การเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย
Anthocyanin Encapsulation from Purple Corncob by Spray Drying

ธัญนันท์ ฤทธิ์มณี[1,2] และอภิรดา พรปัณณวิชญ์[3]
Thanyanun Rithmanee[1,2] and Apirada Phonpannawit[3]
[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
[1]Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University
[2]ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพพืช มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
[2]Center of Excellence in Plant Biotechnology, Chiang Mai Rajabhat University
[3]คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
[3]Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง และ (2) เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของมอลโทเด็กซ์ทรินในการแปรรูปสารสกัดจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงชนิดผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ซังข้าวโพดหวานสีม่วง นำมาต้มเคี่ยวสกัดให้ได้สารสีแอนโทไซยานิน จากผลการทดลองพบว่า น้ำซังข้าวโพดที่สกัดได้มีสีม่วงคล้ำจากสารสีแอนโทไซยานิน ซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานิน 11.26 mg/g และปริมาณคาเทชิน 101.02 mg/kg จากนั้นใช้เทคโนโลยีการเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยการนำมอลโทเด็กซ์ทรินมาใช้เป็นสารเอนแคปซูเลติ้งด้วยปริมาณ 3, 5 และ 7% (w/v) นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD พบว่า ค่า L* และ a* ของตัวอย่างผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน ทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินค่า L* และ b* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า a* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าดัชนีการละลายน้ำของทุกตัวอย่างไม่มีของแข็งเกิดขึ้นในระหว่างการปั่นเหวี่ยง ซึ่งค่าความชื้นและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่มีปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน 3% (w/v) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่มีปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน 5 และ 7% (w/v) โดยค่า aw ความชื้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณแอนโทไซยานินมีค่าลดลงแต่ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่ 3% (w/v) ให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดที่ 6.82 mg/g

คำสำคัญ: แอนโทไซยานิน, ข้าวโพดหวานสีม่วง, เอนแคปซูเลชัน, การทำแห้งแบบพ่นฝอย, มอลโทเด็กซ์ตริน

Abstract

This research was experimental work. The objectives of this research were as follows: (1) to studied physical and chemical qualities of water extract from purple corncob and (2) to studied the appropriate content of maltodextrin purple corncob powder by encapsulation using spray drying.

The anthocyanin can be extracted by boiling from the residue purple corncobs from the agricultural process. The solution found that the water extract color from purple corncob was dark purple from anthocyanin pigment with 11.26 mg/g content and catechin content 101.02 mg/kg. Following the above step the encapsulation technology by spray drying for encapsulating with maltodextrin concentration of 3, 5 and 7% have been applied. The physical and chemical qualities have been studied. The experiment was carried out in triplicate by using CRD. The demonstrated results found that L* and a* values of purple corncob powder with 3 maltodextrin concentration were significantly different ($p \leq 0.05$). L* and b* values were significantly increased with enrichment maltodextrin ($p \leq 0.05$) but a* value was significantly decreased ($p \leq 0.05$). Water solubility index was not found solid during centrifuged. Moisture content and total soluble solids of purple corncob with maltodextrin concentration of 3% was significantly different ($p \leq 0.05$) among purple corncob with maltodextrin concentration of 5 and 7%. aw, moisture content, titratable acidity and anthocyanin content were decreased but total soluble solid was increased with enrichment maltodextrin. The purple corncob powder with maltodextrin concentration of 3% had the highest anthocyanin content 6.82 mg/g.

Keywords: anthocyanin, purple corncob, encapsulation, spray drying, maltodextrin

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีสิ่งสูญเสียและเหลือใช้ทางการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด กะลามะพร้าว เปลือกมะพร้าว ชานอ้อย และวัชพืชต่าง ๆ ที่ถูกปล่อยทิ้งให้เป็นปุ๋ย หรือรอการเผาทำลายอยู่เป็นจำนวนมาก (Chutchun, 2004)

ซังข้าวโพด (corncob) เป็นของเหลือในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร โดยปกติจะนำมาใช้ประโยชน์ในรูปอาหารสัตว์ (Pengthina et al., 2013) โดยข้าวโพดเป็นธัญพืชที่ทุกคนรู้จักโดยทั่วไป ข้าวโพดที่ปลูกอยู่ในบ้านเราแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และข้าวโพดรับประทานฝักสด โดยเฉพาะข้าวโพดรับประทานฝักสดที่ทุกคนโดยทั่วไปรู้จัก คือ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดแปดแถว ข้าวโพดเทียน ข้าวโพดฝักอ่อน และข้าวโพดข้าวเหนียว (Denduangdee & Subantom, 2014)

ปัจจุบันได้มีข้าวโพดหวานสีม่วงจัดอยู่ในตระกูล Gramineae ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับหญ้าหรือข้าว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Zeamays Line var. rugasa หรือ saccharata (Thai Food Processors' Association, 2015) เป็นพันธุ์ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่จากโครงการธุรกิจข้าวโพด ของบริษัท เจียไต๋ จำกัด (เชียงใหม่) ในซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนั้น มีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูง จึงเหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร

ในการต้มเคี่ยวสกัดให้ได้สารสีแอนโทไซยานินนั้น ได้มีการใช้เทคโนโลยีเอนแคปซูเลชัน (encapsulation technology) ที่เป็นกระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มอยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบาง ๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูลซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน ชั้นพอลิเมอร์บาง ๆ นี้เองที่จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาเมื่อต้องการ โดยทำให้เกิดฟิล์มบาง ๆ รอบอนุภาค หรือทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน และทำให้แห้ง (Chaovanalikit & Itthisoponkul , 2011) โดยมอลโทเด็กซ์ตริน เป็นคาร์โบไฮเดรต โพลิเมอร์ที่ผลิตได้จากแป้ง ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี และมีคุณสมบัติ

เป็นสารกักเก็บ (coating material) ในการป้องกันสารถูกกักเก็บ (core) จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Shahidi & Han, 1993) มีคุณสมบัติเด่นในด้านการให้ความหนืดต่ำเมื่อใช้ที่ปริมาณของแข็งสูง ๆ ซึ่งเหมาะกับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และยังมีน้ำหนักโมเลกุลที่หลากหลาย ทำให้ได้ชั้นของวอลล์แตกต่างไปตามต้องการ (Chaovanalikit & Itthisoponkul , 2011) ในกระบวนการผลิตเอนแคปซูเลชันโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น วิธีการต้มซังข้าวโพดหวานสีม่วงสามารถสกัดให้ได้สารสีแอนโทไซยานินที่ถูกเอนแคปซูเลทด้วยการละลายส่วนผสมของสารกักเก็บ (coating material) และสารถูกกักเก็บ (core) ให้เป็นเนื้อเดียวกันได้เลย (Pimnak, 2009) โดยมีรายงานการวิจัยที่ได้มีการสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (พันธุ์ข้าวก่ำ) (Denduangdee & Subantom, 2014) และซังข้าวโพดสีม่วง (Muangrat et al., 2014) เป็นต้น ซึ่งในการทดลองนี้ได้นำซังข้าวโพดหวานสีม่วง ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่จากโครงการธุรกิจข้าวโพดของบริษัท เจียไต๋ จำกัด (เชียงใหม่) มาทำการสกัดสารแอนโทไซยานินด้วยน้ำ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

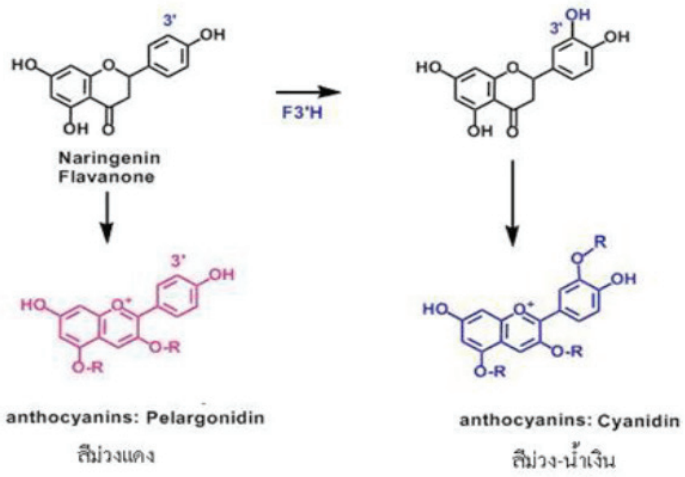
2. เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของมอลโทเด็กซ์ทรินในการแปรรูปสารสกัดจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงชนิดผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความสำคัญของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (anthocyanins) มาจากภาษากรีก คำว่า anthos แปลว่าดอกไม้ และ kyanos แปลว่าสีน้ำเงิน แอนโทไซยานินเป็นสารสีกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญมากในพืช ให้ลักษณะปรากฏของสีในพืชเป็นช่วงกว้างตั้งแต่สีน้ำเงินม่วงแดง ม่วงน้ำเงิน แดงม่วง แดง และส้ม แอนโทไซยานินมีโครงสร้างพื้นฐานเป็น ฟลาวีเลี่ยมแคทอิออน (flavylium cation) การแทนที่บนแคทอิออน ทำให้เกิดแอนโทไซยานิดิน (anthocynidin) ที่แตกต่างกัน แอนโทไซยานินจะประกอบด้วยแอนโทไซยานิดินที่เกิดพันธะเอสเทอร์กับน้ำตาลอย่างน้อย 1 ชนิด (Tanthapanichakoon, 1990)

แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุที่จัดอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ โดยสีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง แอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ C6-C3-C6 (Khunmuang, 2008) ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation ที่มีด้วยกันหลายชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบบ่อย ได้แก่ pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin และ malvidin ในสารละลายตัวกลางแอนโทไซยานินจะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicator) คือให้สีแดงที่ pH ต่ำ ให้สีน้ำเงินที่สภาวะเป็นกลางและไม่มีสีที่ pH สูง โดยมีโครงสร้างของแอนโทไซยานินชนิดสีแดงและสีม่วง-น้ำเงินดังภาพ 1 แอนโทไซยานินพบในพืชทั้งในดอกและในผลของพืช เป็นสารที่ละลายในน้ำได้ดี มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน ซึ่งวารสารทางการแพทย์ ทั้งในสหรัฐอเมริกาและยุโรปยกย่องคุณประโยชน์ของแอนโทไซยานินว่า ช่วยลดโอกาสการเกิดมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งชนิดเนื้องอก ช่วยเสริมให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรคและสมานแผล เสริมภูมิคุ้มกันในร่างกายให้ดีขึ้น ส่งเสริมการทำงานของเม็ดเลือดแดง ชะลอการเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด ลดภาวะเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจ เพิ่มความสามารถในการมองเห็น ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยเบาหวาน ชะลอความแก่โดยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ดังนั้นหากใครสามารถรับประทานข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงได้เป็นประจำจะได้รับประโยชน์ที่ดีต่อสุขภาพและทำให้ร่างกายปราศจากโรคภัยต่าง ๆ (Denduangdee & Subantom, 2014)



ภาพ 1 โครงสร้างของแอนโทไซยานินชนิดสีแดงและสีม่วงน้ำเงิน

การสกัดแอนโทไซยานินจากวัตถุดิบที่เป็นกลุ่มข้าวโพดสีม่วง มีการใช้วิธีคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติและเมทานอลเป็นตัวทำละลายร่วม โดยสภาวะที่ใช้ในการสกัดคือ อัตราส่วนคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติต่อตัวทำละลายร่วมเมทานอลโดยเป็นการสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (พันธุ์ข้าวก่ำ) (Denduangdee & Subantom, 2014) นอกจากนี้ได้มีการใช้ตัวทำละลายเมทานอล เอทานอล และน้ำ ในการสกัดสารแอนโธไซยานินจากซังข้าวโพดสีม่วงด้วยวิธีการสกัดแบบซอกห์เลต (soxhlet extraction) (Muangrat et al., 2014)

เทคโนโลยีเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation technology)

เทคโนโลยีเอนแคปซูเลชัน เป็นกระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มอยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบาง ๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูลซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน ชั้นพอลิเมอร์บาง ๆ นี้เองที่จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาเมื่อเราต้องการ โดยทำให้เกิดฟิล์มบาง ๆ รอบอนุภาค หรือทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน และทำให้แห้ง ซึ่งสารสำคัญที่ต้องป้องกันในไมโครแคปซูลจะถูกเรียกว่า คอร์ (core) และผนังบาง ๆ ที่ห่อหุ้มสารสำคัญจะถูกเรียกว่า วอลล์ (wall) ลักษณะของวอลล์ (wall) ที่ดีควรจะต้องมีความสามารถแผ่เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ได้ มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงเพียงพอ มีความสามารถทำให้เกิดอิมัลชัน มีความสามารถในการยึดติดกับคอร์ (core) ได้ดี โดยไม่ทำปฏิกิริยากัน มีความหนืดต่ำ เมื่ออยู่ในสถานะของแข็งต้องไม่ชื้นง่าย นอกจากนี้ยังต้องมีความคงตัวสูง เพื่อจะป้องกันคอร์ (core) จากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ และปลดปล่อยคอร์ (core) ได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน จะเห็นได้ว่าวอลล์ (wall) เป็นตัวการที่สำคัญของเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน ดังนั้นการเลือกใช้สารที่จะนำมาทำเป็นวอลล์ (wall) จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมทั้งต่อสารสำคัญ และต่อสภาวะที่ต้องการใช้ ในบางครั้งอาจจะต้องทำวอลล์ (wall) 2 ชั้น ชั้นในเพื่อปกป้องคอร์ (core) และชั้นนอกเพื่อวัตถุประสงค์ของการใช้งานในการกักเก็บกลิ่น สี เป็นต้น สารที่สามารถนำมาทำเป็นวอลล์ (wall) ได้มีมากมายหลายชนิด ที่นิยมใช้และมีราคาไม่แพงคือสารในกลุ่มของแป้ง เช่น มอลโทเด็กซ์ตริน (maltodextrin) (Chaovanalikit & Itthisoponkul , 2011)

มอลโทเด็กซ์ตริน เป็นคาร์โบไฮเดรตโพลิเมอร์ที่ผลิตได้จากแป้ง มีกลูโคสโมโนเมอร์อยู่ 5-10 หน่วยต่อโมเลกุล ขึ้นอยู่กับค่า DE (Dextrose Equivalent) ซึ่งมอลโทเด็กซ์ตรินจะมีค่า DE น้อยกว่า 20 น้ำหนักโมเลกุลของมอลโทเด็กซ์ตรินจะลดลงเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้น เช่น น้ำหนักโมเลกุลของมอลโทเด็กซ์ตริน DE5 DE10 DE15 มีค่า 3600 1800 และ 1200 ตามลำดับ คุณสมบัติโดยทั่วไปของมอลโทเด็กซ์ตรินคือ ละลายน้ำได้ดี และมีคุณสมบัติ

ในการป้องกันคอร์ (core) จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Shahidi & Han, 1993) มีคุณสมบัติเด่นในด้านการให้ความหนืดต่ำเมื่อใช้ที่ปริมาณของแข็งสูง ๆ ซึ่งเหมาะกับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และยังมีน้ำหนักโมเลกุลที่หลากหลาย ทำให้ได้ชั้นของวอลล์แตกต่างไปตามต้องการ (Chaovanalikit & Itthisoponkul , 2011)

กรอบแนวคิดการวิจัย

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ซังข้าวโพดหวานสีม่วง ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่จากโครงการธุรกิจข้าวโพดของบริษัท เจียไต๋ จำกัด (เชียงใหม่) มาเพิ่มมูลค่าด้วยการนำมาใช้ประโยชน์โดยใช้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์การอาหารด้วยการนำมาต้มเคี่ยวสกัดด้วยน้ำให้ได้สารสีแอนโทไซยานิน และใช้เทคโนโลยีการเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต่อไปได้

สมมติฐานการวิจัย

การนำเอามอลโทเด็กซ์ทรินมาใช้เป็นสารเอนแคปซูเลติ้งในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยสามารถนำมาทำเป็นสารเอนแคปซูเลติ้ง (encapsulating) หรือวอลล์ (wall) ให้กับสารแอนโทไซยานินจากตัวอย่างน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่จากโครงการธุรกิจข้าวโพดของบริษัท เจียไต๋ จำกัด (เชียงใหม่)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

1.1 การสกัดซังข้าวโพดหวานสีม่วง (ซังแห้ง) ล้างซังข้าวโพดหวานสีม่วงให้สะอาดตัดเป็นท่อน ชั่งน้ำหนัก 250 กรัม ต้มในน้ำสะอาดในระบบเปิด ด้วยปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที แล้วนำมากรอง

1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

- หาค่าสี L*, a* และ b* ด้วยเครื่องมือ Color-meter

1.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

- ความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid--TSS) ด้วยเครื่อง hand refractometer

- ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity --TA) (AOAC, 2000)

- สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu method

- ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH diferrential ตามวิธีการของ Fulkei and Francis (1998)

2. การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของมอลโทเด็กซ์ทรินในการแปรรูปน้ำสกัดจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงให้เป็นผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

น้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง นำไปเอนแคปซูเลชั่น โดยนำสารเอนแคปซูเลติ้ง ด้วยมอลโทเด็กซ์ทริน DE 10 ในปริมาณความเข้มข้น 3, 5 และ 7% โดยน้ำหนัก (w/v) ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer: SDE-10, ประเทศไทย) ด้วยอุณหภูมิขาเข้า 180°C และอุณหภูมิขาออก 80°C เก็บตัวอย่างผงในขวดแก้วสีชาที่มีฝาปิดสนิท แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

- ค่าสี L*, a* และ b* ด้วยเครื่องมือ Color-meter

- ดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index --WSI) ตามวิธีของ Kha, Nguyen and Roach (2010)

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

- ปริมาณความชื้น (moisture content) ตามวิธีของ AOAC (2000)

- ค่า water activity (aw) ด้วยเครื่อง Water activity meter

- ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter (AOAC, 2000)

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid--TSS) ด้วยเครื่อง hand refractometer

- ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity--TA) (AOAC, 2000)

- ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH diferrential ตามวิธีการของ Fulkei and Francis (1998)

2.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง นำผงจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงมาทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope--SEM)

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำค่าที่ได้จากการทดลองสมบัติทางเคมีและกายภาพมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

การวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง ได้ผลดังแสดงในตาราง 1 และ 2

ตาราง 1

สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

สมบัติทางกายภาพ	
L*	4.41±0.02
a*	28.05±0.04
b*	7.37±0.09
สมบัติทางเคมี	
pH	5.51±0.04
TSS (%brix)	1.63±0.06
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%)	0.04±0.00
ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/g)	11.26±0.15

ตาราง 2

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

สารประกอบฟีนอลิก	ปริมาณฟีนอลิก (mg/kg)
Gallic acid	6.62
Apigenin	2.32
Isoquercetin	16.32
Quercetin	34.32
Rutin	20.23
Catechin	101.02
Tannic acid	44.41

จากตาราง 1 แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) ที่เข้าใกล้ 0 เนื่องจากน้ำซังข้าวโพดที่สกัดได้มีสีม่วงคล้ำจากสารสีแอนโทไซยานิน โดยจากการวิเคราะห์พบว่ามีปริมาณแอนโทไซยานิน 11.26 mg/g ซึ่งแอนโทไซยานินจัดเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (water-soluble pigments) จากการศึกษาของศุกฤชชญา เหมะธุลิน และคณะ (Hematurin et al., 2014) ในการใช้ประโยชน์ซังข้าวโพดม่วงในส่วนผสมเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากเม่าและฟักข้าว พบว่าสามารถใช้ประโยชน์จากซังข้าวโพดได้โดยการต้มสกัดด้วยน้ำ จนได้น้ำต้มซังข้าวโพดที่สามารถใช้ทดแทนน้ำผลไม้ได้สูงสุดร้อยละ 19.50 ที่อุดมไปด้วยสารต้านออกซิเดชันจากแอนโทไซยานินในซังข้าวโพดสีม่วง

เมื่อทำการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง ดังตาราง 2 พบว่า มีปริมาณคาเทชินมากที่สุดที่ปริมาณ 101.02 mg/kg โดยคาเทชิน (catechin) เป็นฟลาโวนอยด์ที่พบมากในยอดใบชาสด และชาเขียวเป็นกลุ่มฟลาวานอลหรือฟลาวาน-3-ออล (flavanols หรือ flavan-3-ols) ฟลาวานอลในชามีชื่อเรียกเฉพาะว่าคาเทชิน (catechins) ซึ่งมีประมาณ 75% ของโพลิฟีนอลทั้งหมด คาเทชินเป็นสารไม่มีสี ละลายน้ำได้ดี ให้รสชาติฝาด (Theppakorn, 2013) ซึ่งสารฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานินเป็นกลุ่มของสารไฟโตเคมิคอลที่สังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช แม้ว่ารงควัตถุเหล่านี้จะไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ แต่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันและคุณสมบัติทางชีวภาพต่าง ๆ ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อสุขภาพรวมถึงมีผลทางการรักษาที่หลากหลาย (Kokkaew, Srithanyarat & Pitirit, 2014)

2. ปริมาณที่เหมาะสมของมอลโทเด็กซ์ทรินในการแปรรูปน้ำสกัดจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงให้เป็นผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.1 สมบัติทางกายภาพของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

การวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง ได้ผลดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3

สมบัติทางกายภาพของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน	ค่าสี			WSI
	L*	a*	b*	
3%	46.85^{c}±0.11	19.92^{a}±0.01	1.88^{b}±0.00	ไม่มีตะกอน
5%	52.82^{b}±0.05	18.66^{b}±0.01	2.42^{a}±0.04	ไม่มีตะกอน
7%	55.76^{a}±0.04	17.27^{c}±0.01	2.35^{a}±0.00	ไม่มีตะกอน

*ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตาราง 3 เมื่อนำผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน 3, 5 และ 7% มาวัดค่าสีและดัชนีการละลายน้ำ (WSI) พบว่า ค่าความสว่าง L* และ a* ของตัวอย่างผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน ทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน ค่าความสว่าง (L*) และ b* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า a* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าดัชนีการละลายน้ำของทุกตัวอย่างไม่มีของแข็งเกิดขึ้นในระหว่างการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge แสดงว่าผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงสามารถละลายน้ำได้หมดโดยไม่มีตะกอน

2.2 สมบัติทางเคมีของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

การวิเคราะห์สมบัติทางด้านเคมีของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง ได้ผลดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4

สมบัติทางเคมีของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน	a_w	ความชื้น (%wb)	TSS (%brix)	pH	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/g)
3%	0.30^{a}±0.00	7.12^{a}±0.48	23.40^{b}±1.04	5.58^{b}±0.03	0.14^{a}±0.00	6.82^{a}±0.52
5%	0.25^{b}±0.00	4.88^{b}±0.31	25.00^{a}±0.12	5.59^{b}±0.03	0.09^{b}±0.00	4.75^{b}±0.08
7%	0.19^{c}±0.00	4.29^{b}±0.36	25.03^{a}±0.97	5.73^{a}±0.02	0.07^{c}±0.00	3.57^{c}±0.11

*ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

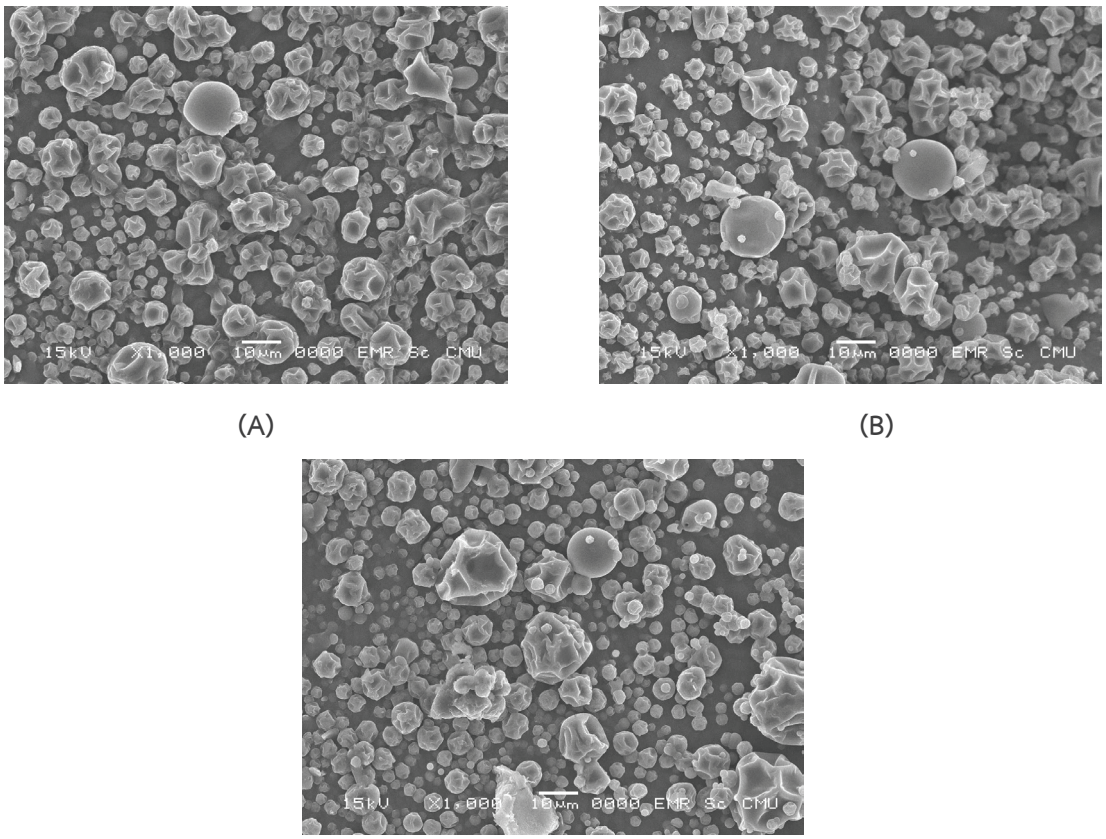
จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง (ดังแสดงในตาราง 4) พบว่า ค่า a_w, %TA และปริมาณแอนโทไซยานินของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินทั้ง 3 ระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความชื้นและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่มีปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน 3% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่มีปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน 5 และ 7% โดยค่า a_w ความชื้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณแอนโทไซยานินมีค่าลดลงแต่ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณแอนโทไซยานินในผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง (ดังตาราง 1) โดยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่ 3% ให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดที่ 6.82 mg/g

การใช้สารเอนแคปซูเลติ้ง ได้แก่ มอลโทเด็กซ์ตริน ความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำที่สุด เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ตริน มีสมบัติการดูดความชื้นต่ำ เมื่อใช้ในปริมาณสูงจึงช่วยทำให้คุณสมบัติการดูดความชื้นของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงดีขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของอลิษา ขุนทะวาด และจินตนา ศรีผุย (Khunthawad & Sripui, 2013) พบว่า การเอนแคปซูเลชั่นโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำมะเม่าด้วยการใช้สารเอนแคปซูเลติ้งทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ มอลโทเด็กซ์ตริน กัมอาราบิก และสารผสมมอลโทเด็กซ์ตรินและกัมอาราบิก ที่ความเข้มข้น 10 และ 30% โดยน้ำหนักนั้น ผลปรากฏว่าการใช้มอลโทเด็กซ์ตรินความเข้มข้น 30% โดยน้ำหนัก เป็นสารเอนแคปซูเลติ้งทำให้ผงมะเม่ามีปริมาณความชื้นและการดูดความชื้นต่ำที่สุดและการละลายสูงที่สุด ซึ่งส่งผลให้ผงมะเม่ามีสมบัติทางกายภาพที่ดี มีความคงตัวสูงและมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น

2.3 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

เมื่อนำผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินในปริมาณ 3, 5 และ 7% ไปศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้เครื่องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope--SEM) ด้วยกำลังขยาย 1,000X แสดงดังภาพ 2



(A) (B)

(C)

ภาพ 2 โครงสร้างระดับจุลภาคของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารเอนแคปซูเลติ้งที่ปริมาณ 3% (A) 5% (B) และ 7% (C)

จากภาพ 2 พบว่า โครงสร้างระดับจุลภาคของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารเอนแคปซูเลติ้งทั้ง 3 ระดับ ด้วยกำลังขยายที่เท่ากัน มีลักษณะเป็นทรงกลมที่คล้ายกัน แต่แตกต่างกันที่ขนาดของอนุภาคผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่มีขนาดเล็กลงตามปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการห่อหุ้มจากสารมอลโทเด็กซ์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารกักเก็บ (coating material) ในการป้องกันสารถูกกักเก็บ (core) ที่เหมาะกับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และยังมีน้ำหนักโมเลกุลที่หลากหลาย ทำให้ได้ชั้นของวอลล์แตกต่างไปตามต้องการ สอดคล้องกันกับงานวิจัยของพรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และคณะ (Vongsawasdi et al., 2002) ได้ศึกษาอนุภาคของน้ำผักผลไม้รวมผงด้วยการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นวอลล์โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย ทำการส่องด้วยกล้อง SEM พบว่า ขนาดอนุภาคของน้ำผักผลไม้รวมผงมีขนาดเล็กและเป็นรูปทรงกลมที่สม่ำเสมอกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศ

การอภิปรายผล

แอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบทั้งในดอกและในผลของพืช เป็นเม็ดสีที่ละลายน้ำ ให้สีแดง สีม่วง มีความคงตัวดีและมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) การสกัดแอนโทไซยานินสามารถใช้ตัวทำละลายได้หลายตัว เช่น เมทานอล อะซีโตน เอทานอล และน้ำ เพื่อให้ได้แอนโทไซยานินใกล้เคียงกับธรรมชาติ (Department of Science Service, 2010) จากการทดลองใช้น้ำสกัดแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดหวานสีม่วง โดยสามารถสกัดได้แอนโทไซยานินที่ปริมาณ 11.26 mg/g ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ อีกทั้งเมื่อนำมาการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วงให้ปริมาณคาเทชินสูงที่สุด โดยเทียบเท่ากับชา จากรายงานการวิจัยที่ศึกษาชนิดและปริมาณของคาเทชินในชาเขียว ที่ผลิตจากชาสายพันธุ์จีนและอัสสัมของไทย (Theppakorn, 2007) โดยคาเทชิน (catechins) เป็นสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ คาเทชินมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ซึ่งเป็นประโยชน์สำคัญที่ผู้บริโภคจะได้รับจากการบริโภคชา สมบัติการต้านอนุมูลอิสระทำให้คาเทชินมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายอย่าง ได้แก่ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของในโรคเบาหวาน และช่วยลดความอ้วน เป็นต้น (Theppakorn, 2013; Kao et al., 2006; Rain, Agarwal & Maki, 2011; Yuan, Sun & Butler, 2011)

การใช้มอลโทเด็กซ์ทรินมาเป็นสารเอนแคปซูเลติ้ง (encapsulating) หรือวอลล์ (wall) ให้กับสารแอนโทไซยานินในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้ผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีปริมาณความชื้นต่ำและค่าการละลายน้ำที่ดีโดยไม่มีของแข็งเกิดขึ้น ส่งผลให้ผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดี

ดังนั้นการนำวัตถุดิบซังข้าวโพดหวานสีม่วงซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำการแปรรูปเป็นอาหาร ถือเป็นการใช้วัตถุดิบให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบได้ เนื่องจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีปริมาณแอนโทไซยานินและคาเทชินสูง สามารถนำไปใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้อย่างหลากหลาย เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผง สารแต่งสีอาหาร เป็นต้น

น้ำสามารถใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดแอนโทไซยานินได้ จากผลการทดลองได้ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณคาเทชินสูง โดยผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่มีปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน 3% ให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด และการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารเอนแคปซูเลติ้งที่ปริมาณ 3, 5 และ 7% ทำให้ผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีปริมาณความชื้นลดลงตามปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่ใส่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง โดยมอลโทเด็กซ์ทรินช่วยทำให้คุณสมบัติการดูดความชื้นของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงดีขึ้น ช่วยลดคุณสมบัติการดูดความชื้นเข้าหาตัวได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความชื้นต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ พ.ศ.2560 ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัยนี้

References

AOAC. (2000). *Official Methods of analysis of AOAC international.* Maryland: Author.

Chaovanalikit, A., & Itthisoponkul, T. (2011). *Natural colorants from mangosteen rinds*. Bangkok: Srinakharinwirot University. (in Thai)

Chutchun, O. (2004). *Cost and returns on manufacturing of economic corncob charcoal: A case study of Sor Thaweekoon factory in Dok Khamti district, Phayao province*. Master of Accounting Thesis, Chiang Mai University. (in Thai)

Denduangdee W., & Subantom, W. (2014). *Extraction of anthocyanin from purple waxy corn by supercritical carbon dioxide.* Bachelor of Engineering Thesis, Khon Kaen University. (in Thai)

Department of Science Service. (2010). *Anthocyanin.* Retrieved from http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR21.pdf (in Thai)

Fulkei, T., & Franscis, F. J. (1998). Quantitative method for anthocyanins. *Journal of Food Science*, *33*(1), 72-77.

Hematurin, S., Songsri, P., Suriharn, B., & Lertrat, K. (2014). Utilization of purple corn cob mixed with Mao (Antidesma bunius) and Gac fruit (Momordica Cochinchinnensis) for healthy drink. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *42*(3), 300-305. (in Thai)

Kao, Y. H., Chang, H. H., Lee, M. J., & Chen, C. L. (2006). Tea, obesity, and diabetes. *Molecular Nutrition and Food Research*, *50*(2), 188–210.

Kha, T. C., Nguyen, M. H., & Roach, P. D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (Momordica cochinchinensis) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, *98*(3), 385-392.

Khunmuang, S. (2008). *Analysis of anthocyanin in some water lily species*. Master of Science Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)

Khunthawad A., & Sripui, J. (2013). Effects of encapsulation by spray drying on physical properties of Mamao (Antidesma thwaitesianum) powder. *Proceedings of 14th Graduate Research conference*, Khon Kaen. (in Thai)

Kokkaew, H., Srithanyarat, N., & Pitirit, T. (2014). Phenolics flavonoids anthocyanins and antioxidant contents of baked white and purple waxy corn products. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *42*(4), 481-490. (in Thai)

Muangrat, R., Sakulkaipeera K., Burakhum, T., & Chomnan, L. (2014). Factors affecting extraction of anthocyanins from purple corn. *Science and Technology Journal*, *22*(3), 367-380. (in Thai)

Pengthina, N., Phatsara, C., Sripai, A., & Yammuen-art, S. (2013). Effect of microbial inoculant and chemical treatment of maize cob and husk on in sacco degradability in white Lamphun cattle. *Agricultural Science Journal*, *44*(1), 43-46. (in Thai)

Pimnak, B. (2009). *Citric acid encapsulation using spray drying method and application in seasoning powder*. Master of Science Thesis, Silpakorn University. (in Thai)

Rains, T. M., Agarwal, S., & Maki, K. C. (2011). Antiobesity effects of green tea catechins: A mechanistic review. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, *22*(1), 1-7.

Shahidi, F., & Han, X. Q. (1993). Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Technology*, *33*(6), 501-547.

Tanthapanichakoon, R. (1990). *Food chemistry*. Bangkok: Ramkhamhaeng University. (in Thai)

Thai Food Processors' Association. (2015). *Production situation and international sweet corn trade.* Retrieved from http://www.ap.mju.ac.th/webpage/seminar/download/26%20feb%202014/1300-1400%20%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%98%E0%B8%99%E0%B9%8C%20%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%A8%E0%B8%A8%E0%B8%B4%E0%B8%98%E0%B8%A3.pdf (in Thai)

Theppakorn, T. (2007). *Study on changes in type and amount of antioxidants (polyphenols) in green tea and oolong tea process of Chiang Rai province.* Chiang Rai: Mae Fah Luang University. (in Thai)

Theppakorn, T. (2013). Green tea catechins and storage stability. *KKU Science Journal*, *41*(1), 46-55. (in Thai)

Vongsawasdi, P., Nopharatana, M., Tangbumrungpong, D., & Apinunjarupong S. (2002). Production of instant fruit and vegetable juice by spray dryer and microwave-vacuum dryer. *KMUTT Research and Development Journal*, *25*(3), 257-277. (in Thai)

Yuan, J. M., Sun, C., & Butler, L. M. (2011). Tea and cancer prevention: Epidemiological studies. *Pharmacological Research*, *64*(2), 123-135.