

พัฒนาการของสีและปริมาณแอนโทไซยานินในไหม ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

Development of color and anthocyanin content in silk of purple waxy corn

สกุลกานต์ สิมลา^{1*}, สุรศักดิ์ บุญแต่ง¹, พัทธี สิริตระกุลศักดิ์¹, ณัฐพงษ์ บุราณรัมย์¹
และ สรพงศ์ เบญจศรี²

Sakunkan Simla^{1*}, Surasak Boontang¹, Phatcharee Siritrakulsak¹,
Nattapong Buranrom¹ and Sorapong Benchasri²

บทคัดย่อ: การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาการของสีและปริมาณแอนโทไซยานินในไหมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง จำนวน 4 พันธุ์ คือ KKU-WX111031, KKU OP, KKU Hybrid และ Hybrid Check ที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 13 ระยะ คือ ที่ 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33 และ 36 วันหลังออกไหม โดยวางแผนการทดลองแบบ 4 × 13 Factorial in CRD มี 2 ปัจจัย คือ พันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว 4 พันธุ์ และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 13 ระยะ ภายใต้สภาพแวดล้อมของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม วิทยาเขตในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ระหว่างเดือนตุลาคม 2555 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2556 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และค่าสี (L*, a*, และ b*) ในไหมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ต่างพันธุ์กัน ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันและปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดกับระยะเวลาการเก็บเกี่ยว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% เมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้นจะมีปริมาณแอนโทไซยานิน และค่าสี a* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีค่าสี L* และ b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงพันธุ์ KKU-WX111031 ที่เก็บเกี่ยวระยะ 27 วันหลังออกไหม เป็นระยะที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด

คำสำคัญ: รังควัตถุสีม่วง, ของเหลือใช้จากฝักข้าวโพด, ค่าสี L*, a*, และ b*

ABSTRACT: The objective of this study was to investigate the development of color and anthocyanin in four varieties of purple waxy corn consisting of KKU-WX111031, KKU OP, KKU Hybrid and Hybrid Check at 13 harvesting period (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33 and 36 days after the silk (DAS). The experiment was undertaken in a 4 × 13 factorial experiment in completely randomized design (CRD) with three replications. Four purple waxy corn varieties were assigned as factor A and 13 harvesting time were assigned as factor B. The study was conducted in October 2012 to February 2013 at the old campus of Mahasarakham University, Maha Sarakham. The results showed that highly significant differences among purple waxy corn varieties, harvesting time and interactions between corn varieties and harvesting time for the total anthocyanin content (TAC) and the color value (L*, a* and b*). TAC and a* value tended to be decrease, whereas L* and b* value tended to be increase when increasing harvest time. KKU-WX111031 had the highest TAC when harvested at 37 DAS.

Keywords: purple pigment, corn remaining, color value (L*, a* and b*)

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantarawichai, MahaSarakhm44150

² ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณวิทยาเขตพัทลุงอำเภอป่าพะยอม
จังหวัดพัทลุง 93110

บทนำ

ข้าวโพดข้าวเหนียว (Waxy corn) เป็นข้าวโพดฝักสดที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศของทวีปเอเชีย เมล็ดแห้งมีสีขุ่นทึบแสง แป้งในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวจัดเป็นแป้งอ่อน (soft starch) เมล็ดสดเมื่อต้มสุกจะมีลักษณะเหนียวนุ่ม เนื่องจากมีปริมาณ amylopectin สูง (ชฎามาศ และคณะ, 2553) ข้าวโพดข้าวเหนียวเป็นพืชที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรม จึงทำให้มีพันธุ์ข้าวโพดจำนวนมาก สามารถรวบรวมได้จากแหล่งต่างๆ ทั้งจากในประเทศและต่างประเทศ โดยมีทั้งพันธุ์พื้นเมือง (เชื้อพันธุ์กรรม หรือพันธุ์ผสมเปิด) และพันธุ์ทางการค้า (พันธุ์ผสมเปิด หรือพันธุ์ลูกผสม) แต่ละพันธุ์จะมีลักษณะที่ต่างกัน เช่น จำนวนแถว รูปทรงฝัก ขนาดฝัก โดยเฉพาะสีของเมล็ดที่มีความหลากหลายมาก ตั้งแต่สีขาว ขาวนวล เหลืองนวล เหลือง เหลืองทอง ส้ม ชมพู แดง ม่วงแดง ม่วง ม่วงดำ น้ำเงิน เทา จนถึงสีดำ (Abdel-Aal et al., 2006; Zhao et al., 2008; Lopez-Martinez et al., 2009; Hu and Xu, 2011) โดยสีของเมล็ดข้าวโพดจะแตกต่างกันไปตามลักษณะทางพันธุกรรมของข้าวโพดชนิดนั้น

ผลจากการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวทำให้ได้ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ใหม่ คือข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ข้าวโพดชนิดนี้มีสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุธรรมชาติในกลุ่มฟลาโวนอยด์ พบในส่วนที่มีสีน้ำเงิน สีม่วง สีแดง และสีส้มของผลไม้และฝักจำนวนมาก (Jing et al., 2007) แอนโทไซยานินมีความสามารถในการต้านทานสารอนุมูลอิสระได้สูงกว่าวิตามินซี ช่วยลดโอกาสการเกิดมะเร็ง ช่วยเสริมสร้างให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรค สมานแผล เสริมภูมิคุ้มกันได้ดีและส่งเสริมการทำงานของเม็ดเลือดแดงอีกด้วย (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ชนิดของแอนโทไซยานินที่พบในข้าวโพดมี 3 กลุ่ม คือ cyanidin derivatives, peonidin derivatives และ pelargonidin derivatives กลุ่มของ cyanidin derivatives เป็นกลุ่มที่พบมากที่สุด ส่วนปริมาณของกลุ่ม peonidin derivatives จะมีมากหรือน้อยกว่ากลุ่มของ

pelargonidin derivatives นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวโพด (Zhao et al., 2008; Zhao et al., 2009; Castaneda-Ovendo, 2010)

ปัจจุบันการใช้ประโยชน์ในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงยังมีจำกัด คือมีการใช้ประโยชน์จากเมล็ดสดเพื่อการบริโภคเท่านั้น การใช้ประโยชน์จากส่วนอื่นๆ ยังมีน้อย ในส่วนของไหมข้าวโพดนั้นเริ่มมีการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่น ชาไหมข้าวโพดที่มีสรรพคุณช่วยขับปัสสาวะ ขับน้ำดี รักษาไตอักเสบ ช่วยลดกรดในกระเพาะอาหาร และยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย (เจนจิรา, 2553) โดยมีการศึกษาพบว่าไหมของข้าวโพดมีคุณค่าทางโภชนาการ และสารสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (Rahman and Rosli, 2014) ไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงในแต่ละพันธุ์นั้นจะมีความเข้มของสีไหมที่แตกต่างกัน และระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันยังส่งผลทำให้สีไหมแตกต่างกันไปด้วย (อรุณทิพย์, 2556) ดังนั้นเพื่อให้ใช้ประโยชน์จากไหมให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด การศึกษาการพัฒนาสีไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเก็บข้าวโพดให้ได้ระยะที่มีสีไหมเข้มมากที่สุด สำหรับต่อยอดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป

วิธีการศึกษา

ดำเนินการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวที่เมล็ดมีสีม่วงจำนวน 4 พันธุ์ ณ แปลงทดลองการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม วิทยาเขตในเมือง ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม (ละติจูดที่ 16° 6' องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 103° 12' องศาตะวันออก ความสูงจากระดับน้ำทะเล 151 เมตร) ระหว่างเดือนตุลาคม 2555 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2556 วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Completely randomized design) มี 2 ปัจจัย คือ พันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว 4 พันธุ์ คือ KKU-WX111031, KKU OP, KKU Hybrid และ Hybrid Check และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 13 ระยะ คือ ที่ 0,

3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33 และ 36 วัน หลังออกไหม มีทั้งสิ้น 52 สิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 156 หน่วยทดลอง เมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตถึงระยะออกดอกเลือกต้นที่สมบูรณ์แข็งแรงและมีความสม่ำเสมอมีลักษณะตรงตามสายพันธุ์ โดยเมื่อฝักเริ่มแทงจากข้อลำต้น โดยที่ไหมยังไม่โผล่ ทำเครื่องหมายที่ฝัก โดยการหนีบด้วยเชือกฟางเพื่อระบุนวันที่ออกไหม จากนั้นทำการเก็บฝักตามอายุใน 13 ระยะการเก็บเกี่ยว โดยเก็บฝักบรรจุลงในถุงตาข่าย หน่วยทดลองละ 3 ฝัก ทำการประเมินค่าสีของผลสด ด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter) ในรูปของค่า L^* a^* และ b^* จากนั้นนำไหมข้าวโพดมาปั่นให้ละเอียด และเก็บที่ตู้แช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) ทำการสกัดองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างไหมข้าวโพด ตามวิธีการของ Yang et al. (2009) ซึ่งใช้สาร 1% 1M citric acid/80%MeOH เป็นตัวทำละลาย และทำการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยวิธีการ pH differential method ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ตามวิธีของ Giusti and Wrolstad (2001) ทำการบันทึกข้อมูลค่าสี และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี และปริมาณแอนโทไซยานิน ตามแผนการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (CRD) มี 2 ปัจจัย คือ พันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว 4 พันธุ์ และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 13 ระยะ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการ least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นอย่างน้อย 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลจากการศึกษาพัฒนาการของสีไหมในข้าวโพดข้าวเหนียว 4 พันธุ์ที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 13 ระยะ ได้ผลการศึกษา ดังนี้

1. ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

ไหมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงต่างพันธุ์กัน ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน และปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ลักษณะ มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Table 1) แสดงให้เห็นว่าปริมาณแอนโทไซยานินในไหมขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว โดยพบว่าไหมของข้าวโพดพันธุ์KKU-WX111031 เก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 27 วันหลังออกไหม มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ ไหมของพันธุ์KKU-WX111031 เก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 36 วันหลังออกไหม ส่วนไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์KKU-WX111031 ที่เก็บเกี่ยวที่ระยะ 0 วันหลังออกไหม มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดน้อยที่สุด (Table 2 and Figure 1) เห็นได้ว่าไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น จะมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงตามไปด้วย ผลที่ได้เช่นนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของอรุณทิพย์ (2556) ที่ทำการประเมินปริมาณแอนโทไซยานินในเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พบว่าไหมในระยะรับประทานฝักสด (20-22 วันหลังออกไหม) มีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยกว่าไหมในระยะเก็บเมล็ดพันธุ์ (35-40 วันหลังออกไหม) อย่างมีนัยสำคัญจะเห็นได้ว่ามีปริมาณแอนโทไซยานินสูงขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากเมื่อไหมมีอายุมากขึ้นจะมีสีเข้มขึ้นเป็นสีม่วงเข้ม หรือสีดำ ซึ่งสีดังกล่าวนี้เป็นรงควัตถุในกลุ่มของแอนโทไซยานิน จึงทำเมื่อไหมมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงขึ้นตามไปด้วย

Table 1 Mean square of total anthocyanin content (TAC) and color value (L*, a* and b*) of analysis of variance.

Source	DF	TAC	L*	a*	b*
TIME	12	391967.0 **	3789.7 **	272.6 **	1606.9 **
VAR	3	15363.0 **	223.0 **	63.6 **	155.4 **
TIME*VAR	36	12536.0 **	98.1 **	18.2 **	89.0 **
Error	102	609.0	26.5	0.9	2.7
C.V. (%)		14.4	16.5	32.1	17.4

** Significantly at $P \leq 0.01$.

Table 2 The total anthocyanin content in 13 stages of four purple waxy corn varieties .

Harvesting Time (day to silk)	Varieties				Harvesting Time Mean
	KKU-WX111031	KKU OP	KKU Hybrid	Hybrid Check	
0	0.08 p ^{1/}	0.00 p	0.00 p	0.00 p	0.02 h
3	0.00 p	0.58 p	3.34 p	0.75 p	1.17 h
6	0.42 p	0.88 p	0.75 p	3.38 p	1.36 h
9	2.38 p	0.08 p	0.83 p	0.33 p	0.91 h
12	1.88 p	1.00 p	38.20 nop	1.88 p	10.74 h
15	63.25 mn	82.28 lm	34.98 nop	113.09 l	73.4 g
18	84.66 lm	53.77 mno	70.89 mn	21.29 op	57.65 g
21	166.07 k	110.96 l	298.58 gh	249.48 i	206.27 f
24	302.58 gh	254.99 i	472.66 b	297.07 gh	331.83 d
27	573.73 a	331.89 fg	498.21 b	471.53 b	468.84 a
30	269.02 hi	207.40 j	357.31 ef	405.41 cd	309.79 e
33	265.51 hi	387.37 cde	368.21 def	418.18 c	359.82 c
36	547.43 a	423.82 c	255.12 i	415.93 c	410.57 b
Varieties Mean	175.16 a	142.69 b	184.55 a	184.49 a	

^{1/}Means separation in a row (varieties mean), column (harvesting time mean) and interaction between varieties and harvesting time with different letters are significant ($p \leq 0.05$) determined by LSD.

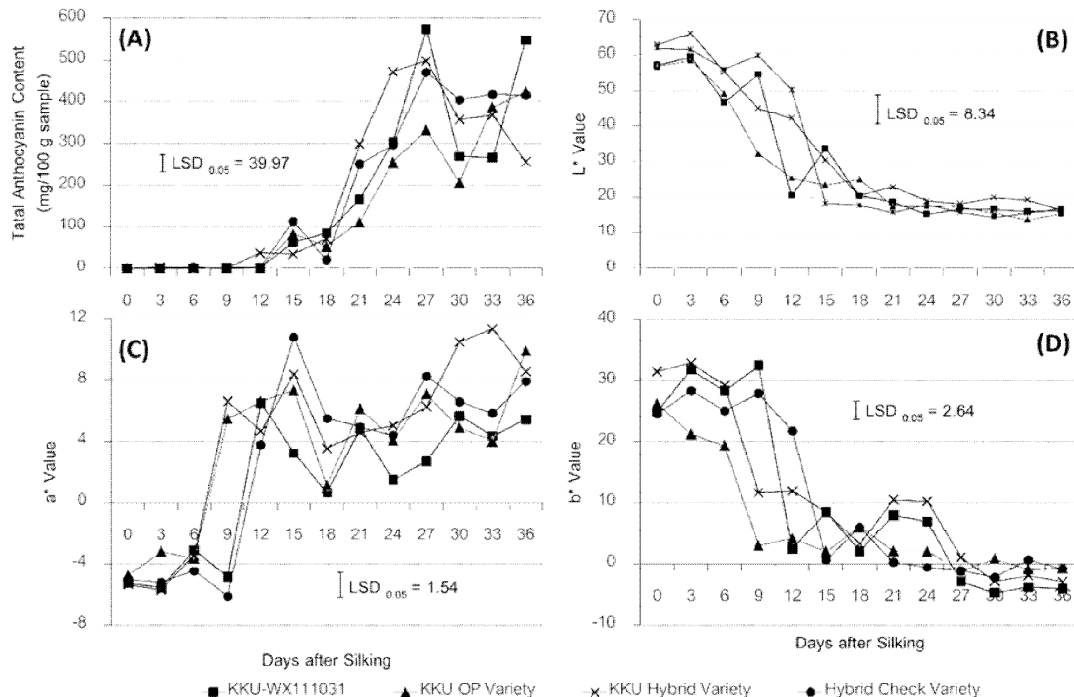


Figure 1 The total anthocyanin content (A) and the $L^{*1/}$, $a^{*2/}$ and $b^{*3/}$ color value (B, C and D) in 13 stages of four purple waxy corn varieties .

^{1/}L* scale: Light vs. dark where a low number (0-50) indicates dark and a high number (51-100) indicates light.

2. คำบ่งบอกความสว่าง (ค่าสี L^*)

ไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงต่างพันธุ์กัน ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน และปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ลักษณะมีผลให้ค่าสี L^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Table 1) แสดงให้เห็นว่าค่าสี L^* ของไหมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงขึ้นอยู่ กับพันธุ์และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว โดยไหมพันธุ์ KKU OP เก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 33 วันหลังออกไหม จะมีค่า สี L^* เฉลี่ยต่ำที่สุดรองลงมาคือ ไหมพันธุ์ Hybrid Check เก็บเกี่ยวที่ระยะ 30 วันหลังออกไหม ส่วนไหม ของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ KKU Hybrid ที่เก็บเกี่ยว ที่ระยะ 3 วันหลังออกไหม จะมีค่าสี L^* มากที่สุด (Ta- ble 3 and Figure 1) โดยภาพรวมพบว่าเมื่อระยะเวลา

การเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น ค่าสี L^* มีแนวโน้มลดลงแสดง ให้เห็นว่าสีของไหมเข้มขึ้น เนื่องจากเมื่อไหมมีอายุมาก ขึ้นมีการสะสมของรงควัตถุที่มีสีเข้ม คือ สีม่วง สีแดง และสีดำ ที่เป็นรงควัตถุในกลุ่มของแอนโทไซยานิน มากขึ้น การที่ค่าสี L^* ที่น้อยลง บ่งบอกว่ามีความสว่าง ลดลง หรือมีสีเข้มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรุณทิพย์ (2556) ที่ทำการประเมินปริมาณ แอนโทไซยานินในเชื้อพันธุ์กรรมข้าวโพดข้าวเหนียว สีม่วง พบว่าไหมในระยะรับประทานฝักสดมีค่า L^* มากกว่าไหมในระยะเก็บเมล็ดพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าใน ระยะรับประทานฝักสดไหมมีความสว่างมาก ส่วนใน ระยะเก็บเมล็ดพันธุ์ไหมมีสีเข้มมาก

Table 3 The $L^{*1/}$ value in 13 stages of four purple waxy corn varieties.

Harvesting Time (day to silk)	Varieties				Harvesting Time
	KKU-WX111031	KKU OP	KKU Hybrid	Hybrid Check	Mean
0	57.33 bcd ^{2/}	56.90 bcd	63.05 ab	62.05 abc	59.83 a
3	59.56 abc	58.68 abc	66.20 a	61.57 abc	61.50 a
6	46.79 ef	49.33 def	55.44 bcd	56.20 bcd	51.94 b
9	54.64 cde	32.28 gh	45.15 f	60.08 abc	48.04 b
12	20.53 j-m	25.56 g-j	42.27 f	50.30 def	34.67 c
15	33.80 g	23.59 i-l	30.39 ghi	18.33 j-m	26.53 d
18	20.52 j-m	25.22 h-k	20.53 j-m	17.75 j-m	21.01 e
21	18.60 j-m	17.60 j-m	23.02 j-m	15.89 lm	18.78 ef
24	15.30 lm	17.63 j-m	18.98 j-m	17.93 j-m	17.46 ef
27	16.84 lm	17.31 j-m	18.24 j-m	15.85 lm	17.06 ef
30	16.72 lm	15.61 lm	19.86 j-m	14.47 m	16.67 f
33	16.14 lm	13.85 m	19.24 j-m	15.68 lm	16.23 f
36	16.28 lm	15.54 lm	16.49 lm	16.93 klm	16.31 f
Varieties Mean	30.24 bc	28.39 c	33.76 a	32.54 ab	

^{1/} L^* scale: Light vs. dark where a low number (0-50) indicates dark and a high number (51-100) indicates light.

^{2/} Means separation in a row (varieties mean), column (harvesting time mean) and interaction between varieties and harvesting time with different letters are significant ($p \leq 0.05$) determined by LSD.

3. ค่าบ่งบอกความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (ค่าสี a^*)

ไหมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ต่างพันธุ์กัน ระยะเวลากการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน และปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ลักษณะทำให้ค่าสี a^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Table 1) แสดงให้เห็นว่าค่าสี a^* ของไหมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะเวลากการเก็บเกี่ยว โดยไหมพันธุ์ KKU Hybrid เก็บเกี่ยวที่ระยะ 33 วันหลังออกไหม มีค่าสี a^* หรือค่าความเป็นสีแดงเฉลี่ยสูงที่สุดรองลงมาคือ ไหมพันธุ์ Hybrid Check เก็บเกี่ยวที่ระยะ 15 วันหลังออก

ไหม ส่วนไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ Hybrid Check ที่เก็บเกี่ยวที่ระยะ 9 วันหลังออกไหม มีค่าสี a^* น้อยที่สุด (Table 4, Figure 1) เห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น ค่าสี a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น บ่งบอกความเป็นสีแดงมากขึ้น และมีค่าความเป็นสีเขียวลดลง เนื่องจากการสะสมของรงควัตถุที่มีสีเข้ม คือ สีม่วง สีแดง และสีดำ ซึ่งอยู่ในกลุ่มของแอนโทไซยานินมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของอรุณทิพย์ (2556) ที่พบว่าในระยะรับประทานผักสดใหม่มีค่า a^* ต่ำ มีความเป็นสีแดงน้อย ส่วนไหมในระยะเก็บเมล็ดพันธุ์มีค่า a^* สูงกว่า จึงมีความเป็นสีแดงมากกว่า

Table 4 The $a^{*1/}$ value in 13 stages of four purple waxy corn varieties.

Harvesting Time (day to silk)	Varieties				Harvesting Time
	KKU-WX111031	KKU OP	KKU Hybrid	Hybrid Check	Mean
0	-5.26 uv	-4.76 s-v	-5.34 uv	-5.04 tuv	-5.10 k
3	-5.57 uv	-3.20 r	-5.71 uv	-5.22 uv	-4.93 k
6	-3.10 r	-3.62 rst	-3.42 rs	-4.46 r-u	-3.65 j
9	-4.86 s-v	5.49 g-l	6.66 d-g	-6.12 v	0.29 i
12	6.55 d-h	6.63 d-g	4.67 j-n	3.79 mno	5.41 ef
15	3.24 no	7.36 cde	8.43 bc	10.85 a	7.47 ab
18	0.67 q	1.14 q	3.56 mno	5.52 g-l	2.72 h
21	4.86 i-m	6.16 e-j	4.59 k-n	4.94 i-m	5.14 f
24	1.51 pq	4.11 l-o	5.04 h-m	4.40 k-n	3.77 g
27	2.71 op	7.11 c-f	6.29 e-i	8.30 c	6.10 de
30	5.68 f-k	4.91 i-m	10.53 a	6.62 d-g	6.93 bc
33	4.36 k-n	4.04 l-o	11.40 a	5.85 e-k	6.41 cd
36	5.44 g-l	9.94 ab	8.62 bc	7.95 cd	7.99 a
Varieties Mean	1.25 d	3.48 b	4.26 a	2.87 c	

^{1/} a^* scale: Red vs. green where a positive number indicates red and a negative number indicates green.

^{2/} Means separation in a row (varieties mean), column (harvesting time mean) and interaction between varieties and harvesting time with different letters are significant ($p \leq 0.05$) determined by LSD.

4. ค่าบ่งบอกความเป็นสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (ค่าสี b^*)

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ต่างพันธุ์กันระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน และปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ลักษณะ มีผลทำให้ค่าสี b^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Table 1) โดยพบว่าไหมพันธุ์ KKU-WX111031 เก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 30 วัน หลังออกไหม มีค่าสี b^* ต่ำที่สุดหรือมีความเป็นสีน้ำเงินมากที่สุดรองลงมา คือไหมพันธุ์ KKU-WX111031 เก็บเกี่ยวที่ระยะ 36 วันหลังออกไหม ส่วนไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ KKU Hybrid เก็บเกี่ยวที่ระยะ 3 วันหลัง

ออกไหม มีค่าสี b^* มากที่สุด (Table 5 and Figure 1) แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ค่าสี b^* มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากในไหมที่มีอายุมากขึ้น จะมีการสะสมรงควัตถุที่มีสีเข้ม คือ สีม่วง สีแดง และ สีดำ ซึ่งอยู่ในกลุ่มของแอนโทไซยานินมากขึ้น โดยที่ค่าสี b^* ที่มากขึ้น บ่งบอกความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น ความเป็นสีเหลืองลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรุณทิพย์ (2556) ที่พบว่าไหมในระยะรับประทานฝักสด มีค่า b^* มากกว่าระยะเก็บเมล็ดพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าในระยะรับประทานฝักสดที่มีค่า b^* สูง ความเป็นสีเหลืองมาก ส่วนในระยะเก็บเมล็ดพันธุ์ มีค่า b^* ต่ำกว่า จึงมีความเป็นสีน้ำเงินมาก

Table 5 The $b^{*1/}$ value in 13 stages of four purple waxy corn varieties.

Harvesting Time (day to silk)	Varieties				Harvesting Time
	KKU-WX111031	KKU OP	KKU Hybrid	Hybrid Check	Mean
0	25.03 e ^{2/}	26.29 de	31.63 ab	24.66 e	26.90 b
3	31.87 ab	21.29 f	33.01 a	28.40 cd	28.64 a
6	28.32 cd	19.40 f	29.28 bc	25.16 e	25.54 c
9	32.53 a	3.01 kl	11.69 g	27.95 cd	18.79 d
12	2.49 klm	4.14 jk	12.00 g	21.78 f	10.10 e
15	8.44 hi	2.03 k-n	8.41 hi	0.71 l-o	4.90 f
18	2.10 klm	5.99 ij	3.30 kl	5.96 ij	4.34 f
21	7.95 hi	2.12 klm	10.45 gh	0.28 m-p	5.20 f
24	6.94 i	2.11 klm	10.25 gh	-0.55 n-q	4.69 f
27	-2.87 q-t	-1.21 o-r	1.08 l-o	-1.09 opq	-1.02 g
30	-4.72 t	0.85 l-o	-2.85 q-t	-2.22 p-t	-2.23 g
33	-3.79 rst	-0.92 opq	-1.99 p-s	0.71 l-o	-1.50 g
36	-4.04 st	-0.72 opq	-2.91 q-t	-0.80 opq	-2.12 g
Varieties Mean	10.02 b	6.49 c	11.03 a	10.07 b	

^{1/}b* scale: Yellow vs. blue where a positive number indicates yellow and a negative number indicates blue.

^{2/}Means separation in a row (varieties mean), column (harvesting time mean) and interaction between varieties and harvesting time with different letters are significant ($p \leq 0.05$) determined by LSD.

สรุป

ความแตกต่างของสีและปริมาณแอนโทไซยานินในไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวเป็นผลมาจากพันธุกรรม (พันธุ์) ร่วมกับระยะเวลาการเก็บเกี่ยว โดยพบว่าไหมของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์KKU-WX111031 ที่เก็บเกี่ยวที่ระยะ 27 วันหลังออกไหม เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน และค่าสีสูงที่สุด

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดรับประทานฝักสด ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ภายใต้ความดูแลของรองศาสตราจารย์ ดร. กมล เลิศรัตน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เจนจิรา บุญธิมา. 2553. ผลการยับยั้งของสารสกัดจากสีไหมข้าวโพดหวานต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ฐามาศ จิตต์เลขา, วรภรณ์ บุญเกิด, อารังศิลป์ ไพริสูง และ สำราญ ศรีชมพร. 2553. การประเมินสายพันธุ์อินเบรตข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีความต้านทานต่อโรคใบไหม้แผลใหญ่เพื่อใช้เป็นสายพันธุ์พ่อแม่. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่ 35. กรุงเทพฯ, หน้า 81-92.
- ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin). แหล่งที่มา: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR21.pdf>. ค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2554.
- อรุณทิพย์ เหมะธูลิน. 2556. การประเมินปริมาณแอนโทไซยานินในเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาสารคาม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- Abdel-Aal E.S.M., C.Y. Young and I. Rabalski. 2006. Anthocyanin composition in black, ping, purple and red cereal grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54: 4696-4704.

- Castaneda-Ovendo, A., C.A. Galan-Vidal, L. Pacheco, J.A. Rodriguez and M.E. Paez-Hernandez. 2010. Characterization of main anthocyanin extracted from pericarp blue corn by MALDI-ToF MS. *Food Analysis Methods*, 3: 12-16.
- 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.
- 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.
- Jing P., V. Noriega, S.J. Scharzt and M.M. Giusti. 2007. Effects of growing conditions on purple corn cob (*Zea mays* L.) anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 8625-8629.
- 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.
- Rahman N.A., W.I.W. Rosli. 2014. Nutritional compositions and antioxidative capacity of the silk obtained from immature and mature corn. *Journal of King Saud University – Science*, 26: 119-127.
- Yang Z, Chen Z, Yuan S, Zhai W, Piao X. 2009. Extraction and identification anthocyanin from purple corn (*Zea mays* L.). *International of Food Science and technology*, 44: 2485-2492.
- 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.
- Zhao, X., M. Corrales, C. Zhang, X. Hu, Y. Ma and B. Tauscher. 2008. Composition and thermal stability of anthocyanins from Chinese purple corn (*Zea mays* L.). *Agricultural and Food Chemistry*, 56: 10761-10766.