

การประเมินการแสดงออกของยีนที่ควบคุมลักษณะสารแอนโทไซยานิน ในไหมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

Estimate of gene action on anthocyanin contents in corn silk of purple waxy corn

เอกรินทร์ สาริพัท^{1*}, รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย³, พลัง สุริหาร² และ กมล เลิศรัตน์²

Eakrin Sarepoua^{1*}, Ratchada Tangwongchai³, Bhalang Suriharn² and Kamol Lertrat²

บทคัดย่อ: ในปัจจุบันมีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดพันธุ์ใหม่ให้มีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูงในส่วนประกอบของฝัก แต่ข้อมูลลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของสารแอนโทไซยานินยังมีจำกัดโดยเฉพาะในไหม ดังนั้นเพื่อให้การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดให้ไหมมีสารแอนโทไซยานินสูงอย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำการศึกษาอิทธิพลของยีนที่ควบคุมลักษณะดังกล่าว โดยการใช้พันธุ์ข้าวโพดที่มีความแตกต่างกันของปริมาณสารแอนโทไซยานินสูงและต่ำในไหม ใน 2 ฤดูปลูก และ 2 การปลูก จากผลการทดลอง พบว่า ฤดูปลูก และอิทธิพลร่วมระหว่างฤดูปลูกกับประชากรในชั่วรุ่นต่างๆ มีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินโดยรวม และสารแอนโทไซยานิน ชนิด cyanidin 3-glucoside โดยในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าฤดูฝน ส่วนอิทธิพลของยีนที่ควบคุมลักษณะสารแอนโทไซยานินในไหมข้าวโพด มีอิทธิพลของยีนเป็นแบบข่มมากกว่าแบบผลบวก โดยในสารแอนโทไซยานินโดยรวม และแอนโทไซยานิน ชนิด cyanidin 3-glucoside มีอิทธิพลปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนต่างตำแหน่งแบบข่มกับข่มมากที่สุด และมีค่าไปในทิศทางบวก ซึ่งในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเพื่อเพิ่มปริมาณสารแอนโทไซยานินสามารถใช้ประโยชน์จากอิทธิพลการข่มของยีนในการสร้างพันธุ์ลูกผสม เพื่อเพิ่มปริมาณสารแอนโทไซยานินในไหมได้

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของชั่วรุ่น, ข้าวโพดฝักสด, ปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด

ABSTRACT: There are currently breeding new characteristics of corn with high anthocyanin in parts of ear. But, the information background of gene action of anthocyanin inheritance still limited, especially in silk. There are important in breeding program for develop high anthocyanin in corn silk. Therefore, determine gene effects controlling of anthocyanin concentration in corn silk of waxy corn by generation mean analysis for two cross with difference parent in high and low contents of anthocyanin in two season. The results showed that the influence of season and interaction have affects to quantity of total anthocyanin and cyanidin 3-glucoside. The mean of all anthocyanin contents in dry season higher than in rainy season. The generation mean analysis indicates the importance of large dominance gene effects for all anthocyanin contents more than additive gene governing the inheritance of these traits in corn silk. The pooled of dominance $\times$ dominance epistatic effects for total anthocyanin contents and cyanidin 3-glucoside was greater than additive gene effects and a positive direction. The selection breeding can utilized dominance gene effects for developing corn hybrids variety to increase anthocyanins in silk.

Keywords: generation mean analysis, vegetable corns, corn breeding

¹ สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ 46000

Department of Plant Production Technology, Faculty of Agro-Industrial technology, Kalasin University, Kalasin 46000, Thailand

² ภาควิชาพืชศาสตร์ และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

³ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Department of Food Technology, Faculty of Technology, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

* Corresponding author: i.eak_@hotmail.com

บทนำ

ข้าวโพดฝักสด (vegetable corns) เป็นพืชที่มีความสำคัญของโลก รวมทั้งประเทศไทยมีปริมาณการผลิต การแปรรูป และการส่งออกอยู่ในอันดับต้นๆ ของโลก โดยเฉพาะข้าวโพดหวานพิเศษ ข้าวโพดฝักอ่อน และข้าวโพดข้าวเหนียว ส่วนใหญ่ข้าวโพดฝักสดมีการใช้ประโยชน์จากส่วนของฝักเพื่อบริโภค เปลือกและลำต้นใช้เป็นปุ๋ยพืชสดและเลี้ยงสัตว์ แต่ส่วนประกอบหนึ่งที่มีมูลค่าสูง ซึ่งผู้ผลิตยังให้ความสำคัญน้อยและมีการใช้ประโยชน์ไม่คุ้มค่า คือ โหมดข้าวโพด (corn silks) เส้นโหมดข้าวโพดมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีใยอาหาร โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระในของกลุ่มสารฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ (Ren et al., 2009); Liu et al., 2011) และสารแอนโทไซยานิน (Ku et al., 2009)

โหมดข้าวโพด เป็นที่ยอมรับว่า มีสรรพคุณในการลดความเสี่ยงการเกิดโรคได้หลายชนิด ได้แก่ สามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด สามารถลดความเสี่ยงโรคในระบบทางเดินปัสสาวะ และช่วยควบคุมปริมาณกรดยูริก ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเกาต์และโรคไขข้ออักเสบได้ (Hasanudin et al., 2012) ภายหลังได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารฟอกพิษเคมีที่ทำให้โหมดข้าวโพดมีฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าว โดยพบว่าสารออกฤทธิ์ในโหมดข้าวโพดหวาน ข้าวโพดข้าวเหนียว และข้าวโพดฝักอ่อนเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Liu et al., 2011) และโหมดข้าวโพดสีม่วงเป็นสารแอนโทไซยานิน (Sarepoua et al., 2015) โดยมีรายงานการวิจัยฤทธิ์ทางชีวภาพของโหมดข้าวโพดที่บ่งชี้ว่า โหมดข้าวโพดเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีจากธรรมชาติ โดยมีการนำโหมดข้าวโพดไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มมูลค่าในแง่มิติสุขภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น เช่น เครื่องสำอาง ยารักษาโรค และอาหารเพื่อสุขภาพ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดพันธุ์ใหม่ๆ เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะข้าวโพดข้าวเหนียว ที่ได้รับการพัฒนาให้มีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูง ทำให้

มีศักยภาพในการผลิตสารแอนโทไซยานินจากส่วนประกอบต่างๆ ของฝัก เช่น เมล็ด เปลือก ชัง และโหมด (Sarepoua et al., 2013; Bhornchai, 2014; Hassanun et al., 2014) โดยเฉพาะโหมดสีม่วงนั้นข้อมูลในการศึกษาวิจัยมีจำกัด อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การใช้ประโยชน์ของโหมดสีม่วงมีศักยภาพที่สุด จึงควรมีการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดให้มีปริมาณสารแอนโทไซยานินในโหมดสูง แต่การที่จะปรับปรุงพันธุ์ลักษณะดังกล่าวจำเป็นต้องทราบข้อมูลลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของสารแอนโทไซยานินในโหมดข้าวโพดก่อน เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการแสดงออกของยีนที่ควบคุมและใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดวิธีการปรับปรุงพันธุ์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุด และเป็นข้อมูลในการผลิตและการใช้ประโยชน์ของโหมดข้าวโพด

วิธีการศึกษา

งานทดลองในครั้งนี้ เป็นการศึกษาในประชากรข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีความแตกต่างกันในลักษณะปริมาณสารแอนโทไซยานินในโหมด โดยประชากรที่ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ มีความแตกต่างในลักษณะสีเมล็ด ชัง และโหมดสีม่วง (KNDp และ KND10) และสายพันธุ์ที่มีเมล็ด แกนฝักและโหมดสีขาว (KNDw และ 101LA) ทำการสร้างประชากรทั้งหมดจำนวน 6 ชั่วรุ่น ได้แก่ 1) สายพันธุ์แม่ (P_1) 2) สายพันธุ์พ่อ (P_2) 3) ลูกผสมชั่วรุ่นที่ 1 (F_1) 4) ลูกผสมชั่วรุ่นที่ 2 (F_2) 5) คู่ผสมย้อนกลับ (backcross) ไปหาสายพันธุ์แม่ (BCP_1) และ 6) คู่ผสมย้อนสายพันธุ์พ่อ (BCP_2) เพื่อใช้ในการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยทำการปลูกทดสอบประชากรนำที่ศึกษาจากทั้ง 2 คู่ผสม ทั้งหมด 12 ประชากร ปลูกในแปลงที่มีขนาดแถวยาว 5 เมตร จำนวน 5 แถวต่อสายพันธุ์/พันธุ์ ระยะห่างระหว่างแถว 80 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ข้างละ 8 แถว จำนวนทั้ง 12 สิ่งทดลอง ควบคุมการผสมเกสร และวางแผนการปลูกทดสอบแบบ Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 4 ซ้ำ โดยทำการทดสอบใน 2 ฤดูปลูก

คือ ฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคม 2556 และฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2556 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2557 ที่หมวดพืชผัก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การเก็บตัวอย่างใหม่ในระยะเก็บเกี่ยวข้าวโพดฝักสดหลังจากการผสมเกสรแล้ว 18-20 วัน (R4 growth stage) และนำตัวอย่างใหม่มาทำแห้งโดยอบด้วยอุณหภูมิที่ 60°C เวลา 48 ชั่วโมงตามวิธีของ (Liu et al., 2011) จากนั้นนำตัวอย่างใหม่ข้าวโพดไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (grinder) และนำไปเก็บรักษาโดยแพ็คใส่ถุงพลาสติกด้วยเครื่องซีลสุญญากาศจากนั้นนำไปเก็บในตู้ควบคุมความชื้น เพื่อรอนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญต่อไป

การสกัดสารแอนโทไซยานินจากไหมข้าวโพดตัดแปรวิธีสกัดตามวิธีของ Yang and Zhai (2010) โดยใช้ตัวอย่างไหมข้าวโพดจำนวน 1 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลาย 1 เปอร์เซ็นต์ กรดไฮโดรคลอริก ในเมทานอล ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ในขวด flask ขนาด 50 มิลลิลิตร และนำไปปั่นในเครื่อง water bath shaker ด้วยอุณหภูมิ 70°C ประมาณ 1.5 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และนำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง rotary flash evaporator และปรับปริมาณสุดท้าย 5 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล

การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานิน วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมด้วย UV-vis spectrophotometer ซึ่งดัดแปลงวิธีการของ Ku et al. (2009) โดยรายงานผลในการเปรียบเทียบหน่วยเป็นไมโครกรัมของ cyanidin 3-glucoside equivalents (C3G) ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (μg C3G/g dried sample) การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของแอนโทไซยานินด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) ซึ่งดัดแปลงวิธีการของ Ren et al. (2009) โดยสารมาตรฐานที่ใช้ในครั้งนี้ มีทั้งหมด 3 ชนิด ประกอบด้วย แอนโทไซยานิน บริสุทธิ์ cyanidin 3-glucoside (C3G), pelargonidin 3-glucoside (Pg3G) และ peonidin 3-glucoside (Pn3G)

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ RCB เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของชั่วรุ่น (generation mean analysis; GMA) ของปริมาณสารแอนโทไซยานินในแต่ละชั่วรุ่นต่างๆ ตามวิธีการของ Mather and Jinks (1982)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Table 1) ในประชากรกลุ่มสมที่ 1 (KNDp x KNDw) และประชากรกลุ่มสมที่ 2 (101LA x KND10) พบว่า ประชากรแต่ละชั่วรุ่น (generation) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกลักษณะที่ศึกษา ส่วนอิทธิพลของฤดูปลูกต่อประชากรในแต่ละชั่วรุ่น พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในปริมาณสารแอนโทไซยานินโดยรวม และสารแอนโทไซยานิน ชนิด cyanidin 3-glucoside แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกันในชนิด pelargonidin 3-glucoside และ peonidin 3-glucoside ส่วนอิทธิพลระหว่างชั่วรุ่นกับฤดูปลูก ทั้ง 2 กลุ่มสม มีสอดคล้องกันในปริมาณสารแอนโทไซยานินโดยรวม และสารแอนโทไซยานิน ชนิด cyanidin 3-glucoside ซึ่งชนิดของสารแอนโทไซยานินที่มีในข้าวโพดส่วนใหญ่เป็นชนิด cyanidin 3-glucoside แสดงว่าฤดูปลูกมีอิทธิพลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในไหมข้าวโพด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Knievel et al. (2009) ที่พบว่าฤดูปลูกมีผลให้ปริมาณของสารแอนโทไซยานินในพันธุ์ข้าวสาลีมีความแตกต่างกันในแต่ละปี

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Table 2) พบว่า ในฤดูแล้งมีปริมาณสารสูงกว่าในฤดูฝน และพบว่าค่าเฉลี่ยในลูกผสมชั่วรุ่นที่ 1 (F_1) ในกลุ่มสมที่ 1 (KNDp x KNDw) มีค่าสูงกว่ากลุ่มสมที่ 2 (101LA x KND10) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (Mid-parents) ยกเว้น ชนิด pelargonidin 3-glucoside ที่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเทียบกับพันธุ์พ่อหรือแม่ที่มีลักษณะ

ปริมาณสารสูงพบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดสารและคู่ผสม เนื่องจากอิทธิพลของลักษณะความดีเด่นของลูกผสม (heterosis) ในแต่ละคู่ ส่วนในลูกผสมชั่วรุ่นที่ 2 (F_2) มีความแปรปรวนในปริมาณสารสูงที่สุด ซึ่งสามารถดูจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และในชั่วรุ่นผสมย้อนกลับไปหาพ่อหรือแม่ที่มีปริมาณสารสูง พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ในปริมาณสารแอนโทไซยานินโดยรวมและชนิด cyanidin 3-glucoside แต่ในชนิด pelargonidin 3-glucoside และ peonidin 3-glucoside มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ทั้งสองฤดู อย่างไรก็ตาม ลักษณะที่ปรากฏที่เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์พ่อหรือแม่ทั้งในพันธุ์ที่มีลักษณะสารสูงและต่ำ ลูกผสมที่ได้จะแสดงลักษณะออกมาไปในทางแม่มากกว่าพ่อ (maternal inheritance) แสดงว่าลักษณะที่ปรากฏ (phenotype) ของลูกจะมีอิทธิพลของพันธุกรรม (genotype) ของฝ่ายแม่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (maternal effect)

จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแต่ละชั่วรุ่น (Table 3) พบว่า อิทธิพลของยีนที่ควบคุมลักษณะปริมาณสารแอนโทไซยานินในไหมข้าวโพดเป็นยีนแบบข่ม (dominance) มากกว่าแบบผลบวก (addi-

tive) โดยมีอิทธิพลของยีนต่างตำแหน่งแบบข่มกับแบบข่ม (dominance x dominance effect) มากที่สุดและมีค่าไปในทิศทางบวก ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการสร้างพันธุ์ลูกผสมที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินในไหมสูง และการปรับปรุงประชากรควรใช้วิธีการคัดเลือกแบบวงจร (recurrent selection) เพื่อสะสมยีนที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของยีนในแต่ละคู่ผสมนั้นมีความแตกต่างกัน และยังไม่มีการศึกษาในประชากรที่พ่อหรือแม่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูงทั้งคู่ จึงยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน เนื่องจาก ความแตกต่างของสายพันธุ์พ่อและแม่ ทำให้มีอิทธิพลของยีนที่ควบคุมลักษณะมีค่าเฉพาะในแต่ละคู่ผสม ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้มีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bhornchai (2014) ที่ทำการศึกษาในเมล็ดและช่ข้าวโพดพบว่า ในเมล็ดมีผลสอดคล้องกันกับไหมข้าวโพด แต่ในช่ข้าวโพดมีอิทธิพลของยีนแบบผลบวกมากกว่าแบบข่ม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมในปริมาณสารแอนโทไซยานินในข้าวโพดช่เหี้ยนนั้น มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประชากรแต่ละคู่ผสม ฤดูการปลูก และส่วนประกอบของข้าวโพด

Table 1 Mean squares of variance in two season of different generation for concentration of anthocyanins in the corn silk of waxy corn crosses

Source	d.f.	Total anthocyanin (TAC)	Cyanidin 3-glucoside (C3G)	Pelargonidin 3-glucoside (Pg3G)	Peonidin 3-glucoside (Pn3G)
Cross 1 (KNDp x KNDw)					
Season (S)	1	21,816 *	16,293 *	2,388 ns	753 ns
Replication/S	2	4,131	18,678	517	265
Generation (G)	5	411,866 **	206,392 **	62,181 **	5,712 **
S x G	5	14,698 *	12,922 *	173 ns	128 ns
Error	556	8,654	6,488	743	196
Total	569				
Cross 2 (101LA x KND10)					
Season (S)	1	13,755 *	11,325 *	2,921 ns	261 ns
Replications/S	2	8,603	4,582	214	136
Generation (G)	5	102,745 **	83,935 **	29,680 **	3,623 **
S x G	5	18,231 *	8,191 *	242 ns	338 ns
Error	556	10,321	6,137	704	187
Total	569				

*, **, ns Significant at the 5% and 1% probability levels, and non-significant, respectively.

Table 2 Means and standard error of different generation for concentration of anthocyanins in the corn silk of waxy corn crosses

Generation	Total anthocyanin		Cyanidin 3-glucoside (C3G)		Pelargonidin	Peonidin
	rainy season	dry season	rainy season	dry season	3-glucoside(Pg3G)	3-glucoside(Pn3G)
Cross 1 (KNDp x KNDw)						
P1	235.3±4.2 b ^{1/}	273.5±9.6 a	212.1±7.5 a	243.5±9.6 a	38.7±0.8 a	69.4±2.4 a
P2	1.7±0.1 f	1.5±0.3 d	1.3±0.2 e	5.9±0.4 e	1.0±0.2 d	3.7±0.7 e
F1	244.2±3.5 a	266.3±11.4 a	215.2±17.4 a	176.6±8.0 b	21.3±1.3 c	57.8±3.3 b
F2	109.7±35.7 d	111.0±50.4 b	95.9±37.1 c	120.6±88.3 cd	26.2±15.8 bc	33.7±17.0 c
BCP1	118.4±55.1 c	126.0±27.2 b	109.7±26.2 b	127.5±66.9 bc	29.0±11.0 b	36.8±13.2 c
BCP2	51.8±20.6 e	88.0±25.0 c	37.8±12.3 d	105.7±54.1 d	22.3±9.4 c	27.7±11.7 d
Mid-parents	126.9	144.4	111.2	124.7	19.9	36.6
Cross 2 (101LA x KND10)						
P1	1.1±0.1 f	1.3±0.2 e	1.9±0.2 f	5.1±0.6 e	1.6±0.5 d	2.4±0.3 e
P2	199.8±11.5 b	246.8±14.8 a	174.5±6.2 b	207.2±16.6 a	37.0±2.7 a	64.3±2.7 a
F1	210.1±31.8 a	211.0±12.8 b	185.2±13.7 a	166.1±11.8 b	20.6±1.3 c	41.6±1.7 b
F2	109.3±7.5 d	129.5±45.8 cd	105.2±45.0 c	105.8±75.2 d	25.0±14.7 bc	30.1±15.3 cd
BCP1	86.8±18.8 e	113.8±22.5 d	72.7±28.1 e	99.1±45.9 d	23.0±11.9 c	26.5±14.0 d
BCP2	119.9±9.2 c	142.5±26.4 c	95.2±19.2 d	110.4±59.6 c	27.8±10.4 b	32.7±13.5 c
Mid-parents	121.2	148.8	105.8	116.1	18.3	33.4

^{1/} Values in the same column sharing different letters are expressed as significantly different ($p < 0.05$).

Table 3 Estimates of different gene effects for anthocyanin concentration in the corn silks of waxy corn crosses

Parameters	Total anthocyanin		Cyanidin 3-glucoside (C3G)		Pelargonidin 3-glucoside (Pg3G)	Peonidin 3-glucoside (Pn3G)
	rainy season	dry season	rainy season	dry season	side (Pg3G)	(Pn3G)
Cross 1 (KNDp x KNDw)						
m	229.5±12.91**	253.6±23.7**	127.9±26.5**	120.6±30.6**	18.3±9.4**	42.6±4.3**
[a]	171.8±14.5**	174.4±22.5**	117.4±10.2**	118.8±12.6**	18.8±6.4**	32.8±3.3**
[d]	-189.1±27.3**	-209.6±42.2**	-153.6±33.6**	-125.4±20.7	-22.8±8.1**	-65.6±11.0**
[aa]	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[ad]	-127.9±48.1**	-148.8±63.6**	-37.2±9.4*	-55.9±11.1*	-14.3±3.7**	-43.5±10.7**
[dd]	216.9±13.0**	297.6±41.4**	179.9±21.1**	173.1±19.1**	20.7±2.8**	50.8±20.7**
Cross 2 (101LA x KND10)						
m	152.7±15.5**	162.8±25.0**	103.6±14.3**	100.6±29.4**	21.9±4.1**	35.4±5.8**
[a]	148.9±14.0**	137.2±31.7**	103.1±12.1**	101.1±10.4**	22.7±3.1**	30.9±4.8**
[d]	-191.2±20.3**	-206.8±15.5**	-137.6±20.9**	-145.5±23.1**	-28.8±8.4**	-69.5±21.3**
[aa]	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[ad]	-13.6±8.6*	-79.6±54.0*	-31.7±9.4*	-44.6±10.7*	-15.7±2.5**	-47.2±11.5**
[dd]	249.6±25.4**	282.4±31.5**	151.7±29.6**	169.1±20.9**	26.1±2.4**	53.6±21.6**

m, mid-parent; [a], sum of additive effects; [d], pooled of dominance effects [aa], pooled of additive × additive epistatic effects; [dd], pooled of dominance × dominance epistatic effects; [ad], pooled of additive × dominance epistatic.

*, **, ns Significant at the 5% and 1% probability levels, and non-significant, respectively.

สรุป

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงทั้ง 2 กลุ่ม พบว่ามีความสอดคล้องกัน โดยอิทธิพลของฤดูปลูก และอิทธิพลร่วมระหว่างฤดูปลูกกับประชากรในช่วงต่างๆ มีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินโดยรวม และชนิด cyanidin 3-glucoside ซึ่งในฤดูแล้งจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าฤดูฝน และช่วงที่ 1 (F_1) มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ แต่ต่ำกว่าพ่อหรือแม่ที่มีปริมาณสารสูง ส่วนยีนที่ควบคุมปริมาณสารแอนโทไซยานินในไหมข้าวโพด มีอิทธิพลของยีนเป็นแบบข่มมากกว่าแบบผลบวก โดยในสารแอนโทไซยานินโดยรวม และชนิด cyanidin 3-glucoside มีอิทธิพลปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนต่างตำแหน่งแบบข่มกับข่มมากที่สุด และมีค่าไปในทิศทางบวก แต่ในชนิด pelargonidin 3-glucoside และ peonidin 3-glucoside มีอิทธิพลยีนแบบข่มมากที่สุด แต่มีค่าไปในทิศทางลบ ดังนั้น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเพื่อเพิ่มปริมาณสารแอนโทไซยานินในไหมนั้น สามารถใช้ประโยชน์จากยีนแบบข่มเพื่อสร้างเป็นพันธุ์ลูกผสมได้ โดยทำการปรับปรุงประชากรเพื่อสะสมยีนที่ควบคุมลักษณะที่สนใจก่อน เพื่อใช้เป็นแหล่งพัฒนาสายพันธุ์แท้ และสร้างพันธุ์ลูกผสมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Bhornchai, H. 2014. Chemical characterization, antioxidant capacity and inheritance of anthocyanin in purple waxy corn (*Zea mays* L. var. *ceratina*). A thesis for the degree of doctor of philosophy Khon Kean University.
- Hasanudin, K., P. Hashim, and S. Mustafa. 2012. Corn silk (*Stigma Maydis*) in Healthcare: A Phytochemical and Pharmacological Review. *Molecules*. 17: 9697-9715.
- Hussanun, S., B. Suriharn, and K. Lertrat. 2014. Yield and early maturity response to four cycles of modified mass selection in purple waxy corn. *Turkish Journal of Field Crops*. 19: 84-89.
- Knievel, D.C., E.S.M. Abdel-Aal, I. Rabalski, T. Nakamura, and P. Hucl. 2009. Grain color development and the inheritance of high anthocyanin blue aleurone and purple pericarp in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*. 50: 113-120.
- Ku, K.M., S.K. Kin, and Y.H. Kang. 2009. Antioxidant activity and functional components of corn silk (*Zea mays* L.). *Korean Journal of Plant Research*. 22: 323-329.
- Liu, J., C. Wang, Z. Wang, C. Zhang, S. Lu, and J. Liu. 2011. The antioxidant and free-radical scavenging activities of extract and fractions from corn silk (*Zea mays* L.) and related flavone glycosides. *Food Chemistry*. 126: 261-269.
- Mather, K., and J.L. Jinks. 1982. *Introduction to Biometrical Genetics*. Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Ren, S.C., Z.L. Liu, and X.L. Ding. 2009. Isolation and identification of two novel flavone glycosides from corn silk (*Stigma maydis*). *Journal of Medicinal Plants Research*. 3: 1009-1015.
- Sarepoua, E., R. Tangwongchai, B. Suriharn, and K. Lertrat. 2013. Relationships between phytochemicals and antioxidant activity in corn silk. *International Food Research Journal*. 20(5): 2073-2079.
- Sarepoua, E., R. Tangwongchai, B. Suriharn, and K. Lertrat. 2015. Influence of variety and harvest maturity of on phytochemicals content in corn silk. *Food Chemistry*. 169: 424-429.