



การศึกษาปริมาณแอนโธไซยานินในน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงและ การประยุกต์ใช้ในการผลิตผงสี

A Study of Anthocyanin Content in Cooked Purple Corn Water and Its Applications in Colorant Powder Production

รัตนา ม่วงรัตน์*, จินตนา ใจมูล ทัศนีย์ ครรภิชัย และ ตะวัน ณ ลำพูน

Rattana Muangrat*, Jintana Jaimul, Tassanee Sriwichai and Tawan N. Lumpoon

สาขาวิชาบริการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เลขที่ 155 หมู่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

Department of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University,

155 Moo. 2, T. Mae-Hea A. Mueang Chiang Mai 50100, Thailand

*Corresponding author. E-mail address: rattanamuangrat@yahoo.com, Tel. 08-9801-4592

บทคัดย่อ

การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานินในน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงที่สภาวะอุณหภูมิ 50, 70 และ 90 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที และที่ 115 และ 121 °C เป็นเวลา 20 หรือ 30 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดที่ได้จะสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 90 °C ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดในน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงจะลดลง สภาวะความเป็นกรดด่าง (pH) และเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด เมื่อสภาวะความเป็นกรดสูง (ค่า pH ต่ำ) และเวลาในการเก็บรักษาสั้น ปริมาณแอนโธไซยานินจะสูงกว่า และมีความคงตัวกว่าที่สภาวะสภาวะความเป็นกรดต่ำ (ค่า pH สูง) และเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ผลการศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฟอย แบบแซ่บเยือกแข็ง และแบบสูญญากาศ และความเข้มข้นของмолโตเดกซ์ตرين (DE10) ในผลิตผงสีแอนโธไซยานินจากน้ำต้มข้าวโพดสีม่วง พบว่ากระบวนการการทำแห้งแบบพ่นฟอย และแบบแซ่บเยือกแข็งสามารถนำไปผลิตผงสีแอนโธไซยานินได้ดี ผงสีแอนโธไซยานินที่ผลิตจากน้ำต้มข้าวโพดสีม่วง (90°C และ 90 นาที) ผสมกับ moloto-deksextren (DE10) 15% โดยน้ำหนัก มีปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดและปริมาณความชื้นสูงกว่าเมื่อใช้สัดส่วน moloto-deksextren 30, 40 และ 65% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ น้ำต้มข้าวโพดสีม่วงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อในการผลิตผงสีและผลิตแป้งข้าวโพดสีม่วง ได้อัตราส่วนแป้งข้าวโพดต่อน้ำต้มข้าวโพดสีม่วง (90°C และ 90 นาที) เท่ากับ 1:1 สามารถผลิตแป้งข้าวโพดสีม่วงที่มีปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดประมาณ 0.92 mg/g dried purple corn

คำสำคัญ: แอนโธไซยานิน มอลโตเดกซ์ตرين การทำแห้งแบบแซ่บเยือกแข็ง ข้าวโพดสีม่วง การทำแห้งแบบพ่นฟอย

ABSTRACT

The effects of temperatures (50, 70 and 90°C) and heating time (30, 60 and 90 min) and at 115 and 121°C for 20 or 30 min on total anthocyanin content in cooked purple corn water were studied. As temperature and heating time increased, the total anthocyanin content increased. However the total amount of anthocyanins decreased with the increase of temperatures above 90°C. Different pH conditions and storage time had influence on the total anthocyanin content. The total amount of anthocyanins at lower pH levels and shorter storage time was higher and more stable than that at higher pH levels and longer storage time. Effects of drying methods (spray drying, freeze drying and vacuum drying) and concentrations of maltodextrin (DE10) were studies. Spray drying and freeze drying could potentially produce anthocyanin colorant powders from cooked purple corn water. Anthocyanin colorant powder produced from cooked purple corn water (90°C and 90 min) and the concentration of maltodextrin (DE 10) 15% w/w gave a higher content of total anthocyanins and moisture content than that of maltodextrin 30, 40 and 65% w/w, respectively. The cooked purple corn water could be used for a production of colorant powder and purple corn flour. A ratio of corn flour to cooked purple corn (90°C and 90 min) was 1:1 which could produce the purple corn flour containing the total anthocyanin content about 0.92 mg/g dried purple corn.

Keywords: anthocyanins, maltodextrin, freeze drying, purple corn, spray drying

1. บทนำ

สีของผลิตภัณฑ์เป็นสีง้ำดำคัญที่ช่วยให้ผู้บริโภคยอมรับ เพราะจะช่วยดึงดูดให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตอาหารหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีการนำเอาสีผสมอาหารมาใช้ชิ้งสีผสมอาหารส่วนใหญ่เป็นสีสังเคราะห์ แต่ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสีผสมอาหารที่ได้มาจากธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไม่มีการตกค้างและสะสมอันจะก่อให้เกิดอันตรายกับร่างกาย [1] ดังนั้นการนำสีจากธรรมชาติมาทดแทนสีสังเคราะห์จึงเป็นแนวทางที่จะลดปัญหาดังกล่าวได้ แอนโธไซยานินจึงเป็นหนึ่งในวงกวัตถุเคมีที่มีสมบัติในการละลายน้ำได้สามารถพบได้ทั่วไปในดอกไม้ ผลไม้ และพืชที่ส่วนใหญ่ในสีแดง ม่วง และน้ำเงิน [1] ที่อุตสาหกรรมอาหารกำลังนิยมนำมาประยุกต์ใช้เป็นสีผสมอาหารหรือนำมาใช้เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ การเลือกวัตถุดินที่ใช้เป็นแหล่งของสารแอนโธไซยานินควรพิจารณาเหตุผลทางด้านเทคนิค การผลิต วัตถุดินที่เลือกใช้ชิ้งควรหาได้ง่าย มีปริมาณมาก และราคาไม่แพง และมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นถ้าสามารถนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือของเหลือจากการกระบวนการผลิตอาหารกลับมาใช้เป็นแหล่งของสารแอนโธไซยานินได้อีกครั้งก็น่าจะเป็นหนทางในการเพิ่มน้ำค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ช่วยลดต้นทุน

ของวัตถุดินลงได้ และยังลดปัญหาการกำจัดของเหลือดังกล่าวได้อีกด้วย

การผลิตข้าวโพดสีม่วงเพื่อบริโภคหรือจำหน่ายต้องมีการต้มข้าวโพดให้สุกซึ่งน้ำที่เหลือจากการต้มข้าวโพดมีสีรุ้งวัตถุแอนโธไซยานินและวิตามินที่ละลายน้ำได้ละลายออกมาข้าวโพดสีม่วง (Purple corn; Zea mays L.) เป็นแหล่งของแอนโธไซยานินชั้งพบได้ทั้งในชั้งใหม่ และเมล็ดข้าวโพด ชิ้งสารสีม่วงในข้าวโพดนี้มีสมบัติในการต่อต้านอนุมูลอิสระ ลดโอกาสในการเกิดโรคมะเร็ง เสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย โดยสามารถต่อต้านเชื้อโรค เพิ่มการทำงานของเม็ดเลือดแดง ชะลอการเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด ลดภาวะการเป็นโรคหัวใจ เป็นต้นสารแอนโธไซยานินจึงมีคุณค่าทางอุดสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และยา ดังนั้นนำมารีดข้าวโพดสีม่วงชิ้งมีลักษณะเป็นสีม่วงและยังคงเป็นของเหลือทิ้งที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์หรือเพิ่มน้ำค่า ถึงแม้จะมีการนำน้ำดันมันไปผลิตเป็นเครื่องดื่มแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปของเหลวชิ้งต้องการภาชนะในการบรรจุรวมถึงพื้นที่ในการจัดเก็บมาก อีกทั้งยังต้องควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษา ถ้าสามารถผลิตน้ำดันให้อยู่ในลักษณะผงก็น่าจะช่วยให้ง่ายในการเก็บรักษา

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำตัวตั้มข้าวโพดสีม่วงซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรให้กลับมาใช้เป็นแหล่งของสารแอนโธไซยานินโดยทำการศึกษาหาปริมาณแอนโธไซยานินจากน้ำต้มข้าวโพดสีม่วง และทำการผลิตผงสีแอนโธไซยานินจากน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อใช้เป็นสีผสมอาหารหรือเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยต่อการบริโภค เป็นการเพิ่มนูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งช่วยลดการนำเข้าสีผสมอาหารจากต่างประเทศ จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพของผงสีแอนโธไซยานินที่ได้ นอกจากนี้งานวิจัยจะศึกษาการนำตัวตั้มข้าวโพดสีม่วงที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตแป้งข้าวโพดสีม่วง เป็นต้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สีผสมอาหารก็มีข้อจำกัดและไม่สามารถนำมาใช้ได้กับอาหารทุกประเภท ตามพระราชบัญญัติอาหารฉบับที่ 66 พ.ศ.2525 ของกระทรวงสาธารณสุข ประกาศห้ามใช้สีสังเคราะห์ผสมในอาหารและน้ำดื่มแปลงสำหรับรายการและพอกผลิตภัณฑ์อาหารรวมทั้งห้องเรียน ที่เป็นต้นสีสังเคราะห์ผลิตมาจากสารเคมีซึ่งเมื่อนำมาใช้อาจเกิดการตกค้าง และสะสมในร่างกายผู้บริโภค ดังนั้นถ้าบริโภคเป็นระยะเวลานานๆ จะส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค เพื่อแก้ปัญหารื่องความปลอดภัยและสารสังเคราะห์ตกค้างจึงมีการนำเอาสีจากธรรมชาติมาเป็นสีผสมอาหารซึ่งสีจากธรรมชาติได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืช ไม่ว่าจะเป็นใบ ดอก หรือผล เป็นต้น อีกทั้งผู้บริโภคเองก็เริ่มเห็นความสำคัญกับสิ่งต่างๆ ที่ได้มาจากธรรมชาติมากขึ้น โดยเฉพาะการนำสารสำคัญที่ได้จากธรรมชาติมาผลิตเป็นอาหารหรืออาหารเสริมเพื่อสุขภาพ ข้อดีของการใช้สีธรรมชาติคือ สีที่ใช้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และวัตถุคุณภาพที่ให้สีธรรมชาติทำได้ง่าย และราคาไม่แพง

การผลิตผงสีจากธรรมชาติเป็นวิธีที่นำเอาสารสีจากธรรมชาติที่สักได้มาทำให้เข้มข้นขึ้น โดยจะเรียกว่า ทำละลาย แล้วเข้าสู่กระบวนการการทำแห้งซึ่งการทำแห้งผงสีธรรมชาติอาจทำได้ด้วยวิธีการทำแห้งสูญญากาศ การทำ

แห้งแบบไมโครเวฟ การทำแห้งแบบแห้งเยือกแข็ง และการทำแห้งแบบพ่นฟอย นักวิจัยหลายคุ่มจึงทำการศึกษาและวิจัยการสักด้าสารสีธรรมชาติและนำมาผลิตเป็นผงสีธรรมชาติ หรือนำมาเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

รงควัตฤทธิ์สีตุ้มๆ ได้รับความสนใจคือแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) สามารถให้สีได้ตั้งแต่สีน้ำเงินเข้ม ม่วง จนถึงสีแดง โดยขึ้นกับสภาวะความเป็นกรดด่าง (pH) ในสภาวะที่เป็นด่าง ($\text{pH} > 7$) แอนโธไซยานินให้สีน้ำเงิน ในสภาวะที่เป็นกลาง ($\text{pH} = 7$) ให้สีม่วง และในสภาวะที่เป็นกรด ($\text{pH} < 7$) ให้สีแดง แอนโธไซยานินเป็นสารที่พบในดอก ใบ หรือลำต้นของพืชบางชนิด เช่น ดอกอัญชัน พีชตระกูล เบอร์รี่ กะหล่ำปลีม่วง มันสีม่วง สูกหัว สูกไหน สูกพรุน อุ่นแคง เพื่อ ข้าวคำ ข้าวโพดสีม่วง และกระเจี๊ยบ [2-3] เป็นต้น การวิเคราะห์สารสักด้าแอนโธไซยานินจากพืชผักผลไม้และดอกไม้ พบว่ามีมากกว่า 500 โครงสร้างสารแอนโธไซยานินปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถแสดงสีได้ในความเข้มที่สูง ข้อดีของแอนโธไซยานินที่แตกต่างจากรงควัตฤทธิ์ให้สีใกล้เคียงกันอย่างแครอทีโนเจล (carotenoids) คือ แอนโธไซยานินเป็นสารที่ละลายน้ำได้ มีสมบัติเป็นสารต้านการเกิดอนุมูลอิสระ ลดอาการอักเสบ ลดค่าเดสเทอรอล ลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง [4] ด้านไวรัส และช่วยลดสภาวะเสื่อมของเซลล์ [5] จึงมีการนำเอาสารแอนโธไซยานินที่สักด้าจากธรรมชาติมาเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและสารให้สีเพื่อทดแทนสารสังเคราะห์ นอกจากนี้แอนโธไซยานินเป็นสารให้สีตามธรรมชาติในกลุ่มฟลาโวประกอบด้วยส่วนของอะไกโลโคน (aglycone) น้ำตาล (sugar) และหมู่อะซิล (acyl group) ปัจจุบันมีการค้นพบแอนโธไซยานินมากกว่า 30 ชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบมากคือ pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin และ malvidin แอนโธไซยานินแต่ละชนิดมีสีและสมบัติที่แตกต่างกัน สีและความเสถียรของแอนโธไซยานินจะไม่คงที่ เพราะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรดและด่าง แสงและความร้อน [6] สมบัติที่ดีของแอนโธไซยานิน คือ ประสิทธิภาพในการต้าน

อนุญาติสารและขับยึดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยแอนโซนโซไซดานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและวิตามินอี [6, 7] ดังนั้นจึงมีการใช้แอนโซนโซไซดานินเพื่อเป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ มากมา Adjé และคณะ [8] ศึกษาการสกัดสารแอนโซนโซไซดานิน (anthocyanin) ฟลาโวนอล (flavonol) และกรดฟีโนลิก (phenolic acid) ด้วยน้ำจากดอกของต้น “*Delonix regia*” ซึ่งมีสีแดง ต้น “*Delonix regia*” ปลูกอยู่ในแอฟริกา ซึ่งมีการใช้ ultrasound หรือ การคน (mechanical stirring) เพื่อช่วยลดเวลาที่ใช้ในการสกัดแต่ในการสกัดสารแอนโซนโซไซดานิน ในระดับ pilot plant จะทำการสกัดโดยใช้ ตัวทำละลายเป็นพอกน้ำที่มีการเติมกรดลงไป (acidified water) [9] ซึ่งมีเทคนิคอื่นที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสกัดสารแอนโซนโซไซดานิน ในงานวิจัยของ Liazid และคณะ [10] ได้ใช้เทคนิคไมโครเวฟ (microwave assisted extraction, MAE) ช่วยในการสกัดสารแอนโซนโซไซดานินจากเปลือกอ่อนรุ่นและสามารถลดเวลาในการสกัดลงได้ รวมถึงการสกัดด้วยเทคนิค pressurized liquid extraction [11-12] ซึ่งการสกัดสารแอนโซนโซไซดานิน มีการศึกษาในพืชชนิดต่างๆ ที่มีสีม่วงและสีแดงอีกหลายชนิด เช่น หัวมันสีม่วง (purple-freshened sweetpotato) [11, 13] เรดเดรธิช (red radish) [14] และข้าวโพดสีม่วง (purple corn) [15] เป็นต้น

สารแอนโซนโซไซดานินที่สกัดได้จะละลายอยู่ในตัวทำละลายซึ่งการผลิตผงสีแอนโซนโซไซดานินจึงต้องทำให้สารละลายแอนโซนโซไซดานินเข้มข้นแล้วเข้าสู่กระบวนการการทำแห้ง การทำแห้งมีอยู่หลายวิธีได้แก่ การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) การทำแห้งแบบพ่นฟอย (spray drying) การทำแห้งแบบสูญญากาศ (vacuum drying) การทำแห้งแบบเกิดฟอง (foam-mat drying) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) เป็นต้น สำหรับการทำแห้งสารละลายสกัดที่มีองค์ประกอบของแอนโซนโซไซดานิน พนว่า การทำแห้งแบบการแช่เยือกแข็งจะทำให้

แอนโซนโซไซดานินที่มีความคงทนสูง และมีคุณภาพดี แต่วิธีนี้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงมาก

การผลิตผงสีมีการเติมสารตัวกลางลงไปเพื่อทำให้สารละลายเป็นอิมัลชั่นเกิดความคงตัวเพื่อช่วยให้ห้องห้องสารสำคัญอยู่ตัวแอนโซนโซไซดานินได้ ยังช่วยให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีช้าลง ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง เมื่อใช้สารตัวกลางเป็นสารห่อหุ้มกลืนรสจะสามารถปลดปล่อยกลืนรสของผลิตภัณฑ์ได้ดีเมื่อนำมาบริโภคสารตัวกลางที่เติมควรมีราคากูและหาซื้อได้ง่าย และสามารถใช้ร่วมกับสารอื่นๆ ได้ สารตัวกลางที่ใช้ในกระบวนการการกักเก็บหรือห่อหุ้มจะเป็นสารจำพวกการ์โนไบเดรต และโปรตีน ซึ่งมีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน Ersus และคณะ [16] ศึกษาการห่อหุ้มสารแอนโซนโซไซดานินจาก black carrot (*Daucus carota L.*) ด้วยมอลโตเดกซ์ตรินโดยทำแห้งแบบพ่นฟอย พนว่า มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มที่เก็บรักษาสารแอนโซนโซไซดานินคงที่ผลิตได้ดีและมีประสิทธิภาพ Duangmal และคณะ [17] ทำการผลิตผงสีผงสมอาหารแอนโซนโซไซดานินจากกระเจี๊ยบด้วยการผสานสารห่อหุ้มมอลโตเดกซ์ตริน และทรีฮาโลส (trehalose) ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฟอย พบว่า สารห่อหุ้มน้ำมอลโตเดกซ์ตรินความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร กักเก็บสารแอนโซนโซไซดานินและผลิตลงสีแอนโซนโซไซดานินที่มีความคงตัวได้ดีที่สุด สารตัวกลางที่นิยมนำมาใช้ในการกักเก็บและห่อหุ้มสารสำคัญในงานวิจัยนี้คือมอลโตเดกซ์ตรินเนื่องจากได้รับความนิยม เพราะสามารถป้องกันความร้อนให้กับสารที่ต้องการห่อหุ้มและช่วยรักษาความคงทนของสารแอนโซนโซไซดานินระหว่างการห่อหุ้ม [18]

การปลูกข้าวโพดสีม่วงมีนานานับศตวรรษ โดยเริ่มแรกมีการปลูกในประเทศไทยได้ เช่น เปรู และโบลิเวีย โดยข้าวโพดสีม่วงเป็นแหล่งของแอนโซนโซไซดานินที่พบได้ในชัง ใหม และเมล็ดข้าวโพด แอนโซนโซไซดานินสำคัญที่พบ คือ cyanidin-3-glucoside, pelargonidin-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside และการ

บริโภคข้าวโพดสีม่วงส่วนใหญ่นิยมบริโภคเป็นข้าวโพดต้ม นำต้มที่ได้หลังจากการต้มมีสีม่วงซึ่งส่วนใหญ่มักจะทึบหรืออาจนำมารับประทาน แต่ข้างไม่พบรายงานหรืองานวิจัยเรื่องการนำน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงซึ่งเหลือทึบกลับมาใช้ประโยชน์

งานวิจัยนี้จึงเกิดแนวคิดที่จะนำน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงมาผลิตเป็นผงสีแอนโซนโซไซานินด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ การทำแห้งแบบแห้งแข็ง และการทำแห้งแบบพ่นฟอยล์ ศึกษาปัจจัยต่างๆ ในการผลิตผงสีแอนโซนโซไซานิน วิเคราะห์คุณภาพผงสีแอนโซไซานินที่ผลิตได้ และประยุกต์ใช้น้ำต้มข้าวโพดสีม่วงและผงสีแอนโซนโซไซานินเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าให้กับข้าวโพดสีม่วงและรายได้แก่เกษตรกรไทย

3. อุปกรณ์และวิธีทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง แสดงได้ดังนี้

3.1 ศึกษาปริมาณแอนโซนโซไซานินทั้งหมดจากน้ำต้มข้าวโพดสีม่วง โดยนำข้าวโพดสีม่วงสดที่แกะเปลือกและไหมอกแล้ว (มีน้ำหนักแห้งประมาณ 0.255 g/g ข้าวโพดสีม่วงสด) มาหั่นเป็นแผ่นๆ บรรจุลงในกระป่องแล้วเติมน้ำกับถังที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของข้าวโพดต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:2 จากนั้นจึงปิดกระป่อง แล้วนำไปต้มในอ่างความอุณหภูมิและปรับให้อุณหภูมิเท่ากับ 50, 70 และ 90 °C และต้มเป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที และที่ 115 และ 121 °C เป็นเวลา 20 หรือ 30 นาที

3.2 วัดปริมาณแอนโซนโซไซานินทั้งหมด (total anthocyanins) โดยวิธี pH-Differential ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (Metrohm, 827 pH lab, Switzerland) ค่าสี (color values) ด้วยเครื่องวัดสี (Color lab: Minolta CR-300 Series, Japan) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) จากน้ำต้มข้าวโพดที่ได้ในข้อ 3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโซนโซไซานินทั้งหมด ด้วยวิธี pH-Differential ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงแบบ double-beam

(PerkinElmer Instruments, Lambda 25 UV/VIS Spectrometer, Shelton, USA) ตามวิธีของ Lee และคณะ [19] โดยคำนวณหาปริมาณแอนโซนโซไซานิน (cyanidine-3-glucoside equivalence, mg/L) ดังสมการที่ (3.1)

$$\text{ปริมาณแอนโซนโซไซานิน (mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{(\varepsilon \times 1)} \quad (3.1)$$

เมื่อ $A = (A_{510} - A_{700})_{pH=1} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4.5}$ หรือ กล่าวไว้ว่า A เท่ากับผลต่างของค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่ 510 นาโนเมตรและค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่ 700 นาโนเมตรของตัวอย่างที่ใส่สารละลายน้ำฟีฟอร์ pH 1.0) ลบด้วย ผลต่างของค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่ 510 นาโนเมตรและค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่ 700 นาโนเมตรของตัวอย่างที่ใส่สารละลายน้ำฟีฟอร์ pH 4.5, MW คือน้ำหนักมวลโมเลกุลของโซนโซนโซไซานิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidine-3-glucoside) มีค่าเท่ากับ 499.2 g/mol , DF คือ dilution factor (ที่ใช้ตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร เทื่องด้วยสารละลายน้ำฟีฟอร์จะมีปริมาตรเป็น 3 มิลลิลิตร ใช้ค่า DF เท่ากับ 15), ε คือ molar extinction coefficient โดยค่านี้มักใช้ค่าของโซนโซนโซไซานิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidine-3-glucoside) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $26900(M^{-1}cm^{-1})$, 1000 คือ conversion from gram to milligram และ 1 คือ ความกว้างของคิวเวตเท่ากับ 1 cm

3.3 ศึกษาผลของการวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ต่อปริมาณแอนโซนโซไซานินทั้งหมดในน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงจากข้อ 3.1 โดยนำน้ำต้มข้าวโพดที่ได้จากข้อ 3.1 มาเติมกรดซิตริก จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดด่างให้มีค่าเท่ากับ 1.5, 3.0 และ 6.0 และทำการวัดปริมาณแอนโซนโซไซานินทั้งหมด ที่เวลาที่รีบด้าน และ 24 ชั่วโมง

3.4 นำน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงจากสภาพที่มีปริมาณแอนโซนโซไซานินมากที่สุดจากข้อ 3.1 มาผลิตเป็นผงสีแอนโซนโซไซานินด้วยกระบวนการการทำแห้งแบบพ่นฟอยล์แข็ง และแบบสุญญากาศ โดยนำต้มข้าวโพด

จะถูกนำมาผสมกับน้ำโดยเด็กซ์ตริน (DE 10) ตามสัดส่วนดังนี้ 15, 30, 40 และ 65% โดยน้ำหนัก

3.5 นำผงสีที่ได้จากข้อที่ 3.4 ไปวิเคราะห์และวัดปริมาณแอนโซไซยานินทั้งหมด (ตามข้อที่ 3.2) โดยผงสีที่ได้จากการทำแห้งแบบแข็งเยื่อกระดาษและแบบสูญญากาศจะนำมาดเป็นผงด้วยเครื่องบด (Moulinex, OPTIBLEND 2000, France) ก่อนนำไปวิเคราะห์

3.6 การประยุกต์ใช้น้ำดีมีข้าวโพดโดยนำมาใช้เพื่อผลิตแป้งข้าวโพดสีม่วง โดยนำแป้งข้าวโพดมาผสมกับน้ำดีมีข้าวโพดที่อัตราส่วนแป้งข้าวโพดต่อน้ำดีมีข้าวโพดเท่ากับ 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ตามลำดับ จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบดให้ละเอียด และนำผงแป้งที่ได้ไปละลายนำเพื่อวัดปริมาณแอนโซไซยานินทั้งหมด

3.7 วิเคราะห์คุณภาพผงสี จากข้อที่ 3.4 ได้แก่ ปริมาณความชื้น (moisture content) ค่าออเดอร์แอคทิวิตี้ (water activity, a_w) ใช้เครื่องวัด Novasina MS-1-Set-aw (SWITZERLAND) ค่าสี ค่าการละลาย

ตารางที่ 1 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการศึกษาต่อ ค่าสี ปริมาณแอนโซไซยานินทั้งหมด ค่าความเป็นกรดค้าง และปริมาณของแป้งทั้งหมด

conditions	ค่าสี (color values)					total anthocyanins (mg/g dried purple corn)	pH values of cooked purple corn water	% total solid
	L*	a*	b*	C*	h			
50 °C, 30 min	69.35 ^A	25.77 ^F	19.37 ^D	32.24 ^D	6.93 ^{AB}	0.47±0.01 ^H	5.91 ^A	0.26 ^E
50 °C, 60 min	59.83 ^{AB}	32.76 ^{EF}	27.23 ^{CD}	42.77 ^{CD}	39.89 ^A	0.64±0.03 ^G	5.97 ^A	0.36 ^{DE}
50 °C, 90 min	59.43 ^{AB}	33.26 ^{EF}	30.10 ^{BCD}	45.13 ^{CD}	41.44 ^A	0.90±0.01 ^F	6.11 ^A	0.40 ^{DE}
70 °C, 30 min	56.29 ^{ABC}	41.88 ^{DE}	22.14 ^{CD}	47.41 ^C	27.76 ^B	1.10±0.03 ^E	5.95 ^A	0.46 ^{CD}
70 °C, 60 min	49.97 ^{BC}	44.22 ^{CD}	26.85 ^{CD}	51.76 ^{BC}	1.33 ^{AB}	1.25±0.01 ^E	6.03 ^A	0.61 ^{BC}
70 °C, 90 min	43.28 ^C	50.40 ^{BCD}	33.43 ^{BC}	60.48 ^{AB}	3.55 ^{AB}	1.44±0.06 ^D	5.87 ^A	0.72 ^B
90 °C, 30 min	28.43 ^D	54.29 ^{ABC}	39.60 ^{AB}	67.20 ^A	6.09 ^{AB}	2.23±0.13 ^C	5.93 ^A	0.95 ^A
90 °C, 60 min	25.64 ^D	58.95 ^{AB}	42.09 ^{AB}	66.46 ^A	7.45 ^{AB}	2.50±0.05 ^B	6.13 ^A	1.02 ^A
90 °C, 90 min	15.79 ^D	63.58 ^A	50.53 ^A	69.56 ^A	38.25 ^A	2.72±0.05 ^A	6.15 ^A	1.10 ^A

หมายเหตุ A-H หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ($n=3$) ในแนวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(solubility) [20] และปริมาณแอนโซไซยานินทั้งหมด [21]

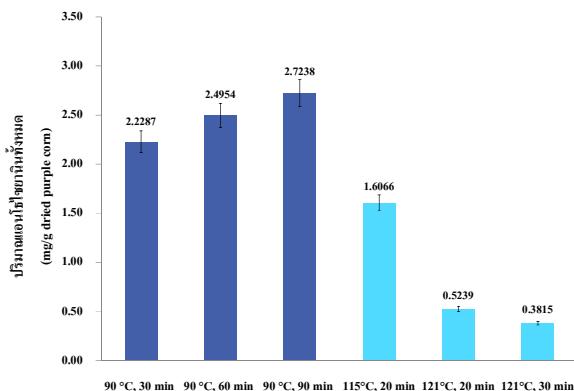
3.8 แต่ละขั้นตอนการทดลองทำการทดลอง 3 ขั้น แล้วทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเบริชันเทียน ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำหรับ SPSS Version 12.0 for Windows

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มข้าวโพดสีม่วง

การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มข้าวโพดสีม่วง แสดงผลดังตารางที่ 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิและเวลา มีอิทธิพลต่อปริมาณแอนโซไซยานินทั้งหมด ปริมาณของแป้งทั้งหมด ค่าความเป็นกรดค้าง และ ค่าสี แต่ไม่มีผลต่อค่า pH ของน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง

เมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโซไซดานินทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของสารแอนโซไซดานินและทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้น [22] สภาวะการต้มข้าวโพดสีม่วงที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 90 นาที มีปริมาณแอนโซไซดานินทั้งหมดเท่ากับ 2.72 mg/g dried purple corn และให้ปริมาณแอนโซไซดานินสูงกว่าที่อุณหภูมิและเวลาในสภาวะต่างๆ อีกทั้งเวลาที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้อัตราการละลายของสารแอนโซไซดานินสูงขึ้น อีกด้วย อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิในการต้มข้าวโพดสูงกว่า 90°C โดยอุณหภูมิเพิ่มเป็น 115°C และ 121°C (20 หรือ 30 นาที) ปริมาณสารแอนโซไซดานินจะลดลง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปริมาณแอนโซไซดานินทั้งหมดเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการต้มข้าวโพดสีม่วงเพิ่มขึ้น

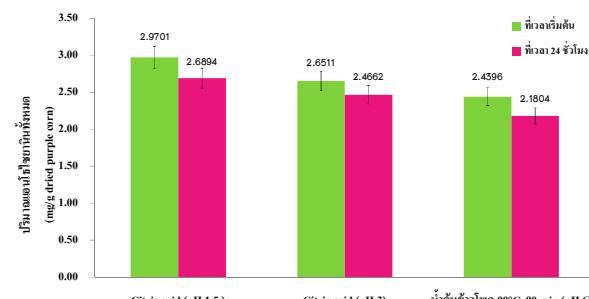
อุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นจะส่งผลต่อความสามารถในการละลายของสารแอนโซไซดานิน และร่วงกวัตถุ เช่น cyanidin 3-glucoside ทำให้สารแอนโซไซดานินละลายตัวได้ง่าย [23] ที่อุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างของแอนโซไซดานินเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลเซชัน (hydrolyzation) ของ 3-glycoside ทำให้ flavylium cation เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความสามารถต้านน้ำ_oxy และสามารถตัวกลาญเป็นสารประกอบลีน้ำตาลของสารฟิโนลิกในธรรมชาติที่ไม่สามารถละลายน้ำได้และไม่คงตัว และเมื่อเวลาในการ

ต้มนานขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสลายตัวของสารแอนโซไซดานิน และลดคุณสมบัติในการยับยั้งอนุมูลอิสระลง [15, 24-25]

เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการต้มข้าวโพดสีม่วงเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ความสว่าง (Lightness, L*) มีค่าลดลง ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b*) และค่าความเข้มสี (Chroma, C*) จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่า L* มีค่าอยู่ในช่วง 15.79-69.35 ค่าของ a* อยู่ในช่วง 25.77-63.58 ค่าของ b* มีค่าอยู่ในช่วง 19.37-50.53 ค่า C* มีค่าอยู่ในช่วง 32.24-69.56 และค่ามุมของสี (hue angle, h) มีค่าอยู่ในช่วง 27.76-41.44 องศา

4.2 การศึกษาผลของสภาวะความเป็นกรดด่าง (pH) ที่มีผลต่อความคงตัวของสารแอนโซไซดานินที่ผลิตได้

การศึกษาผลของสภาวะความเป็นกรดด่างต่อปริมาณแอนโซไซดานินทั้งหมดของน้ำที่ได้จากการต้มข้าวโพดสีม่วงที่สภาวะอุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 90 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ได้ปริมาณแอนโซไซดานินทั้งหมดสูงที่สุด (จากผลการทดลองในรูปที่ 1) ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะความเป็นกรดด่าง (pH) ต่อปริมาณแอนโซไซดานินทั้งหมดในน้ำต้มข้าวโพดสีม่วง

จากรูปที่ 2 พบว่าสภาวะความเป็นกรดด่าง (pH) มีผลต่อความเข้มข้นและความคงตัวของสารแอนโซไซดานินในน้ำต้มข้าวโพดสีม่วง ที่สภาวะความเป็นกรดสูง (หรือค่า pH ต่ำ) เท่ากับ 1.5 จะมีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่าที่สภาวะความเป็นกรดต่ำ (หรือค่า pH สูง) เท่ากับ 3.0 6.0 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของ

นำต้มข้าวโพดสีม่วงที่ปรับระดับค่าความเป็นกรดด่างต่างๆ ($\text{pH} = 1.5, 3.0$ และ 6.0) ที่เวลาเริ่มนึน และเวลาการเก็บรักษานำต้มข้าวโพดสีม่วงนาน 24 ชั่วโมง พบร่วมกัน เมื่อเวลา เริ่มนึนนำต้มข้าวโพดสีม่วงมีค่าการดูดกลืนแสงที่มากกว่า เมื่อเวลาเก็บรักษานาน 24 ชั่วโมง ค่าการดูดกลืนแสงของนำต้มข้าวโพดสีม่วงจะลดต่ำลงเมื่อเวลาเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงที่ลดต่ำลงแสดงถึงปริมาณสารแอนโซไซยานินที่ลดต่ำลงนั้นเอง โดยเป็นไปตามหลักโกรงสร้างของแอนโซไซยานินที่ว่าเมื่อค่าความเป็นกรดสูง (หรือค่า pH ต่ำ) สารแอนโซไซยานินอยู่ในรูปของ flavylium cation (สีแดง) และมีความเสถียรมากกว่า แต่เมื่อเวลาในการเก็บรักษานำต้มข้าวโพดนานขึ้นจะเกิด การสลายตัวของแอนโซไซยานินโดยโกรงสร้างของแอนโซไซยานินจะเปลี่ยนจาก flavylium cation (สีแดง) เป็น chalcone (ไม่มีสี) ส่งผลให้ปริมาณแอนโซไซยานินและความเป็นสีแดงของสารลดลง [26-27] นั่นคือสภาวะความเป็นกรดด่าง (pH) และเวลาในการเก็บรักษานำต้ม

ข้าวโพดสีม่วงมีผลต่อความเข้มข้นและความคงด้าวยองสารแอนโซไซยานิน

4.3 การศึกษาการผลิตผงสีแอนโซไซยานินด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฟอย (spray drying) แบบแข็งเยือกแข็ง (freeze drying) และแบบสูญญากาศ (vacuum drying)

การศึกษาการผลิตผงสีแอนโซไซยานินด้วยวิธีการทำแห้งแบบต่างๆ โดยนำน้ำที่ได้จากการต้มข้าวโพดสีม่วงที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 90 นาที มาผสมกับмолโตเดกซ์ตริน ตามสัดส่วนของмолโตเดกซ์ตรินเท่ากับ $15, 30, 40$ และ 65% โดยนำหนัก ผลของการทำแห้งและความเข้มข้นของмолโตเดกซ์ตรินต่อร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละของปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ค่าสี ร้อยละของค่าการละลาย และปริมาณแอนโซไซยานินทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของการทำแห้งและความเข้มข้นของмолโตเดกซ์ตรินต่อร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละของปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ค่าสี ร้อยละของค่าการละลาย และปริมาณแอนโซไซยานินทั้งหมด

drying method	malto. Conc.	% total solid	% moisture content	water activity	% solubility	color values			total anthocyanins (mg/g dried purple corn)
						L*	C*	h	
spray drying	15%	7.07 ^{ABCD}	.02 ^{ABCDE}	0.50 ^{CD}	97.78 \pm 0.03 ^{AB}	26.49 ^G	66.88 ^B	40.29 ^E	1.34 \pm 0.02 ^A
	30%	97.64 ^{ABCD}	2.65 ^{ABCDE}	0.51 ^{BC}	96.95 \pm 0.04 ^{BC}	46.70 ^C	44.81 ^D	38.78 ^F	0.81 \pm 0.01 ^B
	40%	98.00 ^{ABC}	2.05 ^{CDE}	0.52 ^A	96.97 \pm 0.12 ^{BC}	56.58 ^B	44.33 ^C	46.73 ^D	0.63 \pm 0.01 ^C
	65%	97.42 ^{ABCD}	2.42 ^{BCDE}	0.52 ^{AB}	96.03 \pm 0.08 ^C	48.35 ^A	46.46 ^{DE}	43.62 ^C	0.44 \pm 0.02 ^E
freeze drying	15%	97.01 ^{ABCD}	3.08 ^{ABCDE}	0.48 ^E	98.37 \pm 0.24 ^A	32.77 ^F	69.53 ^A	54.61 ^A	1.35 \pm 0.02 ^A
	30%	97.06 ^{ABCD}	3.02 ^{ABCDE}	0.49 ^{DE}	97.80 \pm 0.09 ^{AB}	34.12 ^E	47.27 ^C	43.87 ^D	0.65 \pm 0.01 ^C
	40%	98.79 ^{AB}	1.92 ^{DE}	0.50 ^{CD}	97.64 \pm 0.60 ^{AB}	47.60 ^D	43.88 ^C	49.16 ^D	0.49 \pm 0.02 ^{DE}
	65%	98.12 ^A	1.22 ^E	0.51 ^{ABC}	97.49 \pm 0.37 ^{AB}	45.02 ^{BC}	46.86 ^E	43.63 ^B	0.33 \pm 0.02 ^F
vacuum drying	15%	95.84 ^D	4.34 ^A	0.51 ^{BC}	80.47 \pm 0.60 ^D	8.39 ^I	37.91 ^F	32.25 ^G	0.62 \pm 0.04 ^C
	30%	96.23 ^{CD}	3.92 ^{ABC}	0.51 ^{AB}	79.78 \pm 0.36 ^D	12.84 ^I	29.12 ^G	30.51 ^I	0.53 \pm 0.02 ^D
	40%	96.66 ^D	4.10 ^{AB}	0.52 ^{AB}	77.61 \pm 0.39 ^E	32.58 ^H	31.34 ^H	29.01 ^I	0.46 \pm 0.01 ^E
	65%	96.07 ^{BCD}	3.45 ^{ABCD}	0.52 ^A	78.54 \pm 0.45 ^E	20.13 ^F	35.08 ^I	23.56 ^H	0.34 \pm 0.02 ^F

หมายเหตุ A-J หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ($n=3$) ในแนวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิธีการทำแห้งและสัดส่วนของมอลโตเดกซ์ตринที่ใช้ในการผลิตพงสีแอนโธไซยานินจากน้ำต้มข้าวโพดมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละของปริมาณความชื้นค่า รวมเดอร์แอคทิวิตี้ ค่าสี ร้อยละของค่าการละลาย และปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด การผลิตพงสีแอนโธไซยานินด้วยการทำแห้งแบบพ่นฟอยและแบบแห่เยือกแข็งจะได้พงสีที่มีปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดสูงกว่าการผลิตพงสีแอนโธไซยานินด้วยการทำแห้งแบบสุญญากาศ พงสีแอนโธไซยานินจากการทำแห้งแบบพ่นฟอย และแบบแห่เยือกแข็งจะให้ลักษณะความเป็นผงที่ละเอียดกว่าการผลิตพงสีแอนโธไซยานินด้วยการทำแห้งแบบสุญญากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นแห้งแข็งจึงต้องมาทำการบดให้เป็นผง ด้วยเครื่องบด ระหว่างการบดผงสีอาจสัมผัสกับอากาศแล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแอนโธไซยานินทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของสารแอนโธไซยานินได้ สำหรับผงสีแอนโธไซยานินจากการทำแห้งแบบแห่เยือกแข็งจะมีลักษณะเป็นแผ่นแต่ก็ประะและมีโครงสร้างเป็นรูพรุนที่เกิดจากผลึกน้ำแข็งในช่วงการแห่เยือกแข็งแล้วทำการระเหิดเพื่อดึงน้ำออกในช่วงการทำแห้ง จึงบดเป็นผงละเอียดได้ง่ายและรวดเร็วที่สุด [28] ลดการสูญเสียสารแอนโธไซยานินได้

เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตринมากขึ้นลักษณะความเป็นผงจะดีขึ้น โดยพงสีจากการทำแห้งแบบแห่เยือกแข็งมีค่าการละลายที่สูงกว่าพงสีแอนโธไซยานินจากการทำแห้งแบบพ่นฟอย และพงสีแอนโธไซยานินจากการทำแห้งแบบสุญญากาศ ตามลำดับ สารละลายสีจากการละลายพงสีแอนโธไซยานินจากการทำแห้งแบบพ่นฟอยมีสีม่วงเข้มกว่าสารละลายสีจากการละลายพงสีแอนโธไซยานินจากการทำแห้งแบบแห่เยือกแข็งที่มีลักษณะส้มแดง แต่สารละลายสีจากการละลายพงสีแอนโธไซยานินจากวิธีการทำแห้งแบบพ่นฟอยนี้จะมีร้อยละการละลายต่ำกว่า โดยสารละลายจะบังคับมีตะกอนของพงสีแนวโน้มอยู่ อาจเนื่องมาจากกระบวนการเกล็ดตัวกันอย่างหนาแน่นของพงสีที่ผลิตได้ดังแสดงในรูปที่ 3 (a) (ซ้ายมือ) จึงทำให้การละลายยากขึ้น

แต่ละวิธีของการทำแห้งเมื่อสัดส่วนของมอลโตเดกซ์ตринสูงขึ้นจะเพิ่มปริมาณของแข็งทำให้มีปริมาณน้ำอิสระน้อยลง จึงทำให้พงสีที่ได้มีปริมาณความชื้นลดลง ค่าวอเดอร์แอคทิวิตี้ ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.49-0.52 นอกจากนี้เมื่อสัดส่วนของมอลโตเดกซ์ตринเพิ่มขึ้นในแต่ละกระบวนการการทำแห้งส่งผลให้ค่า L^* จะเพิ่มขึ้น ส่วนของค่า C^* และค่า a จะมีค่าลดลง

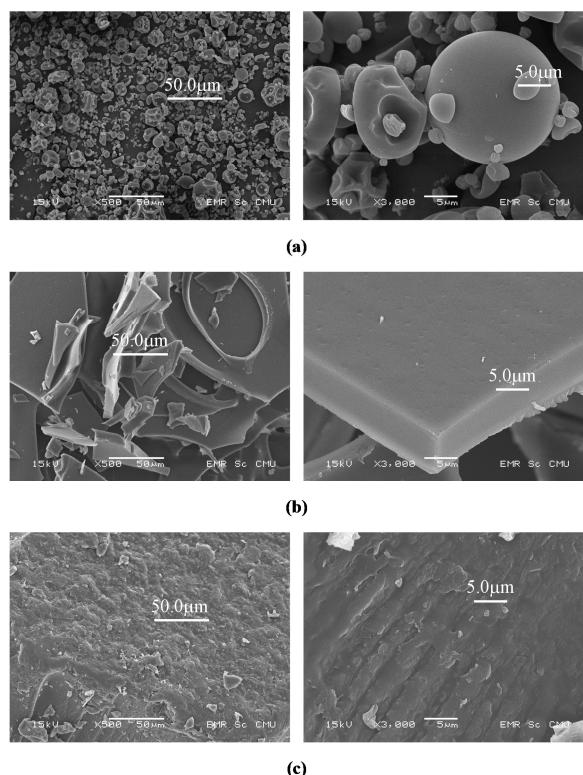
จากตารางที่ 2 ที่ให้เห็นว่าการทำแห้งทั้ง 3 วิธีนี้ ที่สัดส่วนของมอลโตเดกซ์ตрин 15% โดยน้ำหนัก จะให้ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดสูงสุด โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฟอยและแบบแห่เยือกแข็งจะให้ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดสูงที่สุดและสูงกว่าวิธีการทำแห้งแบบสุญญากาศ และพงสีแอนโธไซยานินที่ได้จากการวิธีการทำแห้งแบบพ่นฟอยและแบบแห่เยือกแข็งมีค่าการละลายที่ดีกว่าแบบสุญญากาศ

การทำแห้งแบบแห่เยือกแข็งจะทำให้แอนโธไซยานินมีความคงทนสูง และมีคุณภาพดี แต่วิธีนี้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงมาก ขณะที่การทำแห้งแบบพ่นฟอยเป็นวิธีที่ประหยัดมากกว่าการทำแห้งแบบแห่เยือกแข็ง ในกรณีที่ต้องการผลิตพงสีแอนโธไซยานินในปริมาณมากวิธีการนี้สามารถทำแห้งและผลิตเป็นอนุภาคผงได้อ่ายาวนาน เอ็กหั้งบังช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างความร้อนและผลิตภัณฑ์ และบังช่วยให้ออนุภาคผงที่ผลิตได้มีความคงตัว จึงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

มอลโตเดกซ์ตринเป็นสารที่สามารถห่อหุ้มแอนโธไซยานินไว้จึงสามารถป้องกันแอนโธไซยานินจากความร้อนได้ โดยมอลโตเดกซ์ตринจะช่วยรักษาปริมาณแอนโธไซยานินได้ เพราะคุณสมบัติในการเป็นสารห่อหุ้มซึ่งจะเกิดลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบตัวที่แกรนูลของสารให้สีหรือกลิ่นรสเอาไว้ และเมื่อนำไปให้ความร้อนมอลโตเดกซ์ตринที่เคลือบไว้จะทำหน้าที่ป้องกันความร้อนไม่ให้เข้าไปทำลายสารให้สีหรือกลิ่นรสโดยง่าย อายุไร์ก์ตามเมื่อปริมาณหรือสัดส่วนของมอลโตเดกซ์ตринมากขึ้นปริมาณแอนโธไซยานินจะลดลงเนื่องจากการเดิมของมอลโตเดกซ์ตринลงไปในน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงในปริมาณที่มากขึ้นจะ

ไปเพิ่มปริมาณของเชิงทึ้งหมวดทำให้สัดส่วนการห่อหุ้มสารแอนโนไซดานินด้วยมอลโตเดกซ์ตรินลดน้อยลง และขังทำให้หัวลงสีที่ได้มีลักษณะเสี้ยวจากลง [29]

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงภาพ SEM ด้วยเครื่องทดสอบสัมผัสทางวิทยา (Scanning Electron Microscope รุ่น JEOL JSM 5910-LV ประเทศอังกฤษ) ที่กำลัง 500 และ 3000 เท่าของผงสีแอนโนไซดานินจากน้ำต้มข้าวโพดที่ผสมมอลโตเดกซ์ตริน 15% โดยน้ำหนัก โดยผ่านการทำแท่งแบบพ่นฟอย แบบแซ่บเยือกแข็ง และแบบสุญญากาศ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาพ SEM ที่กำลัง 500 และ 3000 เท่าของผงสีแอนโนไซดานินจากน้ำต้มข้าวโพดผสมมอลโตเดกซ์ตริน 15% โดยน้ำหนัก โดยผ่านการทำแท่งด้วย (a) แบบพ่นฟอย (b) แบบแซ่บเยือกแข็ง และ (c) แบบสุญญากาศ

จากการ SEM จะพบว่าผงสีที่ได้จากการทำแท่งแบบพ่นฟอยมีลักษณะเป็นอนุภาคกลมและค่อนข้างกลม ปะปนกันและมีขนาดที่แตกต่างกัน และเกาะตัวกันอย่างหนาแน่น ผิวของผงอนุภาคไม่เรียบและมีรอยขุ่นเข้าไปอัน

เกิดเนื่องจากการความร้อนที่ได้รับในการทำแท่งและช่วงที่ทำให้อุ่นภูมิค่าเย็นตัวลง อายุ่ไรก็ตามผงอนุภาคที่ประกอบด้วยมอลโตเดกซ์ตรินไม่บรรยายแตกแยกที่ผิวสีที่ได้จากการทำแท่งแบบแซ่บเยือกแข็ง และแบบสุญญากาศจะมีลักษณะเป็นแผ่นซึ่งมีความสามารถที่จะกักเก็บสารแอนโนไซดานินเอาไว้ได้และยังช่วยลดการสลายตัวของแอนโนไซดานินจากการให้ความร้อนระหว่างการทำแท่งได้ โดยผงสีที่ได้จากการทำแท่งแบบแซ่บเยือกแข็งมีค่าการละลายที่ดีกว่าผงสีที่ได้จากการทำแท่งแบบสุญญากาศเนื่องจากโครงสร้างของผงสีที่ได้จากการทำแท่งแบบแซ่บเยือกแข็งมีความเป็นรูพรุนจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายให้เกิดขึ้นได้ดีกว่า

4.4 การประยุกต์ใช้น้ำต้มข้าวโพดสีม่วงและผงสีแอนโนไซดานินจากน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงเพื่อผลิตแป้งข้าวโพดสีม่วง

ปัจจุบันการผลิตแป้งข้าวโพดยังไม่มีการเติมสีลงไปโดยทั่วไปจะเห็นว่าแป้งข้าวโพดนั้นมีสีขาว ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ผลิตแป้งข้าวโพดใหม่มีสีม่วงจากน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าของแป้งข้าวโพด (ตามขั้นตอนการทำคล่องที่ 3.6) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 โดยพบว่าที่อัตราส่วนของแป้งข้าวโพดต่อน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงเท่ากับ 1:1 จะให้ผงแป้งข้าวโพดที่ผลิตได้มีปริมาณแอนโนไซดานินทึ้งหมวดสูงที่สุดและสูงกว่าที่อัตราส่วนของแป้งข้าวโพดต่อน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงเท่ากับ 1:1.5 และ 1:2 ตามลำดับ เนื่องจากที่อัตราส่วนของแป้งข้าวโพดต่อน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงเท่ากับ 1:1 นี้จะมีปริมาณแป้งข้าวโพดที่มากพอที่สามารถห่อหุ้มและกักเก็บสารแอนโนไซดานินไว้ได้ระหว่างทำการทำแท่งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และผงแป้งข้าวโพดที่ผลิตได้ก็มีสีเข้มกว่าเล็กน้อย โดยพบว่าแป้งข้าวโพดที่ผงน้ำต้มข้าวโพดสีม่วง (90 °C, 90 นาที) ในอัตราส่วน 1:1 มีปริมาณแอนโนไซดานินทึ้งหมวดอยู่ประมาณ 0.92 mg/g dried purple corn หรืออาจกล่าวได้ว่าแป้งข้าวโพดสามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบในการกักเก็บสารแอนโนไซดานินได้

ใช้ขนาดในอุตสาหกรรมการผลิตเป็นข้าวโพดสีม่วงได้ จึงเป็นการเพิ่มนูลค่า ไม่เพียงแต่น้ำดีมีข้าวโพดสีม่วงเท่านั้นแต่ยังรวมไปถึงเป็นข้าวโพดด้วย

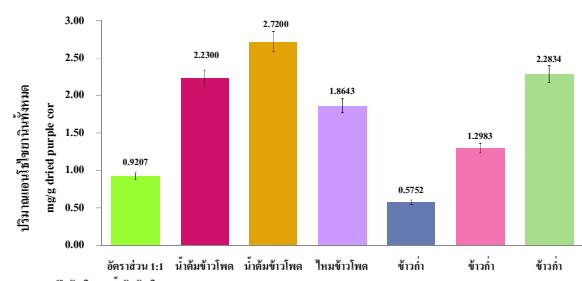
ตารางที่ 3 อัตราส่วนของน้ำหนักแป้งข้าวโพดต่อน้ำดีมีข้าวโพด และปริมาณแอนโซไซด์านินทั้งหมด

อัตราส่วนของน้ำหนักแป้งข้าวโพด	total Anthocyanins (mg/g dried purple corn)
ต่อน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง (90 °C , 90 นาที)	
1:1	0.92±0.01 ^A
1:1.5	0.60±0.01 ^B
1:2	0.38±0.02 ^C

หมายเหตุ A-C หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ($n=3$) ที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.5 การเปรียบเทียบปริมาณแอนโซไซด์านินทั้งหมดที่ได้จากน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง น้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง และน้ำดีมีข้าวกำ

การเปรียบเทียบปริมาณแอนโซไซด์านินทั้งหมดที่ได้จากน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง (90°C , 30 และ 90 นาที) น้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง (90°C , 90 นาที) น้ำดีมีข้าวกำ (50 , 70 และ 90°C เป็นเวลา 30 นาที) และแป้งข้าวโพดผสมน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง (90°C , 90 นาที) ในอัตราส่วน $1:1$ แสดงผลดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณแอนโซไซด์านินทั้งหมดที่ได้จากน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง (90°C , 90 นาที) น้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง (90°C , 90 นาที) น้ำดีมีข้าวกำ (50 , 70 และ 90°C เป็นเวลา 30 นาที) และแป้งข้าวโพดผสมน้ำดีมีข้าวโพดอัตราส่วน $1:1$

ผลการศึกษาพบว่าในน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง น้ำดีมีข้าวโพดสีม่วงและน้ำดีมีข้าวกำมีสารแอนโซไซด์านินโดยในน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วงที่ได้จากการต้ม 90°C เป็นเวลา 30 และ 90 นาที มีปริมาณแอนโซไซด์านินทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 2.23 และ 2.72 mg/g dried purple corn ตามลำดับ ขณะที่น้ำดีมีข้าวกำซึ่งถือว่าเป็นแหล่งของสารแอนโซไซด์านินที่สำคัญและได้รับความนิยมในปัจจุบัน มีปริมาณแอนโซไซด์านินทั้งหมดประมาณ 2.28 mg/g dried purple corn ที่อุณหภูมิและเวลาต้ม 90°C และ 30 นาที นอกจากนี้น้ำดีมีข้าวโพดสีม่วงที่มีสารแอนโซไซด์านินประมาณ 1.86 mg/g dried purple corn จากข้อมูลดังกล่าวสามารถยืนยันได้วิถีทางหนึ่งว่าน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง และไก่ไข่ข้าวโพดสีม่วงสามารถนำมาเป็นแหล่งของสารแอนโซไซด์านินเพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสารแอนโซไซด์านินอื่นๆ ต่อไป

5. สรุปผลการวิจัย

อุณหภูมิและเวลาในการต้มข้าวโพดสีม่วง เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 , 70 และ 90°C เป็นเวลา 30 , 60 และ 90 นาที และที่ 115 และ 121°C เป็นเวลา 20 หรือ 30 นาที โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลานานขึ้นปริมาณแอนโซไซด์านินจะเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 90°C ปริมาณแอนโซไซด์านินในน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วงจะลดลง สภาวะความเป็นกรดด่าง (pH) และเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณแอนโซไซด์านินทั้งหมด เมื่อสภาวะความเป็นกรดสูง ($\text{pH} > 7$) เท่ากับ 1.5 และเวลาในการเก็บรักษาสั้น (ที่เวลาเริ่มต้น) ปริมาณแอนโซไซด์านินจะสูงกว่าหรือเท่ากับ 90°C ปริมาณแอนโซไซด์านินจะมีความคงตัวที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะความเป็นกรดต่ำ ($\text{pH} < 7$) เท่ากับ 3.0 และ 6.0 และเวลาในการเก็บรักษา 24 ชั่วโมง น้ำดีมีข้าวโพดสีม่วงสามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์แอนโซไซด์านินด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฟอย และแบบแข็งเยื้องได้ดี ผงสีม่วงที่ผลิตได้จากน้ำดีมีข้าวโพดสีม่วง (90°C และ 90 นาที) ผสมกับ

มอลโตเดกซ์ตริน 15% โดยน้ำหนัก มีปริมาณแอนโซไซดานินทั้งหมดและปริมาณความชื้นสูงกว่าเมื่อใช้มอลโตเดกซ์ตริน 30, 40 และ 65% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และนำต้มข้าวโพดสีม่วงที่ได้สามารถนำมาผลิตต่อเป็นแป้งข้าวโพดสีม่วงได้ โดยพบว่าที่ยั่งร้าส่วนของแป้งข้าวโพดต่อน้ำต้มข้าวโพดสีม่วงเท่ากัน 1:1 จะให้ผงแป้งข้าวโพดที่ผลิตได้มีปริมาณแอนโซไซดานินทั้งหมดสูงที่สุดประมาณ 0.92 mg/g dried purple corn

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท แปซิฟิก เมล็ดพันธุ์ จำกัด โดย คุณพาโภค พงษ์พานิช กรรมการผู้จัดการ และ คุณยงค์ยุทธ ปานสูง ผู้จัดการฝ่ายการตลาด ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Amelia, F., Afnani, G.N., Musfiroh, A., Fikriyani, A.N., Ucche, S. and Murrukmihadi, M. Extraction and Stability Test of Anthocyanin from Buni Fruits (*Antidesma Bunius* L) as an Alternative Natural and Safe Food Colorants. *J.Food Pharm.Sci.*, 2013; 1(2): 49-53.
- [2] Dey, P.M. and Harborne, J.B. Plant Phenolics in Methods in Plant Biochemistry. Academic Press Limited: London, 1993; 326–341.
- [3] Fang, Z. and Bhandari, B. Encapsulation of polyphenols – a review. *Trends Food Sci Tech*, 2010; 21(10): 510-523.
- [4] Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M.d.L., Páez-Hernández, M.E., Rodríguez, J.A. and Galán-Vidal, C.A. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 2009; 113(4): 859-871.
- [5] Hou, D.X. and Douglas, L. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins. *Curr Mol Med*, 2003; 3(2): 149-159.
- [6] Lazze, M.C., Savio, M., Pizzala, R., Cazzalini, O., Perucca, P., Scovassi, A.I., Stivala, L.A. and Bianchi, L. Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human cell lines. *Carcinogenesis*, 2004; 25(8): 1427-1433.
- [7] Zhang, L., Fu, Q. and Y. Zhang. (2011). Composition of anthocyanins in pomegranate flowers and their antioxidant activity. *Food Chemistry*, 2011; 127(4): 1444-1449.
- [8] Adjé, F., Lozano, Y.F., Lozano, P., Adima, A., Chemat, F. and Gaydou, E.M. Optimization of anthocyanin, flavonol and phenolic acid extractions from *Delonix regia* tree flowers using ultrasound-assisted water extraction. *Ind Crop Prod*, 2010; 32(3): 439-444.
- [9] Adjé, F., Lozano, Y.F., Meudec, E., Lozano, P., Adima, A., N'zi, G.A. and Gaydou, E.M. Anthocyanin Characterization of Pilot Plant Water Extracts of *Delonix regia* Flowers. *Molecules*, 2008; 13(6): 1238-1245.
- [10] Liazid, A., Guerrero, R.F., Cantos, E., Palma, M. and Barroso, C.G. (2011). Microwave assisted extraction of anthocyanins from grape skins. *Food Chemistry*, 2011; 124(3): 1238-1243.
- [11] Truong, V.D., Hua, Z., Thompson, R.L., Yencho, G.C. and Pecota, K.V. Pressurized liquid extraction and quantification of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato genotypes. *J Food Compos Anal*, 2012; 26: 96-103.
- [12] Petersson, E.V., Liu, J., Sjöberg, P.J.R., Danielsson, R. and Turner, C. Pressurized hot water extraction of anthocyanins from red onion: A study on extraction and degradation rates. *Anal Chim Acta*, 2010; 663(1): 27-32.
- [13] Bridgers, E.N., Chinn, M.S. and Truong, V.-D. Extraction of anthocyanins from industrial purple-fleshed sweetpotatoes and enzymatic hydrolysis of residues for fermentable sugars. *Ind Crop Prod*, 2010; 32: 613-620.
- [14] Patil, G., Madhusudhan, M.C., Ravindra Babu, B. and Raghavarao, K.S.M.S. Extraction, dealcoholization and concentration of anthocyanin from red radish. *Chem Eng. Process: Process Intensification*, 2009; 48(1): 364-369.

- [15] Yang Z. and Zhai, W. Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob and identification with HPLC-MS. *Innov Food Sci. Emerg Tech*, 2010; 11(3): 470-476.
- [16] Ersus, S. and Yurdagel, U. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier. *J Food Eng*, 2007; 80: 805-812.
- [17] Duangmal, K., Saicheua, B. and Sueeprasan, S. Roselle anthocyanins as a natural food colorant and improvement of its colour stability. in AIC Color and Paints, Interim Meeting of the International Color Association, Proceedings. 2004.
- [18] Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. Flavour encapsulation and controlled release – a review. *Int J Food Sci Tech*, 2006; 41: 1-21.
- [19] Lee, J., Durst, R.W. and Wrolstad, R.E. Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. *J AOAC Int*, 2005; 88(5): 1269-1278.
- [20] Al-Kahtani, H.A. and Hassan, B.H. Spray drying of roselle (*Hibiscus sabdariffa*, L.) extract. *J Food Sci*, 1990; 55(4):1073-1076.
- [21] A.O.A.C. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C, 2000.
- [22] Wang, J., Sun, B., Cao, Y., Tian, Y. and Li, X. Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran. *Food Chemistry*, 2008; 106(2): 804-810.
- [23] Kopjar, M., Piližota, V., Šubaric, D. and Babic, J. (2009). Prevention of thermal degradation of red currant juice anthocyanins by phenolic compounds addition. *Croat. J. Food Sci. Technol*, 2009; 1(1): 24-30.
- [24] Thoo, Y.Y., Ho, S.K., Liang, J.Y., Ho, C.W. and Tan, C.P. Effects of binary solvent extraction system, extraction time and extraction temperature on phenolic antioxidants and antioxidant capacity from mengkudu (*Morinda citrifolia*). *Food Chemistry*, 2010; 120(1): 290-295.
- [25] Lapornik, B., Prošek, M. and Golc Wondra, A. Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *J Food Eng*, 2005; 71(2): 214-222.
- [26] Laleh, G.H., Frydoonfar, H., Heidary, R., Jameei, R. and Zare, S. The Effect of Light, Temperature, pH and Species on Stability of Anthocyanin Pigments in Four Berberis Species. *Pakistan J Nutr*, 2006; 5(1): 90-92.
- [27] Kirca, A., Özkan, M. and Cemeroğlu, B. Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. *Food Chemistry*, 2007; 101: 212-218.
- [28] Farias, M.C., Moura M.L., Andrade, L., Rocha-Leão, M.H. Encapsulation of the alpha-tocopherol in a glassy food model matrix. *Mat Research*. 2007; 10: 57-62.
- [29] Ahmed, M., Akter, M.S., Lee, J.C. and Eun, J.B. Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *LWT - Food Sci Tech*, 2010; 43: 1307-1312.