

ผลของอายุเก็บเกี่ยวและวิธีการทำให้สุกต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

Effects of harvesting times and cooking methods on anthocyanin content and antioxidant activity in purple waxy corn hybrids

พรชัย หาระโคตร^{1,2}, พลัง สุริหาร^{1,2}, รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย³ และ กมล เลิศรัตน์^{1,2*}

Bhornchai Harakotr^{1,2}, Bhalang Suriharn^{1,2}, Ratchada Tangwongchai³ and Kamol Lertrat^{1,2*}

บทคัดย่อ: ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง เป็นข้าวโพดรับประทานฝักสดพันธุ์ใหม่ที่อยู่ในความสนใจของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีประโยชน์ในด้านส่งเสริมสุขภาพ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความคงตัวของสารออกฤทธิ์ภายใต้สภาวะต่างๆ ยังมีจำกัด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของอายุเก็บเกี่ยวและกระบวนการทำให้สุกต่อปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง จากการศึกษา พบว่าข้าวโพดมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าเมล็ด และปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นตามอายุเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น การศึกษาเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์แอนโทไซยานินด้วยวิธี HPLC-ESI/MS พบว่า cyanidin-3-glucoside เป็นแอนโทไซยานินที่เป็นองค์ประกอบหลักในเมล็ดและข้าวโพด รองลงมา คือ cyanidin-3-(6''-malonylglucoside) และ cyanidin-3-(3'',6''-dimalonylglucoside) ตามลำดับ ข้าวโพดที่ทำให้สุกโดยการนึ่งมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระคงเหลือในเมล็ดสูงกว่าการต้ม เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน นอกจากนี้ ข้าวโพดทั้งฝักที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเดือดมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ข้อมูลจากงานวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจเลือกอายุเก็บเกี่ยวและกระบวนการทำให้สุกเพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

คำสำคัญ: ระยะสุกแก่, การนึ่ง, cyanidin 3-glucoside, ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ, *Zea mays* L.

ABSTRACT: There is an increasing interest in purple waxy corn due to its health promoting properties. However, data on bioactive compounds in literature about this corn are limited. Therefore, this research aimed to study the effects of harvesting times and cooking methods on anthocyanins and antioxidant activity in purple waxy corn hybrids. The results showed that the concentration of anthocyanins in purple waxy corn cobs was higher than that of anthocyanins in kernels. Anthocyanin content increased throughout the development of each part of the corn. The individual anthocyanins were identified and quantified by using HPLC-ESI/MS. Cyanidin-3-glucoside was found to be the most abundant form of anthocyanin found in corn kernels and cobs, followed by cyanidin-3-(6''-malonylglucoside) and cyanidin-3-(3'',6''-dimalonylglucoside), respectively. Compared to boiling, steaming retained greater bioactive compound content and antioxidant activity. Moreover, the steaming of whole ears resulted in the greatest preservation of anthocyanins and their antioxidant properties. These results would be useful as a source of database for selecting harvesting times and cooking methods, allowing for better preservation of the nutritional values of purple waxy corn.

Keywords: maturity stage, steaming, cyanidin 3-glucoside, antioxidant capacity, *Zea mays* L.

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

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

² ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Plant Breeding Research Center for Sustainable Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

³ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

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

* Corresponding author: kamol9@gmail.com

บทนำ

ณ วันนี้ ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเป็นข้าวโพดรับประทานฝักสดพันธุ์ใหม่ที่อยู่ในความสนใจของผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคได้ตระหนักถึงปัญหาสุขภาพจากพฤติกรรมกรรมการบริโภคที่ไม่ถูกต้อง และการใช้โภชนาบำบัดในการดูแลและรักษาสุขภาพเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป นอกจากนี้ รายงานทางวิทยาศาสตร์ยืนยันว่าข้าวโพดสีม่วง (Andean purple corn) ที่มีสีม่วงเข้มในส่วนเมล็ดและชัง ซึ่งอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะแอนโทไซยานิน การบริโภคข้าวโพดสีม่วงสามารถลดความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรังบางชนิดได้ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวานชนิดที่ 2 โรคความดันโลหิตสูง และโรคเมะเร็งบางชนิด เป็นต้น (Tsuda et al., 2003; Jones, 2005; He and Guisti, 2010) จากความสำคัญดังกล่าว ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้พัฒนาและปรับปรุงพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ลูกผสม “ข้าวกำหวาน” ที่มีผลผลิตสูง อายุเก็บเกี่ยวสั้น และมีลักษณะพิเศษ คือ เมล็ด และชังมีสีม่วงเข้ม เช่นเดียวกับข้าวโพดจากต่างประเทศ นอกจากนี้ ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ข้าวกำหวานมีเมล็ดที่มีรสหวานแทรกกระจายอยู่บนฝัก ทำให้ระยะรับประทานฝักสดมีรสเหนียวปนหวาน และสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด (ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน, 2555)

จากการศึกษาเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์พบว่าแอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วงมีหลายชนิด ได้แก่ cyanidin-3-glucoside, peonidin-3-glucoside, pelargonidin-3-glucoside และอนุพันธ์ (Aoki et al., 2002) ซึ่งสามารถตรวจพบในบริเวณเยื่อหุ้มชั้นนอก (pericarp) และเยื่อหุ้มชั้นใน (aleurone layer) ของเมล็ดข้าวโพด ลักษณะสีที่ปรากฏมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานิน (Rodriguez et al., 2013) และขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ อุณหภูมิ สภาพภูมิอากาศ สถานที่ปลูก และอายุเก็บเกี่ยว

เป็นต้น (Adom and Liu, 2002; Jing et al., 2007) นอกจากนี้ ปัจจัยต่างๆ จากกระบวนการแปรรูป ได้แก่ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อน ล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานิน (Ioannou et al., 2012) อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารออกฤทธิ์และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในข้าวโพดข้าวเหนียวยังมีจำกัด (Murray et al., 2013) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของอายุการเก็บเกี่ยวและวิธีการทำให้สุกที่ใช้โดยทั่วไปในครัวเรือน (traditional cooking) ต่อปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ผลจากการศึกษาดังกล่าว จะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานใหม่เกี่ยวกับข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ที่จะช่วยส่งเสริมศักยภาพของข้าวโพดในการพัฒนาให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

วิธีการศึกษา

ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

การศึกษาส่วนที่ 1: ปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงพันธุ์ข้าวกำหวาน ณ แปลงทดลองหมวดพืชผัก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในฤดูหนาว ปี 2554/2555 (พฤศจิกายน 2554 ถึง มกราคม 2555) ดูแลและรักษาตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (ไพบุลย์ และคณะ, 2545) จากนั้นทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะรับประทานฝักสด (20 วันหลังผสมเกสร) และระยะฝักแห้ง (40 วันหลังผสมเกสร) สำหรับระยะรับประทานฝักสด ทำการสุ่มฝักที่มีขนาดเท่ากัน 5 ฝัก ผ่าแนกส่วนเมล็ดและชัง บรรจุลงในถุงแช่แข็ง จุ่มลงในไนโตรเจนเหลวเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในของตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปทำให้แห้งโดยวิธีการทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (lyophilization) บดตัวอย่างรวมกัน แล้วนำไปเก็บในตู้ดูดความชื้น (desiccator) สำหรับระยะฝักแห้ง ทำการสุ่มฝักที่มีขนาดเท่ากันจำนวน 5 ฝัก อบเพื่อลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 37 °C (ความชื้นหลังการอบ ~13%) กะเทาะแยกเมล็ดและชัง บดรวมกัน

จากนั้นนำไปเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

การศึกษาส่วนที่ 2: เก็บข้าวโพดที่ระยะรับประทาน ผักสด คัดเลือกผักข้าวโพดที่ติดเมล็ดเต็มทั้งฝักนำไปผ่านการเตรียมตัวอย่าง 2 รูปแบบ คือ ตัดเมล็ด (cut fresh kernels) และข้าวโพดทั้งฝัก (whole ear) จากนั้นนำตัวอย่างไปผ่านการทำให้สุก (ได้ดำเนินการศึกษาเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบเวลาการทำให้สุกที่เหมาะสมในแต่ละกระบวนการเตรียมตัวอย่าง) สำหรับข้าวโพดตัดเมล็ดจำนวน 2 กก. นำไปทำให้สุก 2 วิธี คือ 1) การต้มในน้ำเดือด (98-100 °ซ) เป็นเวลา 7 นาที 2) การนึ่งในไอน้ำเดือด (98-100 °ซ) เป็นเวลา 12 นาที สำหรับข้าวโพดทั้งฝักจำนวน 10 ฝัก นำไปทำให้สุก 2 วิธี คือ 1) การต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 19 นาที 2) การนึ่งในไอน้ำเดือดเป็นเวลา 26 นาที นำตัวอย่างที่ผ่านการทำให้สุกไปแช่ในน้ำเย็นจัด (อุณหภูมิ 0-4 °ซ) เพื่อลดความร้อนส่วนเกินและคงคุณภาพการบริโภค จากนั้นนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำเย็นและทิ้งให้สะเด็ดน้ำ สำหรับข้าวโพดทั้งฝักนำไปผ่านแยกเมล็ดและชั่งก่อนนำตัวอย่างทั้งหมดไปจุ่มไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำตัวอย่างไปทำให้แห้งโดยวิธีการทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง บดตัวอย่างรวมกันและเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมี ต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษทุกเคมี และสามารถในการคำนวณผลอิสระ

การสกัด (ดัดแปลงจาก Rodriguez-Saona and Wrolstad, 2001 และ Jing et al., 2007): ชั่งผงข้าวโพดน้ำหนัก 2 ก. ลงในหลอดปั่นเหวี่ยง เติมกรดไฮโดรคลอริก (0.01%) ในอะซิโตนปริมาตร 25 มล. นำไปเขย่าที่ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman#1) ภายใต้สุญญากาศ ส่วนตะกอนที่แยกได้นำมาสกัดซ้ำอีกครั้ง นำสารละลายที่รวบรวมได้ใส่กรวยแยกและเติมคลอโรฟอร์มปริมาตร 15 มล. เขย่าสารละลายให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงให้เกิดการแยกชั้นของสารละลาย จากนั้นนำสาร

แขวนลอยส่วนบนไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 1,1538 g ที่อุณหภูมิ 4 °ซ นาน 10 นาที นำสารละลายส่วนใสไประเหยภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายที่ได้ปรับปริมาตรเป็น 25 มล. ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (0.01%) ในเมทานอล เก็บสารละลายที่อุณหภูมิ -20 °ซ จนกว่าทำการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Giusti and Wrolstad, 2001): ด้วยวิธี pH differential method นำสารสกัดที่ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 และ 700 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานิน ในหน่วยไมโครกรัมต่อกรัมตัวอย่างน้ำหนักแห้ง โดยใช้มวลโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 449.2 g/mol) และ ϵ คือ molar absorptivity เท่ากับ 26900 L/cm/mol การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแอนโทไซยานิน (ดัดแปลงจาก Kim et al., 2012): วิเคราะห์ด้วย liquid chromatography-electrospray ionization-mass spectrophotometer (LC-ESI/MS) (Agilent Technologies, Germany) โดยฉีดสารละลายที่สกัดได้ปริมาตร 10 ไมโครลิตรผ่านคอลัมน์ Synergi Polar-RP 80A (4.6 x 250 มม. 4 ไมครอน) (Phenomenex, USA) ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ใช้สภาวะของ HPLC เป็น gradient โดยใช้เฟสเคลื่อนที่คือ กรดฟอร์มิก (5%) ในอะซิโตนไนโตรเจน/น้ำ (1:1 v/v) (solvent A) และอะซิโตนไนโตรเจน (solvent B) โดยการแยกที่เวลา 0-30 min, 20-50% B; 30-35 min, 50% B; 35-40 min, 50-20% B; 40-50 min, 20% B ควบคุมอัตราการไหล 1 มล. ต่อนาที และใช้ detector เป็น mass spectrometer ion trap ร่วมกับ electrospray ionization (ESI) โดยใช้เป็น positive mode: $[M-H]^+$

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Hu and Xu, 2011): นำสารสกัดปริมาตร 0.5 มล. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu (1 มิลลาร์) 0.5 มล. และน้ำกลั่น 2.5 มล. ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (7.5%) ปริมาตร 1.5 มล. ตั้งทิ้งไว้ในที่มีอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัม

สมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วย FRAP (ดัดแปลงจาก Hu and Xu, 2011): นำสารสกัดปริมาตร 0.1 มล. เติมน้ำกลั่นละลาย FRAP reagent 1.8 มล. และน้ำกลั่น 3.1 มล. ผสมให้เข้ากันและนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร และคำนวณค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในหน่วยไมโครโมลสมมูลไอร้อน (II) ซัลเฟตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี TEAC (ดัดแปลงจาก Lopez-Martinez et al., 2008): นำสารละลาย 7mM ABTS⁺ working solution ปริมาตร 1.9 มล. ผสมกับสารสกัดปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งไว้ในที่มีอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร และคำนวณค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในหน่วยไมโครโมลสมมูลโทรลิกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะที่ศึกษาตามแผนการทดลองแบบ complete randomized design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Gomez and Gomez, 1984)

ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเมล็ดและช่ข้าวจ้าวโพดข้าวเหนียว ($p \leq 0.05$) (Table 1) โดยปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นตามอายุเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับ Hu and Xu (2011) รายงานว่าปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวจ้าวโพดขึ้นอยู่กับอายุการเก็บเกี่ยวและมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสีเยื่อหุ้มชั้นนอก (pericarp) ของเมล็ดข้าวจ้าวโพดจากสีม่วงอ่อน

ไปเป็นสีม่วงเข้มหรือดำ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในช่และเมล็ด พบว่าช่ข้าวจ้าวโพดมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่ระยะรับประทานฝักสดและระยะฝักแห้ง (2,534.1 และ 5,160.4 ไมโครกรัมสมมูล cyanidin-3-glucoside ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) สูงกว่าในเมล็ด (754.0 และ 1,259.2 ไมโครกรัมสมมูล cyanidin-3-glucoside ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ซึ่งสอดคล้องกับ Yang and Zhai (2010) รายงานว่า ช่ข้าวจ้าวโพดสีม่วงพันธุ์ Zihei ที่ระยะฝักแห้งมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (923.0 ไมโครกรัมสมมูล cyanidin-3-glucoside ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าในเมล็ด (558.0 ไมโครกรัมสมมูล cyanidin-3-glucoside ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) อย่างไรก็ตาม ข้าวจ้าวโพดข้าวเหนียวนั้นนิยมบริโภคที่ระยะรับประทานฝักสด ซึ่งเมล็ดและช่ของข้าวจ้าวโพดข้าวเหนียวยังมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่าที่ตรวจพบในพืชชนิดอื่นๆ เช่น องุ่น (270 ไมโครกรัมสมมูล cyanidin-3-glucoside ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) สตรอเบอรี่ (130 ไมโครกรัมสมมูล cyanidin-3-glucoside ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และแครอทสีม่วง (380 ไมโครกรัมสมมูล cyanidin-3-glucoside ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) (Jing, 2006) ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ข้าวจ้าวโพดข้าวเหนียวมียุคพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพและโภชนาภัณฑ์ (nutraceuticals) ทั้งในระยะรับประทานฝักสดและระยะฝักแห้ง นอกจากคุณค่าทางโภชนาการแล้ว ข้าวจ้าวโพดข้าวเหนียวยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย และผู้บริโภคสามารถเข้าถึงได้ทุกกลุ่มชน ซึ่งการพัฒนาพันธุ์ข้าวจ้าวโพดข้าวเหนียวยังสีม่วงเป็นการสร้างนวัตกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่มและศักยภาพด้านการตลาดให้กับข้าวจ้าวโพดข้าวเหนียว

การศึกษาเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ในข้าวจ้าวโพดข้าวเหนียวยังสีม่วงสามารถจำแนกแอนโทไซยานินโดยวิธี HPLC-ESI/MS บนพื้นฐานทางสเปกตรัมของ peak, คุณสมบัติทาง mass spectrometry และเวลาที่สารแต่ละชนิดเคลื่อนผ่านคอลัมน์ (retention time) (Aoki et al., 2002; Abdel-Aal et al., 2006) จากการศึกษานี้ ตรวจพบชนิดของแอนโทไซยานินในข้าวจ้าว

ข้าวเหนียวสีม่วงจำนวนทั้งหมด 11 ชนิด ที่ค่าดูดกลืนแสงสูงสุด 520 นาโนเมตร ได้แก่ cyanidin-3-glucoside (peak 1), pelargonidin-3-glucoside (peak 2), peonidin-3-glucoside (peak 3), cyanidin-3-(6''-malonylglucoside) (peak 4), peonidin-3-(6''-malonylglucoside) (peak 5), cyanidin-3-(3'',6''-dimalonylglucoside) (peak 6), pelargonidin-3-(6''-succinylglucoside) (peak 8), cyanidin-3-(3'',6''-malonysuccinylglucoside) (peak 10) และ peonidin-3-(6''-succinylglucoside) (peak 11) (Figure 1, Table 1) นอกจากนี้ ตรวจพบแอนโทไซยานินชนิด (cyanidin-3-(6''-succinylglucoside) (peak 7, 9) จำนวน 2 ไอโซเมอร์ ซึ่งมีสเปกตรัมของ peak เหมือนกัน แต่คุณสมบัติทาง mass spectrometry และเวลาที่เคลื่อนผ่านคอลัมน์แตกต่างกัน จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า cyanidin-3-glucoside เป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบในเมล็ดและซังของข้าวโพดข้าวเหนียว คิดเป็น 22.0% และ 16.4% ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเมล็ดและซังที่ระยะรับประทานผักสดตามลำดับ รองลงมา คือ แอนโทไซยานินชนิด cyanidin-3-(3'',6''-dimalonylglucoside) และ cyanidin-3-(6''-malonylglucoside) ตามลำดับ สำหรับระยะผักแห้งปริมาณแอนโทไซยานินแต่ละชนิดมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามระยะผักแห้งมีสัดส่วนของ cyanidin-3-glucoside (28.8% และ 27.0% ในเมล็ดและซัง ตามลำดับ) สูงกว่าที่พบในระยะรับประทานผักสด ผลการศึกษานี้เป็นรายงานครั้งแรกเกี่ยวกับแอนโทไซยานินในเมล็ดและซังของข้าวโพดข้าวเหนียว ซึ่งสอดคล้องกับ Aoki et al. (2002) ที่พบว่า cyanidin-3-glucoside เป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบในเมล็ดข้าวโพดสีม่วง คิดเป็น 44% ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด รองลงมา คือ cyanidin-3-(6''-malonylglucoside) เช่นเดียวกับ Li et al. (2008) รายงานว่า cyanidin-3-(6''-malonylglucoside) เป็นชนิดของแอนโทไซยานินหลักที่พบในซังข้าวโพดสีม่วง และคิดเป็น 34.5% ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด รองลงมา คือ cyanidin-3-

glucoside และ cyanidin-3-(6''-succinylglucoside) ตามลำดับ นอกจากนี้ ปริมาณแอนโทไซยานินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไปตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยว โดยแอนโทไซยานินแต่ละชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสัดส่วนของ cyanidin-3-(6''-malonylglucoside), cyanidin-3-(6''-succinylglucoside), pelargonidin-3-(6''-succinylglucoside) และ cyanidin-3-(3'',6''-malonysuccinylglucoside) ต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเมล็ดข้าวโพดมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าสัดส่วนของ acylated anthocyanin ในเมล็ดและซังข้าวโพดข้าวเหนียวที่ระยะรับประทานผักสดคิดเป็น 62.4% และ 64.3% ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ตามลำดับ และที่ระยะผักแห้งคิดเป็น 49.1% และ 56.5% ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ตามลำดับ โดย acylated anthocyanin มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตและเก็บรักษาสารสีจากธรรมชาติ (natural colorants) เนื่องจากแอนโทไซยานินมีความคงตัวต่ำ เกิดการสลายตัวได้ง่าย ทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่มีสี แต่ปฏิกิริยา acylation ช่วยเพิ่มความคงตัวให้แอนโทไซยานินระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา (Guisti and Wrolstad, 2003)

ในงานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาในแอนโทไซยานินชนิด cyanidin 3-glucoside เนื่องจาก รายงานทางวิทยาศาสตร์ยืนยันว่า cyanidin-3-glucoside มีผลส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภคสูงกว่าแอนโทไซยานินชนิดอื่นๆ (Tsuda et al., 2003; Zhang et al., 2010) ซึ่งซังข้าวโพดมีปริมาณ cyanidin-3-glucoside สูงกว่าเมล็ด คิดเป็น 2.5 และ 3.9 เท่า ที่ระยะรับประทานผักสดและระยะผักแห้ง ตามลำดับ โดยเฉพาะปริมาณ cyanidin-3-glucoside ในซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ระยะผักแห้ง (1,395.0 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าปริมาณแอนโทไซยานินที่ตรวจพบในธัญพืชอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น ข้าวสีแดง (150.0 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ข้าวสีม่วง (1,088.0 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) (Yao et al., 2010) และข้าวสีดำ

(77.0-1,057.9 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) (Lee, 2010) ดังจะเห็นได้ว่า ชั่งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงอุดมไปด้วยแอนโทไซยานิน และมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ อีกทั้งชั่งข้าวโพดมี

ราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งแอนโทไซยานินอื่นๆ เนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตข้าวโพด

Table 1 Composition of MS peaks obtained from different parts and maturation stages of purple waxy corn hybrids (microgram per gram of dry weight) ^a

peaks	anthocyanin ^b	m/z (amu)		edible stage				maturity stage	
				parts				parts	
		[M] ⁺	fragmentation	kernels	cob			kernels	cob
1	Cy-3-Glu	449	287	166.0 ± 9.4c	416.0 ± 8.2b			356.5b ± 20.6b	1,395.0 ± 93.1a
2	Pg-3-Glu	433	271	74.3 ± 4.2d	237.5 ± 5.4b			101.0 ± 5.8c	365.3 ± 24.4a
3	Pn-3-Glu	463	301	42.7 ± 2.5d	250.4 ± 5.2b			183.5 ± 9.9c	486.5 ± 32.4a
4	Cy-MalGlu	535	449, 287	108.3 ± 6.1c	304.9 ± 6.7b			136.5 ± 9.0c	590.7 ± 39.1a
5	Pn-MalGlu	549	463, 301	37.2 ± 2.1c	170.7 ± 3.6b			41.7 ± 2.7c	224.5 ± 15.1a
6	Cy-diMalGlu	621	535, 449, 287	110.4 ± 6.2d	380.8 ± 8.1b			194.1 ± 11.7c	869.5 ± 57.7a
7	Cy-SucGlu ¹	549	449, 287	23.6 ± 1.3c	70.0 ± 1.4b			19.8 ± 2.0c	129.0 ± 8.6a
8	Pg-SucGlu	518	463, 301	45.3 ± 2.6c	134.1 ± 2.9b			44.3 ± 2.9c	193.1 ± 12.7a
9	Cy-SucGlu ¹	549	449, 287	29.2 ± 1.6d	154.1 ± 3.5b			85.0 ± 4.9c	291.4 ± 19.3a
10	Cy-MalSucGlu	635	549, 463, 301	93.1 ± 5.2c	261.8 ± 4.9b			67.7 ± 5.9c	397.4 ± 45.5a
11	Pn-SucGlu	563	463, 301	23.8 ± 1.4c	153.2 ± 1.9b			28.7 ± 1.9c	218.1 ± 14.6a
total anthocyanin content (TAC)				754.0 ± 62.8c	2,534.1 ± 35.0b			1,259.2 ± 76.8c	5,160.4 ± 388.2a

^a Values are means ± SD. ^b Cy; cyanidin, Glu; glucoside, Mal; malonyl, Pg; pelargonidin, Pn; peonidin, Suc; succinyl. ¹ compound with identical molecular mass within superscript. Means in the same lines with different letters are significant at $p \leq 0.05$.

ถึงแม้ว่า ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ระยะรับประทานผักสดมีปริมาณแอนโทไซยานินต่ำกว่าระยะผักแห้ง อย่างไรก็ตาม การศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินภายใต้สภาวะต่างๆ ในข้าวโพดที่ระยะรับประทานผักสดยังมีความจำเป็น เพื่อหาแนวทางการบริโภคที่ลดอัตราการสูญเสียแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลของการให้ความร้อนแก่ข้าวโพดข้าวเหนียวในรูปแบบทั้งผักและต้มเมล็ด กับข้าวโพดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน พบว่า ข้าวโพดทั้งผักที่ผ่านการนึ่งในไอน้ำเดือดมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดคงเหลือมาก

ที่สุด (96.6%) รองลงมาคือ ข้าวโพดต้มเมล็ดที่ผ่านการนึ่งในไอน้ำเดือด (80.8%) ข้าวโพดทั้งผักที่ผ่านการต้มในน้ำเดือด (68.3%) และข้าวโพดต้มเมล็ดที่ผ่านการต้มในน้ำเดือด (39.5%) ตามลำดับ สอดคล้องกับ Kim et al. (2012) รายงานว่า ความร้อนส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินในมันฝรั่งลดลงมากกว่า 50% ซึ่งการทำให้สุกด้วยอุณหภูมิสูงทำให้โมเลกุลของโปรตีนเสียสภาพ (degradation) จากนั้นโปรตีนจะจับกับแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบเชิงซ้อน และตกตะกอนส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง (Jing and Giusti, 2007)

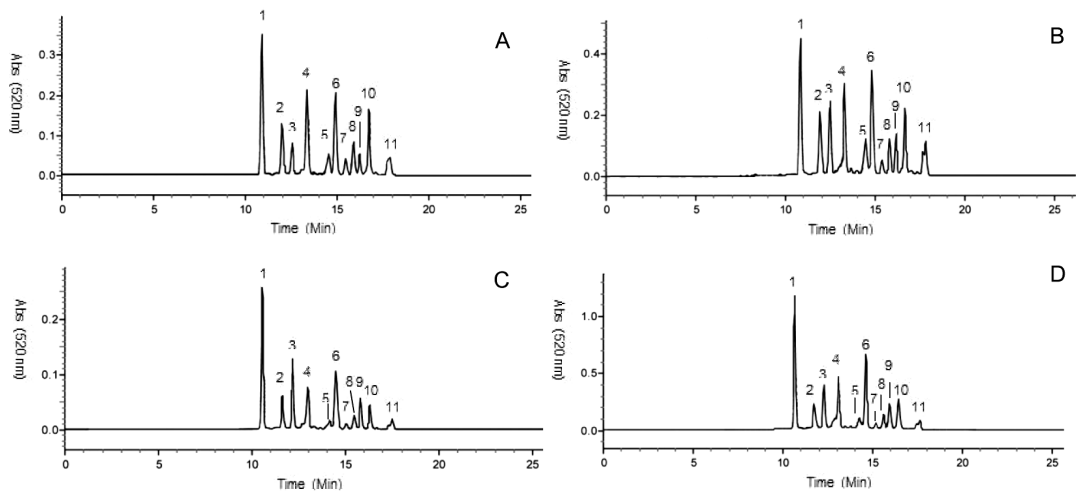


Figure 1 HPLC chromatograms of peaks detected at 520 nm for the various extracts from the different parts and maturation stages of purple waxy corn hybrids: (A) kernels from edible stage; (B) cob from edible stage; (C) kernels from mature stage; (D) cob from mature stage. The peak numbers show the anthocyanins that are identified in Table 1.

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับปริมาณ แอนโทไซยานินทั้งหมด ข้าวโพดฝักสดทั้งฝักและ ตัดเมล็ดที่ผ่านการทำให้สุกด้วยวิธีการต้มและการนึ่ง มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดคงเหลือในส่วนของเมล็ด แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยที่ข้าวโพดทั้งฝักที่ผ่านการ นึ่งในไอน้ำเดือดมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดคงเหลือมาก

ที่สุด (89.9%) รองลงมาคือ ข้าวโพดตัดเมล็ดที่ผ่านการ นึ่งในไอน้ำเดือด (72.5%) ข้าวโพดทั้งฝักที่ผ่านการต้ม ในน้ำเดือด (69.6%) และข้าวโพดตัดเมล็ดผ่านการต้ม ในน้ำเดือด (52.2%) ตามลำดับ (Table 2) อย่างไรก็ตาม Dewanto et al. (2002) รายงานว่า ข้าวโพดหวานมี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการแปรรูปด้วย ความร้อน

Table 2 Effect of different cooking methods on anthocyanins, antioxidant activity and retention factors of purple waxy corn hybrids ^a

compounds	raw	whole ear				fresh cut			
		boiling		steaming		boiling		steaming	
		amount	% ^b	amount	%	amount	%	amount	%
TPC (mg GAE/g)	6.9 ± 0.4	4.8 ± 0.2b	69.6	6.2 ± 0.2a	89.9	3.6 ± 0.1c	52.2	5.0 ± 0.2b	72.5
TAC (µg CGE/g)	754.0 ± 62.8	514.7 ± 6.3c	68.3	727.9 ± 32.2a	96.6	298.1 ± 36.0d	39.5	609.5 ± 11.3b	80.8
FRAP (µmol Fe(II)/g)	102.3 ± 6.5	72.2 ± 1.1b	70.6	81.8 ± 0.8a	80.0	43.6 ± 1.9d	42.6	54.9 ± 3.4c	53.7
TEAC (µmol TE(II)/g)	94.6 ± 2.5	67.4 ± 5.5b	71.2	90.6 ± 2.5a	95.8	45.6 ± 3.7c	48.2	62.7 ± 3.8b	66.3

^a values are means ± SD. TPC; total phenolic content, TAC; total anthocyanin content, FRAP; ferric reducing antioxidant power, and TEAC; Trolox equivalent antioxidant capacity. Means in the same lines with different letters are significant at $p \leq 0.05$

^b raw = 100

ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงทั้งฝักและตัดเมล็ดที่ผ่านการทำให้สุก มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP และ TEAC ลดลง เมื่อเทียบกับข้าวโพดฝักสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยที่ข้าวโพดทั้งฝักที่ผ่านการนึ่งในไอน้ำเดือดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเทียบกับข้าวโพดฝักสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เท่ากับ 80.0 และ 95.8% ตามลำดับ รองลงมาคือ ข้าวโพดทั้งฝักที่ผ่านการต้มในน้ำเดือด (70.6 และ 71.2% ตามลำดับ) ข้าวโพดตัดเมล็ดที่ผ่านการนึ่งในไอน้ำเดือด (53.7 และ 66.3% ตามลำดับ) และข้าวโพดทั้งฝักที่ผ่านการต้มในน้ำเดือด (42.6 และ 48.2% ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ข้าวโพดทั้งฝักที่ผ่านการต้มในน้ำเดือดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวโพดตัดเมล็ดที่ผ่านการนึ่งในไอน้ำเดือด แต่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและแอนโทไซยานินต่ำกว่า เนื่องจากการต้มทำให้เกิดการอ่อนนุ่มของผนังเซลล์และเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ส่งผลให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ ในเมล็ดข้าวโพดถูกปลดปล่อยออกมาได้มากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้มีค่าสูงกว่า (Huang et al., 2006)

จากงานวิจัยครั้งนี้ ข้าวโพดที่ทำให้สุกด้วยการนึ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการต้ม ข้าวโพดข้าวเหนียวทั้งฝักที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเดือดมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด นอกจากนี้ การผ่านเมล็ดออกจากชั่งก่อนการทำให้สุกมีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติดังกล่าวลดลงมากกว่าข้าวโพดทั้งฝัก เนื่องจากการผ่านทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดเกิดรอยแตก ซึ่งส่งผลให้สารสำคัญรวมถึงแอนโทไซยานินแพร่ออกมาสู่น้ำ และทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเมล็ดและน้ำเพิ่มขึ้น (Ioannou et al., 2012) โดยทั่วไปแล้วข้าวโพดข้าวเหนียวสามารถบริโภคในระยะฝักแห้ง และงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทาง

ชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าระยะรับประทานฝักสด ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตจึงเป็นการศึกษากระบวนการทำให้สุกหรือการแปรรูปในข้าวโพดที่ระยะฝักแห้ง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวโพดข้าวเหนียว ต่อไป

สรุป

แอนโทยานินที่เป็นองค์ประกอบหลักในเมล็ดและชั่งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง เมื่อตรวจสอบด้วยวิธี HPLC-ESI/MS คือ cyanidin-3-glucoside รองลงมาคือ cyanidin-3-(6''-malonylglucoside) และ cyanidin-3-(3'',6''-dimalonylglucoside) ตามลำดับ โดยที่ชั่งข้าวโพดมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าในเมล็ด นอกจากนี้ ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้ความร้อนแก่ข้าวโพดข้าวเหนียวในรูปแบบข้าวโพดทั้งฝักและตัดเมล็ดกับข้าวโพดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน พบว่า การนึ่งมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระคงเหลือสูงกว่าข้าวโพดที่ผ่านการต้ม และข้าวโพดรูปแบบทั้งฝักที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเดือด มีปริมาณแอนโทไซยานินและคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด นอกจากนี้ การผ่านเมล็ดออกจากชั่งทำให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการกาญจนาภิเษก (คปก) (PHD 0028/2553) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ไพบูลย์ พงษ์สกุล, ณรงค์ วุฒิมรรณ, วุฒิชัย เมืองสมบัติ, อำนาจ จันทร์ครุฑ และสุนทร ธารามาศ. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสม สำหรับ ข้าวโพดหวาน: เกษตรดีที่เหมาะสม ลำดับที่ 18. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน. 2555. แนะนำผลงานวิจัยเด่น ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่มีสารแอนโทไซยานินสูง: พันธุ์ผสมเปิด “ข้าวเหนียวข้าวก่ำ” และพันธุ์ลูกผสม “ข้าวก่ำหวาน” พร้อมกับผลิตภัณฑ์แปรรูประดับครัวเรือน. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- Abdel-Aal, E. S. M., J. C. Young, and I. Rabalski. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. J. Agri. Food Chem. 54: 4696-4704.
- Adom, K. K., and R. H., Liu. 2002. Antioxidant activity of grains. J. Agri. Food Chem. 50: 6182-6187.
- Aoki, H., N. Kuze, and K. Yoshiaki. 2002. Anthocyanins isolated from purple corn (*Zea mays* L.). FFI. J. 199: 41-45.
- Giusti, M. M., and R. E. Wrolstad. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. P. F1.2.1-F1.2.13. In: R. E. Wrolstad. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. John Wiley & Sons, NY.
- Giusti, M. M., and R.E. Wrolstad. 2003. Acylated anthocyanins from edible source and their application in food system. J. Biochem. Eng. 14: 217-225.
- Gomez, K. A., and A. A. Gomez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons, NY.
- He, J., and M. M. Giusti. 2010. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. Ann. Rev. Food Sci. Tech. 1: 163-187.
- Huang, Y. C., Y. H. Chang, and Y. Y. Shao. 2006. Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan. Food Chem. 98: 529-538.
- Hu, Q. P., and J. G. Xu. 2011. Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics, and antioxidant activity of selected color waxy corn grains during maturation. J. Agri. Food Chem. 59: 2026-2033.
- Ioannou, I., I. Hafsa, S. Hamdi, C. Charbonnel, and M. Ghoul. 2012. Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behaviour. J. Food Eng. 111: 208-217.
- Ji., C. H., H. B. Lee, and T. Yamakawa. 2010. Major agricultural characteristics and antioxidants analysis of the new developed colored waxy corn hybrids. J. Fac. Agr. Kyushu Uni. 55: 55-59.
- Jing, P. 2006. Purple Corn Anthocyanins: Chemical Structure, Chemoprotective Activity and Structure/Function Relationships. Ph. D. Thesis. The Ohio State University, Ohio.
- Jing, P. and M. M., Giusti. 2007. Effects of extraction conditions on improving the yield and quality of an anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) extract. J. Food Sci. 72: 363-368.
- Jing, P., V. Noriega, S. J. Schwartz, and M. M. Giusti. 2007. Effects of growing conditions on purple corn cob (*Zea mays* L.) anthocyanins. J. Agri. Food Chem. 55: 8625-8629.
- Jones, K. 2005. The potential health benefits of purple corn. Herbal Gram. 65: 46-49.
- Kim, H. W., J. B. Kim, S. M. Chao, M. N. Chung, Y. M. Lee, S. M. Chu, J. H. Che, S. N. Kim, S. Y. Kim, Y. Cho, J. H. Kim, H. J. Park, and D. J. Lee. 2012. Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, Shinzami, as affected by steaming and baking. Food Chem. 130: 966-972.
- Lee, J., H. 2010. Identification and quantification of anthocyanins from the grains of black rice (*Oryza sativa* L.) varieties. Food Sci. Biotechnol. 19: 391-397.
- Lertrat, K., and N. Thongnarin. 2008. Novel approach to eating quality improvement in local waxy corn: Improvement of sweet taste in local waxy corn variety with mixed kernels from super sweet corn. Acta Hort. 769: 145-150.
- Li, C. Y., H. W. Kim, S. R. Won, H. K. Min, K. J. Park, J. Y. Park, M. S. Ahn, and H. I. Rhee. 2008. Corn husk as a potential source of anthocyanins. J. Agri. Food Chem. 56: 11413-11416.
- Lopez-Martinez, L. X., R. M. Oliart-Ros, G. Valerio-Alfaro, C. H. Lee, and K. L. Parkin. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. LWT - Food Sci. Tech. 42: 1187-1192.
- Rodriguez-Saona, L. E., and R. E. Wrolstad. 2001. Extraction, Isolation, and Purification of Anthocyanins. P. F1.1.1-F1.1.11. In: R. E. Wrolstad. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. John Wiley & Sons, NY.

- Rodriguez, V. M., P., Soengas, A., Landa, A., Orda, and P. Revilla. 2013. Effects of selection for color intensity on antioxidant capacity in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica*. 193: 339–345.
- Tsuda, T., F. Horio, K. Uchida, H. Aoki, and T. Osawa. 2003. Dietary cyanidin 3-O- β -D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *J. Nutr.* 133: 2125-2130.
- Yang, Z. and W., Zhai 2010. Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 11: 169-176.
- Yao, Y., W. Sang, M. Zhou, and G. Ren. 2010. Antioxidant and α -glucosidase inhibitory activity of colored grains in China. *J. Agric. Food Chem.* 58: 770-774.
- Zhang, Y., F. Lian, Y. Zhu, M. Xia, Q. Wang, W. Ling, and X. D. Wang. 2010. Cyanidin-3-O- β -glucoside inhibits LPS-induced expression of inflammatory mediators through decreasing **IKK α** phosphorylation in THP-1 cells. *Inflamm. Res.* 59: 723-730.