รายงานการวิจัย

ผลของกระบวนการผลิตต่อสารแอนโทไซยานินในขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

Effect of The Processing on Anthocyanin in Snack from Purple Waxy Corn

กฤติกา บูรณโชคไพศาล

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2557

PCRU_2557_G016

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของกระบวนการผลิตต่อสารแอนโทไซยานินในขนมขบเคี้ยว จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

Effect of The Processing on Anthocyanin in Snack from Purple Waxy Corn

กฤติกา บูรณโชคไพศาล

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ทุนอุดหนุนโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประจำปีงบประมาณ 2557

ชื่องานวิจัย ผลของกระบวนการผลิตต่อสารแอนโทไซยานินในขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

ผู้วิจัย กฤติกา บูรณโชคไพศาล

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ **2557**

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อสารแอนโทไซยานินในขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ได้ทำการศึกษาสูตรการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยใช้ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงผสมกับแป้ง 2 ชนิด ได้แก่ แป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้า ใช้อัตราส่วนข้าวโพดต่อแป้ง 3 ระดับ คือ 9:1 4:1 และ 7:3 พบว่าผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์ที่ได้จากข้าวโพดผสมแป้งสาลีในอัตราส่วน 9:1 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุด ทั้งยังมีโปรตีน และสารแอนโทไซยานินในปริมาณสูงอีกด้วย ทั้งนี้พบว่าในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมีสารแอนโทไซยานิน 62.79 มิลลิกรัมของ cyanidine-3-glucoside ต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม แต่เมื่อผ่านความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์ที่ได้จะมีสารแอนโทไซยานินหลงเหลืออยู่ 15.08 มิลลิกรัมของ cyanidine-3-glucoside ต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม คิดเป็นร้อยละของการสูญเสียปริมาณสารแอนโทไซยานินได้เท่ากับร้อยละ 75.98

คำสำคัญ: ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง คอร์นชิพส์ แอนโทไซยานิน

Title Effect of The Processing on Anthocyanin in Snack from Purple Waxy Corn
Researcher Kritika Buranachokpaisan
Department Food Science and Technology
Phetchabun Rajabhat University **2557**

ABSTRACT

The study of effect of the processing on anthocyanin in snack from purple waxy corn had studied the formulas of corn chips produced from purple waxy corn with 2 types of flour (wheat flour and rice flour) and 3 ratios of the corn to flour (9:1, 4:1 and 7:3). The results shown that the corn chips product with ratio of corn to wheat flour of 9:1 was accepted the highest overall acceptance score of the sensory evaluation with high content of proteins and anthocyanins. It was observed that anthocyanins content in purple waxy corn were 62.79 mg of cyaniding-3-glucoside equiv/100 g of dry wt of sample. But after heating during the process, anthocyanins content in the corn chips product retained 15.08 mg of cyaniding-3-glucoside equiv/100 g of dry wt of sample or 75.98% loss of anthocyanins.

Keywords: Purple waxy corn, Corn chips, Anthocyanin

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย ขอขอบคุณคณะกรรมการประเมินผลการวิจัย ที่ช่วยตรวจทานแก้ไข และประเมินเล่มรายงานการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาชีววิทยา และเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่อนุญาตและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์สำหรับการตรวจวิเคราะห์ ขอขอบคุณอาจารย์ บุคลากร นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกท่าน ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ และพี่ๆ ทุกคน ที่คอยให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

กฤติกา บูรณโชคไพศาล

13 มกราคม 2558

สารบัญ

หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ถ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญตาราง..... ฉ
สารบัญภาพ.....ช
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย..... 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3
2.1 ข้าวโพด.....3
2.2 ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง.....7
2.3 คอร์นชิพส์..... 7
2.4 แอนโทไซยานิน..... 9
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 20
3.1 วัตถุดิบ..... 20
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 20
3.3 สารเคมี..... 20
3.4 วิธีการทดลอง..... 21
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล..... 23
4.1 ผลการศึกษาสูตรและวิธีการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 23
4.2 ผลของกระบวนการผลิตต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์
คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง..... 24
ทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 27
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 27
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 27
บรรณานุกรม..... 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก 32

ภาคผนวก ก ภาพประกอบ 33

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 36

ภาคผนวก ค ผลการทดลอง 43

ภาคผนวก ง แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 45

ประวัติผู้วิจัย 47

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2.1 สีและการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานิดิน 10
3.1 ปริมาณส่วนผสมในการเตรียมคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 21
4.1 ร้อยละของผลได้ของคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 23
4.2 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 24
4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ... 26
ค 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานิน 44
ค 2 ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 44

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินในเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงและผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 25

ก1 ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง..... 34

ก2 เนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง..... 34

ก3 การเกลี่ยส่วนผสมบนถาด..... 34

ก4 การอบไล่ความชื้น..... 34

ก5 คอร์นชิพส์หลังการอบไล่ความชื้น..... 34

ก6 การอบให้สุก..... 35

ก7 ผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง..... 35

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่สำคัญมากพืชหนึ่งของโลก รองจากข้าวเจ้าและข้าวสาลี ผลผลิตประมาณครึ่งหนึ่งใช้เป็นอาหารมนุษย์ ทั้งยังใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์และใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องอุปโภคหลายชนิด เช่น ทำสบู่ น้ำมัน กระดาษ ยา เป็นต้น นอกจากนี้ฝัก ใบ ลำต้น ยังอาจนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น ปุ๋ย เชื้อเพลิง ปัจจุบันข้าวโพดนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยคนไทยนิยมบริโภคในรูปอาหารว่างระหว่างมื้ออาหาร อีกทั้งยังสามารถนำไปประกอบอาหารได้ทั้งคาว หวาน และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลาย (จันทรา แป้นตุ้ม และคณะ, 2541) ทั้งนี้แป้งข้าวโพด ถือเป็นส่วนประกอบหลักอย่างหนึ่งในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว นอกจากแป้งสาลี น้ำตาล และเกลือ สำหรับขนมขบเคี้ยวนั้นถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพการขยายตัวของตลาดค่อนข้างสูงอย่างต่อเนื่อง (พจมาลย์ วันเที่ยง และอรนุช โพธิ์อ่อง, 2547) แต่โดยทั่วไปขนมขบเคี้ยวเป็นสินค้าที่มีอายุสั้น เพราะพฤติกรรมผู้บริโภคจะเปลี่ยนแปลงเร็ว ผู้ประกอบการจึงต้องผลิตสินค้าใหม่ๆ หลายรูปแบบ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ผู้บริโภคยังมีแนวโน้มที่จะมีพฤติกรรมในการใส่ใจสุขภาพของตนเอง และเลือกสินค้าที่มีประโยชน์กับร่างกายมากขึ้นอีกด้วย ดังนั้นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ จึงเป็นการส่งเสริมภาพพจน์ที่ดีของผลิตภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเกิดได้เร็วในตลาดขนมขบเคี้ยว (นฤศันส์ และคณะ, 2549)

จากการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดสีม่วงและพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวของบริษัทเอกชนทำให้ได้ผลผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่มีฝักใหญ่ รสชาตินุ่มลิ้น หวาน และเหนียว ซึ่งสารสีม่วงเข้มในเมล็ดข้าวโพดเป็นสารแอนโทไซยานินที่มีคุณสมบัติในการต่อต้านอนุมูลอิสระได้ในระดับสูง ช่วยลดโอกาสในการเกิดมะเร็งชนิดเนื้องอก เสริมความคุ้มกันให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรค สมานแผล เพิ่มการทำงานของเม็ดเลือดแดง ชะลอการเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด ลดภาวะการเป็นโรคหัวใจ ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยควบคุมระดับน้ำตาล และชะลอความแก่ (สุฤชัย คล้ายเชียงราก, 2554) โดยข้าวโพดข้าวเหนียวแฟนซีสีม่วง 111 ซึ่งเป็นข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมสีม่วงพันธุ์การค้าพันธุ์แรกของไทยที่กำลังได้รับความนิยมปลูกเป็นข้าวโพดฝักสดอย่างกว้างขวางและมีอัตราการเติบโตของตลาดเพิ่มขึ้นร้อยละ 20-30 เนื่องจากมีสีสันแปลกสะดุดตากว่าข้าวโพดพันธุ์ทั่วไปในท้องตลาด นอกจากนี้ยังมีความโดดเด่นในด้านการอุดมด้วยสารแอนโทไซยานิน ซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง รวมทั้งมีวิตามินบี 3 วิตามินอี โอเมก้า 6 โอเมก้า 9 และกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิดในปริมาณมากกว่าข้าวโพดพันธุ์อื่นๆ (เคหการเกษตร, 2556) แต่อย่างไรก็ตาม

จากการศึกษาค้นคว้าปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานิน พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานินมากที่สุด ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ความเป็นกรด-ด่าง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โลหะ น้ำตาล และออกซิเจน รวมทั้งความเข้มข้น โครงสร้างเคมี และองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน (Mercadante AZ and Bobbio FO, 2008)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อประมาณสารสีแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่นอกจากจะได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคแล้ว ยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูงอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสูตรและวิธีการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงพันธุ์แฟนซีสีม่วง 111

1.3.2 ศึกษาสูตรการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงกับแป้ง 2 ชนิด ได้แก่ แป้งสาลี และแป้งข้าวเจ้า

1.3.3 ศึกษาสูตรการผลิตคอร์นชิพส์จากอัตราส่วนข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงต่อแป้ง 3 ระดับ ได้แก่ 9:1 4:1 และ 7:3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สูตรและวิธีการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่เหมาะสม

1.4.2 ทราบถึงผลของกระบวนการผลิตต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

1.4.3 ทราบปริมาณสารแอนโทไซยานิน และองค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นธัญพืชสำคัญอย่างหนึ่งของโลกรองจากข้าวเจ้าและข้าวสาลี เป็นพืชอาหารหลักที่มีการใช้ประโยชน์ กันอย่างกว้างขวาง ใน บางประเทศ เช่น เม็กซิโก อินเดีย อินโดนีเซีย อิตาลี ประชาชนรับประทานข้าวโพดเป็นอาหารประจำวัน ในรูป หลากหลายต่าง กัน นอกจากใช้เป็นอาหารมนุษย์และสัตว์โดยตรงแล้ว เมล็ดข้าวโพดยัง เป็นวัตถุดิบในการผลิต น้ำมัน แป้ง และน้ำตาล น้ำตาลที่สกัดจากเมล็ดใช้ทำสารเคมี วัตถุระเบิด และสีย้อมผ้า แป้ง ข้าวโพดใช้ทำสบู่ หมึก และกาว น้ำมันข้าวโพดนอกจากใช้ปรุงอาหาร รับประทานแล้วยังใช้ทำสีทาบ้าน และยาขัดเงา ส่วนของลำต้นและใบนอกจากใช้เป็นอาหารสัตว์แล้ว ยัง ใช้ในอุตสาหกรรม กระดาษ และ กระดาษอัด ซังใช้ทำจุกขวด กล้องยาสูบ และเป็นเชื้อเพลิง โดยรวมแล้ว ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่สำคัญๆ ซึ่งใช้ข้าวโพดเป็นส่วนประกอบ มีประมาณ มากกว่า 500 ชนิด สำหรับในประเทศไทยข้าวโพดที่ผลิตได้ส่วนมากใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และส่วนหนึ่งใช้เป็นอาหารมนุษย์

ข้าวโพดสามารถปลูกได้อย่างกว้างขวางทั่วโลก สามารถเจริญเติบโตได้ดี ในบริเวณ พื้นที่มีความสูงใกล้เคียงกับ ระดับทะเล ปานกลาง ไปจนถึงพื้นที่สูงกว่า ระดับทะเลปานกลาง 3,000-3,900 เมตร สำหรับในประเทศไทย ข้าวโพดสามารถปลูกได้ดีในทุกภาค (สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์, 2553)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปและลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวโพดอยู่ในวงศ์แกรมีนี (Gramineae) ซึ่งรวมพวกหญ้า ไม้ไผ่ และธัญพืชอื่นๆ เอาไว้ด้วย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมย์ส (*Zea mays*) ข้าวโพดมีลำต้นแข็ง ไส้แน่นไม่กลวง มีความ สูงตั้งแต่ 30 เซนติเมตร จนถึง 8 เมตร แล้วแต่ชนิดของพันธุ์ ตามลำต้นมีข้อและปล้อง ปล้องที่อยู่ในดินและใกล้ผิวดินสั้น และค่อยๆ ยาวขึ้นไปทางด้านปลาย ปล้องเหนือพื้นดินมีจำนวนประมาณ 8-20 ปล้อง พันธุ์ข้าวโพดส่วนมากลำต้นสดมีสีเขียว แต่บางพันธุ์มีสีม่วง ข้าวโพดแตกกอไม่มากนัก ส่วนมากไม่แตกกอ เลย การแตกกอขึ้นอยู่กับ ชนิดพันธุ์และสิ่งแวดล้อม ข้าวโพดที่แตกกอได้ 3-4 ต้น มี ข้าวโพดหวาน เป็นต้น ข้าวโพดที่ปลูกในที่สูงกว่าระดับทะเล ปานกลางมากอาจแตกกอได้ตั้งแต่ 7-10 ต้น ใบของข้าวโพดมี ลักษณะยาวรีคล้าย กับพืชวงศ์หญ้าทั่วไป ประกอบด้วย ตัวใบ กาบใบ และเขี้ยวใบ ลักษณะของใบรวมทั้งสีของใบแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพันธุ์ บางพันธุ์ใบสีเขียว บางพันธุ์ใบสีม่วง และบางพันธุ์ใบลาย จำนวนใบก็เช่นเดียวกันอาจมี ได้ตั้งแต่ 8-48 ใบ รากแรกที่ออกมาจากเอ็มบริโอ (embryo) เป็นรากชั่วคราว หรือรากย่อย เรียกว่า ไพรมารี (primary) หรือเซมินัล (seminal) เมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตได้ประมาณ 7-10 วัน รากถาวรจึงงอกขึ้นรอบข้อปลาย หรือปล้องที่หนึ่ง ในระดับใต้พื้นดินประมาณ 2.5-5 เซนติเมตร เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ รากถาวรนี้จะ แตกแผ่

ออกไปโดยรอบประมาณ 100 เซนติเมตร และแทงลึกลงไปในดินแนวดิ่งยาวมากซึ่งอาจยาวถึง 300 เซนติเมตร รากของข้าวโพดเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) นอกจากรากที่อยู่ใต้ดินแล้ว ยังมีรากยึดเหนี่ยว (bracer root) ซึ่งเกิดขึ้นรอบข้อที่อยู่ใกล้ผิวดิน และบางครั้งรากพวกนี้ยังช่วยหยั่งยึดพื้นดินอีกด้วย ข้าวโพดจัดเป็นพวก ดอกแยกเพศร่วมต้น คือ มีดอก เพศผู้และดอก เพศเมียอยู่แยกกันในต้นเดียว ช่อดอกเพศผู้อยู่ตอนยอดสุดของลำต้น ดอกเพศผู้ดอกหนึ่งมีอับ เรณู 3 อับ แต่ละอับมีเรณูประมาณ 2,500 เม็ด ดังนั้น ข้าวโพดต้นหนึ่งจึงมีเรณูอยู่หลายล้าน เม็ด และสามารถปลิวไปได้ไกล หลายกิโลเมตร ดอกเพศผู้อยู่ส่วนยอดของลำต้น และดอกเพศเมียอยู่ส่วนกลางๆ ของต้นเดียวกัน เมื่อดอกเพศผู้บานจะเริ่มปล่อยละอองเรณูออกจากปลายยอดลงทางโคนดอก ใน ดอกเพศเมียเมื่อแกะเปลือกออกจะเห็นรังไข่ติดกับแกนฝักหรือซัง รังไข่แต่ละอันมีเส้นไหมเชื่อมต่อยาวออกไปรอรับละอองเรณูเพื่อผสมพันธุ์ ดอกเพศเมียแต่ละดอกประกอบด้วยรังไข่และเส้นไหม ซึ่งมีความยาวประมาณ 5-15 เซนติเมตร ยื่นปลายโผล่ออกไปรวมกันเป็นกระจุกอยู่ตรงปลายช่อดอก ที่มีเปลือกหุ้มอยู่ ดอกพวกนี้พร้อมผสมพันธุ์หรือรับละออง เรณูได้เมื่อเส้นไหมโผล่ออกมา หลังจากผสม พันธุ์แล้วเส้นไหมจะแห้งเหี่ยว รังไข่ก็จะเจริญเติบโตเป็นเมล็ด ช่อดอกเพศเมียที่ผสม พันธุ์แล้วเรียกว่า ฝัก แต่ละฝักอาจมีเมล็ดมากถึง 1,000 เมล็ด แกนกลางของฝักเรียกว่า ซัง ปกติดอก เพศผู้จะบานพร้อมที่จะผสมก่อนดอก เพศ เมีย ดั้งนั้น ข้าวโพด จึงเป็นพืชที่ผสมข้ามพันธุ์ตามธรรมชาติ ข้าวโพด มีการผสมพันธุ์ในต้นเดียวกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หลังจากการผสมเรณูแล้ว เมล็ดจะเจริญเติบโตจนถึงระยะสุดท้าย เมล็ดข้าวโพดมีลักษณะแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดของพันธุ์ หากเป็นข้าวโพดไร่อาจเป็นพวกเมล็ดหัวแข็งหรือพวกหัวบุบ ถ้าเป็นพวกข้าวโพดหวานเมล็ดจะเหี่ยวย่น ส่วนพวกข้าวโพดแป้งนั้นส่วนมากมีเมล็ดเป็นแป้งอ่อน ถึงแม้เมล็ดจะต่างกันก็ตาม แต่โครงสร้างของเมล็ดเหมือนกัน ประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด ส่วนเนื้อภายใน และเอ็มบริโอที่เจริญเติบโตเป็นต้นข้าวโพด

เมล็ดข้าวโพดจัดเป็นพวกไม่มีระยะการ พักตัว เมื่อเมล็ดแก่ พร้อม เก็บเกี่ยวแล้วสามารถนำไปปลูกได้เลย เมื่อฝังเมล็ดลงไปในดิน เมล็ดจะงอกโผล่พ้นผิวดิน และใบแรกคลี่ออกให้เห็นภายในประมาณ 4-6 วัน ต่อมา ในระยะที่ 3 จึงมีรากออกมาจากข้อแรกเพิ่มจากรากชั่วคราวที่มีอยู่แล้ว การเจริญเติบโตของราก ลำต้น ใบ เป็นไปตามลำดับ จนกระทั่ง ถึงระยะที่ 7 จึงเริ่ม เห็นช่อดอกเพศผู้ ในระยะนี้ข้าวโพดไร่มีอายุประมาณ 50-55 วัน หลังจากปลูก การเจริญเติบโตในระยะนี้เข้าสู่ระยะการผสมพันธุ์ เส้นไหมของดอก เพศเมียโผล่พ้นเปลือกหุ้ม ที่ฝัก พร้อมที่จะรับละออง เรณูได้ภายในประมาณ 55-60 วันหลังจากปลูก เมื่อได้รับการผสมแล้วรังไข่เจริญ เติบโต กลายเป็นเมล็ดอ่อนและเมล็ดแก่ พร้อมเก็บเกี่ยวได้ภายในประมาณ 45 วัน (สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์, 2553)

2.1.2 ชนิดของข้าวโพด

การจำแนกด้านพฤกษศาสตร์ โดยถือตามลักษณะของแป้งและเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นหลัก สามารถจำแนกออกเป็น 7 ชนิด (สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์, 2553) คือ

1) ข้าวโพดหัวบุบ เมล็ดตอนบนมีรอยบุ๋มเนื่องจากตอนบนมีแป้งอ่อน ส่วนด้านข้างเป็นแป้งชนิดแข็ง เมื่อตากเมล็ดให้แห้งแป้งอ่อนจะยุบหดตัวลง จึงเกิดลักษณะหัวบุบ ขึ้นดังกล่าว ขนาดของลำต้น ข้าวโพดหัวบุบสูง เหมือนข้าวโพดไร่ทั่วไป สีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง หรือสีอื่นๆ แล้วแต่พันธุ์ นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา

2) ข้าวโพดหัวแข็ง เมล็ดมีแป้งแข็งห่อหุ้มโดยรอบ หัวเรียบไม่บุบ ไม่ยุบหดลงไป เมล็ดค่อนข้างกลม นิยมปลูกกันมากในทวีปเอเชียและทวีปอเมริกาใต้ ข้าวโพดไร่ของไทยที่นิยมปลูกกันอยู่เป็นชนิดหัวแข็งนี้ทั้งสิ้น สีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง สีม่วง หรือสีอื่นแล้วแต่ชนิดของพันธุ์

3) ข้าวโพดหวาน นิยมปลูกกันแพร่หลายเพื่อรับประทานฝักสด มีรสหวานเพราะมีน้ำตาลมาก เมื่อเมล็ดแก่เต็มที่หรือแห้ง เมล็ดจะหดตัวเหี่ยวย่น เนื่องจากน้ำตาลเปลี่ยนเป็นแป้งไม่ได้

4) ข้าวโพดคั่ว เมล็ดมีขนาดค่อนข้างเล็ก มีแป้ง ชนิดแข็งอยู่ภายใน ภายนอกห่อหุ้มด้วยเยื่อที่เหนียวและยืดตัวได้ เมล็ดมีความชื้นภายในอยู่พอสมควร เมื่อถูกความร้อนจะเกิดแรงดันภายในเมล็ดระเบิดตัวออกมา เมล็ดอาจมีลักษณะกลมหรือหัวแหลมได้ มีสีต่างกัน ออกไป เช่น เหลือง ขาว ม่วง

5) ข้าวโพดข้าวเหนียว เมล็ดมีแป้ง ชนิดอ่อนคล้ายแป้งมันสำปะหลัง อยู่ภายใน นิยมปลูกเพื่อรับประทานฝักสด คล้ายข้าวโพดหวาน แม้รสไม่หวานมากแต่เมล็ดนิ่ม มีรสอร่อย ไม่ติดฟัน เมล็ดมีสีต่างกันออกไป เช่น เหลือง ขาว ส้ม ม่วง หรือมีหลายสีในฝักเดียวกัน ข้าวโพดชนิดนี้ที่คนไทยนิยมรับประทาน เช่น ข้าวโพดเทียน

6) ข้าวโพดแป้ง เมล็ดประกอบด้วยแป้งชนิดอ่อนมาก เมล็ดค่อนข้างก ลม หัวไม่บุบหรือบุบเล็กน้อย นิยมปลูกใน ทวีปอเมริกาใต้ ในอเมริกากลางและ ประเทศ สหรัฐอเมริกา ชาวอินเดียนแดงนิยมปลูกไว้เป็นอาหาร

7) ข้าวโพดป่า ลักษณะ ที่ใกล้เคียง กับข้าวโพดพันธุ์ป่า มีลำต้น เล็ก ฝักเล็กกว่าข้าวโพดธรรมดา เมล็ดมีขนาดค่อนข้างเล็กเท่าๆ กับเมล็ดข้าวโพด คั่ว มีเปลือกหุ้มทุกเมล็ด และยังมีเปลือกหุ้มฝักอีกชั้นหนึ่งเหมือนข้าวโพดธรรมดาทั่วไป เมล็ดมีลักษณะต่างๆ กัน ข้าวโพดชนิดนี้ไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ปลูกไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

2.1.3 พันธุ์ข้าวโพด

พันธุ์ข้าวโพดที่ปลูก ตามวัตถุประสงค์แต่ละอย่างมีลักษณะไม่เหมือนกัน พวก ที่ปลูกเพื่อใช้เมล็ด ต้องใช้พันธุ์ที่มีผลผลิตของเมล็ดสูง แต่พวกที่ปลูกเพื่อตัดต้นสดไปหมักหรือให้สัตว์กินโดยตรง มักใช้พันธุ์ที่มีลำต้นสูงหรือพันธุ์ที่มีการแตกกอมาก เพื่อ ให้ได้ปริมาณต้นและใบมาก ส่วนข้าวโพดฝักอ่อนนั้นนิยมใช้พันธุ์ที่มีหลายฝักต่อต้น เช่น ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดที่นิยมปลูกกันอยู่ทั่วไปอาจจำแนกได้ (สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์, 2553) ดังนี้

1) พันธุ์ผสมเปิด คือ พันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้มีผลผลิตดี ดังเช่น พันธุ์สุวรรณ 1 ที่ได้รวมพันธุ์หรือสายพันธุ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน วิธีรวมง่ายๆ คือ รวมเมล็ดจากแต่ละพันธุ์หรือสายพันธุ์ในจำนวนเท่าๆ กัน แล้วนำไปปลูกในแปลงอิสระ ห่างไกลจากข้าวโพดพันธุ์อื่นๆ ปล่อยให้ผสมกันเองตามธรรมชาติ แล้วเก็บเกี่ยวเมล็ดไว้ปลูกเป็นพันธุ์ต่อไป

2) พันธุ์ลูกผสม นิยมปลูกในประเทศที่ มีความเจริญด้าน วิทยาการการเกษตรมากแล้ว เนื่องจากข้าวโพดพวกนี้ มีการปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อม ได้ไม่ดี หรือเปลี่ยนแปรไปตามสิ่งแวดล้อม เช่น ใส่ปุ๋ยไม่เพียงพอ ไม่กำจัดวัชพืช มีน้ำไม่พอ ข้าวโพด เหล่านี้จึงให้ผลผลิตได้ไม่ดี นอกจากนี้ การใช้ข้าวโพดลูกผสมปลูกต้องซื้อเมล็ดใหม่มาปลูกทุกปี เพราะหากใช้เมล็ดเก่าเก็บจากไร่จะกลายพันธุ์ไป

2.1.4 ประโยชน์ของข้าวโพด

เมล็ดข้าวโพดและส่วนต่างๆ ของต้นข้าวโพดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย ทั้งเป็นอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท และใช้เป็นพืชพลังงานทดแทน จึงจำแนกประโยชน์ของข้าวโพดออก เป็น 4 ประเภท (สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์, 2553) ดังนี้

1) เมล็ดข้าวโพดใช้เป็นอาหารมนุษย์ ในประเทศไทย คนไทยนิยมรับประทานฝักสดของข้าวโพดหวาน ข้าวโพดข้าวเหนียว และข้าวโพดไร่ โดยนำมาต้มหรือเผาให้สุกเสียก่อน นอกจากนั้น ฝักอ่อนของข้าวโพดยังเป็นที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลาย จัดเป็นผักชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาปรุงอาหาร นอกจากจะรับประทานในประเทศแล้ว ยังบรรจุกระป๋องส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ เป็นอุตสาหกรรมชนิดหนึ่งด้วย ประชาชนในบางประเทศบริโภคข้าวโพดเป็นอาหารหลักในวิธีต่างๆ กัน เช่น ในแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้ ใช้แป้งบดจากเมล็ดแก่มาทำเป็นแผ่นนึ่งหรือย่างให้สุก รับประทานกับอาหารอื่นคล้ายกับการรับประทานขนมปัง แผ่นแป้งนี้เรียกว่า ตอร์ติยา (Tortilla) ส่วนในประเทศฟิลิปปินส์นิยมตำเมล็ดข้าวโพดแก่ให้แตกเป็นชิ้นเล็กเท่าๆ กับเมล็ดข้าว แล้วต้มรับประทานแทนข้าว

2) ต้นและเมล็ดข้าวโพดใช้เป็นอาหารสัตว์ เมล็ดข้าวโพดเมื่อแก่นำมาบดให้ละเอียดใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ได้หลากหลายชนิด ใช้เป็นทั้งอาหารสัตว์บกและสัตว์น้ำ ส่วนของต้นและใบยังใช้เป็นอาหารสัตว์ได้โดยตรงอีกด้วย คือ ให้กินสดทั้งต้นและใบ หรือเก็บต้นและใบแห้งไว้ให้สัตว์กินในฤดูแล้งได้อีก แต่ที่นิยมทำกันมากที่สุด คือ การนำ ต้น ใบ และฝักที่ยังสดอยู่ไปหมักเป็นข้าวโพดหมัก โดยผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้มีคุณค่าทางอาหารสูงขึ้น จึงนิยมใช้เป็นอาหารของโคนมและโคเนื้อกันมาก

3) เมล็ดข้าวโพดใช้ผลิตน้ำมันพืช ข้าวโพดที่ใช้สกัดน้ำมันเป็นพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูง (high oil corn) เมล็ดข้าวโพดน้ำมันสูงให้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 6-13 สูงกว่าข้าวโพดธรรมดา

ประมาณ ร้อยละ 4.5 น้ำมันส่วนใหญ่อยู่ในส่วนประเปาะหรือคัปของเมล็ด น้ำมันข้าวโพดมีคุณภาพดีเหมาะสำหรับปรุงอาหาร ส่วนกากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันยังสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอื่นได้อีก

4) ข้าวโพดใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม เมล็ดและส่วนต่างๆ ของข้าวโพด สามารถนำไปใช้ผลิตในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท โดยเฉพาะเมล็ดข้าวโพดนำไปผลิตแป้งได้หลายชนิด รวมทั้งอาหารว่างประเภทขนมกรุบกรอบที่เด็กๆ นิยมกัน ผลผลิตแป้งข้าวโพดนำไปผลิตน้ำตาลนานาชนิดและน้ำเชื่อมได้ ในปัจจุบันนี้น้ำมันเชื้อเพลิงจากธรรมชาติมีราคาแพงจึงมีการนำข้าวโพดมาผลิตแอลกอฮอล์ หรือเอทานอล ใช้เป็นพลังงานทดแทนโดยผสมกับน้ำมันเบนซินตามสัดส่วนเรียกว่า “แก๊สโซฮอล์” นอกจากนี้แล้วแป้งข้าวโพดแปรรูปยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอื่นๆ ได้อีกมาก เช่น ยารักษาโรค กระดาษ กระดาษแก้ว ผ้าใยสังเคราะห์ กรด น้ำหอม น้ำมันใส่ผม และแบตเตอรี่ นอกจากเมล็ดแล้ว ในส่วนของซังข้าวโพด ใบ และลำต้น สามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น กระดาษ ปุ๋ย และฉนวนไฟฟ้า ได้อีก ในสมัยก่อนชาวไร่ข้าวโพดนิยมใช้ประโยชน์จากซังข้าวโพดโดยนำมาเผาเป็นถ่านเอาไว้ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับทำอาหาร เมื่อมีการใช้เตาแก๊สเป็นเชื้อเพลิงมากขึ้น การใช้ถ่านจากซังข้าวโพดจึงแทบไม่มีให้เห็นแล้ว นอกจากนำมาใส่กระถางต้นไม้

2.2 ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงพันธุ์แฟนซี 111 เกิดจากการนำเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดสีม่วง ซึ่งเป็นข้าวโพดไร่ที่นิยมปลูกเป็นอาหารไก่ในภาคเหนือ ผสมเข้ากับข้าวโพดข้าวเหนียวที่โครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักสดของบริษัท แปซิฟิคเมล็ดพันธุ์ ได้พัฒนาขึ้น โดยใช้เวลาในการปรับปรุงพันธุ์ตามหลักวิชาการ (วิธี conventional breeding method) ผ่านขั้นตอนต่างๆ นาน 6-7 ปี จนได้สายพันธุ์แท้ที่มีคุณสมบัติให้ผลผลิตสูงถึงไร่ละ 2,500 กิโลกรัม คุณภาพฝักสดดีเยี่ยม มีความเหนียวนุ่ม และรสชาติหวาน หลังจาก ที่บริษัท แปซิฟิคเมล็ดพันธุ์ ประสบผลสำเร็จในการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง สำหรับบริโภคฝักสด พร้อมส่งเสริมเกษตรกรเพาะปลูก และจำหน่ายในเชิงการค้ารายแรกของเมืองไทยภายใต้เครื่องหมายการค้า “ข้าวโพดแฟนซีสีม่วง 111” นอกจากจะได้รับการตอบรับจากเกษตรกรและผู้บริโภคแล้ว ผลการวิจัยจากนักวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าข้าวโพดชนิดนี้มีคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น สารแอนโทไซยานิน ซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงและสามารถยับยั้งโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด วิตามินบี 3 วิตามินอี โอเมกา 6 และ 9 ซึ่งช่วยบำรุงสมอง ชะลอความชรา และป้องกันโรคความจำเสื่อมหรืออัลไซเมอร์ มากกว่าข้าวโพดอื่นๆ (ดลมนัส กาเจ, 2555)

2.3 คอร์นชิพส์

คอร์นชิพส์ (corn chips) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดดั้งเดิมชนิดหนึ่ง ทำจากข้าวโพดมีลักษณะเป็นแผ่น มีเนื้อสัมผัสกรอบคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด กรรมวิธีผลิตคอร์นชิ พส์ โดย

วิธีดั้งเดิม เริ่มจากการเตรียมข้าวโพด นำข้าวโพดล้างน้ำ แยกสิ่งสกปรกและสิ่งปลอมปนออก ทำให้สุกด้วยวิธีการต้มในน้ำเดือดที่มีค่า pH เป็นกลาง โดยอาจใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.6 ต้มเป็นเวลาประมาณ 45 นาที ระหว่างการต้มควรรักษาระดับน้ำให้ท่วมข้าวโพดอยู่ตลอดเวลา เมื่อต้มแล้วให้รินน้ำทิ้ง ทำให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง การเตรียมแป้งข้าวโพดสุก (pregelatinized corn flour) โดยการนำข้าวโพดที่ต้มสุกแล้วนำมาล้างน้ำ 2-3 ครั้ง บดเป็นแป้งด้วยน้ำประมาณ 2 เท่าของปริมาตรข้าวโพด อาจมีการใช้ส่วนผสมของแป้งชนิดอื่นด้วย เช่น แป้งข้าวสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งมันฝรั่ง หรือสตาร์ชข้าวโพด หรือธัญชาติชนิดอื่นผสมกันก่อนทำการบดเพื่อให้เกิดกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสหลายๆ แบบ นอกจากนี้อาจมีการเติมสารเจือปนเพื่อช่วยในการผลิตก่อนการบดหรือหลังจากการบดได้ เช่น เกลือช่วยเพิ่มรสชาติและทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวพอดี คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxy methyl cellulose, CMC) และโซเดียมไบคาร์บอเนตช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำและลักษณะเนื้อจะกรอบแข็งและเหนียวขึ้น แป้งมันสำปะหลังพบว่าช่วยทำให้เนื้อสัมผัสกรอบนุ่มมากขึ้น มีน้ำหนักเบาและพองตัวดี แต่มีข้อเสียคือ เมื่อมีปริมาณแป้งมากขึ้นจะทำให้การดูดซับน้ำมันมากขึ้นด้วย ดังนั้นการใช้ส่วนผสมจะต้องให้เหมาะสม ทั้งนี้ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์กรรมวิธีผลิตเป็นการผลิตด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มากยิ่งขึ้น

ตัวอย่างของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตคอร์นชิ พส์ เช่น แป้งมันสำปะหลัง 10 ส่วน เกลือ 8 ส่วน โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.2 ส่วน และน้ำ 370 มิลลิลิตร บางแห่งอาจมีการนำส่วนผสมของแป้งไปต้มให้ร้อนถึง 82 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบที่เป็นลูกกลิ้ง (drum dryer) จะได้แผ่นแป้งบางๆ คล้ายปุยนุ่น หรือนำส่วนผสมของแป้งไปร่อนและนึ่งด้วยไอน้ำ ปล่อยให้เย็น แล้วเติมยีสต์ นวดให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 0-10 องศาเซลเซียส สักระยะหนึ่ง การเตรียมแผ่นคอร์นชิ พส์ โดยการนำส่วนผสมแป้งที่ได้ไปรีดให้เป็นแผ่นบาง แล้วตัดออกเป็นชิ้นตามต้องการ นำไปอบที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง แล้วนำไปทอดในน้ำมันหรืออบ ปรุงรส ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วบรรจุ ในขั้นตอนนี้ได้มีการประยุกต์โดยการป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์อัดออกมาเป็นรูปร่างต่างๆ กัน เช่น รูปร่างแบบริบบิ้น แล้วนำไปทอดในน้ำมันร้อนหรืออบในทำนองเดียวกัน (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

2.3.1 การปรุงรส

นิยมใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2557) ดังต่อไปนี้

1) การเคลือบที่ผิวหน้าของอาหาร โดยการโรยส่วนผสมของเครื่องปรุงรสบนอาหารที่ทอดหรืออบแล้ว หรืออาจผสมเครื่องปรุงรสกับน้ำมันแล้วฉีดเป็นฝอยไปบนอาหาร วิธีนี้มีข้อเสีย คือ การพ่นเป็นฝอยต้องอาศัยเครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษ เพราะเมื่อผสมเครื่องปรุงรสกับน้ำมันแล้ว

จะไม่เกิดการละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่มีลักษณะเป็นสารแขวนลอย นอกจากนี้จะต้องระมัดระวังเรื่องความสะอาด

2) การผสมเครื่องปรุงรสลงในส่วนผสมแป้ง ก่อนทำการนวดให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือก่อนป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ วิธีนี้มีข้อเสียอยู่บ้าง คือ ความร้อนจากการทอดหรือจากภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์อาจทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสได้

2.3.2 การเก็บรักษาคอร์นชิพส์

คอร์นชิพส์เป็นผลิตภัณฑ์ที่แตกหักได้ง่าย ต้องระมัดระวังเรื่องความชื้น อากาศ แสง ที่จะทำให้อาหารนิ่ม มีกลิ่นหืน และเสื่อมเสียคุณภาพได้ง่าย ควรบรรจุในภาชนะแห้งและปิดสนิท ทำนองเดียวกับผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

2.4 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (anthocyanin) มีชื่อย่อมาจากรากศัพท์เดิมของกรีกคือ anthos แปลว่า ดอกไม้ และ kyanos แปลว่า สีน้ำเงิน แอนโทไซยานิน จึงหมายถึง ดอกไม้สีน้ำเงิน แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (water-soluble pigments) จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยน แปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด -ด่าง โดยมีสีน้ำเงินเข้มในสภาวะที่เป็นด่าง (pH มากกว่า 7) มีสีม่วงเมื่อเป็นกลาง (pH 7) และจะเปลี่ยนเป็นสี แดงส้มในสภาวะที่เป็นกรด (pH น้อยกว่า 7) สามารถพบแอนโทไซยานินได้ทั่วไปใน แวคิวโอล และเซลล์เนื้อเยื่อชั้นนอกของดอก ผล และใบของพืชดอก (angiosperms) ยกเว้นในพืชพวกตะบองเพชร ผักกาดหัว ผักโขมและพืชพวกสาหร่าย บางครั้งปรากฏในส่วนเนื้อเยื่อพืช (plant tissue) ได้แก่ ราก หัวใต้ดินของพืช (tuber) ลำต้น หน่อย่อย (bulbil) และพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperms) ต่างๆ เช่น เฟิร์นและไบโอไฟต์ (bryophytes) นอกจากแอนโทไซยานินจะทำให้ดอกไม้มีสีสันสวยงาม แล้วยังช่วยป้องกันพืชไม่ให้ได้รับอันตรายจากสิ่ง แวดล้อมและแมลงต่างๆ แอนโทไซยานินจากธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้หลายชนิด แต่ที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน คือ คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) จึงมีแนวโน้มนำมาประยุกต์ใช้ในด้านสุขภาพ และความงาม โดยช่วยลดการเกิดริ้วรอยของผิวจากรังสียูวี และมลภาวะ อีกทั้งช่วยป้องกันเซลล์เส้นผมไม่ให้อ่อนแอและทำให้เส้นผมเงางามแข็งแรง (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553)

2.4.1 การเกิดและโครงสร้างของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินประกอบด้วยส่วนของอะไกลโคน (aglycone) น้ำตาล (sugar) และหมู่เอซิล (acyl group) (Anderson and Markham, 2006) กำลังการผลิตแอนโทไซยานินทั่วโลกมีประมาณ 10,000 ตัน (คำนวณกำลังการผลิตจากองุ่นเพียงชนิดเดียว) (Kim *et al*., 2008) ปัจจุบันมีการค้นพบแอนโทไซยานินมากกว่า 300 ชนิด จากสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ได้พบกว่า 7,000 ชนิด

แต่ละชนิดจะมีสีสัน และคุณสมบัติ แตกต่างกันไป แม้ว่าแอนโทไซยานินจะมีด้วยกันหลายชนิด แต่ทุกชนิดจะมีโครงสร้างหลักเป็นสารชนิดเดียวกันที่เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) ที่มีคาร์บอน 15 อะตอมอยู่ภายในโมเลกุล (สัมพันธ์ คัมภิรานนท์, 2546) คือ โครงสร้างแบบ C6-C3-C6 ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation แอนโทไซยานิดินสามารถเกิดได้ประมาณ 20 ชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบได้บ่อยในพืชคือ pelargonidin (Pg) คิดเป็นร้อยละ 18 cyanidin (Cy) คิดเป็นร้อยละ 30 delphinidin (Dp) คิดเป็นร้อยละ 22 และ peonidin (Pn) petunidin (Pt) และ malvidin (Mv) คิดเป็นร้อยละ 20 (Anderson and Markham, 2006)

การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซี (OH) และหมู่เมทอกซี (OCH_3) ของ flavylium ring จะทำให้เกิดสีของ แอนโทไซยานิดิน กล่าวคือ การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซีจะทำให้เกิดเชดของสีฟ้า (bluish shade) ส่วนการเพิ่มจำนวนของหมู่เมทอกซีจะทำให้เกิดสี แดง (redness) Mazza (2007) ได้รายงานว่า การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซีจะทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) เพิ่มขึ้น ซึ่งสีและการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานิดินแต่ละชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และเนื่องจากการแทนที่ของกรดและด่างเกิดขึ้นได้ในหลายตำแหน่ง จึงทำให้จำนวนของแอนโทไซยานินมีมากกว่า แอนโทไซยานิดิน 15-20 เท่า โมเลกุลของน้ำตาลที่ต่อกับ แอนโทไซยานิดิน ได้แก่ กลูโคส (glucose) กาแลกโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) อะราบิโนส (arabinose) ไดแซ็กคาไรด์และไตรแซ็กคาไรด์ โดยแอนโทไซยานินที่พบมากที่สุด คือ 3-monoside, 3- biosides, 3,5-diglycosides และ 3,7- diglycosides (Sikorski, 2007)

ตารางที่ 2.1 สีและการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานิดิน

กลุ่มของรงควัตถุ (Pigment class)	**การให้สี (Colour)**	**การดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)**
แอนโทไซยานิน		
ไซยานิดิน ไกลโคไซด์ (Cyanidins glycosides)	ส้ม-แดง	535
เดลฟินิดิน ไกลโคไซด์ (Delphinidins glycosides)	น้ำเงิน-แดง	546
มัลวิดิน (Malvidins glycosides)	น้ำเงิน-แดง	542
เพลาโกนิดิน ไกลโคไซด์ (Pelargonidins glycosides)	ส้ม	520

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

กลุ่มของรงควัตถุ (Pigment class)	การให้สี (Colour)	การดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)
พีโอนิดิน ไกลโคไซด์ (Peonidins glycosides)	ส้ม-แดง	532
เพทูนิดิน ไกลโคไซด์ (Petunidins glycosides)	น้ำเงิน-แดง	543

(Kidmose *et al*., 2002)

2.4.2 คุณสมบัติทางเคมีของแอนโทไซยานิน

ในสารละลายตัวกลาง (aqueous media) แอนโทไซยานินจะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์วัดความเป็นกรด -ด่าง (pH indicator) คือ ให้สีแดงที่ pH ต่ำ ให้สีน้ำเงินที่สภาวะเป็นกลาง และไม่มีสีที่ pH สูง ในสารละลายที่เป็นกรด และเป็นกลางนั้น มีโครงสร้างของแอนโทไซยานิน 4 โครงสร้างที่อยู่ในสภาวะสมดุล คือ red flavylium cation (AH+), blue quinonoidal base หรือ red quinonoidal base (A), colorless carbinol pseudobase (B) และ colorless chalcone (C) ในสภาวะที่เป็นกรดและ pH ต่ำกว่า 2 จะมี AH+ เป็นโครงเด่น เมื่อ pH เพิ่มขึ้น AH+ จะเกิดการสูญเสียโปรตอนเกิดเป็นสารละลาย blue quinonoidal base หรือ red quinonoidal base (A) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เกิดเป็นปกติ แต่การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) ของ AH+ จะทำให้เกิด colorless carbinol pseudobase (B) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความแตกต่างกันของ pH และโครงสร้างของแอนโทไซยานินจึงทำให้ปริมาณของ AH+, A, B และ C ที่สภาวะสมดุลมีความแตกต่างกัน เช่น โครงสร้างของ 3-glycoside และ 3,5-diglycoside จะเกิดขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 3 ซึ่งจะเกิดเป็น colorless carbinol pseudobase (B) อย่างไรก็ตามปริมาณเพียงเล็กน้อยของ blue quinonoidal base (A) และ colorless chalcone (C) จะปรากฏให้เห็นและมีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ pH สูงขึ้น (pH 4-6) (Sikorski, 2007)

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสีและความเสถียรของแอนโทไซยานิน

จากการ ศึกษาค้นคว้าปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของ แอนโทไซยานิน พบว่า ปัจจัยทางเคมี และฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของ แอนโทไซยานินมีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานินมากที่สุด ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ความเป็นกรด-ด่าง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โลหะ น้ำตาล และออกซิเจน รวมทั้งความเข้มข้น โครงสร้างเคมี และองค์ประกอบของ แอนโทไซยานิน (Mercadante and Bobbio, 2008) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) โครงสร้าง (Structure) ความเสถียรและสีของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับธรรมชาติและจำนวนของน้ำตาลที่ใกล้กับ flavylium ion และจำนวนของกรดที่เชื่อมต่อกับ glycosylic moiety รวมทั้งเกี่ยวข้องกับจำนวน และตำแหน่งในการแทนที่ flavylium ion ของไฮดรอกซิลและเมทอกซิล ตัวอย่างเช่น 3-deoxy anthocyanins ที่มีสีเหลือง เนื่องจากเกิดการดีไฮดรอกซีเลชัน (dehydroxylation) ของคาร์บอนตำ แหน่งที่ 3 ทำให้มีความเสถียรมากกว่า 3-hydroxy anthocyanins ที่มีสีแดงและมีความเสถียรต่ำกว่ามาก นอกจากนี้ยังพบว่า แอนโทไซยานินที่ประกอบด้วย aromatic acyl groups มีความเสถียรมากกว่า unacylated pigments อาจเนื่องมาจากความเร็วในการเปลี่ยนสีจากการไฮเดรชัน (hydration) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในแอนโทไซยานินนิวเคลียส (anthocyanin nucleus) การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซี (OH group) ในวงแหวนของแอนโทไซยานินนำไปสู่การดูดซับ แสงสูงสุด ทำให้ความยาวคลื่นในการดูดกลืน แสงเพิ่มขึ้นและเกิดการเปลี่ยนสีจากสีส้มไปเป็นสีน้ำเงิน -แดง แต่การแทนที่ด้วยหมู่เมทอกซี (OCH_3 group) จะให้ผลตรงข้ามกัน หมู่ไฮดรอกซีที่ C-3 จัดว่ามีความสำคัญเนื่องจากเป็นจุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีส้มและสีแดง (Sikorski, 2007)

2) อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง (Temperature and pH) การย่อยสลายทางความร้อน (thermal degradation) มีผลต่อความเสถียรของ แอนโทไซยานิน คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มความเสถียรของ แอนโทไซยานิน และรงควัตถุต่างๆ ในอาหารจะลดลง ตัวอย่างเช่น cyanidin 3-glucoside และ cyaniding 3-rutinoside จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายกรดอ่อน (pH 1-4) ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน หรือความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานินที่สกัดจากเปลือกของดอกทานตะวัน (sunflower hulls) จากการสกัดด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65-95 องศาเซลเซียส และที่ pH 1-5 พบว่า การสลายตัวของ แอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสารละลายที่ได้จากการสกัด Hiemori, Koh, and Mitchell (2009) ได้ศึกษาองค์ประกอบและความเสถียรทางความร้อนของ แอนโทไซยานินใน black rice (*Oryza sativa* L. *japonica v*ar. SBR) โดยแอนโทไซยานิน 6 ชนิดถูกนำมาวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC-PDA และ LC-(ESI)MS/MS พบว่า แอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดคือ cyanidin-3-glucoside (572.47 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 91.13 ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด) และ peonidin-3-glucoside (29.78 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 4.74 ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด) รองลงมาคือ cyaniding-dihexoside isomer 3 ไอโซเมอร์ และ cyaniding hexoside อีก 1 ชนิด นอกจากนี้ความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานินที่ประเมินจากการหุงข้าวและความดันที่ใช้ พบว่าวิธีการทั้งหมดของกระบวนการหุงข้าว black rice เป็นสาเหตุทำให้ปริมาณของ แอนโทไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยความดัน (pressure) ที่ใช้ในการหุงข้าวเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปริมาณของ cyanidin-3-

glucoside ลดลง รองลงมาคือ หม้อหุงข้าว (rice cooker) และปริมาณก๊าซที่ใช้ คิดเป็นร้อยละ 79.8 74.2 และ 65.4 ตามลำดับ ในขณะเดียวกันปริมาณของ protocatechuic acid มีการเพิ่มขึ้นอีก 2.7-3.4 เท่า ในทุกวิธีการของกระบวนการหุงข้าว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการหุงข้าว black rice เป็นสาเหตุให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนของ cyanidin-3-glucoside และการเกิดของ protocatechuic acid ขึ้นพร้อมกัน

3) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acids) มีผลต่อความเสถียรของ แอนโทไซยานินเกิดจากการควบแน่น (condensation) ของกรดแอสคอร์บิกที่คาร์บอนตำ แหน่งที่ 4 ของแอนโทไซยานิน กรด แอสคอร์บิกมีความสามารถในการป้องกัน แอนโทไซยานิน เนื่องจากสามารถลดการเกิด o-quinone formed ก่อนกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน การสลายตัวของกรด แอสคอร์บิก (ascorbic acid degradation) มีผลทำให้เกิดการสลายตัวของ แอนโทไซยานิน (anthocyanin degradation) เพิ่มขึ้น (Sikorski, 2007) กรดแอสคอร์บิกเป็นนิวคลีโอไฟล์ (nucleophiles) ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยจะเข้าทำลายที่ส่วนของประจุของ โมเลกุลของ แอนโทไซยานิน นอกจากนี้ยังมีกลไกของกรดแอสคอร์บิกที่มีผลต่อความเสถียรของ แอนโทไซยานิน คือ กรดแอสคอร์บิกเป็นสาเหตุทำให้เกิด oxidative cleavage ที่ pyrilium ring จากการกระทำของอนุมูลอิสระ กรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็น molecular oxygen activator ในการสร้างอนุมูลอิสระออกมาทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลของแอนโทไซยานิน การเติมกรด แอสคอร์บิกปริมาณ 330 มิลลิกรัมต่อลิตรในสารละลายที่มี malvidin 3-glucoside, malvidin 3,5-diglucoside และ flavylium salt จะเกิดการ แทนที่ที่ต่างกันในคาร์บอนอะตอมตำ แหน่งที่ 4 (pH 2) โดยโครงสร้างของ anthocyanin flavylium salt มีบทบาทสำคัญต่อความเสถียรของ anthocyanin ซึ่ง diglucoside จะทำให้สีของ anthocyanin จางลงช้ากว่า monoglucoside ทั้งนี้ชนิดของ flavylium cation ไม่มีผลต่ออัตราการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก (rate of ascorbic acid degradation) อย่างมีนัยสำคัญ

4) น้ำตาล (Sugars) การเติมน้ำตาลมีผลต่อความเสถียรของ แอนโทไซยานิน ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ความเข้มข้นของ แอนโทไซนานิน และชนิดของน้ำตาล โดย reducing และ non-reducing sugar มีผลในการทำลายความเสถียรของ แอนโทไซยานินใน แบล็ค เคอเรนท์ (black currant) ความเสถียรทางความร้อนของ แอนโทไซยานิน (anthocyanin thermostability) จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของซู โครส (concentration of sucrose) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 20 ขณะที่ความเข้มข้นที่ ร้อยละ 40 จะมีผลดีต่อความเสถียรของรงควัตถุ ตรงข้ามกันความเสถียรทางความร้อนของรงควัตถุ (thermostability of pigments) จะลดลงแบบเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของฟรุกโตส (concentration of fructose) เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการเกิดฟูรอลดีไฮด์ (furaldehyde formation)

5) ปัจจัยอื่น แอนโทไซยานินจะมีสีจางลงที่ pH 3 โดยการเติมโซเดียมซัลไฟต์ที่ C-2 หรือ C-4 ในส่วนกำเนิดสี (chromophore) ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วที่สภาวะความเป็นกรด (acidification) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ EDTA และส่วนผสมระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ EDTA มีผลต่อการสูญเสีย แอนโทไซยานินในน้ำผลไม้ สตรอเบอร์รี่น้อยมากเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 10 สัปดาห์ ในทางกลับกัน การเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการสูญเสีย แอนโทไซยานิน และทำให้สารประกอบพอลิเมอร์ลดลง การทดลองกับสตรอเบอร์รี่ และราสเบอรี่โดยใช้ความดันอุทกสถิต (hydrostatic pressure) สูงจาก 200-800 เมกะปาสคาล (mPa) ที่อุณหภูมิ 18 และ 21 องศาเซลเซียส และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4, 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่า ความเสถียรของราสเบอรี่มีค่ามากที่สุดที่ความดันอุทกสถิต 200 mPa (4 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ 800 mPa (4 องศาเซลเซียส)

2.4.4 คุณสมบัติของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นสารให้สีธรรมชาติในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้มีความแตกต่างกันทั้งทางเภสัชวิทยา และชีววิทยา เช่น เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถลดอาการอักเสบ (anti-inflammatory) โดยเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยโปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) และกระดูกอ่อน (cartilage) จึงลดการทำลายจากอนุมูลอิสระอันตรายที่สำคัญ ได้แก่ DPPH•, O_2 •$^-$, OH•, O_2 และ H_2O_2 (Changlian *et al*., 2006) นอกจากนี้ยังช่วยปกป้องหลอดเลือด (vasoprotective) โดยการขยายหลอดเลือดและกระตุ้นการไหลเวียนของเลือด ลดคอเลสเตอรอลในเลือดโดยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (lipid peroxidation) (Francis, 2002) ลดความเสี่ยงของโรคมะเร็งและต้านไวรัส (Zhao *et al*., 2009) ช่วยกระตุ้นให้เส้นผมดำ ชะลอผมหงอก ช่วยให้ผิวพรรณเปล่งปลั่ง และมีฤทธิ์ต้านรังสียูวี (พิมพ์อร ศีตคุนรัตน์, 2552) แต่คุณสมบัติเด่นที่สุดของ แอนโทไซยานินคือ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant effectiveness) โดยแอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซี และอีถึง 2 เท่า ความสนใจเกี่ยวกับ แอนโทไซยานินจึงเน้นไปยังการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่มีอยู่ในบลูเบอร์รี่ (blueberries) เชอร์รี่ (cherries) ราสเบอรี่ (raspberries) ลูกเกด (black currants) องุ่นม่วง (purple grape) และไวน์แดง (red wine) (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553)

Duan *et al*. (2007) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH• ของแอนโทไซยานิน กรดแอสคอร์บิกและ butylated hydroxytoulene (BHT) จากเปลือกหุ้มเมล็ดของผลลิ้นจี่ (litchi fruit pericarp) ที่ปริมาณเท่ากันคือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า แอนโทไซยานินมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH• มากที่สุด รองลงมาคือ กรดแอสคอร์บิก และ BHT โดยประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH• เท่ากับร้อยละ 91.3, 20.1

และ 9.73 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ super anion radicals ของทั้ง 3 สารที่ปริมาณเดียวกัน พบว่า แอนโทไซยานินมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ super anion radicals มากที่สุด รองลงมาคือ กรดแอสคอร์บิก และ BHT ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ super anion radicals เท่ากับร้อยละ 91.4, 12.4 และ 13.3 ตามลำดับ

ปริมาณของแอนโทไซยานินที่มนุษย์สามารถบริโภคได้เฉลี่ยสูงสุดคือ 200 มิลลิกรัมต่อวัน โดยชาวอเมริกันส่วนใหญ่นิยมบริโภคแอนโทไซยานิน 180-215 มิลลิกรัมต่อวัน (Einbond *et al*., 2004; Mazza, 2007) ในไวน์แดง พบว่า มีปริมาณของแอนโทไซยานินมากกว่าไวน์ขาว และน้ำองุ่น ไวน์แดงจึงได้ชื่อว่าอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติมากที่สุดชนิดหนึ่ง อาจเป็นเพราะว่าในไวน์แดงมี superoxide radical scavenging และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL (low density lipoprotein) (Sikorski, 2007)

แ อนโทไซยานิน ยังมีบทบาทดึงดูดแมลงและนกให้ช่วยผสมเกสร (pollination) และช่วยในการกระจายเมล็ดพันธุ์ออกไป (seed dispersal) รวมทั้งมีบทบาทยับยั้งการทำลายของแมลงต่างๆ เมื่อแอนโทไซยานินอยู่ที่ส่วนบนของผิวหน้าใบหรือในส่วนของ epidermal cell จะมีบทบาทเกี่ยวกับการอยู่รอดทางกายภาพ (physicological survival) ของพืช (Anderson and Markham, 2006)

2.4.5 การสกัด การทำให้บริสุทธิ์ และการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative) และเชิงคุณภาพ (qualitative) ของแอนโทไซยานินถูกนำไปพิจารณาถึงการใช้ประ โยชน์ของ แอนโทไซยานินในพืช และการศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ของแอนโทไซยานิน เช่น การเป็นแหล่งที่ให้สีตามธรรมชาติ แอนโทไซยานินสามารถสกัดจากพืชได้ถึง 539 โครงสร้าง (Giusti and Jing, 2008; Mercadante and Bobbio, 2008) การที่แอนโทไซยานินมีโครงสร้างหลากหลาย ทำให้แยกได้ยาก แอนโทไซยานินส่วนใหญ่จะไม่มีความเสถียรเท่าที่ควร เนื่องจากตัวแปรทางเคมีและฟิสิกส์ เช่น ออกซิเจน อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งวิธีวิเคราะห์และเครื่องมือที่ใช้วัดแอนโทไซยานิน ได้แก่ HPLC, LC-MS และ NMR spectroscopy อย่างไรก็ตาม การศึกษาโครงสร้างของแอนโทไซยานินต้องใช้พืชมากกว่าหรือเท่ากับ 100 กรัม โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย แอลกอฮอล์ในสภาวะกรด จากนั้นนำไปทำให้บริสุทธิ์ (purification) และแยก (separation) แอนโทไซยานินโดยการใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี แล้วจึงนำไปศึกษาโครงสร้างโดยใช้ spectroscopy หรือ chemical degradation (Anderson and Markham, 2006; Nollet, 1996) โดยรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การสกัด (extraction) การสกัดแอนโทไซยานิน เป็นขั้นตอนแรกในการวินิจฉัยชนิดของแอนโทไซยานินรวมและแอนโทไซยานินในแต่ละส่วนของพืช โดยคำนึงถึงจุดประสงค์ในการ

สกัดและธรรมชาติของแอนโทไซยานิน วิธีการสกัดที่ดีนั้นควรมีการได้กลับคืนมา (recovery) ของแอนโทไซยานินมากที่สุด และเกิดการสลายตัวของ แอนโทไซยานินน้อยที่สุด อีกทั้งต้องเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน อันตราย ใช้เวลาหรือค่าใช้จ่ายสูง ในการสกัดแอนโทไซยานินสามารถใช้ตัวทำละลายได้หลายตัว เช่น เมทานอล อะซีโตน เอทานอล และน้ำ เพื่อให้ได้แอนโทไซยานินใกล้เคียงกับธรรมชาติ จึงมีนักวิจัยใช้ตัวทำละลายที่เป็นกลางในการสกัดเริ่มต้น เช่น methanol ร้อยละ 60, ethylene glycol, *n*-butanol และ acetone (Giusti and Jing, 2008; Nollet, 1996) โดยเมทานอลเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัดมากที่สุด ทั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายที่ใช้สกัดแอนโทไซยานิน 3 ชนิด (เมทานอล เอทานอล และน้ำ) พบว่า เมทานอลมีประสิทธิภาพในการสกัดมากกว่าเอทานอลและน้ำ เท่ากับร้อยละ 20 และ 73 ตามลำดับ การสกัดโดยใช้เอทานอลและน้ำเหมาะสมสำหรับนำมาใช้กับอาหารได้ดีกว่า เนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงความเป็นพิษที่อาจเกิดจากเมทานอล แต่การ recovery ของแอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเมทานอล (Giusti and Jing, 2008) ทั้งนี้การสกัดด้วยสารละลายกรด มีความสำคัญในการทำให้ แอนโทไซยานิน (flavylium cation) มีความเสถียรและช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการสกัด อย่างไรก็ตามกรดสามารถเปลี่ยนฟอร์มของแอนโทไซยานินในเนื้อเยื่อได้ โดยไม่เชื่อมต่อกับ โลหะและ/หรือรงควัตถุอื่น ซึ่งการทำให้การสลายตัวของ แอนโทไซยานินเกิดน้อยที่สุดคือ การสกัดในสารละลายกรดอ่อน และกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ (volatile organic acids) เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) หรือกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) หรือปริมาณเล็กน้อยของกรดไตรฟลูออ โรอะซิติก (trifluoroacetic acid) ร้อยละ 0.01-3 ที่สามารถสกัดออกได้ระหว่างการทำให้รงควัตถุมีความเข้มข้นขึ้น (pigment concentration) นอกจากนี้ ปัจจุบันมีวิธีการศึกษาเทคนิคการสกัดแอนโทไซยานินที่เป็นมิตรต่อสิ่ง แวดล้อม รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ได้แก่ accelerated solvent extraction (ASE) และ pressurized liquid extraction (PLE) ทั้ง 2 วิธีนี้ เป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถสกัดให้สารเคมีที่ต้องการได้ในปริมาณสูง และมีประสิทธิภาพ อีกทั้งใช้ได้กับตัวอย่างพืช สัตว์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ โดยจะใช้ตัวทำละลาย แบบ combined solvents ในการสกัดที่อุณหภูมิ 40-200 องศาเซลเซียส และความดัน 500-3,000 psi ร่วมกับก๊าซเฉื่อย ใช้เวลาสั้น 5-10 นาที เนื่องจากแอนโทไซยานินมีความว่องไวต่อความร้อน (heat sensitive) ทำให้แอนโทไซยานินสามารถสลายตัวได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป ทั้งนี้มีการศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินด้วยวิธี PLE ในผลองุ่นแห้งด้วยตัวทำละลาย 6 ชนิด โดยใช้อุณหภูมิ 20-140 องศาเซลเซียส และความดัน 10.1 MPa พบว่า ชนิดของตัวทำละลาย และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อชนิด และปริมาณของแอนโทไซยานิน ส่วน Supercritical fluid extraction (SFE) นั้นเป็นเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งสามารถสกัดสารประกอบที่ชอบไขมัน (lipophilic compound) เช่น น้ำมันจากเมล็ดแครนเบอรี่ (cranberry seed oil) ไลโคปีน (lycopene) คิวมาริน (coumarin) และน้ำมันจากเมล็ดพืชอื่นๆ โดยทั่วไป

แอนโทไซยานิน และ glycosylated anthocyanin เหมาะสำหรับการสกัดด้วยวิธี SFE เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic properties) นอกจากนี้ SFE ยังสามารถทำให้แอนโทไซยานินมีความบริสุทธิ์และนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางได้

2) การทำให้บริสุทธิ์ (purification) การทำให้ แอนโทไซยานินที่สกัดได้นั้นมีความสะอาดทำได้หลายวิธีคือ ใช้ lead acetate, paper chromatography และ solvent-solvent extraction แต่ทั้ง 3 วิธีนี้ใช้เวลานาน และทำให้เกิดการสลายตัวของ แอนโทไซยานิน ปัจจุบันจึงมีการคิดค้นวิธีการสกัด solid-phase extraction ด้วย insoluble (poly vinylpyrrolidone; PVP) Sephadex G-25, Sephadex LH-20, polyamide, ion-exchange resins, acid alumina, Amberlite XAD-7 และ octadecylsilane ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย และเร็วกว่า โดยใช้ตัวดูดซับ (absorbents) ขณะที่สารที่ไม่ต้องการ (น้ำตาล และกรดต่างๆ) จะถูกล้างออกจากคอลัมน์ สาร แอนโทไซยานินจะถูกดูดซับ และต้อง แยกออก โดยการละลายล้าง (elute) ด้วยเมทานอลในสารละลายกรด

3) การวิเคราะห์ (analysis) สามารถทำได้หลายวิธี เช่น spectrophotometry, TLC และ HPLC โดยวิธีที่ใช้มากในปัจจุบัน คือ การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin-layer chromatography; TLC) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาสั้น ใช้ปริมาณตัวอย่าง และมีการแพร่กระจาย (diffusion) น้อย และ High performance liquid chromatography (HPLC) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของพืชที่เป็นสารฟีนอลิก สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยอาศัยความเป็นขั้วของแอนโทไซยานินเป็นสำคัญ

2.4.6 ประโยชน์ของแอนโทไซยานิน

1) ใช้เป็นสีย้อมอาหาร (food dye) เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์สีผสมอาหาร แอนโทไซยานินสามารถอยู่ในรูป แบบผง และของเหลว จึงสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการของอาหาร และผสมกับส่วนของไข่ขาวเพื่อใช้เป็นสารช่วยให้ความคงตัว (stabilizer) แทนการใช้แป้ง รวมทั้งเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ต่ำ แต่ทั้งนี้สีผสมอาหาร แอนโทไซยานินไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น น้ำมะนาว และครีมเปรี้ยว (นารีรัตน์ อนรรฆเมธี, 2553)

2) ใช้เป็นส่วนผสมใน แชมพู ซึ่งสาร แอนโทไซยานินจะช่วยกระตุ้นให้เซลล์รากผม (keratinocytes) สร้างผมได้มากขึ้นถึง 3 เท่า รวมทั้งเป็นส่วนผสมในครีมนวดผม

3) ใช้เป็นส่วนผสมในสารกัน แดด (sunscreen) ช่วยให้ผิวหนังดูอ่อนกว่าวัย ชะลอความเสื่อมสภาพของผิวหนัง เนื่องจากสาร แอนโทไซยานินช่วยยับยั้งความเสียหายของผิวหนังจากกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ที่เกิดจาก แสงอัลตราไวโอเล็ต โดยป้องกันการเกิดออกซิเดชัน

ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เมื่อใช้ร่วมกับวิตามินอีจะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ทำสบู่ได้ด้วย

4) ช่วยในการผสมเกสร โดยแมลงจะชอบสีสันของดอกไม้ต่างกัน เช่น ผึ้งชอบดอกสีน้ำเงิน หรือเหลือง และมีลายเส้นของดอกไม้ที่โดดเด่น ผีเสื้อชอบดอกสีแดง ชมพู นกชอบดอกสีแดงส้ม ด้วงและค้างคาวชอบดอกสีไม่สดใสและไม่ฉูดฉาด

5) ช่วยดูดซับรังสีอัลตราไว โอเลต เนื่องจากรังสีอัลตราไว โอเลตมีความยาวคลื่นสั้น จึงมีพลังงานสูง และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยไปขัดขวางการจำลอง แบบของดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งเป็นสารพันธุกรรม มีผลให้เกิดการเปลี่ยน แปลงของยีน และทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ (สัมพันธ์ คัมภิรานนท์, 2546)

6) ช่วยดูดซับอนุมูลอิสระ โดยทำหน้าที่เป็นตัวต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) เช่น ในการสังเคราะห์แสงจะมีการสร้างสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ขึ้น แอนโทไซยานินจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารนี้ ทำให้พิษของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หมดไป ในแง่ของโภชนาการ แอนโทไซยานินช่วยลดความเสี่ยงจาก โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โดยยับยั้งการรวมตัวระหว่างออกซิเจนกับคอเลสเตอรอลชนิดความหนา แน่นต่ำ (LDL-cholesterol) ซึ่งเป็นไขมันที่ไม่พึงประสงค์ ในขณะเดียวกันจะเพิ่มปริมาณของคอเลสเตอรอลชนิดความหนา แน่นสูง (HDL-cholesterol) ที่เป็นไขมันดี ดังนั้นการดื่มน้ำองุ่นแดง วันละ 2-3 แก้วจะช่วยลดอัตราเสี่ยงการแข็งตัวของเลือดได้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์ (2547) ได้ศึกษาการสกัดและความคงตัวของสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของสารแอนโทไซยานิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ แสง และเวลา โดยที่ pH ต่ำ (1.0) สารแอนโทไซยานินมีความคงตัวสูงกว่าที่ pH สูง (4.0) ที่อุณหภูมิต่ำ (4±3 องศาเซลเซียส) สารแอนโทไซยานินมีความคงตัวสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง (30±3 องศาเซลเซียส) สารแอนโทไซยานินมีความคงตัวในสภาวะที่ไม่มีแสงสูงกว่าสภาวะที่มีแสง และความคงตัวของสารแอนโทไซยานินจะลดลงตามระยะเวลาเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งแสงและอุณหภูมิจะส่งผลต่อความคงตัวของสารแอนโทไซยานินในทางที่เสริมกัน กล่าวคือ สภาวะที่มีแสงและอุณหภูมิสูงความคงตัวของสารแอนโทไซยานินจะต่ำที่สุด ส่วนในสภาวะที่ไม่มีแสงและอุณหภูมิต่ำความคงตัวของสารแอนโทไซยานินจะมีค่าสูงที่สุด

De la Parra *et al*. (2007) ได้ศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อสารพฤกษเคมีในตอร์ตียาและตอร์ตียาชิพส์จากข้าวโพด 5 ชนิด พบว่าปริมาณสารฟีนอลิก กรดเฟอรูลิก แอนโทไซยานินและเบต้าแคโรทีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) หลังผ่านกระบวนการผลิต โดยสารแอนโทไซยานินมีปริมาณลดลงถึงร้อยละ 70 – 73

Mora-Rochin *et al*. (2010) ได้ศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกในตอร์ตียาจากข้าวโพด 4 ชนิด ที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม และแบบเอ็กซ์ทรูชั่น พบว่า ตอร์ตียาที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นมีปริมาณสารฟีนอลิก และกรดเฟอรูลิกหลงเหลืออยู่มากกว่าตอร์ตียาที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม ($p<0.05$) และจากการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานิน พบว่ากระบวนการผลิตตอร์ตียาทั้งแบบดั้งเดิม และแบบเอ็กซ์ทรูชั่น ทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินในตอร์ตียาที่ได้จากข้าวโพดสีม่วงลดลงร้อยละ 55.3 – 57.3 ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการผลิตเป็นการให้ความร้อนภายใต้สภาวะด่างนั่นเอง

ญาณี จินดามัง และ ปิยะวิทย์ ทิพรส (2555) ได้ศึกษาความคงตัวของสารแอนโทไซยานินจากกากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูน พบว่าข้าวเหนียวมูนที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็นเป็นเวลา 1 2 และ 3 วัน มีปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 0.90 0.91 และ 0.93 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวเหนียวมูนที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30±0.5 องศาเซลเซียส) มีปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด 0.21 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม

Suriya *et al*. (2014) ได้ศึกษาผลของการแช่ต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินและสมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่หุงด้วยเตาอบไมโครเวฟ พบว่า การแช่ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่โดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:4.52 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 29.46 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 49.88 นาที ทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินหลงเหลืออยู่ 149.73 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้แช่ถึงร้อยละ 47.66 และต่ำกว่าข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวร้อยละ 3.26 อย่างไรก็ตามพบว่าสมบัติทางกายภาพของข้าวที่หุงด้วยเตาไมโครเวฟไม่แตกต่างกับข้าวที่หุงด้วยหม้อหุงข้าว ($p\geq0.05$)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พันธุ์แฟนซีสีม่วง 111 บริษัท แปซิฟิคเมล็ดพันธุ์ จำกัด

3.1.2 แป้งสาลีเอนกประสงค์ ตราว่าว บริษัท ยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด มหาชน

3.1.3 แป้งข้าวเจ้า ตราสามเศียร บริษัท โรงเส้นหมี่ซอเฮง จำกัด

3.1.4 น้ำตาลทราย ตราลิน บริษัท ไทยรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด

3.1.5 เกลือ ตราปรุงทิพย์ บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องปั่นผสม (PHILIPS, HR 2001)

3.2.2 ตู้อบลมร้อน (Memmert)

3.2.3 ผ้าขาวบาง

3.2.4 เครื่องชั่ง (CAMRY)

3.2.5 ลังถึง

3.2.6 ชุดวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

3.2.7 ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

3.2.8 ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

3.2.9 ชุดวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

3.2.10 เครื่อง UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETER (Bara Scientific)

3.2.11 เครื่องหมุนเหวี่ยง

3.3 สารเคมี

3.3.1 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3, Merck RGaA)

3.3.2 คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$, Acs for analysis, CARLO ERBA)

3.3.3 โปแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรต ($COOK(CHOH)_2COONa \cdot 4H_2O$, Acs for analysis, CARLO ERBA)

3.3.4 ปิโตรเลียมอีเทอร์ (anhydrous ether, RCILabscan)

3.3.5 Folin-Ciocalteu phenol reagent (CARLO EBRA)

3.3.6 เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH, Merck RGaA)

3.3.7 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, Pallets for analysis, Merck RGaA)

3.3.8 กรดไฮโดรคลอริก (HCl, Fuming 37% for analysis, Merck RGaA)

3.3.9 ไดเอทิลอีเทอร์ ($C_2H_5OC_2H_5$, Panreac)

3.3.10 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4, For analysis, Merck RGaA)

3.3.11 โซเดียมไทโอซัลเฟต (บริษัท ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์)

3.3.12 เมทิลแอลกอฮอล์

3.3.13 กรดไทโอบาร์บิทูริก ($C_4H_4N_2O_2S$, Sigma-aldrich)

3.3.14 กรดแอซิตริก (Merck RGaA)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การศึกษาสูตรและวิธีการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

ทำการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยนำข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมาปอกเปลือก เอาไยไหมออกและล้างทำความสะอาด จากนั้นนำไปนึ่งด้วยลังถึงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พักไว้ให้เย็น แล้วฝานเอาแต่เนื้อข้าวโพด ชั่งส่วนผสมดังตารางที่ 3.1 นำเนื้อข้าวโพดมาปั่นผสมกับน้ำด้วยเครื่องปั่น เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ที่เหลือจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปนึ่งด้วยลังถึงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาเทใส่ถาดที่รองด้วยอลูมิเนียมฟรอยด์ เกลี่ยให้ทั่ว ให้มีความหนาประมาณ 0.3 มิลลิเมตร และใช้พายพลาสติกกรีดเป็นแผ่น ขนาด 3x3 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้เย็นก่อนนำไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 43 ชั่วโมง และนำไปอบให้สุกอีกครั้งหนึ่งในหม้ออบลมร้อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (ดัดแปลงจากพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2557) นำคอร์นชิพส์ทั้ง 6 สูตรไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อไป

ตารางที่ 3.1 ปริมาณส่วนผสมในการเตรียมคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

ส่วนผสม	**สูตร 1**	**สูตร 2**	**สูตร 3**	**สูตร 4**	**สูตร 5**	**สูตร 6**
เนื้อข้าวโพด (กรัม)	90	80	70	90	80	70
แป้งสาลี (กรัม)	10	20	30	-	-	-
แป้งข้าวเจ้า (กรัม)	-	-	-	10	20	30
น้ำ (กรัม)	80	80	80	80	80	80
น้ำตาล (กรัม)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
เกลือ (กรัม)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความกรอบ รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยแบบทดสอบ Hedonic 9-point scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

ผู้ทดสอบแต่ละคนจะได้รับตัวอย่างคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงซึ่งทำการเข้ารหัสตัวเลข 3 หลักแบบสุ่ม จำนวนทั้งหมด 6 สูตร จากนั้นให้ผู้ทดสอบลงคะแนนตามระดับความชอบ ซึ่งมีทั้งหมด 9 ระดับ โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด 5 หมายถึง เฉยๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ตามลำดับ จากนั้นนำผลคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

3.4.2 การศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

1) ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทแซนยานินด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตริก (Abdel-Aal and Hucl, 1999) โดยชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วจำนวน 1 กรัม ลงในหลอดหมุนเหวี่ยง เติมสารละลายเมทานอล (เมทานอลและ 1M HCl, 85:15 v/v) 10 มิลลิลิตร ปิดฝา แล้วทำการเขย่าเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3000g เป็นเวลา 10 นาที แล้วเก็บสารละลายส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 และ 700 นาโนเมตร นำค่ามาคำนวณหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน

2) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีมาตรฐาน (AOAC, 2000)

3.4.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาสูตรและวิธีการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

จากการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงทั้ง 6 สูตร พบว่าค่าร้อยละของผลได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่ผสมลงในสูตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งอาจเป็นผลจากเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมีความชื้นสูงกว่าแป้ง ดังนั้นหลังจากผ่านกระบวนการอบไล่ความชื้นและการอบสุกแล้ว จึงทำให้ผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์ที่มีเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงผสมอยู่มาก ถูกระเหยความชื้นออกไปมากกว่า และเหลือเป็นมวลของผลิตภัณฑ์สุดท้ายน้อยกว่าสูตรที่มีเนื้อข้าวโพดผสมอยู่น้อยกว่า

ตารางที่ 4.1 ร้อยละของผลได้ของคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

คอร์นชิพส์	**สูตร 1**	**สูตร 2**	**สูตร 3**	**สูตร 4**	**สูตร 5**	**สูตร 6**
ผลได้ (ร้อยละ)	41.32	47.20	49.74	41.95	44.84	48.05

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส ความกรอบ รสชาติ และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์สูตรที่ 1 2 และ 3 ซึ่งผสมแป้งสาลีมากกว่าสูตรที่ 4 5 และ 6 ซึ่งผสมแป้งข้าวเจ้า โดยคะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์สูตรผสมแป้งสาลีอยู่ในระดับชอบปานกลาง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแป้งสาลีมีโปรตีนกลูเตนินและไกลอะดิน ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องจะทำให้เกิดสารที่มีลักษณะเป็นยาง เหนียว ยืดหยุ่นได้ เรียกว่า กลูเตน โดยกลูเตนนี้จะเป็นตัวเก็บก๊าซไว้ทำให้เกิดโครงร่างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากเตาอบ (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2554) ส่วนแป้งข้าวเจ้าจะมีลักษณะหยาบ เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะขุ่นร่วนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่ผู้บริโภคให้การยอมรับน้อยกว่า ทั้งนี้ Wanyo *et al*. (2009) ยังพบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าชนิดเกล็ดมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพด้านสี เนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามพบว่าร้อยละของเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงไม่มีผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

สูตร	สี	กลิ่นรส	ความกรอบ	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1	6.36^{ab} ±1.54	6.80^{a} ±1.29	7.60^{a} ±1.03	6.56^{a} ±1.69	7.40^{a} ±1.27
2	7.20^{a} ±1.44	6.80^{a} ±1.09	7.13^{ab} ±1.16	6.70^{a} ±1.44	7.33^{a} ±1.12
3	7.10^{a} ±1.37	6.63^{ab} ±1.21	6.50^{bc} ±1.65	6.20^{ab} ±1.51	7.16^{a} ±1.16
4	6.03^{b} ±1.67	5.80^{c} ±1.51	6.20^{c} ±1.56	5.73^{b} ±1.52	6.16^{b} ±1.57
5	6.00^{b} ±1.59	5.93^{cb} ±1.36	5.96^{cd} ±1.80	5.56^{b} ±1.35	5.90^{b} ±1.62
6	6.10^{b} ±1.74	5.93^{cb} ±1.59	5.26^{d} ±1.96	5.40^{b} ±1.45	5.80^{b} ±1.78

หมายเหตุ: ^{a}, ^{b}, ^{c}, ^{d} หมายถึง ข้อมูลในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 955

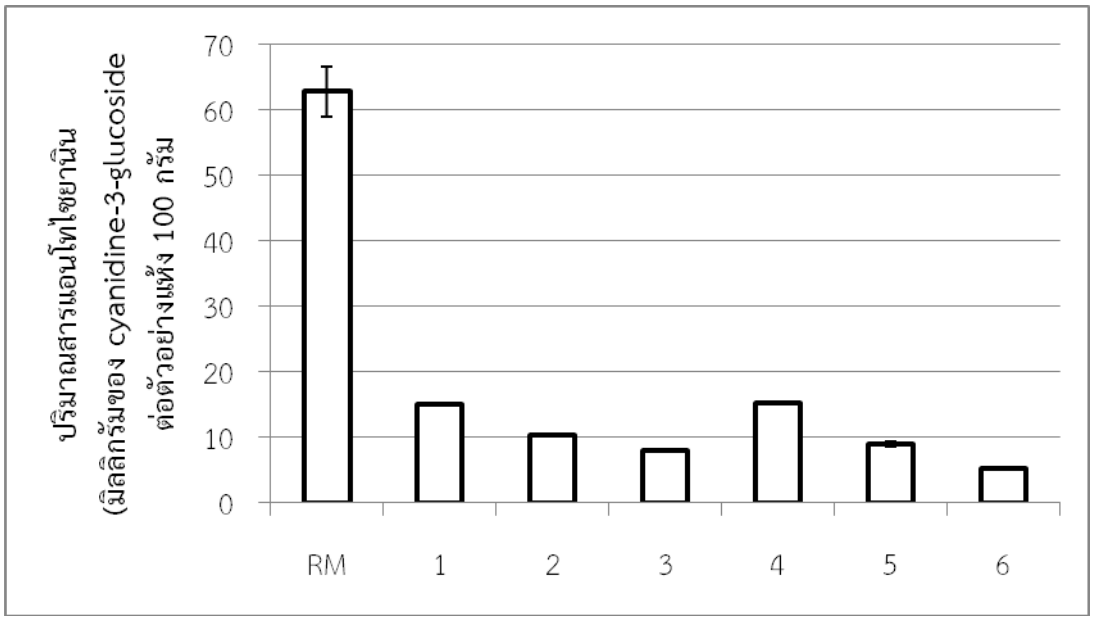
ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบจากผู้บริโภคจำนวน 30 คน คะแนน 1-9 เรียงลำดับตามระดับความชอบ โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด 5 หมายถึง เฉยๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

4.2 ผลของกระบวนการผลิตต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินในเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พบว่ามีปริมาณสารแอนโทไซยานินเฉลี่ย 62.79 มิลลิกรัมของ cyanidine-3-glucoside ต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกันกับผลการวิจัยของ Hu Q and Xu J (2011) แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินในข้าวโพดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ ชิ้นส่วนของฝัก และระดับความแก่ โดยในข้าวโพดที่มีสีม่วงจะมีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากกว่าพันธุ์ที่มีสีเหลือง สีขาว และสีขาวสลับม่วง (อรุณทิพย์ เหมะธุลิน และคณะ, 2556; Hu Q and Xu J, 2011)

การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินในคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พบว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินในคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงจะลดลงตามปริมาณเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ใช้ในสูตร โดยสูตร 1 และ 4 ซึ่งมีเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงร้อยละ 90 จะมีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับคอร์นชิพส์ทั้ง 6 สูตร คือ 15.08 – 15.26 มิลลิกรัมของ cyanidine-3-glucoside ต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม ส่วนสูตร 3 และ 6 ซึ่งมีเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงอยู่เพียงร้อยละ 70 จะมีปริมาณสารแอนโทไซยานินน้อยที่สุด ทั้งนี้พบว่าชนิดของแป้งที่ใช้ไม่มีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในคอร์นชิพส์ และจากผลการทดลอง

แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตคอร์นชิพส์ทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลงถึงร้อยละ 75.70 – 91.51 ของปริมาณสารแอนโทไซยานินในเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ซึ่งอาจเป็นผลจากการได้รับความร้อนเป็นระยะเวลานาน ขณะที่มีงานวิจัยพบว่ากระบวนการผลิตตอร์ตียาจากข้าวโพดสีฟ้าทั้งแบบดั้งเดิมและแบบเอ็กซ์ทรูชั่นทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลงร้อยละ 55.3 และ 57.3 ตามลำดับ (Mora-Rochin *et al*., 2010) ส่วน Cortés *et al*. (2006) พบว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลงร้อยละ 82 ระหว่างกระบวนการผลิตตอร์ตียาจากข้าวโพดสีฟ้า และ Salinas *et al*. (2003) ได้รายงานการสูญเสียปริมาณสารแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนภายใต้สภาวะต่าง ของข้าวโพดสีแดงและสีฟ้าสูงถึงร้อยละ 73 – 100 เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินในเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงและผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงทั้ง 6 สูตร พบว่าผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์สูตร 1 2 และ 3 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตแตกต่างจากสูตร 4 5 และ 6 ซึ่งผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์สูตร 1 2 และ 3 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเส้นใยมากกว่าสูตร 4 5 และ 6 ทั้งนี้เป็นผลจากชนิดของแป้งที่ใช้ในสูตรแตกต่างกัน โดยแป้งสาลีที่ผสมในคอร์นชิพส์สูตร 1 2 และ 3 นั้น มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเส้นใยสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ผสมในคอร์นชิพส์สูตร 4 5 และ 6 เช่นเดียวกันกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ซึ่งพบว่าอัตราส่วนระหว่างแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้ามีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าชนิดเกล็ด

(Wanyo *et al*., 2009) อย่างไรก็ตามพบว่าร้อยละของเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

สูตร	ความชื้น (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)	เส้นใย (ร้อยละ)	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)
1	3.33^{c} ±0.02	2.57^{a} ±0.01	8.14^{b} ±0.01	1.34^{b} ±0.01	0.05^{a} ±0.01	84.62^{b} ±0.04
2	3.36^{ab} ±0.01	2.53^{b} ±0.02	8.17^{a} ±0.01	1.36^{a} ±0.01	0.05^{a} ±0.01	84.58^{bc} ±0.02
3	3.35^{bc} ±0.01	2.55^{ab} ±0.02	8.19^{a} ±0.01	1.37^{a} ±0.01	0.05^{a} ±0.01	84.54^{c} ±0.02
4	3.37^{ab} ±0.01	2.57^{a} ±0.03	5.35^{cd} ±0.01	0.82^{c} ±0.01	0.03^{b} ±0.01	87.86^{a} ±0.07
5	3.37^{a} ±0.01	2.52^{b} ±0.02	5.35^{c} ±0.02	0.83^{c} ±0.01	0.03^{b} ±0.01	87.92^{a} ±0.03
6	3.37^{a} ±0.01	2.54^{ab} ±0.01	5.33^{d} ±0.01	0.83^{c} ±0.01	0.03^{b} ±0.01	87.92^{a} ±0.02

หมายเหตุ : ^{a}, ^{b}, ^{c}, ^{d} หมายถึง ข้อมูลในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อสารแอนโทไซยานินในขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง สรุปได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาสูตรและวิธีการผลิตคอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พบว่าคอร์นชิพส์สูตร 1 ซึ่งมีอัตราส่วนของเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงต่อแป้งสาลีเท่ากับ 9 ต่อ 1 เป็นสูตรการผลิตที่เหมาะสม เนื่องจากได้รับการประเมินความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคอยู่ในระดับชอบปานกลาง และยังมีปริมาณโปรตีน และสารแอนโทไซยานินสูงอีกด้วย

5.1.2 การศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พบว่าเมื่อนำเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ซึ่งมีปริมาณสารแอนโทไซยานินเฉลี่ย 62.79 มิลลิกรัมของ cyanidine-3-glucoside ต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม ไปผ่านกระบวนการผลิตคอร์นชิพส์ จะทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลงถึงร้อยละ 75.70 – 91.51 ของปริมาณสารแอนโทไซยานินในเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงต่อแป้ง ทั้งนี้การลดลงของปริมาณสารแอนโทไซยานินเป็นผลจากความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตนั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการศึกษาสูตรการผลิตคอร์นชิพส์โดยใช้แป้งชนิดอื่นๆ เป็นส่วนผสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

5.2.2 เนื่องจากความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตส่งผลให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลง จึงควรศึกษาหาสภาวะในการผลิตที่เหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียของสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์

5.2.3 เนื่องจากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูง ทั้งยังได้รับความนิยมปลูกอย่างกว้างขวาง ดังนั้นจึงควรนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายและเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2553. *แอนโทไซยานิน*. สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

เคหการเกษตร. 2556. *แปซิฟิคเมล็ดพันธุ์ฯ ร่วมกับนักวิจัย มก. ค้นคุณค่าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวโพดแฟนซีสีม่วงสู่อุตสาหกรรมอาหารสุขภาพ* . [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.kehakaset.com /index.php/79-information/875-2012-07-25-04-04-26 (1 สิงหาคม 2556).

จันทรา แป้นตุ้ม, พึงพิศ ดุลยพัชร์, จุฑาพร ศรีวิพัฒน์, ผุสฎี เธียรศรีพจมาน, ลาวัลย์ ฉัตรวิรุฬห์, ทัศนีย์ ภักดีศุภผล, วรวิทย์ แสงสิงแก้ว และ สุมาลี สุนทรนฤรังสี. 2541. *คู่มือส่งเสริมการเกษตรที่ 43: อาหารจากข้าวโพด*. กรมส่งเสริมการเกษตร.

จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2554. *เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น* . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ญาณี จินดามัง และ ปิยะวิทย์ ทิพรส. 2555. ความคงตัวของสารสีแอนโทไซยานินจากกากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) ในผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูน. *วารสารสุทธิปริทัศน์*. ปีที่ 26, ฉบับที่ 80 (ก.ย.-ธ.ค. 2555), หน้า 129-146.

ดลมนัส กาเจ. 2555. *สุดยอด 'ข้าวโพดแฟนซีสีม่วง 111' พบคุณค่าโภชนาการครบเครื่อง*. คมชัดลึก. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.komchadluek.net/detail/20120731/136455/สุดยอด'ข้าวโพดแฟนซีสีม่วง111'.html (10 ธันวาคม 2557).

นารีรัตน์ อนรรฆเมธี. 2553. Natural Blue Coloring นวัตกรรมสีจากธรรมชาติ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://fic.nfi.or.th/upload/innovation/media/9319.pdf (10 ธันวาคม 2557).

นฤศันส์ วาสิกดิลก, สุปราณี เลาห์กิติกูล, เจตน์จรรย์ อาจไธสง และ สุภาวดี แช่ม. 2549. *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวหอมมะลิและแป้งถั่วเหลืองโปรตีนสูง.* รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.

พจมาลย์ วันเที่ยง และ อรนุช โพธิ์อ่อง. 2547. *การแปรรูปขนมขบเคี้ยวจากพืชหัวโดยใช้แป้งข้าวกล้องเป็นส่วนประกอบ*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. *คอร์นชิป*. Food Network Solution. [ระบบออนไลน์]. http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/6598/corn-chips-คอร์นชิป (10 ธันวาคม 2557).

พิมพ์อร ศีตคุนรัตน์. 2552. *ข้าวกล้องงอก ราชาแห่งข้าว สุดยอดอาหารเพื่อสุขภาพและความงาม* . กรุงเทพฯ : ฐานบัณฑิต.

ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์. 2547. *การสกัดและความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด* . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สัมพันธ์ คัมภิรานนท์. 2546. แอนโทไซยานิน สีสันเพื่อโลกสวย. *Update*. ปีที่ 18, ฉบับที่ 186, หน้า 53-56.

สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์. 2553. *สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ฉบับเสริมการเรียนรู้*. เล่ม 16. โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว.

สุฤชัย คล้ายเชียงราก. 2554. ธัญพืชมากประโยชน์ ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง. *จดหมายข่าวผลิใบ* . ปีที่ 14, ฉบับที่ 11. กรมวิชาการเกษตร.

อรุณทิพย์ เหมะธุลิน, สกุลกานต์ สิมลา, สุรศักดิ์ บุญแต่ง และ สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น. 2556. ปริมาณแอนโทไซยานินในเชื้อพันธุกรรมข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่เก็บเกี่ยวในระยะรับประทานฝักสด. *J Sci Technol MSU*, 32 (6): 801-806.

Abdel-Aal, E.S.M., and Hucl, P. 1999. A Rapid Method for Quantifying Total Anthocyanins in Blue Aleurone and Purple Pericarp Wheats. *Cereal Chem*, 76 (3): 350-354.

Anderson, OM., and Markham, KR. 2006. *Flavonoids : Chemistry, Biochemistry and Applications*. Boca Raton, Fla. : CRC Press/Taylor & Francis.

AOAC. 2000. *Official method of analysis*. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists: Arlington, Virginia.

Changlian, P., *et al*. 2006. The Anti-photooxidation of Anthocyanins-rich Leaves of A Purple Rice Cultivar. *Science in China Series C : Life Sciences*, 49 (6): 543-551.

Cortés, G.A., Salinas, M.Y., San Martín-Martinez, E., Martínez-Bustos, F. 2006. Stability of Anthocyanins of Blue Maize (Zea Mays L.) after Nixtamalization of Seperated Pericarp-germ Tipo Cap and Endosperm Fractions. *Journal of Cereal Science*, 43: 57-62.

De la Parra, C., Serna Saldivar, S.O., and Liu, R.H. 2007. Effect of Processing on the Phytochemical Profiles and Antioxidant Activity of Corn for Production of Masa, Tortillas, and Tortilla Chips. *J Agric Food Chem.*, 55: 4177-4183.

Duan, X., et al. 2007. Antioxidant Properties of Anthocyanins Extracted from Litchi (Litchi Chinenesis Sonn.) Fruit Pericarp Tissues in Relation to Their Role in The Pericarp Browning. *Food Chemistry*, 101: 1365-1371.

Einbond, LS., *et al*. 2004. Anthocyanin Antioxidants from Edible Fruits. *Food Chemistry*, 84: 23-28.

Francis, FJ. 2002. Food Colorings. In MacDougall, DB. *Colour in Food : Improving quality*. Boca Raton, Fla. : CRC Press.

Giusti, MM., and Jing, P. 2008. Analysis of Anthocyanins. In Socaciu, C. *Food Colorants Chemical and Functional Properties*. Boca Raton, Fla. : CRC Press.

Hiemori, M., Koh, E., and Mitchell, AE. 2009. Influence of Cooking on Anthocyanins in Black Rice (*Oryza sativa* L. *Japonica* var. SBR). *J Agric Food Chem*, 57: 1908-1914.

Hu, Q. and Xu, J. 2011. Profiles of Carotenoids, Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Activity of Selected Color Waxy Corn Grains during Maturation. *J Agric Food chem*, 59: 2026-2033.

Kidmose, U., et al. 2002. Colour Stability in Vegetables. In MacDougall, DB. *Colour in Food : Improving Quality*. Boca Raton, Fla. : CRC Press.

Kim, MK., *et al*. 2008. Identification and Quantification of Anthocynin Pigments in Colored Rice. *Nutrition Research and Practice*, 2 (1): 46-49.

Mazza, GJ. 2007. Anthocyanins and Heart Health. *Ann Ist Super Sanita*, 43 (4): 369-374.

Mercadante, AZ., and Bobbio, FO. 2008. Anthocyanins in Foods: Occurrence and Physicochemical Properties. In Socaciu, C. *Food Colorants Chemical and Functional Properties*. Boca Raton, Fla. : CRC Press.

Mora-Rochin, S., Gutiérrez-Uribe, J.A., Serna-Saldivar, S.O., Sánchez-Pena, P., Reyes-Moreno, C., and Milán-Carrillo, J. 2010. Phenolic Content and Antioxidant Activity of Tortillas Produced from Pigmented Maize Processed by Conventional Nixtamalization or Extrusion Cooking. *Journal of Cereal Science*, 52: 502-508.

Nollet, LML. 1996. *Handbook of Food Analysis*. 2nd ed. New York : Marcel Dekker.

Salinas, M.Y., Soto, M.H., Martínez-Bustos, F., Ortega, R.P., and Arellano Vázquez, J.L. 2003. Effect of Alkaline Cooking Process on Anthocyanins in Pigmented Maize Grain. *Agrociencia*, 37: 617-628.

Sikorski, ZE. 2007. *Chemical and Functional Properties of Food Components*. 2nd ed. Boca Raton, Fla. : CRC Press.

Suriya, P., Poonnoy, P., and Keokamnerd, T. 2014. Effect of Soaking Condition on Total Anthocyanin Content and Physical Properties of Brown Rice cv. Riceberry Cooked by Microwave Oven. *The 16th Food Innovation Asia Conference 2014*. 12 – 13 June 2014.

Wanyo, P., Chomnawang, C., and Siriamornpun, S. 2009. Substitution of Wheat Flour with Rice Flour and Rice Bran in Flake Products: Effects on Chemical, Physical and Antioxidant Properties. *World Applied Sciences Journal*, 7 (1): 49-56.

Zhao, CL., *et al*. 2009. Pharmacological and Nutritional Activities of Potato Anthocyanins. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2 (10): 463-468.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพประกอบ

ภาพ ก1 ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

ภาพ ก2 เนื้อข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

ภาพ ก3 การเกลี่ยส่วนผสมบนถาด

ภาพ ก4 การอบไล่ความชื้น

ภาพ ก5 คอร์นซิพส์หลังการอบไล่ความชื้น

ภาพ ก6 การอบให้สุก

ภาพ ก7 ผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพด ข้าวเหนียวสีม่วง

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2. ตู้อบไฟฟ้า
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นหลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก
6. อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
7. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

เมื่อ M_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

M_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยวิธีโรส-กอตต์เลียบ (Rose-Gottlieb) (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50 ml
2. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 ml ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
3. กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 50 ml
4. โถดูดความชื้น (Desiccater) ที่มีสารดูดความชื้น เช่น ซิลิกาเจล
5. กรวยแยก ขนาด 250 ml
6. เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ (Analytical balance)
7. ตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้า (Hot air oven)
8. ตู้ดูดควัน (Hood)

9. เครื่องอังไอน้ำ (Water bath)

สารเคมี

1. ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl Ether) ปราศจากเปอร์ออกไซด์

2. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) จุดเดือด 30-60˚C

3. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) ความเข้มข้นร้อยละ 25-30

4. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol; C_2H_3OH) ความเข้มข้นร้อยละ 95

5. สารละลายผสมข้อ 1. และ 2. อัตราส่วน 1 : 1

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างด้วยน้ำหนักที่แน่นอน (0.5-1.0 กรัม) (W_1) ถ่ายตัวอย่างลงในกรวยแยก

2. เติมน้ำ 10 ml เขย่าให้ตัวอย่างละลาย

3. เติมสารละลายแอมโมเนีย 1.25 ml (ถ้าตัวอย่างมีรสเปรี้ยวให้เพิ่มปริมาณเป็น 2 ml) เขย่าให้เข้ากัน

4. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 10 ml เขย่าเบาๆ

5. เติมไดเอทิลอีเทอร์ 25 ml ปิดจุกให้แน่น ทำการสกัดโดยการเขย่าแรงๆ 1 นาที เปิดจุกอย่างระมัดระวัง โดยการค่อยๆ เปิด

6. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 25 ml ปิดจุกให้แน่น ทำการสกัดโดยการเขย่าแรงๆ 1 นาที เปิดจุกอย่างระมัดระวังเหมือนเดิม ล้างจุกด้วยสารละลายผสมจำนวนเล็กน้อย

7. ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้น (ประมาณ 30 นาที) ถ่ายสารละลายส่วนใสชั้นบนใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)

8. เติมเอทิลแอลกอฮอล์อีก 1 ml ทำการสกัดเหมือนข้อ 5. ถึง 7. แต่เปลี่ยนปริมาณไดเอทิลอีเทอร์และปิโตรเลียมอีเทอร์ เป็นอย่างละ 15 ml

9. นำบีกเกอร์ไปอังที่เครื่องอังไอน้ำที่อยู่ในตู้ดูดควัน จนปริมาณไดเอทิลอีเทอร์และปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยออกจนหมด จึงนำไปอบต่อในตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100±2 ˚C นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W_3)

10. วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์} = \frac{W_3 - W_2}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม

W_2 คือ น้ำหนักบีกเกอร์ มีหน่วยเป็น กรัม

W_3 คือ น้ำหนักบีกเกอร์ที่มีไขมัน มีหน่วยเป็น กรัม

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธีเคลดาห์ล (Kjeldahl Method) (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ขวดเคลดาห์ (Kjeldahl) ขนาด 250 ml
2. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 ml
3. บิวเรตชนิด A (Class A) ขนาด 50 ml
4. กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100 ml
5. ขวดน้ำกลั่น (Wash bottle) ขนาด 250 ml
6. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 ml
7. เม็ดเดือด (Glass beat)
8. เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ (Analytical balance)
9. ชุดกลั่นโปรตีน (Distillation apparatus)
10. ชุดย่อยโปรตีน (Digestion unit)
11. ตู้ดูดควัน (Hood)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid; H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 98 (w/v)
2. คะตะลิตส์ผสม อัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate; $CuSO_2 \cdot 5H_2O$) ปราศจากไนโตรเจนร้อยละ 3.5 โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate; Na_2SO_4) ปราศจากไนโตรเจนร้อยละ 96 ซิลิเนียมไดออกไซด์ (Selenium dioxide; SeO_2) ปราศจากไนโตรเจนร้อยละ 0.5
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 40 (w/v)
4. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4) ความเข้มข้น 0.1 N มีอายุการเก็บรักษา 1 เดือน หากครบกำหนดเวลาดังกล่าว ให้นำสารละลายไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนใหม่ (re-standardize) หรือนำไปใช้งานอื่นที่ไม่ต้องการความเข้มข้นที่แน่นอน
5. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator) ประกอบด้วยเมทิลเรด (Methyl red) ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 (w/v) ในแอลกอฮอล์ ผสมกับโบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green) ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 (w/v) ในแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 1 : 1
6. กรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 (w/v)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอนประมาณ 0.5-2.0 กรัม (W) ถ่ายตัวอย่างลงในหลอดย่อยโปรตีน ทำ Blank ควบคู่ไปด้วย
2. เติมคะตะลิสต์ผสม จำนวน 8 กรัม

3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 ml โดยเอียงหลอดย่อยโปรตีนและค่อยๆ รินกรดลงข้างๆ หลอด เพื่อล้างตัวอย่างที่อาจติดอยู่ข้างหลอดให้หมด และค่อยๆ เขย่าตัวอย่างเบาๆ

4. นำไปย่อยที่ชุดย่อยโปรตีน ใช้เวลาย่อยประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งสารละลายใสจึงปิดชุดย่อย รอจนกระทั่งสารละลายเย็นลงในอุณหภูมิห้อง (ห้ามนำหลอดย่อยไปทำให้เย็นด้วยน้ำ เพราะจะทำให้หลอดย่อยแตกได้)

5. นำสารละลายที่ได้ต่อกับเครื่องกลั่นโปรตีน โดยนำขวดรูปชมพู่ที่มีกรดบอริกร้อยละ 4 จำนวน 50 ml และหยดอินดิเคเตอร์ผสมลงไป 6-10 หยด

6. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 50 ให้มากเกินพอ (ประมาณ 70-90 ml)

ข้อสังเกต : ถ้าปริมาณด่างมากเกินพอ สารละลายจะมีสีดำ ถ้ายังไม่เกิดสีดำ ให้เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มอีก 5-10 ml

7. เปิดเครื่องเริ่มทำการกลั่น โดยให้ทำ Blank ก่อนตัวอย่าง

8. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกจนได้จุดยุติ คือ สังเกตมีสีชมพูปรากฏขึ้นและสารละลายมีสีเทาอมม่วง

9. วิธีการคำนวณ

ปริมาณไนโตรเจนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = $\frac{(V_a - V_b) \times N.H_2SO_4 \times 1.4007}{W}$

เมื่อ V_a คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทร ต ตัวอย่าง มีหน่วยเป็น ml

V_b คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทร ต Blank มีหน่วยเป็น ml

$N.H_2SO_4$ คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก มีหน่วยเป็น M

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม

ปริมาณโปรตีนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = ปริมาณไนโตรเจนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ x แฟกเตอร์

ค่าแฟกเตอร์

ข้าวสาลีทั้งเม็ด	5.83	ถั่วเหลือง	5.71
แป้ง	5.70	นัท ถั่วลิสง บราซิลนัท	5.41
อัลมอนด์	5.18	นัทชนิดอื่นๆ	5.30
ข้าวจ้าว	5.95	ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวไรย์	5.83
ข้าวโพด	6.25	อาหารชนิดอื่นๆ	6.25

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
2. ตะเกียงบุนเซน
3. โถดูดความชื้น (Desiccater) ที่มีสารดูดความชื้น เช่น ซิลิกาเจล
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า ชั่งน้ำหนักได้ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม
5. ตู้ดูดควัน
6. เตาเผาไฟฟ้า
7. เตาเผาไฟฟ้าที่ปรับและควบคุมอุณหภูมิได้

วิธีวิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 525˚C ถึง 550˚C (เท่ากับอุณหภูมิที่ใช้เผาตัวอย่าง) นาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W_1) และใส่ตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ชั่งให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2-3 กรัม (W_2)

2. นำไปเผาด้วยไฟอ่อนบนเตาไฟฟ้าหรือตะเกียงบุนเซน โดยเพิ่มความร้อนขึ้นทีละน้อยจนตัวอย่างไหม้เกรียมและเผาจนหมดควัน ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของเหลวหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวให้นำตัวอย่างไประเหยแห้งบนเครื่องอังไอน้ำก่อนนำไปเผาบนเตาไฟฟ้า

3. นำไปเผาต่อในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 525 ˚C ถึง 550 ˚C จนได้เถ้าสีขาว ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ถ้าเถ้าที่ได้ไม่ขาว ให้นำเถ้าออกมาจากเตาเผา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วหยดน้ำเล็กน้อยพอเปียกชุ่ม ระวังอย่าให้เถ้าฟุ้งหรือกระเด็น นำไประเหยให้แห้งบนเครื่องอังไอน้ำ และทำซ้ำตามข้อ 2. จนเถ้าขาวและได้น้ำหนักคงที่ (น้ำหนักที่คงที่ หมายความว่า ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม) ชั่งน้ำหนักที่ได้ (W_3)

4. วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ มีหน่วยเป็น กรัม

W_2 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม

W_3 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและเถ้า มีหน่วยเป็น กรัม

5. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดโดยการคำนวณ (AOAC, 2000)

วิธีวิเคราะห์

1. นำผลวิเคราะห์ ความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้าในตัวอย่างมาคำนวณหาปริมา ณ คาร์โบไฮเดรต

2. วิธีคำนวณ

%คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด = 100 – (%ความชื้น + %ไขมัน + %โปรตีน + %เถ้า)

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ตาราง ค1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานิน

ตัวอย่าง	ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมของ cyanidine-3-glucoside ต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม)
ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง	$62.79^{a} \pm 3.82$
คอร์นชิพส์ สูตร 1	$15.08^{b} \pm 0.17$
คอร์นชิพส์ สูตร 2	$10.46^{c} \pm 0.08$
คอร์นชิพส์ สูตร 3	$7.94^{c} \pm 0.02$
คอร์นชิพส์ สูตร 4	$15.26^{b} \pm 0.20$
คอร์นชิพส์ สูตร 5	$8.91^{c} \pm 0.33$
คอร์นชิพส์ สูตร 6	$5.33^{d} \pm 0.15$

หมายเหตุ : ^{a}, ^{b}, ^{c}, ^{d} หมายถึง ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง ค2 ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

คอร์นชิพส์	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม)
สูตร 1	<10	<10
สูตร 2	<10	<10
สูตร 3	<10	<10
สูตร 4	<10	<10
สูตร 5	<10	<10
สูตร 6	<10	<10

ภาคผนวก ง

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส
ผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่ .....

<u>คำแนะนำ</u> ผู้ทดสอบจะได้รับตัวอย่างผลิตภัณฑ์คอร์นชิพส์จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงทั้งหมด 6 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบความชอบต่อผลิตภัณฑ์ด้านสี กลิ่นรส ความกรอบ รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยให้ผู้ทดสอบให้คะแนนตามระดับความชอบของแต่ละตัวอย่าง ที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด ดังนี้

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง
6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

รหัส	สี	กลิ่นรส	ความกรอบ	รสชาติ	ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นางสาวกฤติกา บูรณโชคไพศาล
   Miss Kritika Buranachokpaisan
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 5 6599 00004 54 5
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
   โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์ 67000
   โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1411, 081-3842695
   E-mail kritika053@gmail.com
5. ประวัติการศึกษา
   วทม. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)
   มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
   วท.บ. (วิศวกรรมกระบวนการอาหาร)
   มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์
   การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
   ปี 2544 งานวิจัย เรื่อง “การสกัดสารเพคตินจากกากมะขามป้อม”
   ปี 2551 วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การศึกษาผลของสารต้านอนุมูลอิสระต่ออายุการเก็บรักษาและความคงตัวของสีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ”
   ปี 2555 ทุนอุดหนุนการวิจัยภายในมหาวิทยาลัย เรื่อง “การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งถั่วเขียวเพาะงอก”
   ปี 2557 ทุนอุดหนุนการวิจัยภายในมหาวิทยาลัย เรื่อง “ผลของกระบวนการผลิตต่อสารแอนโทไซยานินในขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง”