and M. Zhang. 2020. Rice bran phenolic extract confers protective effects against alcoholic liver disease in mice by alleviating mitochondrial dysfunction via the PGC-1 α -TFAM pathway mediated by microRNA-494-3p. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 68(44):12284-12294.