

การคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวเหนียวพันธุ์ข้าวเจ้าทำไม่ไวต่อช่วงแสง และมีปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดสูง

Selection for Photoperiod Insensitive Advanced Lines and High Grain Anthocyanin of Purple Glutinous Rice

ธรรมณู หัตถยานนท์^{1/} ชนาکانต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย^{1, 2/} และ ศันสนีย์ จำจด^{1, 2/*}
Tammanoon Huttayanun^{1/}, Chanakan Thebault Prom-u-thai^{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

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

(Received: 1 September 2016; Accepted: 9 December 2016)

Abstract: Anthocyanin is a major compound with anti-oxidative properties which can protect against oxidative damages implicated in a range of diseases and it is commonly found in the purple rice grain. Purple rice varieties are photoperiod sensitivity which can be grown only once a year and contains low anthocyanin content. This research was to develop the advanced purple rice lines with high anthocyanin content and photoperiod insensitivity. Seeds of the F₄ population between KDK (glutinous rice) and PTT 1 (non-glutinous rice) were used to grow in plant-to-row and selected for the F₅ population during wet season in 2013. The plants were recorded for flowering dates, plant height, grain weight, pericarp color and endosperm type. Plants with desirable traits and purple pericarp seeds were selected. F₆ population were grown during dry season in 2014. Ten varieties were found with the character of photoperiod insensitivity plants, purple color in culm and leaves with short plant type and high grain yield, and the seed of non-glutinous endosperm type with purple pericarp color. The 10 varieties were grown for evaluation and selection of F₇ population and it was found photoperiod insensitivity character in all varieties with shorter day to flowering, ranged between 96-103 days and plant height compared with the parent, 79.7-83.2 cm, but similar seed size. The seeds were purple color with non-glutinous endosperm type with anthocyanin content ranging from 31.4 to 58.8 mg/100 g which were 25-135% higher than KDK. Seeds of all varieties will be evaluated and selected for the further study.

Keywords: Selection rice, purple rice, anthocyanin, photoperiod insensitivity

บทคัดย่อ: ข้าวก่ำมีแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระสาเหตุของการเกิดโรคสำคัญต่าง ๆ ในปริมาณสูง โดยทั่วไปเป็นข้าวเหนียวและไวต่อช่วงแสงทำให้สามารถปลูกได้ปีละครั้งเดียว เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวก่ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสายพันธุ์ข้าวก่ำ ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงและไม่ไวต่อช่วงแสง โดยนำเมล็ดจากประชากรลูกผสมชั่วที่ 4 ระหว่างข้าวเหนียวก่ำดอยสะเก็ดและข้าวเจ้าปทุมธานี 1 ที่มีลักษณะเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงมาเป็นประชากรตั้งต้น ปลูกคัดเลือกชั่วที่ 5 ในฤดูนาปี 2556 แบบต้นต่อแถว บันทึกวันออกดอก ความสูง น้ำหนักต่อน้ำหนักเมล็ด และชนิดแป้ง คัดเลือกต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วง ปลูกคัดเลือกต่อในชั่วที่ 6 ในฤดูนาปรังปี พ.ศ. 2557 และคัดเลือกได้ต้นไม่ไวต่อช่วงแสง เป็นข้าวเจ้ามีเยื่อหุ้มเมล็ดลำต้นและใบสีม่วง ต้นเตี้ย และให้ผลผลิตสูงจำนวน 10 สายพันธุ์ ปลูกประเมินและคัดเลือกในชั่วที่ 7 พบว่าทั้ง 10 สายพันธุ์มีลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสง มีอายุวันออกดอกอยู่ในช่วง 96-103 วัน มีต้นเตี้ยใกล้เคียงพันธุ์พ่อมีความสูงอยู่ในช่วง 79.7-83.2 เซนติเมตร และมีขนาดเมล็ดเรียวยาวใกล้เคียงกับพันธุ์พ่อ มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วง เป็นชนิดข้าวเจ้า มีปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ในช่วงระหว่าง 31.4-58.8 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าพันธุ์แม่ร้อยละ 25-134 ซึ่งจะได้คัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะเป็นข้าวเจ้าก่ำ ไม่ไวแสงและมีเมล็ดเรียวยาว เพื่อพัฒนาสายพันธุ์ต่อไป

คำสำคัญ: การคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวลูกผสม ข้าวเจ้าก่ำ แอนโทไซยานิน ไม่ไวต่อช่วงแสง

คำนำ

ข้าวก่ำ (purple rice) หรือข้าวเหนียวดำเป็นข้าวพื้นเมืองของประเทศไทย มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากข้าวทั่วไปโดยมักพบสีม่วงปรากฏบนส่วนต่าง ๆ ของต้น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด (ดำเนิน และ ศันสนีย์, 2543) โดยสามารถพบได้ ในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ในปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมและความสนใจมากขึ้น เนื่องจากข้าวก่ำประกอบไปด้วยสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีม่วงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Hui *et al.*, 2010) ช่วยต้านทานโรคต่าง ๆ เช่น ลอดและยับยั้งการลุกลามของเซลล์มะเร็งในเม็ดเลือดของหนู (Punyatong *et al.*, 2008) ยับยั้งการลุกลามของเซลล์มะเร็งท่อน้ำนมในปอด (Chen *et al.*, 2006) และการขยายของเนื้องอก ลดระดับไขมันในเลือด ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง (Blando *et al.*, 2004) ลดความเครียดจากการออกซิเดชัน ลดการอักเสบในร่างกาย (Xia *et al.*, 2003) และสามารถป้องกันโรคเบาหวาน (Wroldstad, 2001) ซึ่งปริมาณสารแอนโทไซยานินนี้จะมีความแปรปรวนความในช่วงกว้างในระหว่างพันธุ์กรรมของข้าวก่ำพันธุ์นั้น ๆ ด้วย (สุภาภรณ์ และชนากานต์, 2559)

นอกจากนี้ยังพบคุณค่าทางโภชนาการของกลุ่มข้าวเหนียวก่ำ ที่ประกอบไปด้วยปริมาณสารอาหาร 5 ชนิด ได้แก่ ไขมัน โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ในข้าวกล้องที่มีปริมาณสูงกว่าข้าวขาวอีกด้วย (Xu *et al.*, 2001) การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวก่ำที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจึงดำเนินต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

ดำเนิน และ ศันสนีย์ (2543) ได้คัดเลือกสายพันธุ์ข้าวก่ำดอยสะเก็ดที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงจากวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์แท้ (pure line selection) ที่สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้รับการขึ้นทะเบียนพันธุ์ และส่งเสริมการปลูก รวมไปถึงการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพหลายชนิด อย่างไรก็ตามข้าวก่ำดอยสะเก็ดเป็นข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งมีลักษณะลำต้นสูง ตอบสนองต่อช่วงแสงสามารถปลูกได้เพียง 1 ฤดู ต่อปี และมีผลผลิตต่อพื้นที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง เพื่อแก้ไขปัญหาที่นักวิจัยจึงได้สร้างลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวก่ำดอยสะเก็ดและพันธุ์ปทุมธานี 1 ศึกษาการกระจายตัวและคัดเลือกลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสงในชั่วที่ 2 ในฤดูนาปรังและปลูกคัดเลือกต่อในชั่วที่ 3 พบการกระจายตัวของชนิดแป้งและสีเยื่อหุ้มเมล็ด โดยเฉพาะสีเยื่อหุ้มเมล็ดที่พบจะสามารถแบ่งได้ 3 สี คือ สี ม่วง น้ำตาล ขาว โดยพบว่าปริมาณแอนโทไซ-

ยานินจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มสีเมล็ดหรือไม่พบเลย ในขณะที่เยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวไม่พบสารแอนโทไซยานินเลย เช่นเดียวกับพันธุ์พ่อพันธุ์แม่ 1 (พีรพันธ์, 2557)

สำหรับงานทดลองนี้เป็นงานต่อเนื่องได้นำเมล็ดพันธุ์ที่ได้จากชั่วที่ 4 ที่มีสีเยื่อหุ้มม่วงทั้งเมล็ดมาเป็นประชากรตั้งต้น คัดเลือกต่อในชั่วที่ 5-6 และประเมินสายพันธุ์ในชั่วที่ 7 เพื่อให้ได้สายพันธุ์ข้าวหน้าข้าวเจ้าเก่าที่มีลักษณะต้นเตี้ย มีปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดสูง และไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง

อุปกรณ์และวิธีการ

พันธุ์กรรม

ศึกษาประชากรลูกผสม ระหว่างพันธุ์ข้าวเจ้าคอดสะเกิด (KDK) ซึ่งเป็นข้าวเหนียวมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำมีแอนโทไซยานินในเมล็ดสูง และมีลักษณะไวต่อช่วงแสงกับข้าวเจ้าพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่ไม่ไวต่อช่วงแสง พันธุ์ปทุมธานี 1 (PTT1) ซึ่งลูกผสมชั่วที่ 2 คัดเลือกเฉพาะต้นที่ออกดอก ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2555 และ ชั่วที่ 3 ในฤดูนาปี ปี พ.ศ. 2555 โดยเลือกต้นที่มีลำต้นสีม่วงและเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงตั้งแต่ครั้งแรกเมล็ดขึ้นไป จำนวน 204 ต้น แต่ละต้นนับเป็น 1 family (พีรพันธ์, 2557) ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2556 ปลูกคัดเลือกชั่วที่ 4 เฉพาะต้นที่ออกดอก และมีต้นสีม่วงและเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วง จำนวน 83 ต้น แต่ละต้นนับเป็น 1 family เช่นเดียวกัน

การคัดเลือกลูกผสมชั่วที่ 5

ปลูกคัดเลือกข้าวลูกผสมชั่วที่ 5 และพันธุ์พ่อแม่ ในกระถาง ฤดูนาปี ในปี พ.ศ. 2556 (สิงหาคม 2556 - มกราคม 2557) เพาะเมล็ดใน Petri-dishes ปลูกในกระถางพลาสติก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ปลูกจำนวน 1 ต้นต่อหลุม จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง กระถางละ 1 family หลังย้ายปลูก 30 วัน และ 60 วัน ให้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 20 กก./ไร่ และ สูตร 46-0-0 อัตรา 25 กก./ไร่ ตามลำดับ การจัดการน้ำให้น้ำอยู่ในสภาพน้ำขังตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงระยะสุกแก่จึงงดน้ำเพื่อให้สะดวกแก่การเก็บเกี่ยว การป้องกันกำจัดศัตรูข้าวทำตามความเหมาะสมของการระบาดที่พบตลอดระยะการปลูก บันทึก

วันออกดอกที่ 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 315 ต้น เมื่อถึงระยะสุกแก่ บันทึกความสูงจากโคนต้นถึงคอรวง เก็บเกี่ยวแบบแยกต้น ชั่งน้ำหนักต่อต้น โดยแต่ละต้นสุ่มตัวอย่างเมล็ดต้นละ 10 เมล็ดมากระเทาะเปลือกบันทึกสีเยื่อหุ้มเมล็ด ส่วนชนิดข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียว ทดสอบจากการติดสีสารละลายไอโอดีน โดยวิธีการย้อมสีแป้งในเมล็ดด้วย potassium iodine (KI) โดยแบ่งที่ย้อมติดสีน้ำเงินแสดงว่าเป็นข้าวเจ้า ส่วนสีน้ำตาลแสดงว่าเป็นข้าวเหนียว (Jeng *et al.*, 2009; Yamanaka *et al.*, 2004; Kimiko *et al.*, 2003; Yanagisawa *et al.*, 2003; Chang and Bardenas, 1965) และนำต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงตั้งแต่ครั้งแรกเมล็ดขึ้นไป ปลูกคัดเลือกในฤดูปลูกถัดไป

การคัดเลือกลูกผสมชั่วที่ 6

ปลูกคัดเลือกข้าวลูกผสมชั่วที่ 6 และพันธุ์พ่อแม่ ในกระถาง ฤดูนาปรัง ในปี พ.ศ. 2557 (มีนาคม - กรกฎาคม) ใช้วิธีการจัดการและบันทึกข้อมูลเช่นเดียวกับชั่วที่ 5 คัดเลือกจำนวน 10 สายพันธุ์ ซึ่งมีลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสง มีลักษณะเป็นข้าวเจ้า และมีสีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงหรือดำทั้งเมล็ด เพื่อปลูกประเมินสายพันธุ์ในฤดูปลูกถัดไป

การประเมินข้าวลูกผสมชั่วที่ 7

ปลูกประเมินเปรียบเทียบกับพันธุ์พ่อแม่ โดยปลูกในกระถาง ฤดูนาปี ในปี พ.ศ. 2557 (สิงหาคม - พฤศจิกายน) จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง ปลูกข้าวลูกผสมชั่วที่ 7 และพันธุ์พ่อแม่สายพันธุ์ละ 5 กระถางจำนวน 10 สายพันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 5 ซ้ำ มีการจัดการและบันทึกข้อมูล เช่นเดียวกันกับชั่วที่ 5 และ 6 แต่ละต้นสุ่มตัวอย่างเมล็ดแต่ละต้น วัดขนาดเมล็ดทั้งข้าวเปลือกและข้าวกล้อง จากนั้นนำเมล็ดแต่ละต้นมารวมกัน สุ่มชั่งน้ำหนักข้าวกล้อง 2.5 กรัม เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ของเมล็ดข้าว ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งดัดแปลงจากวิธี pH differential method (Giusti and Wrolstad, 2001) ค่าที่ได้เป็นปริมาณสารโมโนเมอร์แอนโทไซยานิน (monomeric anthocyanin)

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้าวลูกผสมชั่วที่ 7 และพันธุ์พ่อแม่

ผลการทดลอง

การคัดเลือกลูกผสมชั่วที่ 5

จำนวนวันออกดอกเฉลี่ยเท่ากับ 90 วัน ซึ่งอยู่ในช่วงของพันธุ์พ่อแม่ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100 และ 113 วันตามลำดับ (ภาพที่ 1a) ส่วนความสูงเฉลี่ยของชั่วที่ 5 เท่ากับ 96.3 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าพันธุ์พ่อแม่แต่น้อยกว่าพันธุ์แม่ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.9 และ 141.9 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 1b) ในขณะที่น้ำหนักตอต้น ชั่วที่ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.5 กรัมตอต้น ซึ่งใกล้เคียงกับพันธุ์พ่อที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.2 กรัมตอต้น ในขณะที่ช่อดอกพันธุ์แม่มีน้ำหนักเพียง 3.0 กรัมตอต้นเท่านั้น (ภาพที่ 1c) ชนิดแบ่งพบชนิดแบ่งที่เป็นข้าวเหนียวมากที่สุดมี 47.0% ของ family ทั้งหมด (ตารางที่ 1) ส่วนสีเยื่อหุ้มเมล็ด ไม่พบ family ที่มีสีเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นสีขาวทั้งหมดเลย ส่วนใหญ่พบ family ที่มีทั้งสีเมล็ดม่วงและขาวใน family เดียวกัน เท่ากับ 55.4% รองลงมาคือ family ที่มีเยื่อหุ้มสีม่วงทั้งหมด (ตารางที่ 2) คัดเลือกเฉพาะต้นที่มีเมล็ดสีม่วงตั้งแต่ครึ่งเมล็ดขึ้นไปจำนวน 200 ต้น นำไปปลูกต่อในชั่วที่ 6

การคัดเลือกลูกผสมชั่วที่ 6

ชั่วที่ 6 นี้ พันธุ์แม่ไม่ออกดอก ส่งผลให้วัดความสูงไม่ได้และไม่ให้ผลผลิต วันออกดอกของชั่วที่ 6 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 86 วัน ซึ่งน้อยกว่าพันธุ์พ่อและชั่วที่ 5 (ภาพที่ 2a) ความสูงของชั่วที่ 6 มีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 119.6 เซนติเมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากชั่วที่ 5 และมากกว่าพันธุ์พ่อ (ภาพที่ 2b) ในขณะที่ผลผลิตมีน้ำหนักเมล็ดตอต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.8 กรัมตอต้น ในขณะที่พันธุ์พ่อน้ำหนักเท่ากับ 4.6 กรัมตอต้น (ภาพที่ 2c) ในด้านเมล็ดพบ family ที่เป็นชนิดข้าวเหนียวทั้งหมดมากที่สุดมี 59.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชนิดข้าวเจ้าทั้งหมดมีเพียง 8.9 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยที่สุดในกลุ่ม (ตารางที่ 1) ส่วนสีเยื่อหุ้มเมล็ดพบ family ที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงอย่างเดียวนาน

ที่สุดมากถึง 74.7 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวน family ทั้งหมด ในขณะที่ไม่พบ family ที่มีสีเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นสีขาวทั้งหมดเช่นเดียวกับชั่วที่ 5 (ตารางที่ 2) จากนั้นคัดเลือกเฉพาะต้นที่มีความสูงเท่ากับพันธุ์พ่อ มีต้นและเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงและเป็นชนิดข้าวเจ้า จำนวน 10 ต้น เพื่อปลูกประเมินในชั่วที่ 7 ต่อไป

การประเมินข้าวลูกผสมชั่วที่ 7

จำนวนวันออกดอกแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 และพันธุ์แม่ข้าวท่าคอยสะเกิดมีจำนวนวันออกดอกเฉลี่ย เท่ากับ 101 และ 144 วัน ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวลูกผสมชั่วที่ 7 มีจำนวนวันออกดอกอยู่ในช่วง 96-103 วัน ซึ่งค่อนข้างพ้องกับพันธุ์พ่อ ความสูงของต้นเมื่อวัดถึงคอรวง พันธุ์พ่อและแม่มีความสูงเฉลี่ย เท่ากับ 85.8 และ 146.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวลูกผสมชั่วที่ 7 มีความสูงเฉลี่ย อยู่ในช่วง 81.1-83.2 เซนติเมตร โดยข้าวลูกผสมที่มีความสูงมากที่สุดคือสายพันธุ์ที่ 5 รองลงมาคือ สายพันธุ์ที่ 6 ซึ่งมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 83.2 และ 82.2 เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ที่ 7 มีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 79.7 เซนติเมตร จำนวนรวงตอต้นและจำนวนช่อดอกตอรวงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนัก 100 เมล็ด และน้ำหนักต่อกระถางทดลอง ลูกผสมชั่วที่ 7 ส่วนใหญ่มีค่าเข้าใกล้ไปทางพันธุ์ปทุมธานี 1 (ตารางที่ 3)

ปริมาณแอนโทไซยานินเปรียบเทียบข้าวลูกผสมชั่วที่ 7 กับข้าวท่าคอยสะเกิดพันธุ์แม่ ซึ่งข้าวลูกผสมนั้น มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าพันธุ์แม่ทั้ง 10 พันธุ์ โดยพันธุ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดคือ พันธุ์ที่ 1, 6 และ 9 มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 58.4, 55.5 และ 55.0 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์แม่ มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 25.8 มิลลิกรัม/100 กรัม (ตารางที่ 3)

ลักษณะสีเปลือกเมล็ดพบว่าข้าวสายพันธุ์ก้าวหน้าชั่วที่ 7 ทั้ง 10 สายพันธุ์มีสีเปลือกสีเขียวเข้มเหมือนกับพันธุ์แม่ทั้งหมด โดยมีสีเปลือกเมล็ดสีม่วง และสีเยื่อหุ้มเมล็ดม่วงดำ ในขณะที่พันธุ์พ่อเปลือกเมล็ดสีฟาง และสีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาว ชนิดแบ่งที่พบเป็นชนิดข้าวเจ้าทั้ง 10 สายพันธุ์ ซึ่งเหมือนกับพันธุ์พ่อ ในขณะที่พันธุ์แม่เป็นชนิดข้าวเหนียว (ตารางที่ 4)

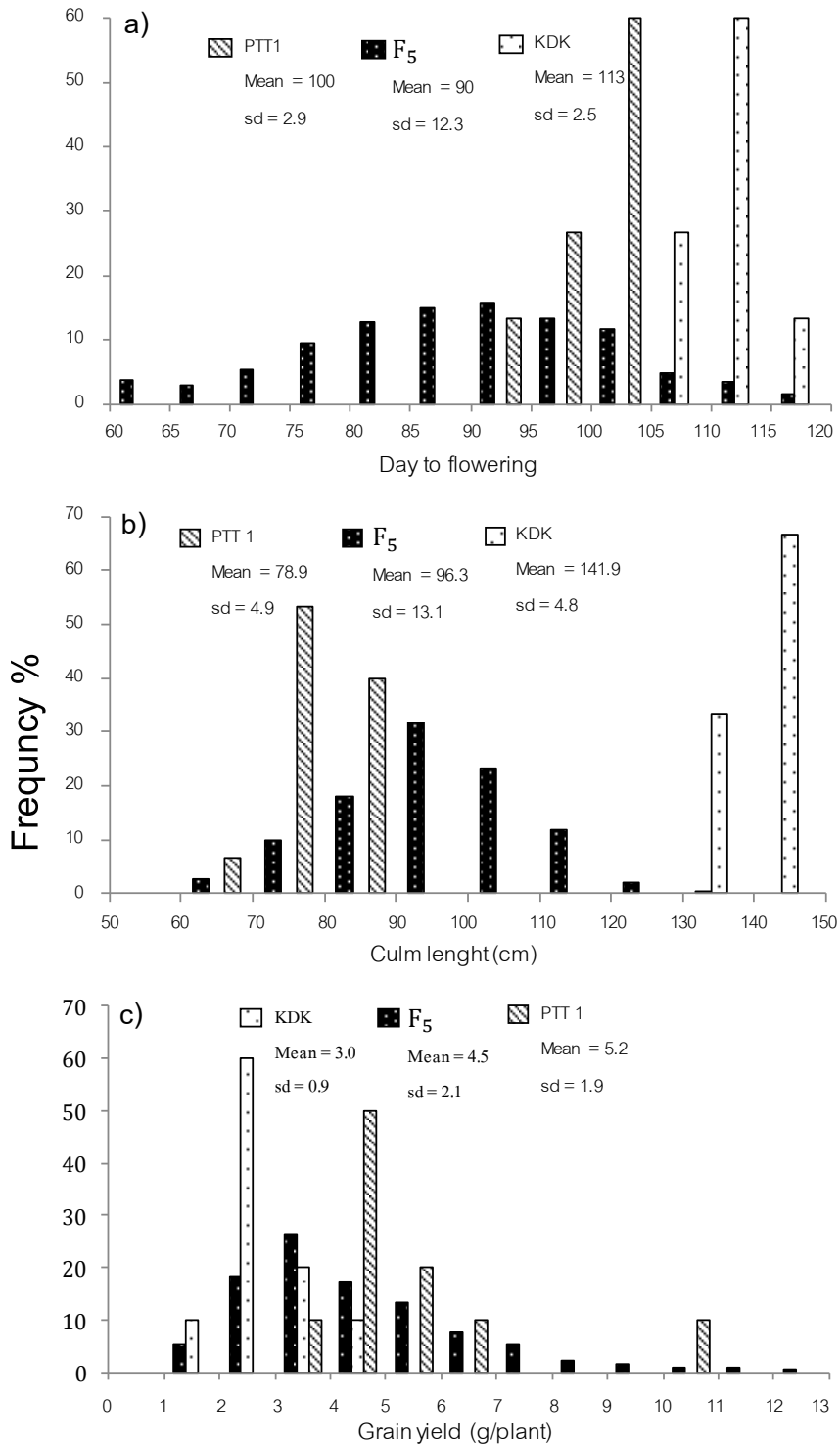


Figure 1. Frequency distribution (%) of parents and F₅ populations between purple glutinous Kum Doi Saket and white non-glutinous Pathum Thani 1 rice varieties
a) Day to flowering b) Culm length (cm) c) Grain yield (g/plant)

Table 1. Distribution of endosperm type in F₅ and F₆ between purple glutinous Kum Doi Saket (KDK) and white non-glutinous Pathum Thani 1 (PTT1) rice varieties

Starch type	Endosperm type	F ₅ (Rainy season)		F ₆ (Dry season)	
		Family number	%	Family number	%
KDK Type	Glutinous	39	47.0	47	59.5
Segregation	Glutinous and Non-Glutinous	18	21.7	25	31.6
PTT 1 Type	Non-Glutinous	26	31.3	7	8.9
Total		83	100	79	100

Table 2. Distribution of pericarp color in F₅ and F₆ between purple glutinous Kum Doi Saket (KDK) and white non-glutinous Pathum Thani 1 (PTT1) rice varieties

Pericarp type	Pericarp color	F ₅ (Rainy season)		F ₆ (Dry season)	
		Family number	%	Family number	%
KDK Type	Purple	41	49.4	59	74.7
Segregation	Purple and White	42	50.6	20	25.3
PTT 1 Type	White	0	0.0	0	0.0
Total		83	100	79	100

Table 3. Days to flowering, culm length (cm), yield components, grain yield and grain anthocyanin concentrations (mg/100 g) of selected F₇ lines

Lines/ Varieties	Days to flowering	Culm length (cm)	Number of panicles/ plant	Number of spikelets/ panicle	Filled grain (%)	100 seed weight (g)	Grain yield (g/pot)	Anthocyanin (mg/100g)
1	96 e	81.1 cd	9	103	93.1 a	2.0 de	36.2 a	58.4 a
2	98 de	82.4 cd	7	96	93.0 a	2.2 c	29.1 abc	35.2 def
3	98 cde	81.5 cd	8	100	94.3 a	2.1 cd	33.0 ab	47.9 abc
4	102 bc	82.6 cd	8	102	93.9 a	1.9 def	28.0 abc	37.4 cde
5	100 bcd	83.2 bc	9	94	92.7 a	1.9 f	32.6 ab	44.2 bcd
6	100 bcd	82.2 cd	9	96	92.3 a	2.0 def	32.2 ab	55.5 ab
7	100 bcd	79.7 d	9	102	93.9 a	1.9 ef	24.0 bcd	41.5 cde
8	103 b	80.9 cd	8	99	55.4 c	2.0 def	13.2 e	35.5 def
9	99 cde	81.1 cd	9	95	74.0 b	2.0 def	18.3 de	55.0 ab
10	101 bcd	81.2 cd	9	100	94.9 a	2.4 b	27.2 abcd	31.4 ef
KDK (check)	144 a	146.4 a	7	91	87.4 a	2.6 a	21.3 cde	25.1 f
PTT1 (check)	101 bcd	85.8 b	8	102	89.3 a	2.5 ab	29.7 abc	not detected
F-test	**	**	ns	ns	**	**	**	**
LSD 0.05	3.3	3.1	-	-	9.2	5.9	10.7	11.4
CV (%)	2.5	2.8	18.7	9.9	8.2	0.2	31.2	15.9

** are significantly difference at $P < 0.05$, respectively. ns is non-significantly difference

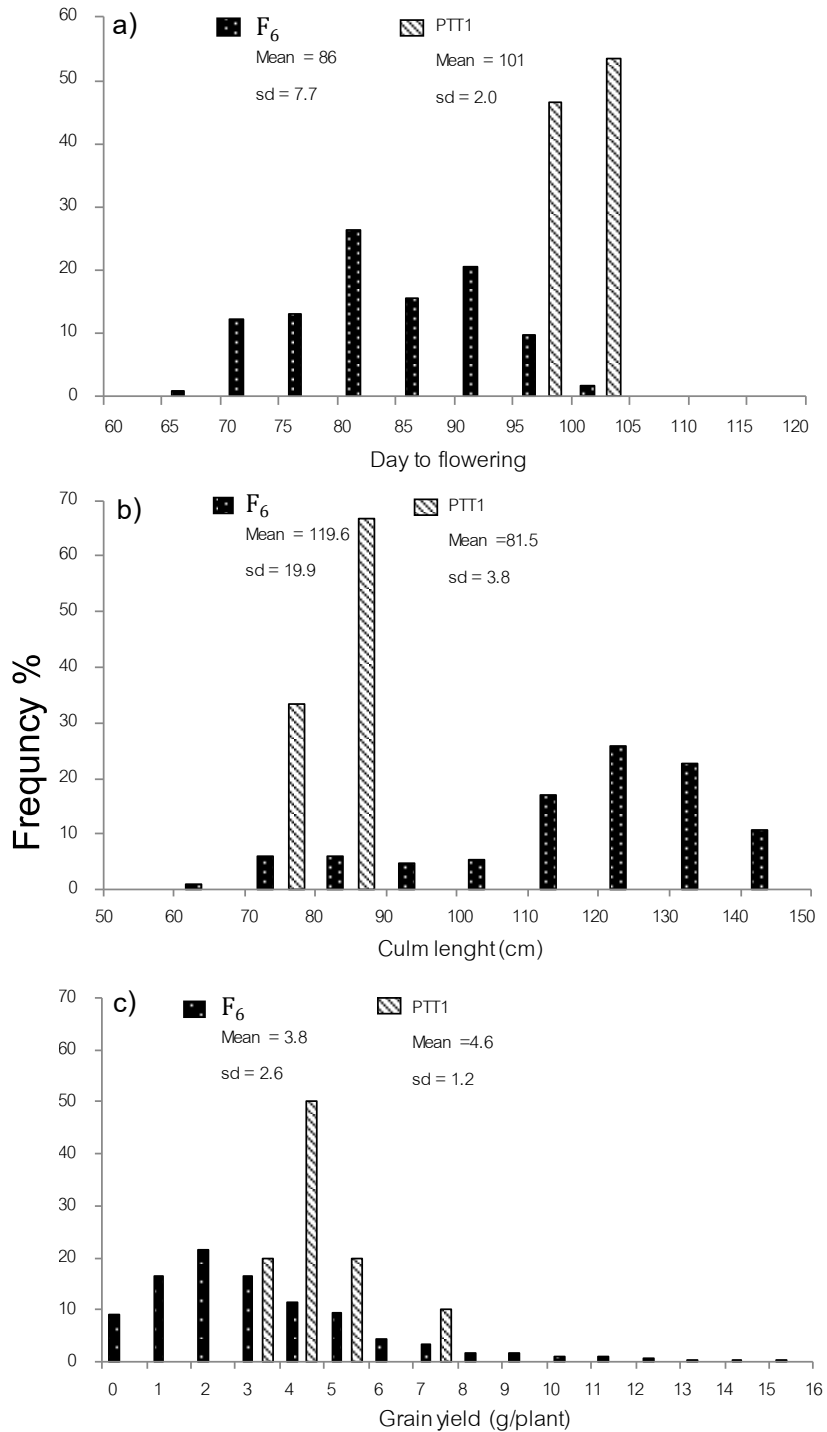


Figure 2. Frequency distribution (%) of parents and F₆ populations between purple glutinous Kum Doi Saket and white non-glutinous Pathum Thani 1 rice varieties
a) Day to flowering b) Culm length (cm) c) Grain yield (g/plant)

Table 4. Some grain characteristics of selected F₇ lines

Lines/ Varieties	Pericarp color	Endospe rm type	Paddy rice (mm)			Brown rice (mm)			Anthocyanin (mg/100g)
			Grain length	Grain width	Lengh/W idth ratio	Brown rice length	Brown rice width	Lengh/W idth ratio	
1	purple	non-glutinous	9.9 bcd	2.9 bc	3.5 bcd	6.6 cd	2.0 bc	3.3 b	58.4 a
2	purple	non-glutinous	9.9 bcd	2.9 bc	3.5 bcd	6.8 c	2.1 b	3.3 b	35.2 def
3	purple	non-glutinous	9.9 bcd	3.0 bc	3.3 d	7.2 b	1.9 c	3.8 a	47.9 abc
4	purple	non-glutinous	9.8 Cd	2.9 bc	3.4 bcd	6.8 c	2.0 bc	3.4 b	37.4 cde
5	purple	non-glutinous	9.6 De	2.8 c	3.4 bcd	6.5 cd	1.9 c	3.4 b	44.2 bcd
6	purple	non-glutinous	9.7 Cd	2.8 bc	3.4 bcd	6.8 c	1.9 c	3.5 b	55.5 ab
7	purple	non-glutinous	9.7 cde	2.9 bc	3.4 bcd	6.7 c	2.0 bc	3.3 b	41.5 cde
8	purple	non-glutinous	9.7 Cd	2.7 c	3.6 bc	6.6 cd	1.9 c	3.4 b	35.5 def
9	purple	non-glutinous	9.4 E	2.8 c	3.4 cd	6.6 cd	1.9 c	3.4 b	55.0 ab
10	purple	non-glutinous	10.6 A	2.8 c	3.8 a	7.5 a	2.0 bc	3.8 a	31.4 ef
KDK (check)	purple	non-glutinous	10.0 Bc	3.7 a	2.7 e	6.4 d	2.4 a	2.7 c	25.1 f
PTT1 (check)	white	Glutinous	10.1 B	2.8 bc	3.6 ab	7.1 b	2.0 bc	3.5 b	not detected
F-test			**	**	**	**	**	**	**
LSD 0.05			0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	11.4
CV (%)			2.5	4.7	4.5	3.3	5.8	6.4	15.9

** are significantly difference at $P < 0.05$, respectively. ns is non-significance difference

ส่วนขนาดของเมล็ด สายพันธุ์ที่ 3 และ 10 มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของทั้งข้าวเปลือกและข้าวกล้องมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวลูกผสมด้วยกัน โดยทั้งข้าวเปลือกและข้าวกล้อง มีอัตราส่วนเท่ากันคือ 3.8 มม. ซึ่งไม่แตกต่างจากพันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์พอ (ตารางที่ 4)

วิจารณ์

งานทดลองนี้ได้แสดงผลการคัดเลือกข้าวลูกผสมเพื่อลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสง ชนิดข้าวเจ้าเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงและมีสารแอนโทไซยานินสูง จากผลการทดลองสามารถคัดเลือกได้สายพันธุ์ข้าวหน้าข้าวที่ 7 ที่มีลักษณะตรงตามที่ต้องการ ทั้งหมด 10 สายพันธุ์ สายพันธุ์เหล่านี้มีความคงตัวทางพันธุกรรมในลักษณะทางสัณฐาน โดยมีสีของแผ่นใบ กาบใบ หูใบ ปล้อง ยอดเกสรตัวเมีย ยอดดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด มีสีม่วง

เหมือนพันธุ์แม่กำเนิดโดยสะเกิด มีปริมาณสารแอนโทไซยานินในแต่ละสายพันธุ์สูงกว่าข้าวกำเนิดโดยสะเกิดพันธุ์แม่ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการทดสอบในชั่วต่อไปเพื่อยืนยันผลที่ได้ในครั้งนี้ การคัดเลือกเมล็ดสีดำเพื่อเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานินนั้น ถึงแม้ว่า Rahman *et al.* (2013) พบว่าเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีสีม่วงดำทั้งเมล็ดมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีสีม่วงครึ่งเมล็ด สีน้ำตาล และสีขาวตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ฟิรนันท์ (2557) พบว่าต้นที่มีเยื่อหุ้มสีม่วงเข้ม สามารถพบได้ทั้งในต้นที่ไม่มีแอนโทไซยานินเลย มีแอนโทไซยานินบ้างเล็กน้อยไปจนถึงมีค่าแอนโทไซยานินสูง สอดคล้องกับการศึกษาของเบญจวรรณ (2553) ที่ประเมินข้าวลูกผสมชั่วที่ 8 ระหว่างพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กับกำเนิดโดยสะเกิดจำนวน 2 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกข้าวเจ้าก่ำ พบปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ในช่วงขอบเขตที่กว้าง โดยข้าวเจ้าก่ำสายพันธุ์ที่ 107 อยู่ในช่วง 75.3-292.0 มิลลิกรัม/ 100 กรัม และสายพันธุ์ที่ 173 อยู่ในช่วง 38.2-170.5 มิลลิกรัม/ 100 กรัม และการศึกษา

ของบุรินทร์ (2556) ที่ปริมาณข้าวลูกผสมชั่วที่ 10 ชนิด ข้าวเจ้าเก่าคู่ผสมเดียวกันนี้ มีปริมาณแอนโทไซยานินสะสมอยู่ในช่วง 2.81-8.65 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ดังนั้น ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวสีดำเพื่อปริมาณแอนโทไซยานินสูง นอกจากจะคัดเลือกโดยสายตาแล้วควรจะมีการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินโดยวิธีทางเคมีร่วมด้วยเพื่อยืนยันผลการคัดเลือก

นอกจากลักษณะต้นเตี้ย ทรงกอตั้ง ไม่ไวต่อช่วงแสงแล้ว ในสายพันธุ์ข้าวหน้าส่วนใหญ่มีลักษณะเมล็ดคล้ายกับพันธุ์ปทุมธานี 1 ทุกสายพันธุ์มีอัตราความยาวต่อความกว้างของข้าวเปลือกและข้าวกล้องมากกว่าพันธุ์แม่เก่าตอยสะเก็ด พบ 2 สายพันธุ์คือ สายพันธุ์ที่ 3 และ 10 มีความยาวเมล็ดและอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวกล้องสูงกว่าหรือเท่ากับพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 ทั้งสองสายพันธุ์นี้จะได้นำไปปลูกขยายและทดสอบพันธุ์ในฤดูปลูกต่อไป ในด้านอายุวันออกดอกสายพันธุ์ข้าวหน้าตอบสนองต่อการคัดเลือกโดยนอกจากจะไม่ไวต่อช่วงแสงและออกดอกในช่วงเดียวกันกับสายพันธุ์พ่อจึงสามารถใช้เป็นทางเลือกสำหรับการปลูกข้าวสีชนิดข้าวเจ้าให้ได้ผลผลิตสูงปลูกได้มากกว่าหนึ่งครั้งต่อปี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

ดำเนิน กาละดี และคันสนีย์ จำจด. 2543. พันธุศาสตร์ การปรับปรุงพันธุ์และโภชนศาสตร์เกษตรของข้าวเหนียวดำ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

บุรินทร์ พิชัยรัตน์. 2556. การประเมินอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมต่อลักษณะทางพืชไร่ของข้าวเจ้าเก่าที่พัฒนาพันธุ์จากโครงการผสมพันธุ์ข้าวเก่า.

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต . มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เบญจวรรณ พลโคต. 2553. การประเมินสายพันธุ์ข้าวหน้าในประชากรลูกผสมชั่วที่ 8 ระหว่างพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์เก่าตอยสะเก็ดเพื่อคัดเลือกลักษณะข้าวเจ้าเก่า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต . มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พีรพันธ์ มาปัน. 2557. การควบคุมทางพันธุกรรมของปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวเก่า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต . มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สุภาภรณ์ ญะเมืองมอญ และชนากานต์ เทโบลด์ พรหมอุทัย. 2559. ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวเก่าพันธุ์พื้นเมืองของไทย. วารสารเกษตร 32(2): 191-199.

Blando, F., C. Gerardi and I. Nicoletti. 2004. Sour cherry (*Prunus cerasus* L.) anthocyanin as ingredients for functional foods. Journal of Biomedicine and Biotechnology 2004(5): 253-258.

Chang, T.T. and E.A. Bardenas. 1965. The morphology and varietal characteristics of the rice plant. Technical Bulletin 4. International Rice Research Institute, Laguna. 40 p.

Chen, P.N. W.H. Kuo, C.L. Chiang, H.L. Chiou, Y.S. Hsieh and S.C. Chu. 2006. Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. (Online). Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009279706002134> (June 12, 2016).

Giusti, M.M and R.E. Wrolstad. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy.

- Current Protocols in Food Analytical Chemistry F1.2.1-F1.2.13.
- 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: 1128-1136.
- Jeng, T.L., C.S. Wang, T.H. Tseng, M.T. Wu and J.M. Sung. 2009. Nucleotide polymorphisms in the waxy gene of Na₂S₂O₃-induced waxy rice mutants. *Journal of Cereal Science* 49(1): 112-116.
- Kimiko, I., H. Ozaki, K. Okada, H. Hori, Y. Takeda and T. Mitsui. 2003. Introduction of Wx transgene into wx mutants leads to both high- and low- amylose rice. *Plant and Cell Physiology* 44(5): 473-480.
- Punyatong, M., P. Pongpiachan, P. Pongpiachan, D. Karladee and S. Mankhetkorn. 2008. Cytotoxicity of crude proanthocyanidin extract from purple glutinous rice bran (*Oryza sativa* L.) (Kum Doi Saket) compared with cyanidin 3-glucoside on X63 myeloma cancer cell lines. *Kasetsart Journal: Natural Science* 42(4): 676-681.
- Rahman, M.M., K.E. Lee, E.S. Lee, M.N. Matin, D.S. Lee, J.S. Yun, J.B. Kim and S.G. Kang. 2013. The genetic constitutions of complementary genes *Pp* and *Pb* determine the purple color variation in pericarps with cyanidin-3-O-glucoside depositions in black rice. *Journal of Plant Biology* 56: 24-31.
- Wrolstad, R.E. 2001. The possible health benefits of anthocyanin pigments and polyphenolics. (Online). Available: [Http://lpi.oregonstate.edu/ss01/anthocyanin.html](http://lpi.oregonstate.edu/ss01/anthocyanin.html) (June 12, 2016).
- Xia, M., W.H. Ling, J. Ma, D.D. Kitts and J. Zawistowski. 2003. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. *Journal of Nutrition* 133: 744-751.
- Xu, Z., N. Hua and J.S. Godber. 2001. Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and gamma-oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis(2-methylpropionamidine) dihydrochloride. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 2077-2081.
- Yamanaka, S., I. Nakamura, K.N. Watanabe and Y. Sato. 2004. Identification of SNPs in the waxy gene among glutinous rice cultivars and their evolutionary significance during the domestication process of rice. *Theoretical and Applied Genetics* 108: 1200-1204.
- Yanagisawa, T., C. Kiribuch-Otobe, H. Hirano, Y. Suzuki and M. Fujita. 2003. Detection of single nucleotide polymorphism (SNP) controlling the waxy character in wheat by using a derived cleaved amplified polymorphic sequence (dCAPS) marker. *Theoretical and Applied Genetics* 107: 84-88.