บทที่ 4
ผลและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

4.1.1. สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

การวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

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

จากตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) ที่เข้าใกล้ 0 เนื่องจากน้ำซังข้าวโพดที่สกัดได้มีสีม่วงคล้ำจากสารสีแอนโทไซยานิน โดยจากการวิเคราะห์พบว่ามีปริมาณแอนโทไซยานิน 11.26 mg/g ซึ่งแอนโทไซยานินจัดเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (water-soluble pigments) จากการศึกษาของศุกฤชชญา เหมะธุลินและคณะ (2557) ในการใช้ประโยชน์ซังข้าวโพดม่วงในส่วนผสมเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากเม่าและฟักข้าว พบว่าสามารถใช้ประโยชน์จากซังข้าวโพดได้โดยการต้มสกัดด้วยน้ำ จนได้น้ำต้มซังข้าวโพดที่สามารถใช้ทดแทนน้ำผลไม้ได้สูงสุดร้อยละ 19.50 ที่อุดมไปด้วยสารต้านออกซิเดชันจากแอนโทไซยานินในซังข้าวโพดสีม่วง

ตารางที่ 4.2 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

เมื่อทำการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง ดังตารางที่ 4.2 พบว่า มีปริมาณคาเทชินมากที่สุดที่ปริมาณ 101.02 mg/kg โดยคาเทชิน (catechin) เป็นฟลาโวนอยด์ที่พบมากในยอดใบชาสด และชาเขียวเป็นกลุ่ม ฟลาวานอลหรือฟลาวาน-3-ออล (flavanols หรือ flavan-3-ols) ฟลาวานอลในชามีชื่อเรียกเฉพาะว่าคาเทชิน (catechins) ซึ่งมีประมาณ 75% ของโพลิฟีนอลทั้งหมด คาเทชินเป็นสารไม่มีสีละลายน้ำได้ดี ให้รสชาติฝาด (ธีรพงษ์ เทพกรณ์, 2556) ซึ่งสารฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานินเป็นกลุ่มของสารไฟโตเคมีคอลที่สังเคราะห์ขึ้น โดยกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช แม้ว่ารงควัตถุเหล่านี้จะไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ แต่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันและคุณสมบัติทางชีวภาพต่างๆ ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อสุขภาพรวมถึงมีผลทางการรักษาที่หลากหลาย (หทัยกาญจน์ กกแก้ว และคณะ, 2557)

4.2 ผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของมอลโทเด็กซ์ทรินในการแปรรูปน้ำสกัดจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงให้เป็นผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.2.1 สมบัติทางกายภาพของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

การวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน	ค่าสี

	L*	a*	b*
3%	$46.85^{c}\pm0.11$	$19.92^{a}\pm0.01$	$1.88^{b}\pm0.00$
5%	$52.82^{b}\pm0.05$	$18.66^{b}\pm0.01$	$2.42^{a}\pm0.04$
7%	$55.76^{a}\pm0.04$	$17.27^{c}\pm0.01$	$2.35^{a}\pm0.00$

หมายเหตุ. ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.3 เมื่อนำผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน 3, 5 และ 7% มาวัดค่าสีและดัชนีการละลายน้ำ (WSI) พบว่า ค่าความสว่าง L* และ a* ของตัวอย่างผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน ทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ พรินค่าความสว่าง (L*) และ b* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ส่วนค่า a* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ส่วนค่าดัชนีการละลายน้ำของทุกตัวอย่างไม่มีของแข็งเกิดขึ้นในระหว่างการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge แสดงว่าผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงสามารถละลายน้ำได้หมดโดยไม่มีตะกอน

4.2.2 สมบัติทางเคมีของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

การวิเคราะห์สมบัติทางด้านเคมีของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง (ดังแสดงในตารางที่ 4.4) พบว่า ค่า a_w , %TA และปริมาณแอนโทไซยานินของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินทั้ง 3 ระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ส่วนค่าความชื้นและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่มีปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน 3% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) กับผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่มีปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน 5 และ 7% โดยค่า a_w ความชื้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณแอนโทไซยานินมีค่าลดลงแต่ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณแอนโทไซยานินในผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วง (ดังตารางที่ 4.1) โดยปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่ 3% ให้ปริมาณ

แอนโทไซยานินสูงที่สุดที่ 6.82 mg/g ซึ่ง Kirca, et al. (2007) กล่าวว่า เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้การสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำผลไม้เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

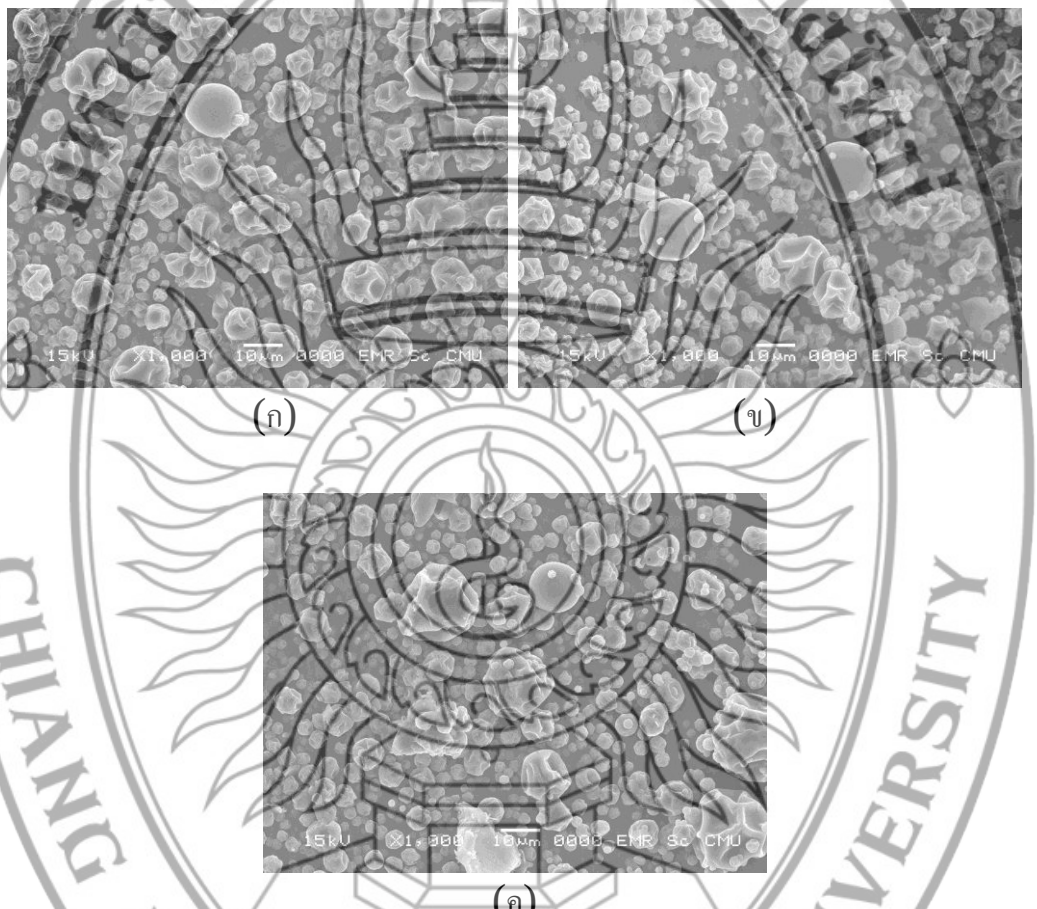
ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน	a_w	ความชื้น (%wb)	TSS (%บริกซ์)	pH	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/g)
3%	$0.30^{a}\pm0.00$	$7.12^{a}\pm0.48$	$23.40^{b}\pm1.04$	$5.58^{b}\pm0.03$	$0.14^{a}\pm0.00$	$6.82^{a}\pm0.52$
5%	$0.25^{b}\pm0.00$	$4.88^{b}\pm0.31$	$25.00^{a}\pm0.12$	$5.59^{b}\pm0.03$	$0.09^{b}\pm0.00$	$4.75^{b}\pm0.08$
7%	$0.19^{c}\pm0.00$	$4.29^{b}\pm0.36$	$25.03^{a}\pm0.97$	$5.73^{a}\pm0.02$	$0.07^{c}\pm0.00$	$3.57^{c}\pm0.11$

หมายเหตุ. ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

การใช้สารเอนแคปซูเลติ้ง ได้แก่ มอลโทเด็กซ์ตริน ความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำที่สุด เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ตริน มีสมบัติการดูดความชื้นต่ำ เมื่อใช้ในปริมาณสูงจึงช่วยทำให้คุณสมบัติการดูดความชื้นของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงดีขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของอลิษา ขุนทะวาด และจินตนา ศรีผุย (2556) พบว่า การเอนแคปซูเลชั่นโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำมะเม่าด้วยการใช้สารเอนแคปซูเลติ้งทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ มอลโทเด็กซ์ตริน กัมอาราบิก และสารผสมมอลโทเด็กซ์ตรินและกัมอาราบิก ที่ความเข้มข้น 10 และ 30% โดยน้ำหนักนั้น ผลปรากฏว่าการใช้มอลโทเด็กซ์ตริน ความเข้มข้น 30% โดยน้ำหนัก เป็นสารเอนแคปซูเลติ้ง ทำให้ผงมะเม่ามีปริมาณความชื้นและการดูดความชื้นต่ำที่สุดและการละลายสูงที่สุด ซึ่งส่งผลให้ผงมะเม่ามีสมบัติทางกายภาพที่ดี มีความคงตัวสูงและมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น

4.2.3 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วง

เมื่อนำผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินในปริมาณ 3, 5 และ 7% ไปศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้เครื่องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope--SEM) แสดงดังภาพที่ 4.1



(ก) (ข)

(ค)

ภาพที่ 4.1 โครงสร้างระดับจุลภาคของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารเอนแคปซูเลติ้งที่ปริมาณ 3% (ก) 5% (ข) และ 7% (ค)

จากภาพที่ 4.1 พบว่า โครงสร้างระดับจุลภาคของผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารเอนแคปซูเลติ้งทั้ง 3 ระดับ มีลักษณะเป็นทรงกลมที่คล้ายกัน แต่แตกต่างกันที่ขนาดของอนุภาคผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงที่มีขนาดเล็กลงตามปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกันกับงานวิจัยของพรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และคณะ (2545) ได้ศึกษาอนุภาคของน้ำผักผลไม้รวมผงด้วยการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นวอลล์โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย ทำการส่องด้วยกล้อง SEM พบว่า ขนาดอนุภาคของน้ำผักผลไม้รวมผงมีขนาดเล็กและเป็นรูปทรงกลมที่สม่ำเสมอกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศ

แอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบทั้งในดอกและในผลของพืช เป็นเม็ดสีที่ละลายน้ำ ให้สีแดง สีม่วง มีความคงตัวดี และมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) การสกัดแอนโทไซยานินสามารถใช้ตัวทำละลายได้หลายตัว เช่น เมทานอล อะซีโตน เอทานอล และน้ำ เพื่อให้ได้แอนโทไซยานินใกล้เคียงกับธรรมชาติ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553) จากการทดลองใช้น้ำสกัดแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดหวานสีม่วง โดยสามารถสกัดได้แอนโทไซยานินที่ปริมาณ 11.26 mg/g ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ อีกทั้งเมื่อนำมาการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำที่สกัดได้จากซังข้าวโพดหวานสีม่วงให้ปริมาณคาเทชินสูงที่สุด โดยเทียบเท่ากับชา จากรายงานการวิจัยที่ศึกษาชนิดและปริมาณของคาเทชินในชาเขียว ที่ผลิตจากชาสายพันธุ์จีนและอัสสัมของไทย (ธีรพงษ์ เทพกรณ์, 2550) โดยคาเทชิน (catechins) เป็นสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ คาเทชินมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ซึ่งเป็นประโยชน์สำคัญที่ผู้บริโภคจะได้รับจากการบริโภคชา สมบัติการต้านอนุมูลอิสระทำให้คาเทชินมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายอย่าง ได้แก่ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของในโรคเบาหวาน และช่วยลดความอ้วน เป็นต้น (ธีรพงษ์ เทพกรณ์, 2556; Kao, *et al*., 2006; Rain, *et al*., 2011; Yuan, *et al*., 2011)

การใช้มอลโทเด็กซ์ทรินมาเป็นสารเอนแคปซูเลติ้ง (encapsulating) หรือวอลล์ (wall) ให้กับสารแอนโทไซยานินในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้ผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีปริมาณความชื้นต่ำและค่าการละลายน้ำที่ดีโดยไม่มีของแข็งเกิดขึ้น ส่งผลให้ผงซังข้าวโพดหวานสีม่วงมีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดี

4.3 ผลการศึกษาพัฒนาสูตรที่เหมาะสมของเครื่องดื่มผงพร้อมดื่มจากซังข้าวโพดหวานสีม่วง

ศึกษาปริมาณของส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ผงซังข้าวโพด หญ้าหวานและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อได้สูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม โดยวางแผนการทดลองแบบ mixture design วิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพดังนี้ ค่าสี L* a* b* ค่าความข่น ทางด้านเคมีได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความเป็นกรดด่าง และปริมาณสารแอนโทไซยานิน ทางด้านประสาทสัมผัสในด้านความชอบคุณลักษณะดังนี้ สี กลิ่นข้าวโพด รสหวาน ความข่น และความชอบโดยรวม

ผลการวิเคราะห์คุณภาพค่าสี L แสดงในตารางที่ 4.5 ค่าสี L* แสดงถึงความมืด-สว่างของผลิตภัณฑ์มีค่า 0 – 100 (0=มืด 100=สว่าง) ค่าสี a* และ b* แสดงในตาราง 4.5 ค่า a ถ้าเป็นบวกแสดงถึงสีแดง ถ้าเป็นลบแสดงถึงสีเขียว ค่า b ถ้าเป็นบวกแสดงถึงสีเหลือง เป็นลบแสดงถึงสีน้ำเงิน (สุทัสน์และอิศรพงษ์, 2543) ค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงมีค่าสี L* อยู่ในช่วง 1.07-9.12 ค่าสี a* อยู่ในช่วง 10.21-37.90 ค่าสี b* อยู่ในช่วง 0.65-15.52 ค่าสีที่ได้สอดคล้องกับลักษณะปรากฏคือเมื่อใช้ผงซังข้าวโพดในระดับที่สูงเครื่องดื่มที่ได้จะมีสีม่วงแดงเข้มมากกว่าสิ่งทดลองที่ใช้ผงซังข้าวโพดในระดับต่ำ ละลายตัวอย่างเครื่องดื่มผงในน้ำโดยใช้ตัวอย่าง 3 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเครื่องดื่มหลังละลายน้ำอยู่ในช่วง 5.00 - 5.73 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าความเป็นกรดด่างใกล้เคียงกับเครื่องดื่มสมุนไพร เช่นในเครื่องดื่มตะไคร้ผสมใบเตยมีค่าความเป็นกรดด่าง 5.46 - 5.59 (พิมพ์ชนก, 2557) มีค่าความข่น 0.006 - 2.187 เนื่องจากส่วนประกอบในเครื่องดื่มเมื่อละลายน้ำแล้วเกิดสารแขวนลอยเพียงเล็กน้อย ค่าความข่นที่ได้จึงมีค่าน้อย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเครื่องดื่มมีค่า 6.90 - 7.80 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด 16.20 - 28.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งเป็นเครื่องดื่มที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงเมื่อเทียบกับเครื่องดื่มชนิดอื่น โดยในเครื่องดื่มจากกระเจี๊ยบแดงสกัดเข้มข้นมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด 6.90-9.83 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ทัศนีย์, 2555) ในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวหอมนิลที่ใช้อัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ 1:30 มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 0.7 มก./มล (จุฑามาศ, 2558) ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุหลักที่พบในข้าวโพดสีม่วง รวมถึงพบได้ในส่วนต่างๆของข้าวโพดสีม่วงด้วย เช่นรายงานของพรชัย และคณะ, 2557 ที่ศึกษาผลของอายุเก็บเกี่ยวและวิธีการทำให้สุกต่อปริมาณแอนโทไซยานิน โดยมุ่งเน้นศึกษาแอนโทไซยานิน ชนิด cyaniding-3-glucoside พบว่าในซังข้าวโพดมีปริมาณ cyanidin-3-glucoside สูงกว่าเมล็ดคิดเป็น 2.5 และ 3.9 เท่าที่ระยะรับประทาน ฝักสดและระยะฝักแห้งตามลำดับ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Pascual-Teresa et al., 2008 ที่รายงานว่า ข้าวโพดที่มีสีม่วงจัดเป็นแหล่งของแอนโทไซ

ยานินที่สำคัญแหล่งหนึ่ง โดยพบปริมาณแอนโทไซยานินใน เมล็ด แกนฝัก และเปลือกหุ้มฝักเท่ากับ 1,642, 3,400 และ 18,900 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แอนโทไซยานินเป็นหนึ่งในสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายเป็นรงควัตถุธรรมชาติในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งจะพบได้ในส่วนที่มีสีน้ำเงิน สีม่วงแดง แอนโทไซยานินมีความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระได้สูงกว่าวิตามินซี ช่วยลดการเกิดมะเร็งและช่วยเสริมสร้างให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรค

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
CHIANG MAI RAJABHAT UNIVERSITY

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ความเป็นกรด-ด่าง	ค่าความขุ่น	ปริมาณ
	L*	a*	b*			ละล
1	2.77^{k}+0.05	14.74^{k}+0.06	1.24^{k}+0.08	5.27^{cde}+0.06	1.834^{c}+0.07	7.13
2	2.55^{f}+0.01	17.13^{f}+0.07	4.28^{f}+0.13	5.00^{g}+0.00	1.518^{d}+0.01	7.10
3	2.44^{l}+0.05	22.33^{m}+0.11	0.66^{l}+0.07	5.30^{cd}+0.00	2.187^{a}+0.11	7.30
4	8.85^{b}+0.03	37.66^{b}+0.06	5.04^{b}+0.18	5.07^{f}+0.06	0.006^{k}+0.00	7.00
5	1.88^{g}+0.09	11.29^{g}+0.28	7.06^{g}+0.01	5.30^{cd}+0.00	0.718^{h}+0.04	6.90
6	4.05^{d}+0.03	25.41^{d}+0.08	6.82^{d}+0.07	5.73^{a}+0.06	0.535^{j}+0.00	7.20
7	2.94^{e}+0.04	19.62^{e}+0.13	4.90^{e}+0.08	5.33^{c}+0.06	1.129^{e}+0.02	7.07
8	9.12^{a}+0.04	37.90^{a}+0.15	5.52^{a}+0.10	5.30^{cd}+0.00	0.009^{k}+0.00	7.30
9	2.82^{k}+0.04	14.87^{k}+0.06	1.16^{k}+0.13	5.07^{f}+0.06	1.845^{c}+0.01	7.13
10	1.07^{j}+0.03	16.86^{j}+0.05	1.68^{j}+0.14	5.20^{e}+0.00	1.824^{c}+0.04	7.10
11	1.35^{i}+0.02	18.04^{i}+0.25	2.12^{i}+0.03	5.23^{de}+0.06	0.644^{i}+0.01	6.90
12	4.48^{c}+0.03	28.04^{c}+0.04	7.47^{c}+0.16	5.40^{b}+	0.935^{g}+0.01	7.00
13	2.46^{l}+0.02	22.78^{l}0.18	7.65^{l}+0.06	5)0	2.024^{b}+0.04	7.30
14	1.61^{h}+0.02	10.21^{h}+0.07	2.64^{h}+0.11	5.30^{cd}+0.00	1.049^{f}+0.01	7.80

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองทางกายภาพและเคมีของน้ำซังข้าวโพด 14 สูตรโดยใช้วิธี Mixture design

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงว่ามีคว[illegible]นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำซังข้าวโพด 14 สูตรโดยใช้วิธี Mixture design

สิ่งทดลอง	สี	กลิ่นข้าวโพด^{ns}	รสหวาน	ความขุ่น
1	5.17^{abc}±1.42	4.40±1.45	3.73^{ab}±1.72	4.47^{bcdef}±1.(
2	5.20^{abc}±1.45	4.40±1.65	3.20^{b}±1.73	5.03^{abc}±1.6
3	4.60^{c}±1.28	4.40±1.52	3.73^{ab}±1.78	4.17^{cdef}±1.6
4	5.33^{abc}±1.32	4.57±1.36	3.47^{ab}±1.57	5.13^{ab}±1.3
5	4.83^{bc}±1.29	4.53±1.61	4.07^{ab}±1.84	3.93^{ef}±1.7
6	5.67^{a}±1.09	4.57±1.22	4.30^{a}±1.70	5.47^{a}±1.1
7	5.20^{abc}±1.73	4.47±1.61	3.30^{ab}±1.95	5.40^{a}±1.6
8	5.47^{ab}±1.20	4.43±1.17	4.30^{a}±1.66	5.57^{a}±1.4
9	5.23^{abc}±1.22	4.63±1.19	4.17^{ab}±1.60	4.97^{abc}±1.4
10	4.93^{abc}±1.46	4.47±1.41	3.67^{ab}±1.56	3.60^{f}±1.7
11	5.00^{abc}±1.23	4.30±1.47	3.73^{ab}±1.78	4.93^{abcd}±1.3
12	5.00^{abc}±1.31	4.50±1.43	3.40^{ab}±1.71	4.50^{bcde}±1.5
13	5.73^{a}±1.11	4.67±1.58	3.93^{ab}±1.80	5.50^{a}±1.5
14	4.67^{bc}±1.47	4.13±1.36	3.27^{ab}±1.57	4.07^{def}±1.5

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

เมื่อนำค่าผลที่ได้จากการวัดค่าสี ความเป็นกรดด่าง ค่าความข่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (RSM ; Response Surface Methodology) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาสมการ regression จะได้สมการregression ดังแสดงในตารางที่4.7 จากสมการพบว่าปริมาณสัดส่วนของผงซังข้าวโพด หญ้าหวาน และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ส่งผลต่อค่าสี L* b* ค่าความข่น ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และส่งผลต่อค่าทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสี ความข่น และความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าสี L* และ b* แปรผันตรงกับปริมาณผงซังข้าวโพด หญ้าหวานและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณผงซังข้าวโพด หญ้าหวานและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ค่าสี L* และ b* ก็จะเพิ่มขึ้น ค่าความข่นของเครื่องดื่มแปรผันตรงกับปริมาณผงซังข้าวโพด และหญ้าหวานแต่จะแปรผกผันกับฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ปริมาณแอนโทไซยานินจะแปรผันตรงกับปริมาณผงซังข้าวโพด และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดยถ้าเพิ่มผงซังข้าวโพดและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์จะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณแอนโทไซยานินจะแปรผกผันกับปริมาณหญ้าหวาน ส่วนคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ความชอบด้านสี ความชอบด้านความข่น และความชอบโดยรวมจะแปรผันตรงกับปริมาณผงซังข้าวโพด และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ แต่จะแปรผกผันกับหญ้าหวาน โดยถ้าปริมาณผงซังข้าวโพด และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เพิ่มขึ้น คะแนนความชอบด้านสี ความชอบด้านความข่น และความชอบโดยรวมจะเพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
CHIANG MAI RAJABHAT UNIVERSITY

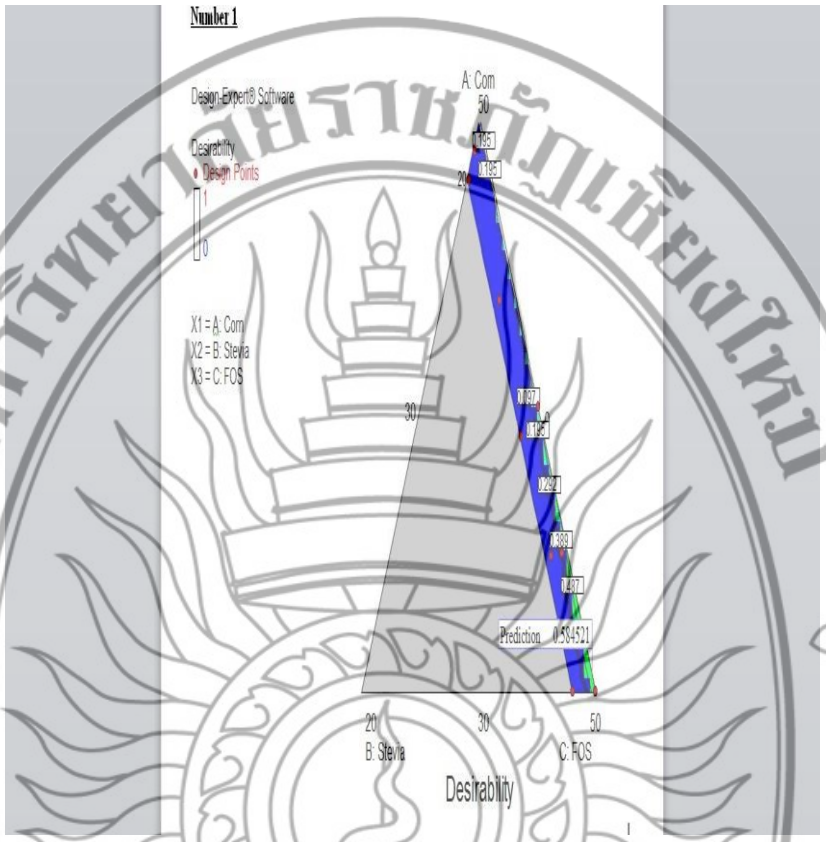
ตารางที่ 4.7 สมการ regression แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ตัวแปรตาม	สมการ
ค่าสี L*	L*=4.96A+222.56B+8.28C-21.94AB-3.17AC-39.84 BC**
ค่าสี a*	a*=23.92A+348.58B+35.41C-23.01A B-14.06AC-86.73BC
ค่าสี b*	b* =8.54A+346.60B+14.22C-33.16AB-5.4577 A C-63.86B C**
ความเป็นกรดด่าง	pH=-3.36A+32333.03B+4.56C-6053.19AB+0.02AC-265.31BC+529.21ABC+251.58AB(A-B)+0.26AC(A-C) -279.24B C(B-C)
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	TSS =86.10 A-0.05B-77.37C+0.07 A B+11.73 A C+0.07 B C-0.05 A B C-0.02A B (A-B) -349.32A C (A-C) +0.03 C (B-C)
ค่าความขุ่น	Turbidity =0.42A+2.06B-0.19C**
ปริมาณแอนโทไซยานิน	Anthocyanin =5.41A-8.49B+0.24C**
ความชอบด้านสี	color =0.63A-1.87B+0.72C**
ความชอบด้านกลิ่นข้าวโพด	odor = -1.55A +35030.34B+1.91C-6679.31A B+0.20AC-6608.81BC+566.71AB C+287.94A B (A-B) +0.11A C (A-C) -278.54 B C (B-C)
ความชอบด้านความขุ่น	turbid =0.56A-3.94B+0.74C**
ความชอบโดยรวม	overall =0.41A-.27B+0.64C**

หมายเหตุ : เมื่อ A = ผงซังข้าวโพด B = หญ้าหวาน และ C = ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์

** = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากสมการเพื่อหาระดับของปริมาณผงซังข้าวโพด หญ้าหวานและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่เหมาะสมที่สุด(optimization) ผลการวิเคราะห์ได้ contour plot แสดงปริมาณของผงซังข้าวโพด 30% หญ้าหวาน 20%และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ 50% เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการพัฒนาสูตรเครื่องดื่มผง ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ระดับของปริมาณ A (ผงซังข้าวโพด) B (หญ้าหวาน) และC (ฟรุคโตโอลิโกแซคคา-ไรด์) ที่เหมาะสม (optimization) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผง

4.4 ผลการคุณภาพเครื่องดื่มผงพร้อมดื่มจากซังข้าวโพดหวานสีม่วงผลิตภัณฑ์สุดท้าย

การวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มผงซังข้าวโพดพร้อมดื่มผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สมบัติทางเคมีกายภาพของเครื่องดื่มผงซังข้าวโพดพร้อมดื่มผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ลักษณะคุณภาพ	เครื่องดื่มผงซังข้าวโพดพร้อมดื่มผลิตภัณฑ์สุดท้าย
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าสี L*	9.39±0.24
a*	37.07±0.21
b*	15.26±0.11
ค่าความขุ่น	0.006±0.00
คุณภาพทางเคมี	
ความเป็นกรด-ด่าง	5.03±0.05
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%บริกซ์)	7.00±0.00
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/g)	14.88±0.13
คุณภาพทางจุลินทรีย์	
จุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	35·10
ยีสต์และรา (cfu/g)	2.7·10
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	
สี	7.19±1.33
กลิ่น	6.35±1.90
รสหวาน	6.36±1.95
ความขุ่น	7.66±1.29
ความชอบโดยรวม	6.92±1.49

ลักษณะทางกายภาพของเครื่องดื่มผงซังข้าวโพดพร้อมดื่มผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยใช้ปริมาณของผงซังข้าวโพด 30% หญ้าหวาน 20% และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ 50% ละลายเครื่องดื่มผง 3 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร เครื่องดื่มมีค่าสี L* 9.39 a* 37.07 และ b* 15.26 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏทางสายตาคือผลิตภัณฑ์จะมีสีม่วงแดง และเครื่องดื่มมีความขุ่นน้อย เนื่องจากไม่มีอนุภาคสารแขวนลอยหรือคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มมีคุณภาพทางเคมีในด้านค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.03 มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 7.00 %บริกซ์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเครื่องดื่มเยื่อฟักข้าวชนิดผงที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ 6.2 -7.3 (ธมนวรรณ, 2559) ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำมาจากมอลโตเด็กซ์ตรินในผงซังข้าวโพด จากหญ้าหวานและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ เครื่องดื่มมีปริมาณแอนโทไซยานิน 14.88

mg/g สอดคล้องกับงานวิจัยของ วชิรวิทย์ (2558) ที่พัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำหวานเข้มข้นกลิ่นองุ่นโดยใช้ผงสีจากซังข้าวโพดสีม่วงลูกผสมแอนโธไซยานินสูงพันธุ์ KPSC901 ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีค่าปริมาณแอนโธไซยานิน 15.55มิลลิกรัม/100มิลลิลิตร และเครื่องดื่มจากซังข้าวโพดที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงโดยเมื่อเทียบกับเครื่องดื่มจากข้าวหอมนิลที่ใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ 1:30 ซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 0.37 มก./มล. (จุฑามาศ, 2558) แต่ในเครื่องดื่มจากซังข้าวโพดมีปริมาณแอนโทไซยานินมากถึง 14.88 มก./กรัม

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด $35 \cdot 10$ cfu/g และยีสต์และรา $2.7 \cdot 10$ cfu/g ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ข้าวกล้องผงชงดื่ม มผช.1068/2558)ที่กำหนดดังนี้จุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน $1 \cdot 10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และยีสต์และรา ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงซังข้าวโพดพร้อมดื่มโดยใช้เครื่องดื่มผง 3 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร โดยการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-point hedonic พบว่าคะแนนความชอบของเครื่องดื่มในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความข่น และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6-7 แสดงว่าผู้บริโภคมีความชอบผลิตภัณฑ์ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

จากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านต่างๆเครื่องดื่มผงซังข้าวโพดจัดได้ว่าเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เพราะมีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูง ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นสารที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้และแอนโทไซยานินมีบทบาทต่อการป้องการการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น รวมถึงในเครื่องดื่มผงมีส่วนประกอบของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ซึ่งเป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำประมาณ 1-1.5 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม และมีความหวานประมาณ 30% ของน้ำตาลทราย และจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติคล้ายใยอาหาร เป็น พรีไบโอติก (prebiotic) ชนิดหนึ่งที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ เสริมภูมิคุ้มกันในระบบทางเดินอาหารได้