

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (L^* , a^* และ b^*) กับปริมาณแอนโทไซยานิน ในเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

Relationship between color value and anthocyanin content in purple waxy corn germplasm

อรุณทิพย์ เหมะธูลิน¹, สกุนกานต์ สิมลา^{1*}, สุรศักดิ์ บุญแดง¹ และ สุดาทิพย์ อินทร์จีน²

Arunthip Hamathulin¹, Sakunkan Simla^{1*}, Surasak Boontang¹ and Sudathip Inchuen²

บทคัดย่อ: การประเมินเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง เพื่อใช้ในการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูง จำเป็นต้องมีเทคนิคและวิธีการที่มีความถูกต้องและแม่นยำ ตลอดจนมีความสะดวกในการประเมินและไม่ทำลายตัวอย่าง ดังนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงพันธุ์ จึงได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (L^* , a^* และ b^*) กับปริมาณแอนโทไซยานิน ในเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียว 31 สายพันธุ์ ร่วมกับพันธุ์ทดสอบ 4 พันธุ์ โดยวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และวัดค่าสีของเมล็ดข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวในระยะเมล็ดพันธุ์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเมล็ดมีสหสัมพันธ์ทางลบกับค่าสี L^* และ b^* (-0.69^{**} และ -0.61^{**}) และมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับค่าสี a^* (0.60^{**}) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แสดงให้เห็นว่าลักษณะค่าสี (L^* , a^* และ b^*) สามารถนำมาใช้คัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดทางอ้อมเพื่อเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานินได้ โดยการคัดเลือกพันธุ์ที่มีค่า L^* ต่ำ ค่า a^* สูง และค่า b^* ต่ำ จะทำให้มีโอกาสได้พันธุ์ข้าวโพดที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้น การศึกษาดังนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากการวัดสีเพื่อเป็นตัวแทนการวัดปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการประเมินเบื้องต้นของโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ที่มีเชื้อพันธุกรรมเป็นจำนวนมาก

คำสำคัญ: *Zea mays* L., สหสัมพันธ์, รงควัตถุสีม่วง, การคัดเลือกทางอ้อม

ABSTRACT: The evaluation of purple waxy corn germplasm for high anthocyanin requires the techniques and methods that were accurate, precise, relatively easy to evaluate and non-destructive. Therefore, to increase the efficiency of breeding program, the relationships between the color value (L^* , a^* and b^*) and the anthocyanin content in 31 waxy corn germplasm with four check varieties were examined. The total anthocyanin content and color value were recorded in the maturation stage. Total anthocyanin content had significant and negative correlations with L^* and b^* color values (-0.69^{**} and -0.61^{**}) and significant and positive correlation with a^* color value (0.60^{**}). The results indicated that color values (L^* , a^* and b^*) might be useful for indirect selection for anthocyanin content in corn. The variety with the low L^* value, high a^* value, and low b^* value also had the high anthocyanin content. This study was the use of color measurement to evaluate total anthocyanin content, and the method is useful for preliminary evaluation of large number of germplasm accessions.

Keywords: *Zea mays* L., correlation, purple pigment, indirect selection

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantarawichai, MahaSarakhm, Thailand 44150

² ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantarawichai, MahaSarakhm, Thailand 44150

* Corresponding author: sakunkans@gmail.com

บทนำ

แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นรงควัตถุธรรมชาติในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งจะพบได้ในส่วนที่มีสีน้ำเงิน สีม่วง แดง และส้ม ของผลไม้และผักจำนวนมาก แอนโทไซยานินเป็นสารที่ละลายในน้ำ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบได้ใน cell sap (แควคิโวลที่มีของเหลวบรรจุอยู่ภายใน) และ epidermis (เนื้อเยื่อชั้นนอกปกคลุมส่วนอื่นๆ ที่อยู่ภายใน) ของส่วนต่างๆ ของพืช มีอิทธิพลสีที่ปรากฏค่อนข้างมาก ทำให้เกิดสีในช่วงสีแดง น้ำเงิน และม่วง โดยจะบดบังสีเขียวและเหลืองของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ไว้ (จริงแท้, 2537; นิธิยา, 2549) แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาและชีววิทยาที่หลากหลาย ได้แก่ คุณสมบัติช่วยต้านอนุมูลอิสระ ลดอาการอักเสบในทางเดินปัสสาวะ ลดความเสี่ยงของตาที่มีผลต่อโรคเบาหวาน โรคต้อหิน และโรคต่อกระฉก ลดอาการสูญเสียความทรงจำระยะสั้น ลดคอเลสเตอรอลและลดความเสี่ยงของการเป็นโรคมะเร็งและต้านไวรัส แต่คุณสมบัติเด่นที่สุดของแอนโทไซยานิน คือ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (สัมพันธ์, 2546; ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่งๆ และวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล ในวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง สารสกัดถูกนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสูงสุด ซึ่งสำหรับแอนโทไซยานินความยาวคลื่นสูงสุดที่ถูกดูดกลืนจะอยู่ในช่วง 490-550 นาโนเมตร ซึ่งจะห่างจากสารฟีนอลิกอื่นๆ ที่สามารถดูดกลืนได้ในช่วง 260-320 นาโนเมตรทำให้สามารถวัดแอนโทไซยานินแยกจากสารฟีนอลิก อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดคือ สารพวกเมลานอยดิน (Melanoidin) และสารอื่นๆ ที่ได้จากการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (Anthocyanin degradation products) สามารถดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินทำให้ค่าที่วัด

ได้ไม่ถูกต้อง ดังนั้น วิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ข้อบกพร่องในจุดนี้ และปัจจุบันเป็นวิธีการวัดปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ส่วนการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแอนโทไซยานิน สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography) การย่อยด้วยกรดและการย่อยด้วยด่างหรือการใช้แมสสเปคโตรมิเตอร์เป็นเทคนิคที่ใช้ร่วมกับเครื่อง HPLC เพื่อการวิเคราะห์แอนโทไซยานินที่ไม่ทราบชนิด (อรุษา, 2554) จะเห็นได้ว่า แต่ละวิธีการมีความจำเป็นต้องใช้สารเคมี และเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะการตรวจสอบด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง อีกทั้งทุกๆ วิธีการประเมิน จะต้องสูญเสียตัวอย่างไป จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการประเมินเชื้อพันธุกรรมที่มีจำนวนมาก

ทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการวัดปริมาณแอนโทไซยานินทางอ้อม คือ การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณแอนโทไซยานินโดยมีรายงานการศึกษาถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวในสตรอเบอร์รี่พบว่า ค่าสี L^* , a^* และ b^* มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแอนโทไซยานินทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ($r = -0.71, 0.52$ และ 0.65 ตามลำดับ) โดยสหสัมพันธ์ที่พบมากที่สุดคือความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a^* กับปริมาณของ pelargonidin-3-rutinoside โดยมีค่า r เท่ากับ -0.87 (Hernanz et al., 2008) และนอกจากนี้ ยังมีรายงานจากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านว่า เมล็ดข้าวโพดที่มีสีม่วงเข้ม จะมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงมาก (Zhoa et al., 2009; Lopez-Martinez et al., 2009; Hu and Xu, 2011; Zilic et al., 2012)

เพื่อเพิ่มทางเลือกในการประเมินปริมาณแอนโทไซยานิน โดยที่ไม่มีการสูญเสียตัวอย่าง การวัดสีจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ซึ่งวิธีการดังกล่าวยังไม่มีรายงานการศึกษาในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณแอนโทไซยานินดังกล่าว จะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูง

โดยเฉพาะการประเมินในเชื้อพันธุกรรมจำนวนมาก ที่มีข้อจำกัดเรื่องการประเมินปริมาณแอนโทไซยานิน ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (L^* , a^* และ b^*) กับปริมาณแอนโทไซยานินในเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (L^* , a^* และ b^*) กับปริมาณแอนโทไซยานิน เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการคัดเลือกทางอ้อม (indirect selection) สำหรับคัดเลือกลักษณะปริมาณแอนโทไซยานิน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

วิธีการศึกษา

ปลูกเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวโพดเทียนที่เมล็ดมีสีม่วงจำนวน 31 พันธุ์ร่วมกับพันธุ์ทดสอบจำนวน 5 พันธุ์ ณ แปลงทดลอง หมวดพืชผัก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น (ละติจูดที่ 16.27° $6.19'$ ลองศาเหนือ ลองจิจูดที่ 102.48° $46.45'$ องศาตะวันออก ความสูงจากระดับน้ำทะเล 199 เมตร) ในฤดูแล้งปี 2554/2555 ดำเนินการปลูกและดูแลรักษาตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ให้น้ำด้วยระบบสปริงเกอร์ตลอดฤดูปลูก และมีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช และศัตรูพืชตามความเหมาะสม

เมื่อถึงระยะเวลาออกฝัก ทำการควบคุมการผสมเกสรในชิ้นส่วนเมล็ด เพื่อให้ได้เมล็ดที่ตรงตามพันธุ์ จากนั้นทำการเก็บเกี่ยวในระยะเมล็ดพันธุ์ (อายุ 35-40 วันหลังผสมเกสร) โดยสุ่มฝักที่มีขนาดเท่ากัน 5 ฝักในแต่ละหน่วยทดลอง ปอกเปลือก ตัดหัวและท้ายฝักออกประมาณ 5 เซนติเมตร ฝานเอาเฉพาะเนื้อจากทั้ง 5 ฝักรวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง นำเมล็ดแต่ละตัวอย่างมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Minolta™ รุ่น Hunterlab Miniscan XE Plus) ในระบบ L^* , a^* และ b^* จากนั้นทำการสกัดแอนโทไซยานิน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยดัดแปลงจากวิธีของ Yang and Zhai (2009) ซึ่งใช้สาร 1% 1M citric acid/80%MeOH

เป็นตัวทำละลาย และทำการวิเคราะห์แอนโทไซยานินทั้งหมด ด้วยวิธีการ pH differential method ตามวิธีของ Giusti and Wrolstad (2001)

บันทึกข้อมูลค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม วิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนของลักษณะที่ศึกษา ตามแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) จำนวน 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น $P \leq 0.05$

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ในเมล็ดเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดที่ต่างพันธุ์กัน จะมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ KCU-WX121068 มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงที่สุด (82.78 mg CGE/100 g sample) รองลงมา คือ เมล็ดข้าวโพดพันธุ์ KCU OP Variety และข้าวโพดพันธุ์ KCU-WX111031 (74.89 และ 48.47 mg CGE/100 g sample ตามลำดับ) และเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ทดสอบพบว่าข้าวโพดพันธุ์ KCU-WX121068 มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดน้อยกว่าพันธุ์ทดสอบที่มีสีม่วง (134.76 mg CGE/100 g sample) อย่างมีนัยสำคัญ แต่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากกว่าพันธุ์ทดสอบที่มีสีเหลือง สีขาว และสีชาวลับม่วงอย่างมีนัยสำคัญ (Table 1)

ในส่วนของค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ที่เป็นค่าที่นิยมในการประเมินลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่ทำการศึกษา โดยค่า L^* ที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า L^* เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีดำ ส่วนค่า a^* ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีแดง แต่ถ้าค่า a^* ที่เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว และในค่า b^* ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ถ้าค่า b^* เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน (สุนทร, 2550) พบว่า เชื้อพันธุกรรมที่ต่างพันธุ์

กันจะมีค่า L^* , a^* และ b^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Table 1) โดยในลักษณะค่า L^* พบว่า เมล็ดข้าวโพดพันธุ์ KKU OP Variety มีค่า L^* น้อยที่สุด ($L^*=23.89$) อย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือข้าวโพดพันธุ์ KKU-WX111031 ($L^*=45.40$) เมื่อเทียบกับพันธุ์ทดสอบพบว่าข้าวโพดพันธุ์ KKU OP Variety และข้าวโพดพันธุ์ KKU-WX111031 มีค่า L^* มากกว่าพันธุ์ทดสอบที่มีเมล็ดสีม่วง ($L^*=14.90$) อย่างมีนัยสำคัญ (Table 1)

ค่า a^* ของเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ KKU OP Variety มีค่า $a^* = 13.44$ ซึ่งมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือข้าวโพดพันธุ์ KKU-WX111031 โดยมีค่า $a^* = 9.12$ โดยเมื่อเทียบกับพันธุ์ทดสอบพบว่าข้าวโพดพันธุ์ KKU OP Variety และข้าวโพดพันธุ์ KKU-WX111031 มีค่า a^* น้อยกว่าพันธุ์ทดสอบที่มีเมล็ดสีม่วง ($a^* = 16.74$) อย่างมีนัยสำคัญ

ค่า b^* ของเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ KKU OP Variety มีค่า b^* คือ -3.90 ที่มีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือข้าวโพดพันธุ์ KKU-WX111031 มีค่า $b^* = -0.22$ และเมื่อเทียบกับพันธุ์ทดสอบพบว่าข้าวโพดพันธุ์ KKU OP Variety และข้าวโพดพันธุ์ KKU-WX111031 มีค่า b^* น้อยกว่าพันธุ์ทดสอบที่มีค่า b^* เท่ากับ -12.63 อย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด พบว่า ลักษณะปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเมล็ดมีสหสัมพันธ์ทางลบกับค่าสี L^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r = -0.69^{**}$ และ -0.61^{**} ตามลำดับ) หมายความว่า เมื่อใดก็ตามที่มีค่าสี L^* และ b^* น้อยลง จะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากขึ้น แต่ลักษณะปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเมล็ดมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับค่าสี a^* ($r = 0.60^{**}$) หมายความว่าเมื่อค่าสี a^* มากขึ้น ค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดก็จะมากขึ้นตามไปด้วยอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Figure 1) จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่ศึกษาในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง เป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาในสตรอเบอร์รี่ (Hernanz et al., 2008)

ในลักษณะค่า L^* และ a^* แต่แตกต่างกันในลักษณะค่า b^* ที่ในสตรอเบอร์รี่มีความสัมพันธ์ในทิศทางที่แตกต่างกับการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งนี้เนื่องจากสีผลของสตรอเบอร์รี่ และสีเมล็ดของข้าวโพดมีความแตกต่างกันเรื่องค่าสี b^* ที่แสดงถึงความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยในข้าวโพดจะแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงินมากกว่าความเป็นสีเหลือง จึงทำให้เมื่อมีความเป็นสีน้ำเงินมาก (ค่า b^* เป็นลบ) จะมีปริมาณแอนโทไซยานินมาก

จะเห็นได้ว่าลักษณะปริมาณแอนโทไซยานินมีความสัมพันธ์กับค่าสี ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการคัดเลือกทางอ้อมในลักษณะปริมาณแอนโทไซยานิน โดยผลจากการศึกษา พบว่าการวัดสี จะสามารถใช้คัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงได้ โดยทำการคัดเลือกพันธุ์ที่มีค่า L^* น้อย ค่า a^* สูง และค่า b^* ต่ำ จะทำให้มีโอกาสได้พันธุ์ข้าวโพดที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงด้วยเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากการประเมินครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการคัดเลือกพันธุ์เบื้องต้นเพื่อประเมินปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่านั้น แต่การตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีตามปกติ ยังคงมีความจำเป็นที่ต้องทำการประเมินในกรณีที่มีจำนวนพันธุ์น้อยลงเพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการคัดเลือกพันธุ์

สรุป

ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (L^* , a^* และ b^*) กับปริมาณแอนโทไซยานินในเชื้อพันธุ์กรรมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเมล็ดมีความสัมพันธ์ทางสถิติในทิศทางทางลบกับค่าสี L^* และ b^* แต่มีความสัมพันธ์ทางสถิติในทิศทางบวกกับค่าสี a^* จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าลักษณะค่าสี สามารถนำมาใช้เพื่อคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงได้เบื้องต้น ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากการคัดเลือกทางอ้อม

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดรับประทานฝักสด ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ภายใต้ความดูแลของรองศาสตราจารย์ ดร.กมล เลิศรัตน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวโพดเทียน และอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในการวิจัย ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กมล เลิศรัตน์, พลัง สุริหาร, จิรวัดณ์ สนิทชน, เพชรรัตน์ ธรรมเบญจพล. 2552. รายงานฉบับสมบูรณ์ การจัดการเชื้อพันธุกรรมและพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวโพดหวานพิเศษ. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2537. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวฝักและผลไม่. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- นิตยา รัตนานนท์. 2549. เคมีอาหาร.โอ.เอส. พรินติ้งเฮาส์. กรุงเทพฯ.
- ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้แอนโทไซยานิน (Anthocyanin). แหล่งข้อมูล: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR21.pdf>. ค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2554
- สัมพันธ์ คัมภีรานนท์. 2546. แอนโทไซยานิน. สีสันเพื่อโลกสวย. 53-56.
- สุนทรী สมแสง. 2550. การเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีของลันจ์ (พันธุ์กวางเจา) ที่ถนอม ด้วยความดันสูงยิ่งและความร้อน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- อรุษาเขาวนลิขิต. 2554. การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 3: 26-36.
- Giusti, M.M., and R.E. Wrolstad. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In: Current Protocol in Food Analytical Chemistry (R.E. Wrolstad., ed.) Jone Willy & Sons Inc., New York, pp. F1.2.1-F1.2.13.
- Hernanz, D., Á.F. Recamales, A.J. Meléndez-Martínez, M.L. González-Miret, and F.J. Heredia. 2008. Multivariate statistical analysis of the color-anthocyanin relationships in different soilless-grown strawberry genotypes. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 2735–2741.
- Hu, Q.P., and J.G. Xu. 2011. Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics, and antioxidant activity of selected color waxy corn grains during maturation. Journal of Agricultural and Food Chemistry 59: 2026-2033.
- Lopez-Martinez, L.X., R.M. Oliart-Ros, G. Valerio-Alfaro, C.H. Lee, K.I. Parkin, and H.S. Garcia. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. LWT-Food Science and Technology 42: 1187-1192.
- Yang, Z., and W. Zhai. 2010. Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). Innovative Food Science and Emerging Technologies 11: 169-176.
- Zhao, X., C. Zhang, C. Guigas, Y. Ma, M. Corrales, B. Tauscher, and X. Hu. 2009. Composition, antimicrobial activity and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. European Food Research and Technology 228: 759-765.
- Zilic, S., A. Serpen, G. Akilloglu, V. Gokmen, and J. Vancetovic. 2012. Phenolic compounds, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea may* L.) kernels. Journal of Agricultural and food chemistry 60: 1224-1231.

Table 1 Source, kernel color, total anthocyanin content (TAC) and color value (L*, a* and b*) of 31 purple seed waxy corn genotypes and four check varieties.

Pedigree	Seed Color	TAC ¹	L*	a*	b*
KKU-WX211001	Purple	14.36 ^{gh2}	63.47 ^{c-j}	1.20 ^{fi}	17.39 ^{b-h}
KKU-WX211003	Purple	26.30 ^f	58.29 ^{e-j}	0.16 ^{ghi}	15.01 ^{b-h}
KKU-WX211004	Purple-yellow	3.63 ^{ijk}	67.24 ^{b-h}	1.33 ^{e-i}	23.93 ^{b-e}
KKU-WX212002	Purple	3.76 ^{ijk}	60.60 ^{e-j}	3.25 ^{d-i}	13.02 ^{d-h}
KKU-WX212003	Purple	7.51 ^{ijk}	53.19 ^{f-j}	0.47 ^{ghi}	9.15 ^{ghi}
KKU-WX212004	Purple	40.33 ^e	57.54 ^{e-j}	4.84 ^{c-g}	10.86 ^{e-i}
KKU-WX212005	Purple	6.68 ^{ijk}	67.41 ^{b-h}	6.63 ^{cde}	11.77 ^{e-i}
KKU-WX212007	Purple-white	2.92 ^{ijk}	75.52 ^{a-e}	2.68 ^{d-i}	21.15 ^{b-g}
KKU-WX212008	Purple-white	4.09 ^{ijk}	81.16 ^{a-d}	3.69 ^{d-h}	23.14 ^{b-f}
KKU-WX221001	Purple	2.17 ^{ijk}	67.78 ^{b-h}	3.09 ^{d-i}	17.69 ^{b-h}
KKU-WX221058	Yellow-purple-white	2.92 ^{ijk}	65.81 ^{c-i}	3.54 ^{d-h}	17.75 ^{b-h}
KKU-WX111031	Dark purple	48.47 ^d	45.40 ^j	9.12 ^{bc}	-0.22 ^{ij}
KKU-WX111032	Purple	7.01 ^{ijk}	75.69 ^{a-e}	5.07 ^{c-g}	17.67 ^{b-h}
KKU-WX111033	White-purple-yellow	2.25 ^{ijk}	76.94 ^{a-e}	4.67 ^{c-g}	21.12 ^{b-g}
KKU-WX111034	Purple	5.76 ^{ijk}	87.96 ^a	3.59 ^{d-h}	25.99 ^{bcd}
KKU-WX111035	Purple	6.76 ^{ijk}	60.99 ^{e-j}	1.88 ^{e-i}	19.07 ^{b-h}
KKU-WX112090	Purple	7.35 ^{ijk}	55.03 ^{f-j}	-1.92 ⁱ	9.10 ^{ghi}
KKU-WX112091	Purple	6.26 ^{ijk}	56.76 ^{e-j}	-0.91 ^{hi}	9.66 ^{fi}
KKU-WX112092	Purple	1.00 ^k	65.26 ^{c-j}	4.25 ^{c-h}	21.84 ^{b-g}
KKU-WX112096	Purple-white	5.18 ^{ijk}	73.19 ^{a-f}	1.86 ^{e-i}	19.96 ^{b-h}
KKU-WX112097	Purple-white-yellow	3.17 ^{ijk}	67.67 ^{b-h}	4.57 ^{c-g}	25.62 ^{bcd}
KKU-WX112098	Purple	8.35 ^{hij}	67.60 ^{b-h}	-0.12 ^{ghi}	17.77 ^{b-h}
KKU-WX112099	Yellow-white-purple	2.25 ^{ijk}	76.40 ^{a-e}	3.14 ^{d-i}	28.35 ^b
KKU-WX112102	Purple-white	1.75 ^{ijk}	83.23 ^{abc}	2.18 ^{d-i}	27.11 ^{bc}
KKU-WX121019	Purple	8.60 ^{hi}	59.74 ^{e-j}	2.32 ^{d-i}	11.12 ^{e-i}
KKU-WX121063	Purple	7.76 ^{ijk}	51.95 ^{g-j}	6.23 ^{c-f}	14.04 ^{c-h}
KKU-WX121069	Purple	6.35 ^{ijk}	46.84 ^{ij}	3.69 ^{d-h}	7.14 ^{hij}
KKU-WX122028	Purple	4.09 ^{ijk}	64.58 ^{c-j}	7.39 ^{cd}	16.26 ^{b-h}
KKU-WX121068	Purple	82.78 ^b	47.79 ^{hij}	9.08 ^{bc}	11.46 ^{e-i}
KKU-WX122026	Purple	15.86 ^g	62.88 ^{d-j}	0.46 ^{ghi}	16.68 ^{b-h}
KKU OP Variety	Dark purple	74.89 ^c	23.89 ^k	13.44 ^{ab}	-3.90 ^{jk}
Check Variety-01	Yellow	1.25 ^{jk}	72.20 ^{a-f}	12.57 ^{ab}	43.76 ^a
Check Variety-02	White	1.34 ^{jk}	86.25 ^{ab}	0.89 ^{ghi}	24.51 ^{b-e}
Check Variety-03	White-purple	3.34 ^{ijk}	71.80 ^{a-g}	2.53 ^{d-i}	15.54 ^{b-h}
Check Variety-04	Dark purple	134.76 ^a	14.90 ^k	16.74 ^a	-12.63 ^k
F-test		**	**	**	**

¹The values were expressed in milligram of cyanidin-3-glucoside per100 gram of sample

²Values followed by the same letter(s) in the column are not significantly different ($P \leq 0.05$).

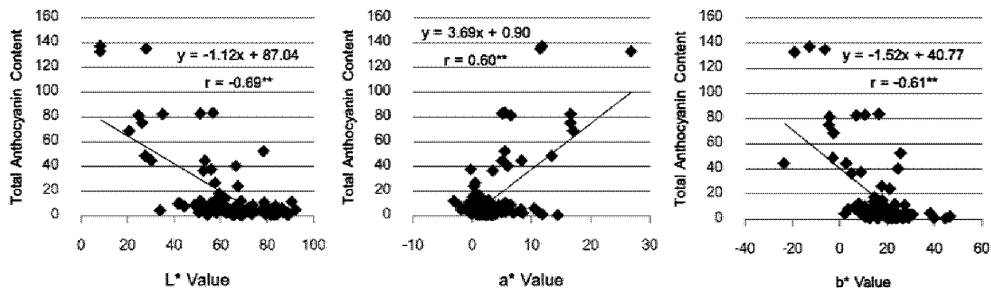


Figure 1 The relationship between the color value (L*, a* and b*) and the anthocyanin content in purple waxy corn genotypes (n=105).