

ผลของความเข้มข้นของสารละลายซูโครสและอุณหภูมิในการอบแห้งของผลมะเกี๋ยง (*Cleistocalyx nervosum* var. *paniala*) แช่อิ่มอบแห้งต่อสารออกฤทธิ์ชีวภาพ

Effects of Sucrose Solution Concentration and Drying Temperature of Dried Osmotic Treated Makiang (*Cleistocalyx nervosum* var. *paniala*) Fruits on Bioactive Compounds

อัศพงษ์ อุประวรรณ (Utsaphong Uprarawanna)* ดร.สมชาย จอมดวง (Dr.Somchai Jomduang)**

บทคัดย่อ

ผลมะเกี๋ยงมีสารออกฤทธิ์ชีวภาพสูง การแช่อิ่มอบแห้งสามารถช่วยปรับปรุงรสชาติและยืดอายุการเก็บรักษาผลมะเกี๋ยง แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพของสารออกฤทธิ์ชีวภาพ การศึกษานี้ จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารละลายซูโครส (50 และ 60 °Brix) และอุณหภูมิในการอบแห้ง (55, 60 และ 65 °C) ต่อสารออกฤทธิ์ชีวภาพ (สารประกอบฟีนอล, แทนนิน และแอนโทไซยานิน) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) วางแผนการทดลองแบบ 2 × 3 Factorial in CRD ผลการศึกษา พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและค่า IC50 ของผลิตภัณฑ์ แต่ไม่มีผลต่อปริมาณแทนนิน, แอนโทไซยานิน และความสามารถในการรีดิวซ์ อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อทุกปัจจัยที่ทำการศึกษา ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 °Brix และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอล แทนนิน และแอนโทไซยานิน คือ 372.11±3.74, 301.05±6.26 และ 14.37±1.97 mg/100 g.dw มีความสามารถในการรีดิวซ์ คือ 5.73±0.06 mmol.Ferrous sulfate/100 g.dw และมีค่า IC50 คือ 18.75±0.00 g/l

ABSTRACT

Makiang fruits have rich bioactive compounds. Drying of osmotic treated promoted to improve taste and extend self-life of products. But there were some effected on bioactive compounds. The aim of this study was to evaluate the effect of sucrose solution (50 and 60 °Brix), drying temperature (55, 60 and 65 °C) on bioactive compounds (total phenolic compounds, anthocyanins and tannins) and antioxidant activity (FRAP and DPPH) Experimental design was 2 × 3 Factorial in CRD. The result showed that, concentration of sucrose solution was affected phenolic compounds and IC50 values but did not affected on tannins, anthocyanin content and reducing capacity values. Drying temperatures have effected on every factors that had been study. The best product from this study, which was soaked in 60 °Brix sucrose solution and dried at 60 °C, which had phenolic compounds, tannins, anthocyanins, reducing capacity and IC50 were 372.11±3.74, 301.05±6.26, 14.37±1.97 mg/100 g.dw, 5.73±0.06 mmol.Ferrous sulfate/100 g.dw and 18.75±0.00 g/l, respectively.

คำสำคัญ: มะเกี๋ยง แช่อิ่มอบแห้ง สารออกฤทธิ์ชีวภาพ

Key Words: Makiang, Osmotic dehydration, Bioactive compounds

นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทนำ

สารออกฤทธิ์ชีวภาพมีหลายชนิด สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์ปีนและเทอร์พีนอยด์ (terpenes and terpenoids) กลุ่มอัลคาลอยด์ (alkaloids) และกลุ่มสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) (Azmir et al., 2013) มีการใช้ประโยชน์จากสารเหล่านี้ในรูปแบบสารสกัดที่ได้จากแหล่งต่างๆ หลายรูปแบบ เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของยา อาหารเสริมสุขภาพ และเครื่องสำอาง (พิมพ์ใจ, 2551 ; ชีววัฒน์ และคณะ, 2550 ; Orhan & Sener, 2006) สารออกฤทธิ์ชีวภาพกลุ่มที่มักพบในพืช คือ สารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถละลายได้ในน้ำ มักรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปไกลโคไซด์ (glycosides) สารประกอบฟีนอลสามารถถูกทำลายได้จากหลายสาเหตุ เช่น ความร้อน แสงสว่าง และ แก๊สออกซิเจน เป็นต้น

มะเขິงเป็นไม้ผลที่พบได้ใกล้แหล่งชุมชนทางภาคเหนือตอนบนของไทย เช่น เชียงราย, เชียงใหม่, ลำพูน, ลำปาง และแม่ฮ่องสอน เป็นต้น (Jansom et al., 2008) ผลมะเขິงจะเริ่มทยอยสุกและสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ปลายเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ลักษณะผลมะเขິง เป็นผลสดมีเนื้อนุ่ม รูปไข่ ผลอ่อนสีเหลืองปนเขียว ผลแก่เปลือกบางสีแดงแดงปนเขียวแดงปนม่วงถึงม่วงปนดำ สารสีแดงบริเวณผิวของผลมะเขິงสุกได้รับการวิเคราะห์จาก Jansom et al. (2008) พบว่า สารดังกล่าว คือ cyanidin 3-glucoside ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดในกลุ่มของแอนโทไซยานิน เนื้อผลสีขาวหนา 3 – 5 มิลลิเมตร เนื้อผลชั้นในเป็นเยื่อบางหุ้มรอบเมล็ด ใน 1 ผลมีเมล็ด 1 เมล็ด มีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นหอมเฉพาะ นิยมนำไปบริโภคทั้งในรูปผลสด และผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น น้ำพร้อมดื่ม ไวน์ และไอศกรีม เป็นต้น (จิตติวรญา, 2552 ; กาญจนนา, 2555; Chomsri et al., 2012) Patthamakanokporn et al., (2008) ได้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลในผลมะเขິง พบว่า ในผลมะเขິงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดจากผลมะเขິงมีความ

สามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง และมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียบางชนิด (พิมพ์ใจ, 2551) จากผลการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน และกึ่งเฉียบพลันในหนูทดลองพบว่า สารสกัดจากมะเขິงไม่ส่งผลเป็นพิษและมีความสามารถในการยับยั้งเซลล์มะเร็ง (Taya et al., 2009)

การแช่เย็นเป็นกระบวนการที่เหมาะสมที่จะใช้กับผลมะเขິง เพื่อปรับปรุงรสชาติให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และสามารถกระจายสินค้าได้ง่ายมากขึ้น การแช่เย็นเป็นการถ่วงน้ำหนักของน้ำออกจากชิ้นอาหารโดยการแช่ชิ้นอาหารในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (hypertonic aqueous) เช่น น้ำเชื่อม และ น้ำเกลือ เป็นต้น (Uribe et al., 2011) การสูญเสีย น้ำของชิ้นอาหารจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการแพร่ของตัวถูกละลายจากสารละลายเข้าสู่ชิ้นอาหาร ผ่านเยื่อเลือกผ่านที่มีตามธรรมชาติของเซลล์พืช ปรากฏการณ์นี้เป็นที่ทราบกันดีว่าเกิดขึ้นได้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผักและผลไม้ ซึ่งส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Herman-Lara et al., 2013) แต่มีผลให้เกิดการสูญเสียสารอาหารบางประเภทที่ละลายน้ำ การแช่เย็นสามารถช่วยปรับปรุงรสชาติของผลไม้ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ช่วยลดความเปรี้ยว และฟาด เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ในบางครั้งกระบวนการแช่เย็นมักถูกใช้ร่วมกับการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (Fellow, 2000) แต่กระบวนการอบแห้งโดยปกติ ต้องใช้ความร้อนช่วยในการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการสูญเสียสารออกฤทธิ์ชีวภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซูโครสสำหรับการแช่เย็นและอุณหภูมิในการอบแห้ง ต่อสารออกฤทธิ์ชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเนื้อของผลมะเขິงแช่เย็นอบแห้ง

วิธีการวิจัย

1. วัตถุประสงค์ในการศึกษา

ผลมะเกลือสดเก็บเกี่ยวและคัดเลือกจากศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรที่สูงเชียงราย จังหวัดเชียงราย และขนส่งไปห้องปฏิบัติการของคณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ หลังจากนั้นล้างทำความสะอาด และคัดเลือกอีกครั้งเพื่อรอการแช่ห่อและอบแห้งภายในวันเดียวกัน

2. การแช่ห่อและอบแห้ง

ลุ่มผลมะเกลือที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพ (สารประกอบฟีนอล, แทนนิน และแอนโทไซยานิน) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP และ IC₅₀ ของ DPPH) โดยแยกวิเคราะห์ส่วนเนื้อและเมล็ด ตัวอย่างที่เหลือลงในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที แบ่งเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน นำไปแช่ห่อในสารละลายซูโครสความเข้มข้นแตกต่างกัน (50 และ 60 องศาเซลเซียส) ในอัตราส่วนสารละลายต่อมะเกลือทั้งหมดคือ 1 ต่อ 1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งผลมะเกลือที่แช่ห่อในสารละลายซูโครสแต่ละความเข้มข้นเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน หลังจากนั้นนำไปอบแห้งในเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 13 ชั่วโมง แยกส่วนเนื้อของผลมะเกลือที่ผ่านการแช่ห่อและอบแห้งในสภาวะต่างๆ แล้วแช่แข็งที่อุณหภูมิ -22 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมี เช่นเดียวกับวัตถุประสงค์

3. การสกัดสารออกฤทธิ์ชีวภาพ

สกัดสารออกฤทธิ์ชีวภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่างๆ โดยลุ่มตัวอย่าง 100 กรัม บดด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง หลังจากนั้นชั่งตัวอย่าง 10 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมนเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายที่ได้ใส่ลงในขวดสีชา เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์ทางปริมาณสารออก

ฤทธิ์ชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระให้เร็วที่สุด (Waterman and Mole, 1994)

4. การวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพ แต่ละชนิด

นำสารสกัดเมทานอลที่ได้จากข้อ 3 ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลด้วยสาร Folin-Ciocalteu's phenol (Waterman & Mole, 1994) ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน วิเคราะห์ปริมาณแทนนินและแอนโทไซยานินด้วยวิธีของ AOAC (2000) ด้วยสาร Folin-Denis reagent และใช้กรดแทนนิกเป็นสารมาตรฐานสำหรับของวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน และใช้วิธี pH differentials สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน รายงานความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ชีวภาพแต่ละชนิดในหน่วยของมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง นำปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพแต่ละชนิดที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณปริมาณร้อยละปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพแต่ละชนิดที่เหลือในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่ห่อและอบแห้งในสภาวะต่างๆ ดังสมการ

$$C = \frac{A_2}{A_1} \times 100$$

โดย

C หมายถึง ร้อยละปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่เหลือ
A₁ หมายถึง ปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพในเนื้อของผลมะเกลือสด

A₂ หมายถึง ปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพในเนื้อของผลมะเกลือที่ผ่านการแช่ห่อและอบแห้ง

5. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

นำสารที่สกัดได้จากข้อ 3 ไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ใช้การวิเคราะห์สองรูปแบบ คือ ความสามารถในการรีดิวซ์ (FRAP) ซึ่งจะวัดความสามารถในการรีดิวซ์ไอออน Fe³⁺ เป็น Fe²⁺ โดยมีเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารมาตรฐาน (Benzie & Strain, 1996) ค่าที่วิเคราะห์ได้มีหน่วยเป็น มิลลิโมลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ยิ่งมีค่าสูงยิ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) (Brand-Williams et

al., 1995) คำนวณให้อยู่ในรูปปริมาณที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ได้ร้อยละ 50 (IC50) ดังนั้น ยิ่งค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อย ยิ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสูง

6. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

มีการวางแผนการทดลองแบบ 2×3 Factorial in CRD ทำ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 17

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

ในผลมะเกี๋ยงสดพบปริมาณสารประกอบฟีนอลและแทนนิน คือ $1,618.18 \pm 16.30$ และ $1,113.22 \pm 43.82$ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ในเนื้อ $22,138.25 \pm 557.40$ และ $13,043.62 \pm 678.90$ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ในเมล็ด ตามลำดับ แต่ตรวจพบแอนโทไซยานินในเนื้อเท่านั้น คือ 281.84 ± 9.96 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง งานวิจัยของ Jansom et al. (2008) พบว่า แอนโทไซยานินที่พบในผลมะเกี๋ยงสุก คือ anthocyanidin 3-glucoside ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (Hu et al., 2003) ความสามารถในการรีดิวซ์พบในเมล็ด

มีค่าสูงกว่าในเนื้อ คือ 439.64 ± 33.49 และ 314.21 ± 18.67 มิลลิโมลเฟอรอสซังเฟตต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งตามลำดับ เช่นเดียวกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (IC50) ในเนื้อและเมล็ด คือ 5.55 ± 0.07 และ 0.11 ± 0.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

หลังจากการแช่และอบแห้งผลมะเกี๋ยงแล้ว วิเคราะห์ส่วนเนื้อของผลิตภัณฑ์มะเกี๋ยงแช่และอบแห้งพบว่า ผลิตภัณฑ์มะเกี๋ยงแช่และอบแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้นต่างกันทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (IC50) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) โดยผลิตภัณฑ์ที่แช่ในความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า แต่ไม่พบความแตกต่างในผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน แอนโทไซยานิน และความสามารถในการรีดิวซ์ (ตารางที่ 2) มีรายงานว่าแอนโทไซยานินเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำตาลจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับน้ำตาลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ทำให้แอนโทไซยานินมีความคงตัวเพิ่มขึ้น (Fellow, 2000)

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการอบแห้ง พบว่า ส่งผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพทุกชนิดที่วิเคราะห์ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP และ

ตารางที่ 1 ปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลมะเกี๋ยงสด

ตัวอย่าง	สารออกฤทธิ์ชีวภาพ				
	สารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	แทนนิน (มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	แอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	FRAP (มิลลิโมล เฟอรอสซังเฟต/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	IC50 (กรัม/ลิตร)
เนื้อสด	$1,618.18^b \pm 16.30$	$1,113.22^b \pm 43.82$	281.84 ± 9.96	$314.21^b \pm 18.67$	$5.55^b \pm 0.07$
เมล็ดสด	$22,138.25^a \pm 557.40$	$13,043.62^a \pm 678.90$	ไม่พบ	$439.64^a \pm 33.49$	$0.11^a \pm 0.02$

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คำนวณจาก 3 ซ้ำ,

ตัวอักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

IC50) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่อุณหภูมิ 60 และ 65 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลและ IC50 ของผลิตภัณฑ์ แต่แตกต่างกับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 60 และ 65 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่า และมีค่า IC50 ต่ำกว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งจาก 55 เป็น 60 และ 65 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ปริมาณแทนนินในเนื้อผลิตภัณฑ์ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับผลที่เกิดขึ้นกับปริมาณแอนโทไซยานิน แต่ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 60 องศาเซลเซียส ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนทางกับผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรั่วซึม (FRAP) ซึ่งพบว่า ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งยิ่งทำให้เนื้อของผลิตภัณฑ์เชื่อมอบแห้งที่ได้มีความสามารถในการรั่วซึมสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Vega-Galvez et al. (2012) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในการอบแห้งแอปเปิ้ลฝานแผ่น พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 20 องศาเซลเซียส ระหว่าง 40 ถึง 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งแตกต่างจากผลในการศึกษานี้ อาจเกิดจากในผลมะกอกมีสารบางกลุ่มที่ทนต่อความร้อน หรือก่อนถูกความร้อนสารบางตัวอาจเกาะอยู่กับโปรตีนหรือพอลิฟอสฟอรัส เมื่อถูกความร้อนจึงแยกตัวออกมาและวิเคราะห์ปริมาณได้สูงขึ้น (Miranda et al., 2010) นอกจากนี้อาจเกิดขึ้นจากการถ่ายโอนมวลน้ำจากภายในเมล็ดมะกอกที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่า ระหว่างการเชื่อมอบแห้ง น้ำอาจละลายสารประกอบฟีนอลบางชนิดออกมา อุณหภูมิอบที่สูงกว่าจะมีการถ่ายโอนมวลที่มากกว่าทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลบริเวณเนื้อของผลมะกอกที่อบที่อุณหภูมิสูงมีปริมาณกว่า (Nuñez-Mancillaa et al., 2013) เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมในการเชื่อมอบแห้งของส่วนเนื้อจากผลิตภัณฑ์ผลมะกอกที่แช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 องศาเซลเซียส

แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี (ตารางที่ 2) พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอล คือ 307.78 ± 2.69 , 328.58 ± 2.44 และ 330.43 ± 12.60 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง คิดเป็นร้อยละปริมาณสารประกอบฟีนอลที่คงเหลือเท่ากับ ร้อยละ คือ 19.02 ± 0.17 , 20.31 ± 0.15 และ 20.42 ± 0.78 ตามลำดับ มีปริมาณแทนนิน คือ 371.39 ± 8.50 , 325.71 ± 7.39 และ 245.73 ± 3.49 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง คิดเป็นร้อยละปริมาณแทนนินที่คงเหลือเท่ากับ ร้อยละ 33.36 ± 0.76 , 29.26 ± 0.66 และ 22.07 ± 0.32 ตามลำดับ มีปริมาณปริมาณแอนโทไซยานิน คือ 12.87 ± 0.60 , 12.87 ± 0.60 และ 9.70 ± 0.71 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง คิดเป็นร้อยละปริมาณแอนโทไซยานินที่คงเหลือเท่ากับ ร้อยละ 4.57 ± 0.21 , 4.66 ± 0.62 และ 3.44 ± 0.25 ตามลำดับ มีความสามารถในการรั่วซึม คือ 4.39 ± 0.06 , 4.83 ± 0.18 และ 5.56 ± 0.15 มิลลิโมลเฟอรอสซัลเฟตต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่า IC50 คือ 20.94 ± 0.70 , 21.16 ± 0.43 และ 21.42 ± 0.82 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนผลมะกอกที่แช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 องศาเซลเซียส แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 2) พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอล คือ 351.59 ± 5.13 , 372.11 ± 3.74 และ 373.55 ± 10.69 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง คิดเป็นร้อยละปริมาณสารประกอบฟีนอลที่คงเหลือเท่ากับ ร้อยละ 21.73 ± 0.32 , 23.00 ± 0.23 และ 23.08 ± 0.66 ตามลำดับ มีปริมาณแทนนิน คือ 349.49 ± 6.66 , 301.05 ± 6.26 และ 240.44 ± 12.63 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง คิดเป็นร้อยละปริมาณแทนนินที่คงเหลือเท่ากับ ร้อยละ 31.39 ± 0.60 , 27.04 ± 0.56 และ 21.60 ± 1.13 ตามลำดับ มีปริมาณปริมาณแอนโทไซยานิน คือ 14.13 ± 0.29 , 14.37 ± 1.97 และ 9.59 ± 0.93 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง คิดเป็นร้อยละ

ตารางที่ 2 ปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อมะเขือม่วงแช่อบแห้ง

ปัจจัยในการศึกษา	สารออกฤทธิ์ชีวภาพ							
	สารประกอบฟีนอล		แทนนิน		แอนโทไซยานิน		FRAP	
	มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนัก แห้ง	ร้อยละ ปริมาณ คงเหลือ	มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนัก แห้ง	ร้อยละ ปริมาณ คงเหลือ	มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนัก แห้ง	ร้อยละ ปริมาณ คงเหลือ	(มิลลิโมล เฟอร์รัสซัลเฟต ต่อ 100 กรัม น้ำหนัก แห้ง)	IC50 (กรัม/ลิตร)
ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส × อุณหภูมิในการอบแห้ง								
50 องศาบริกซ์ × 55 องศาเซลเซียส	307.78 [±] 2.69	19.02 [±] 0.17	371.39 [±] 8.50	33.36 [±] 0.76	12.87 [±] 0.60	4.57 [±] 0.21	4.39 [±] 0.06	20.94 [±] 0.70
50 องศาบริกซ์ × 60 องศาเซลเซียส	328.58 [±] 2.44	20.31 [±] 0.15	325.71 [±] 7.39	29.26 [±] 0.66	13.13 [±] 1.75	4.66 [±] 0.62	4.83 [±] 0.18	21.16 [±] 0.43
50 องศาบริกซ์ × 65 องศาเซลเซียส	330.43 [±] 12.60	20.42 [±] 0.78	245.73 [±] 3.49	22.07 [±] 0.32	9.70 [±] 0.71	3.44 [±] 0.25	5.56 [±] 0.15	21.42 [±] 0.82
60 องศาบริกซ์ × 55 องศาเซลเซียส	351.59 [±] 5.13	21.73 [±] 0.32	349.49 [±] 6.66	31.39 [±] 0.60	14.13 [±] 0.29	5.01 [±] 0.10	4.70 [±] 0.17	19.20 [±] 0.39
60 องศาบริกซ์ × 60 องศาเซลเซียส	372.11 [±] 3.74	23.00 [±] 0.23	301.05 [±] 6.26	27.04 [±] 0.56	14.37 [±] 1.97	5.10 [±] 0.70	5.73 [±] 0.31	18.75 [±] 0.00
60 องศาบริกซ์ × 65 องศาเซลเซียส	373.55 [±] 10.69	23.08 [±] 0.66	240.44 [±] 12.63	21.60 [±] 1.13	9.59 [±] 0.93	3.40 [±] 0.33	5.73 [±] 0.06	9.73 [±] 0.00

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำนวนจาก 3 ซ้ำ, ตัวอักษรกำกับกับค่าเฉลี่ยที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ปริมาณแอนโทไซยานินที่คงเหลือเท่ากับ ร้อยละ 5.01 ± 0.10, 5.10 ± 0.70 และ 3.40 ± 0.33 ตามลำดับ มีความสามารถในการรีดิวซ์ คือ 4.70 ± 0.17, 5.73 ± 0.31 และ 5.73 ± 0.06 มิลลิโมลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่า IC50 คือ 19.20 ± 0.39, 18.75 ± 0.00 และ 9.73 ± 0.00 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสในการแช่อบส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและค่า IC50 ของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน แต่ไม่มีผลต่อปริมาณแทนนิน, แอนโทไซยานิน และความสามารถในการรีดิวซ์ ส่วนอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อทุกปัจจัยที่ทำการศึกษา ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดจากการศึกษาค้างนี้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่แช่อบในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอล แทนนิน และแอนโทไซยานิน คือ 372.11 ± 3.74, 301.05 ± 6.26

และ 14.37 ± 1.97 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง มีความสามารถในการรีดิวซ์ คือ 5.73 ± 0.06 มิลลิโมลเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่า IC50 คือ 18.75 ± 0.00 กรัมต่อลิตร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติสำหรับงบประมาณในการวิจัย โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ และศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรที่สูงเชียงราย สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าข้อมูลในงานวิจัยนี้จะพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้น ส่งผลให้เนื้อมะเขือม่วงอบแห้งมีปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพบางชนิดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า แต่ยังไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้

ได้ สำหรับงานวิจัยในอนาคต ควรมีการศึกษาในเชิงลึกถึงชนิดของสารที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เพราะการศึกษานี้เป็นผลที่ของกระบวนการที่มีต่อกลุ่มสารแต่ละกลุ่มเท่านั้น ไม่ได้มีการศึกษาเฉพาะเจาะจงชนิดของสารแต่อย่างใด เพื่อให้ได้คำตอบที่ชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารต่างๆ ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา ไกลถิ่น. 2555. การผลิตน้ำมะเขือเทศผสมน้ำผลไม้แบบเข้มข้นพร้อมดื่ม โดยการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จิตติรฎา ไยสำลี. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซอร์เบทจากมะเขือเทศ. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. เทคโนโลยีทางอาหาร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ธีรวิทย์ ชาญฤทธิเสน, วิฑูรย์ อนันกุล, ภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ, ยุพา จวงพลงาม และวันวิสาข์ ชูจิตร, 2550. ผลการรับประทานอาหารสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพจากมะเขือเทศ (*Cleistocalyx nervosum* var. *paniala*) ต่อความดันโลหิตสูงระดับเล็กน้อยและไขมันในเลือด. สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง.

พิมพ์ใจ อาษา, 2551. องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านเชื้อ *Propionibacterium acnes* และ *Staphylococcus aureus* ของเมล็ดมะเขือเทศ. วิทยาศาสตร์เกษตรกรรม. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

AOAC. 2000. Official Methods of AOAC International. 17thed. The Association of Official Analytical Chemists, Inc. USA.

Azmir, J., Zaidul ISM., Rahman, MM., Sharif, KM., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, MHA., Ghafoor, K., Norulaini, NAN. and Omar AKM. 2013. Techniques for extraction of bioactive

compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*. 117(4), 426-436.

Benzie, I. and Strain, J. 1996. Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 239, 70-76.

Brand-Williams, W., Cuvelier, ME., and Berset, C., 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*. 28(1), 25-30.

Chomsri, N., Grossmann, M., Commins, T. and Srisamatthakarn, P. 2012. Research and development plan for fruit wine production in Thailand using Makiang as a case study. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*. 5(01), 39-44.

Fellows, P. 2000. Food Processing Technology: Principles and Practice. 2th Ed. Washington, C:Woodhead Publishing Limited.

Herman-Lara, E., Martinez-Sanchez, CE., Pacheco-Angulo, H., Carmona-Garcia, R., Ruiz-Espinosa, H. and Ruiz-Lopez, II. 2013. Mass transfer modeling of equilibrium and dynamic periods during osmotic dehydration of radish in NaCl solutions. *Food and Bioprocess Processing*. 91(3), 216-224.

Hu, C., Zawistowski, J., Ling, W. and Ditts, DD. 2003. Black rice (*Oryza sativa* L. indica) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. *J Agric Food Chem*. 51(18), 5271-7.

Jansom, C., Bhamarapravati, S., Itharat, A., 2008. Major anthocyanin from ripe berries of *Cleistocalyx nervosum* var. *paniala*. *Thammasat Medical Journal*. 8(3).

Miranda, M., Vega-Galvez, A., Lopez, J., Parada, G., Sanders, M., Aranda, M., Uribe, E. and Scala, KD. 2010. Impact of air-drying temperature on

- nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Industrial Crops and Products*. 32, 258-263.
- Nuñez-Mancillaa, Y., Pérez-Won, M., Uribe E., Vega-Gálvez A., and Scala K. 2013. Osmotic dehydration under high hydrostatic pressure: Effect on antioxidant activity, total phenolics compounds, vitamin C and colour of strawberry (*Fragaria vesca*). *Food Science and Technology*. 52(2), 151-156.
- Orhan, L. and Sener, B., 2006. Lead compounds and drug candidates from some Turkish plants for human health. *Advances in Phytomedicine*. 2, 331-352.
- Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A. and Sirichakwal PS. 2008. Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*. 21, 241-248.
- Taya, S., Punvittayagul, C., Chewonarin, T. and Wongpoomchai, R. 2009. Effect of aqueous extract from *Cleistocalyx nervosum* on oxidative status in rat liver. *Thai J Toxicology*. 24(2), 101-105.
- Uribe, E., Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Quispe, I., Clavería, R. and Di Scala, K. 2011. Mass transfer modelling during osmotic dehydration of jumbo squid (*Dosidicus gigas*): influence of temperature on diffusion coefficients and kinetic parameters. *Food Bioprocess Technol*. 4(2), 320-326.
- Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzo, J., García-Segovia, P., Lemus-Mondaca, R. and Scala KD. 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chemistry*. 132, 51-59.
- Waterman, PG. and Mole, S. 1994. Analysis of phenolic plant metabolites. Oxford: Blackwell Scientific Publications. *Phytochemistry*. 38, 1064.