วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.1) January – April 2022 บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงพร้อมชงจากแครอท ส้ม และมะนาว โดยการอบแห้งแบบโฟมแมท

Processing Development of Instant Juice Powder Product from Carrot Orange and Lemon by Using Foam Mat Drying

วัฒนา วิริวุฒิกร*

Wattana Wirivutthikorn*

[1]*สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*

[1]*Division of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi*

Received : 19 March 2021

Revised : 26 April 2021

Accepted : 21 May 2021

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการผลิตเครื่องดื่มแครอท ส้ม และมะนาวผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมทเพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ผงชงดื่ม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแครอทส้มและมะนาวในการผลิตผงพร้อมดื่มโดยใช้การทำแห้งแบบการเกิดโฟม ศึกษาอัตราส่วนของแครอท ส้มและมะนาวแบ่งออกเป็น 6 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองที่ 1 (ตัวควบคุม): 100: 0: 0, สิ่งทดลองที่ 2: 75: 20: 5, สิ่งทดลองที่ 3: 70:20:10, สิ่งทดลองที่ 4: 50: 40:10, สิ่งทดลองที่ 5: 50: 45: 5 และสิ่งทดลองที่ 6: 62: 31: 7 ผลการศึกษาพบว่า ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง และความสามารถในการละลายของตัวอย่างในทุกสิ่งทดลองแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ศึกษาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีโดยวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด วิตามินซี เบต้าแคโรทีน และสารต้านอนุมูลอิสระ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่ 4 (น้ำแครอทผสมส้ม และมะนาว (อัตราส่วน 50:40:10) มีค่าสารต้านอนุมูลอิสระและเบต้าแคโรทีนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.68 mg Trolox eq / g และ 0.14 µg / 100g FW ตามลำดับ การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติและการยอมรับรวมโดยรวมโดยวิธี 9 point hedonic scale ผลการวิจัยพบว่า ผู้ทดสอบชิมยอมรับสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งให้คะแนนสูงสุดเท่ากับ 5.70 และ 6.33 ตามลำดับ

คำสำคัญ : แครอท ; ส้ม ; มะนาว ; การอบแห้งแบบโฟมแมท ; เครื่องดื่มผงพร้อมชง

Abstract

This research was a study of the production process of carrot, orange and lemon powder using foam-mat drying, which is done in order to produce drinking powder products. The purpose of this research was to study the optimum ratios of carrot, orange and lemon for producing instant powder using foam mat drying. Ratio of carrot, orange and lemon was performed into 6 treatments, which were Treatment 1 (control): 100:0:0, Treatment 2: 75:20:5, Treatment 3: 70:20:10, Treatment 4: 50:40:10, Treatment 5: 50:45:5 and Treatment 6: 62:31:7. The results showed that brightness, color (L*, a*, b*) and solubility of samples in all treatments were not significantly different ($p>0.05$). The chemical characteristics including pH, moisture, total soluble solid, vitamin C, β-carotene and antioxidant were investigated. The results indicated that ratio of carrot, orange and lemon (50:40:10) had the highest antioxidant and β-carotene values of 3.68 mg Trolox eq/g and 0.14 µg/100g FW, respectively. The sensory evaluation on taste and overall acceptability using 9-point hedonic scale revealed that panelists accepted on Treatment 4 which gave the highest scores of 5.70 and 6.33, respectively.

Keywords : carrot ; orange ; lemon ; foam mat drying ; instant juice powder

***Corresponding author. E-mail** : wattana@rmutt.ac.th

บทนำ

แครอท (carrot) มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบเอเชียกลางจนถึงทางตะวันออก จากนั้นจะเผยแพร่เข้าไปในยุโรป และประเทศจีน แครอทที่ปลูกในระยะแรก ๆ จะมีหัวสีแดง ปัจจุบันนิยมหัวสีเหลืองส้มพันธุ์ป่าที่เจริญอยู่ทั่วไปในอาฟกานิสถาน อาจจะมีสีหัวสีม่วง สีขาว หรือเหลืองขึ้นอยู่กับความนิยมของตลาดในแต่ละท้องถิ่น ในศตวรรษที่ 16 ได้เริ่มทำการปรับปรุงพันธุ์โดยคัดเลือกสี ขนาด และลักษณะของหัว ในระยะแรกแครอทถูกนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพร เริ่มนำมาประกอบอาหารในศตวรรษที่ 20 สารประกอบเบต้าแคโรทีนในแครอทจะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ ทำให้แครอทมีวิตามินเอสูง (11,000 IU) มีวิตามิน บี1, บี2 วิตามินซี ส่วนของเปลือกที่แก่จะมีแคโรทีนสูงโดยจะเพิ่มปริมาณตามอายุของพืช วิตามินเอทำให้ร่างกายมีความต้านทานต่อไข้หวัด (Xu *et al*., 2019) ส้ม (orange) จัดเป็นผลไม้ตระกูล citrus ให้รสชาติเปรี้ยวหวานที่ยังอุดมไปด้วยวิตามินต่าง ๆ ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายของเรา เช่น วิตามินซี วิตามินเอ (เบต้าแคโรทีน) วิตามินบี วิตามินดี แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และคอลลาเจน นอกจากนี้ยังมีใยอาหารที่ช่วยในระบบขับถ่าย สำหรับสรรพคุณของส้มในเรื่องอื่น ๆ เช่น ช่วยรักษาเลือดออกตามไรฟัน ช่วยล้างสารพิษในร่างกายด้วยสารต่อต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น (Tanambell *et al*., 2019) มะนาว (lemon) เป็นหนึ่งในผลไม้ตระกูลส้มใกล้ตัวที่นอกจากจะนำมาปรุงอาหารเพิ่มรสเปรี้ยวแล้ว ยังมีการใช้ผล เปลือก น้ำ และน้ำมันจากมะนาวเพื่อประโยชน์ในการรักษาโรคนานาชนิด เช่น บรรเทาอาการคลื่นไส้ รักษาสิว ป้องกันนิ่วในไต โรคหวัด (Szczykutowicz *et al*., 2020)

ในปัจจุบันประชาชนได้ให้ความสำคัญในเรื่องสุขภาพกันมากขึ้น อาหารเพื่อสุขภาพจึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์จากผักผลไม้และธัญพืชต่าง ๆ เนื่องจากอาหารเหล่านี้อุดมไปด้วยวิตามิน เกลือแร่ และเส้นใย ซึ่งในแครอท ส้ม และมะนาวนั้นก็อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นวิตามิน เส้นใย และแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น จึงเหมาะที่จะนำมาทำเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามการผลิตในรูปน้ำผลไม้พร้อมดื่มจะมีค่าใช้จ่ายในด้านการขนส่งและการเก็บรักษา การแปรรูปน้ำผักผลไม้ในรูปผงจะช่วยแก้ปัญหาข้างต้นและช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้บริโภค การพัฒนาผลิตภัณฑ์แครอท ส้ม และมะนาว ให้เป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในรูปแบบผงโดยใช้วิธีโฟมแมท (foam mat) มีความเป็นไปได้สูง ซึ่งเทคนิคการทำแห้งมีอยู่หลายวิธี แต่บางวิธีต้นทุนในการผลิตสูงและเครื่องมือมีราคาแพง หรือบางวิธีใช้เครื่องมือที่หาง่ายราคาถูก แต่ประสิทธิภาพในการผลิตผงแห้งต่ำ ต้องใช้ระยะเวลานาน และทำให้สูญเสียคุณภาพของสารอาหาร กลิ่นรส และสี แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้ที่น่าสนใจ คือ การผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งในลักษณะแผ่นและผงชงดื่ม ซึ่งเป็นประเภทผลิตภัณฑ์จากผักและ ผลไม้ที่ผู้บริโภคมีความคุ้นเคย กระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทเป็นกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผงที่นิยมนำมาใช้กับวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ เนื่องจากมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน ใช้เวลาสั้น และมีต้นทุนต่ำ (Chandrasekar *et al*., 2015; Sangamithra *et al*., 2015) ดังนั้นจึงเป็นกระบวนการที่น่าสนใจในการนำมาใช้ในการผลิตเครื่องดื่มผักและผลไม้ผง การทำแห้งแบบโฟมแมตเป็นกระบวนการที่ทำให้อาหารเหลว หรืออาหารที่มีลักษณะข้นเกิดเป็นโฟมที่มีความคงตัวโดยผสมกับสารที่ช่วยให้เกิดโฟม (foaming agents) เช่น กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (glycerol monostearate, GMS) ซอยโปรตีนไอโซเลต (soy protein isolate, SP) โปรตีนไข่ขาว (egg albumin) โซเดียมเคซีเนต (sodium caseinate) มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) และ เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose) แล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อนซึ่งการเกิดโฟมจะช่วย

ให้มีการทำแห้งได้รวดเร็วขึ้นและส่งผลดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กระบวนการดังกล่าวมีความเหมาะสมกับอาหารที่มีองค์ประกอบที่ไม่ทนต่อความร้อน (heat-labile compounds) หรือมีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น น้ำผลไม้ หรือเนื้อผลไม้ข้น ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับทั้งสภาวะการทำแห้งและความคงตัวของโฟมในระหว่างการทำแห้ง หากเกิดการยุบตัวในระหว่างการทำแห้งจะทำให้อัตราการทำแห้งลดลง และส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้งแบบโฟมแมท คือชนิดและปริมาณของสารทำให้เกิดโฟม ความเข้มข้นของอาหารเหลว วิธีการตีโฟมและระยะเวลา ความหนาของชั้นโฟมก่อนการทำแห้ง และสภาวะในการอบแห้งโฟม (Hart *et al*., 1963; Franco *et al*., 2015) สอดคล้องกับรายงานของ (Sankat & Castaigne, 2004) ซึ่งพบว่าการทำแห้งแบบโฟมแมทสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลงได้ และยังสามารถลดการเกิดขอบแข็ง (case hardening) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อัตราการอบแห้งลดลง โดยเฉพาะการทำแห้งผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลสูงและใช้อุณหภูมิสูง จากข้อดีของการทำแห้งแบบโฟมแมทด้านระยะเวลาการทำแห้งดังที่กล่าวมาแล้ว ปัจจุบัน จึงมีการพัฒนากระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทเพื่อใช้ผลิตอาหารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ โดยมีการศึกษาสภาวะที่ทำให้ได้โฟมที่มีความคงตัวสูงในขณะทำแห้ง เพื่อลดระยะเวลาการทำแห้งและการสลายตัวขององค์ประกอบสำคัญ โดยทั่วไปสารช่วยให้เกิดโฟมประเภทโปรตีนมีคุณสมบัติในการเกิดโฟมได้ง่าย มีปริมาตรโฟมสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารประเภทคาร์โบไฮเดรต แต่อย่างไรก็ตาม มีข้อจำกัดด้านราคา จึงพบว่าการใช้สารทำให้เกิดโฟมร่วมกันเพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด มีรายงานการใช้คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) ร่วมกับเลซิทิน พบว่าสามารถรักษาคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผงมะม่วงได้ อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นได้ เพื่อลดระยะเวลาการทำแห้ง จึงเหมาะสมสำหรับการใช้ในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดย CMC มีผลต่อการรักษาสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เลซิทินมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมความคงตัวของโฟมในขณะทำแห้ง (Lobo *et al*., 2017) ยังส่งผลในการรักษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ และส่งเสริมปริมาณผลผลิตที่ได้ จึงได้มีการพัฒนานำเทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมทมาใช้เป็นวิธีทำแห้งซึ่งมีต้นทุนในการผลิตต่ำขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยาก โดยนำของเหลวหรือของกึ่งเหลวมาตีให้ผลิตภัณฑ์เกิดโฟม และใช้ความร้อนจากลมร้อนเป็นตัวระเหยความชื้นที่แทรกอยู่บนโฟมออกไป ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นและช่วยลดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสระหว่างกระบวนการผลผลิต (Ngamsanga *et al*., 2015) นอกจากนี้มีการสูญเสียวิตามินซีที่น้อยกว่าการทำแห้งด้วยวิธีอื่นเนื่องจากใช้ระยะเวลาที่สั้นในการอบให้ความร้อน (Prasert, 2013)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาผัก และผลไม้บางชนิด เช่น แครอท ส้ม และมะนาวเป็นผัก และผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสำหรับการผลิตเครื่องดื่มผักและผลไม้ผง และการนำไปประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ผงชงดื่ม โดยเลือกใช้ไข่ขาวเป็นสารที่ทำให้เกิดโฟมเนื่องจาก มีคุณสมบัติเป็นสารให้ความคงตัว ให้ความข้นหนืด และสามารถสร้างชั้นฟิล์มที่แข็งแรง จึงช่วยในด้านการเก็บกักอากาศได้ดีขณะตีโฟมและช่วยห่อหุ้มอนุภาคของแข็งได้ดีซึ่งนิยมใช้ในกระบวนการสร้างไมโครแคปซูล และใช้เป็นตัวพาในการทำแห้ง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์มากต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงเป็นการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ทำให้เกิดความหลากหลาย และมีรูปแบบที่น่าสนใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผัก และผลไม้ที่มีประโยชน์ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ซึ่ง

จะเป็นประโยชน์อย่างมากกับกลุ่มผู้บริโภคที่สนใจด้านสุขภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำน้ำผักผสมผลไม้แบบผงโดยวิธีการทำให้เกิดโฟมแมท และศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ เคมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ และประสาทสัมผัสที่สามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มมะนาวผงพร้อมดื่ม

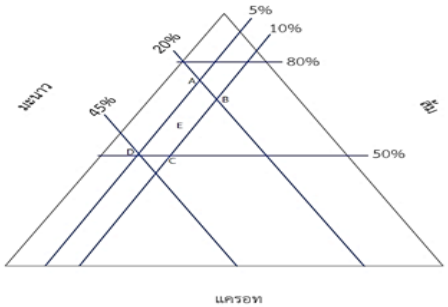
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบตั้งต้น

การเตรียมน้ำแครอท ล้างทำความสะอาดและปอกเปลือกหั่นเป็นชิ้นขนาด 3 เซนติเมตร จากนั้นนำไปลวกในสารละลายกรดซิตริกร้อยละ 6 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที นำแครอทที่ลวกแล้วไปปั่นโดยมีอัตราส่วนแครอท 300 กรัมต่อน้ำ 50 มล. จนละเอียดกรองกากออกด้วยผ้าขาวบาง การเตรียมน้ำส้ม ล้างทำความสะอาดส้มนำมาผ่าครึ่งแล้วคั้นเอาน้ำส้มปริมาตร 200 มิลลิลิตรและกรองเมล็ดด้วยผ้าขาวบาง และการเตรียมน้ำมะนาว ล้างทำความสะอาดมะนาว จากนั้นนำมาผ่าครึ่งและคั้นน้ำมะนาวปริมาตร 100 มิลลิลิตรและกรองผ่านเมล็ดด้วยผ้าขาวบาง (Jan & Masih, 2012)

2. การพัฒนาสูตรน้ำแครอทผสมส้มและมะนาว

ทำการคำนวณอัตราส่วนของน้ำแครอท ส้มและมะนาว ด้วยวิธี mixture design (ภาพที่ 1) โดยดัดแปลงวิธีการคำนวณมาจากงานวิจัยของ (Akusu *et al*., 2016) ที่ได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมน้ำผักโขมและน้ำสับปะรด โดยแบ่งเป็น 6 สิ่งทดลอง คือ สิ่งทดลองที่ 1 สูตรควบคุม อัตราส่วน น้ำแครอท 100: 0: 0 (Control) ความเข้มข้นร้อยละ 100, 0 และ 0 สิ่งทดลองที่ 2 น้ำแครอทผสมส้ม และมะนาว อัตราส่วน 75:20:5 ความเข้มข้นร้อยละ 4.5, 20 และ 5 สิ่งทดลองที่ 3 น้ำแครอทผสมส้ม และมะนาว อัตราส่วน 70:20:10 ความเข้มข้นร้อยละ 4.2, 20 และ 10 สิ่งทดลองที่ 4 น้ำแครอทผสมส้ม และมะนาว อัตราส่วน 50:40:10 ความเข้มข้นร้อยละ 3, 40 และ 10 สิ่งทดลองที่ 5 น้ำแครอทผสมส้ม และมะนาว อัตราส่วน 50:45:5 ความเข้มข้นร้อยละ 3, 45 และ 5 และสิ่งทดลองที่ 6 น้ำแครอทผสมส้ม และมะนาว อัตราส่วน 62:31:7 ความเข้มข้นร้อยละ 3.72, 31 และ 7



ภาพที่ 1 แสดงอัตราส่วนแครอท ส้ม และมะนาวที่คำนวณโดยใช้ mixture design

3. วิธีการทำแห้งโดยการทำให้เกิดโฟม

ดำเนินการเตรียมน้ำผักผลไม้รวมตามรายละเอียดที่ระบุในสิ่งทดลองทั้งหมดวิธีการที่ระบุไว้ตามข้อ 2. เติมไข่ขาวร้อยละ 2.5 น้ำหนัก/ปริมาตร ปั่นตัวอย่างให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้าความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาทีเป็นเวลานาน 5 นาทีเพื่อให้เกิดโฟม เทส่วนผสมที่ได้ลงในถาดอลูมิเนียมให้มีความหนาในช่วง 2-3 มิลลิเมตร นำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็น ทำให้เป็นผงโดยใช้เครื่องบดโดยมีค่าความชื้นสุดท้าย อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาวอัตราส่วน 100:0:0, 75:20:5, 70:20:10, 50:40:10, 50:45:5 และ 62:31:7 เท่ากับร้อยละ 16.77, 14.63, 19.35, 13.86, 14.43 และ 18.75 ตามลำดับ (Inpum *et al*., 2004)

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

การวิเคราะห์ค่าความสว่างและค่าสีด้วยเครื่อง L^*, a^* และ b^* ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color falax ทำโดยการเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงนำมาใส่ในภาชนะ และทำการวัดค่า L*, a^* และ b^* บันทึกค่าที่ได้ (AOAC, 2000) และการวิเคราะห์ค่าการละลายของผลิตภัณฑ์ผง ทำโดยการชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกเหวี่ยงแยก (centrifuge tube) เติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ผสมให้ละลายที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาทีนาน 10 นาที เทของเหลวส่วนที่ใส (supernatant) ใส่ในกระป๋องอลูมิเนียม (aluminium can) ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง คำนวณหาร้อยละความสามารถในการละลาย ดังสมการ ดัดแปลงจาก (Jittanit *et al*., 2010)

$$\text{ความสามารถในการละลาย} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างที่ละลายได้ใน supernatant (g)}}{\text{มวลแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (g)}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์ค่าความชื้น ทำได้โดยชั่งตัวอย่าง (ตัวอย่างเป็นผง) ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัม ใส่ใน Moisture can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมงนำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร (AOAC, 2000)

ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ = [(M1 - M2) / M1] x 100

เมื่อ M1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ
M2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง เตรียมผลิตภัณฑ์ในรูปสารละลายจำนวน 20 มิลลิลิตร วัดค่าความเป็นกรด-ด่างใช้เครื่องวัด บันทึกค่าที่ได้ (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์วิตามินซีโดยวิธีการไตเตรทโดยใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เตรียมในรูปสารละลาย 2 มิลลิลิตร ใส่ใน flask ที่มี metaphosphoric acetic acid 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปไตเตรทด้วย 2,6 - dichlorophenolindophenol (dye solution) จนถึง end point คือสารละลายมีสีชมพูอย่างน้อย 5 วินาที แล้วจึงคำนวณหาปริมาณวิตามินซี โดยใช้สูตร

mg ascorbic acid/100 ml. juice = (X-B) (F/E) (V/Y)*100 (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์เบต้าแคโรทีน ดัดแปลงจาก (Maoka, 2019) นำตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง ทำ 2 ซ้ำ เตรียมสารที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งใช้ Acetone : Hexane อัตราส่วน 4:6 เติมสารละลายที่เตรียมไว้ใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 20 มิลลิลิตร นำไปปั่นด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 1 นาที รินส่วนใสไปวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 นาโนเมตร (nm) นำไปคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ดังสมการ

$$(mg/100\ g\ FW) = 0.216A_{663} - 1.22A_{645} - 0.034A_{505} + 0.452A_{453}$$

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ ดัดแปลงจาก (Manok & Limcharoen, 2015) ทำโดยเตรียมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ (mM) และเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox เข้มข้น 500 ug/ml ปิเปตตัวอย่าง จำนวน 1.0 ml เติม DPPH 1.0 ml และเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้นาน 30 นาที ในที่มืด นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm และคำนวณหาค่า %Radical Scavenging คำนวณค่านี้ได้ดังสมการ

%Radical Scavenging = [(AB - AA) / AB] x100

เมื่อ AA = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH

AB = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH

6. การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์แครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9 - Point Hedonic Scale ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยการเตรียมตัวอย่างโดยการละลายน้ำดื่มโดยชั่งผงตัวอย่าง 50 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ถ้วยพลาสติกสีขาวที่ผ่านการติดรหัส 3 หลักปริมาตร 50 มิลลิลิตรเสิร์ฟตัวอย่างให้ผู้ทดสอบชิมพร้อมน้ำอุ่นสำหรับล้างปากโดยทดสอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ตามวิธี (Jan & Masih, 2012)

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft excel 2016 (เป็นโปรแกรมการวิเคราะห์ค่าสถิติในชุดโปรแกรม Microsoft) การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design ; CRD) สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี สำหรับการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design ; RCBD) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance ; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) (Jan & Masih, 2012)

ผลการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม

อัตราส่วนแครอท ส้มและมะนาว	ค่าที่วัดได้			ค่าการละลาย^{ns} (ร้อยละ)
	L*^{ns}	a*^{ns}	b*^{ns}	
100: 0: 0	59.14±0.62	42.32±0.77	55.38±0.88	32.72±0.98
75: 20: 5	60.19±0.26	41.37±0.66	54.89±0.25	32.73±0.92
70: 20: 10	60.07±0.13	40.42±0.65	54.71±0.39	32.98±2.05
50: 40: 10	60.26±0.37	39.78±1.81	54.98±1.21	33.58±1.28
50: 45: 5	60.35±0.08	40.24±1.64	54.55±0.66	32.76±1.77
62: 31: 7	59.78±0.74	41.43±0.76	54.74±0.82	32.31±1.06

หมายเหตุ : ^{ns} = มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่า L* คือค่าความสว่าง; a* คือ ค่าสีแดง; b* คือค่าสีเหลือง

2. ศึกษาสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม

อัตราส่วนแครอท ส้มและมะนาว	ค่าที่วัดได้					
	ความชื้น* (ร้อยละ)	ความเป็นกรด-ด่าง*	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด* (°บริกซ์)	วิตามินซี (มก/100 มล)^{ns}	สารต้านอนุมูลอิสระ*(mg Trolox eq./g)	เบต้าแคโรทีน^{ns} (µg/100g FW)
100: 0: 0	16.77^{b}±2.27	5.41^{a}±0.04	5.56^{c}±0.57	0.014±0.34	1.49^{c}±1.01	0.12±0.05
75: 20: 5	14.63^{b}±2.19	4.30^{b}±0.25	7.33^{b}±0.28	0.013±0.12	2.60^{b}±0.80	0.10±0.02
70: 20: 10	19.35^{a}±0.91	3.85^{c}±0.12	8.33^{a}±0.41	0.012±0.54	2.87^{b}±0.59	0.09±0.04
50: 40: 10	13.86^{c}±0.54	3.21^{c}±0.01	8.66^{a}±0.13	0.016±0.36	3.68^{a}±0.26	0.14±0.02
50: 45: 5	14.43^{b}±1.28	3.23^{c}±0.13	8.66^{a}±0.09	0.012±0.20	2.15^{b}±1.55	0.10±0.02
62: 31: 7	18.75^{a}±0.45	3.52^{c}±0.25	8.66^{a}±0.45	0.015±0.24	3.39^{a}±0.16	0.10±0.01

หมายเหตุ : ^{ns} = มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

$^{a, b, c}$ = ค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

3. ศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม

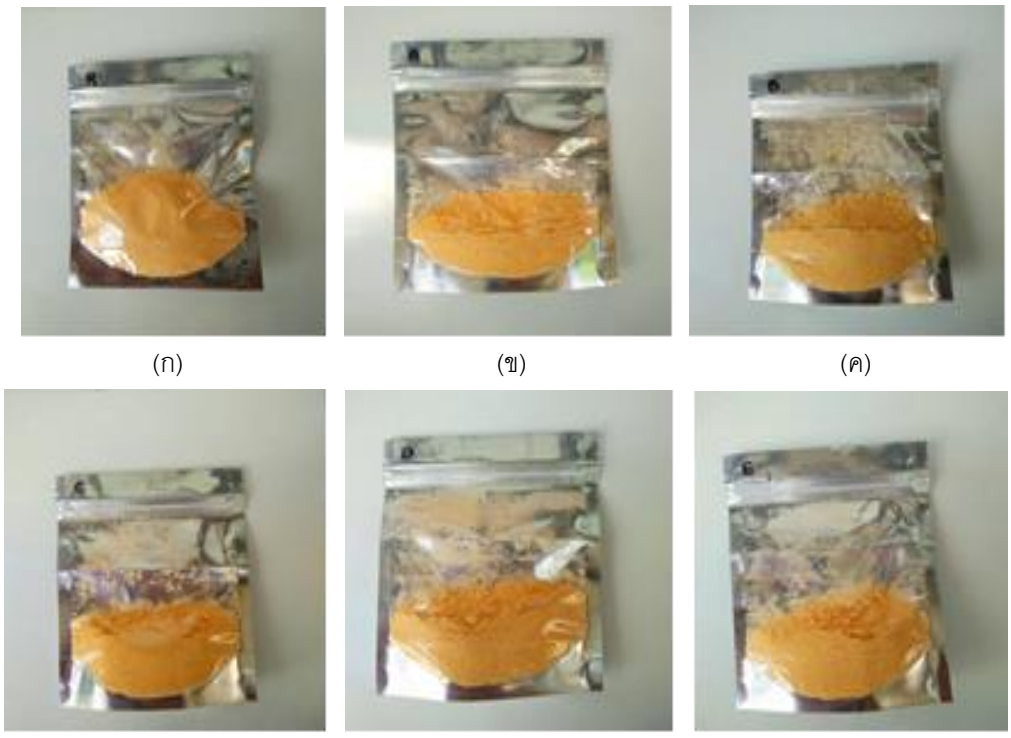
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม

อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาว	ค่าที่วิเคราะห์ได้				
	ลักษณะปรากฏ*	สี*	กลิ่น*	รสชาติ*	ความชอบโดยรวม*
100: 0: 0	6.66^{b}±0.87	6.30^{b}±0.79	5.06^{b}±1.23	5.03^{b}±0.41	5.70^{b}±0.43
75: 20: 5	6.53^{b}±0.35	6.36^{b}±0.27	5.36^{b}±0.65	4.93^{b}±0.53	5.80^{b}±1.54
70: 20: 10	6.50^{b}±1.67	6.33^{b}±1.21	5.50^{b}±2.87	5.20^{b}±0.43	5.86^{b}±1.63
50: 40: 10	6.93^{a}±0.42	6.93^{a}±0.67	6.06^{a}±0.83	5.70^{a}±2.87	6.33^{a}±0.71
50: 45: 5	6.36^{b}±0.37	6.13^{b}±0.65	5.36^{b}±1.72	5.23^{b}±0.94	5.83^{b}±0.87
62: 31: 7	6.73^{a}±0.90	6.20^{b}±2.78	5.20^{b}±0.52	5.10^{b}±1.69	5.90^{b}±0.61

หมายเหตุ : $^{a, b,}$ = ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 2 (ก) ลักษณะการเกิดโฟมผลิตภัณฑ์แครอท ส้ม และมะนาวผง (ข) ก่อนเข้าอบ (ค) หลังเข้าอบ



(ก) (ข) (ค)

(ง) (จ) (ฉ)

ภาพที่ 3 ลักษณะผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงผสมระหว่างแครอท ส้ม และมะนาวที่อัตราส่วนต่างกัน (ก) อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาวเท่ากับ 100: 0: 0 (ข) อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาวเท่ากับ 75: 20: 5 (ค) อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาวเท่ากับ70: 20 :10 (ง) อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาวเท่ากับ 50: 40: 10 (จ) อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาวเท่ากับ 50: 45: 5 และ (ฉ) อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาวเท่ากับ 62: 31: 7

วิจารณ์ผลการวิจัย

การขยายตัวของโฟมในผลิตภัณฑ์อาหารมีผลต่อการลดระยะเวลาการทำแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การขยายตัวของโฟมช่วยส่งเสริมการเพิ่มอัตราการทำแห้งของอาหารให้เร็วขึ้น เพราะโครงสร้างของโฟมซึ่งมีรูพรุนทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้นในการทดลองนี้ใช้ไข่ขาวเป็นสารที่ทำให้เกิดโฟมซึ่งไข่ขาวมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนเมื่อได้รับแรงเชิงกลจะทำให้โครงสร้างโปรตีนคลายตัวออก และสามารถจับกับน้ำโดยหันโครงสร้างด้านที่ไม่ชอบน้ำออกด้านนอก และแผ่เป็นฟิล์มบาง ๆ จึงสามารถเก็บกักอากาศไว้ได้ดีหรือทำให้เกิดโครงสร้างของโฟมได้ง่าย โดยทั่วไปการใช้สารทำให้เกิดโฟมปริมาณมากมักส่งผลให้มีปริมาณการเกิดโฟม (% overrun) หรือมีการขยายตัว (foam expansion) ของโฟมมาก ซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นของโฟมต่ำ (Chandrasekar *et al*., 2015) การใช้สารทำให้เกิดโฟมที่มีคุณสมบัติลดแรงตึงผิวในการวิจัยนี้ได้เลือกไข่ขาวเป็นสารทำให้เกิดโฟม โดยทั่วไปความหนาแน่นของโฟมน้ำคั้นผักและผลไม้สำหรับการทำแห้งแบบโฟมแมทอยู่ในช่วง 0.1-0.8 กรัม/ลบ.ซม. โดยโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำมีผลให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้น (ภาพที่ 2ก) เป็นลักษณะของโฟมที่เกิดขึ้นภายหลังจากการผสมแครอท ส้ม และมะนาวซึ่งเป็นผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง (ความเป็นกรด-ด่างต่ำ)โดยการใช้เครื่องปั่นไฟฟ้าลักษณะของโฟมมีรูพรุนฟองอากาศผิวเรียบเนียนผลของความเป็นกรด-ด่างต่ำทำให้โฟมมีความคงตัวสูง (Iqbal *et al*., 2018) ภายหลังการเกิดโฟมที่มีความคงตัวนำมาเกลี่ยลงบนถาดอลูมิเนียมก่อนเข้าตู้อบ (ภาพที่ 2ข) จะเห็นได้ว่าการเกิดโฟมก่อนอบมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ มีสีชมพูส้มอ่อน ภายหลังผ่านการอบแห้งตู้อบลมร้อน (ภาพที่ 2ค) โฟมที่ได้มีลักษณะแผ่นบาง ๆ สีชมพูส้มเข้มขึ้นเล็กน้อยทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมี ปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดจากองค์ประกอบน้ำตาลและกรดอะมิโนที่พบในแครอท ส้ม และมะนาวมีผลทำให้สีของโฟมมีสีส้มเหลืองน้ำตาลเข้มขึ้นกว่าเดิม (Chottanom *et al*., 2020; Iqbal *et al*., 2018)

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม พบว่ามีค่าความสว่าง L^* ของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อยู่ในช่วง 59.14 - 60.35 ซึ่งจากงานวิจัยของ Iqbal *et al* (2018) ศึกษาการอบแห้งเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงด้วยวิธีโฟมแมทที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า L* มีค่าลดลง มีค่าสีแดง a^* ของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 39.78 - 42.32 พบว่า ในขณะที่อุณหภูมิสูง ค่า a* มีค่าเป็นบวก ซึ่งแสดงลักษณะเป็นสีแดง ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเกิดจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงความร้อนสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ขึ้น เพราะว่าสีของอาหารหลังการอบแห้งจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการอบแห้งทำให้ลักษณะโฟมของอาหารเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการสะท้อนแสง สีสามารถเปลี่ยนแปลงได้เพราะความร้อนที่สูงขึ้นและยิ่งเป็นอาหารที่มีน้ำตาลสูงทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นได้ง่าย (Chottanom *et al*., 2020; Iqbal *et al*., 2018) มีค่าสีเหลือง b* ของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติอยู่ในช่วง 54.55 - 55.38 ถ้าเป็นบวกจะให้ความเป็นสีเหลือง ซึ่งทุกสิ่งทดลองให้ค่าบวก แสดงว่าตัวผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นสีเหลือง ซึ่งตรงกับสีของวัตถุดิบก่อนนำมาแปรรูป (Chottanom *et al*., 2020; Iqbal *et al*., 2018) ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ซึ่งค่าที่ได้จะสอดคล้องกับลักษณะสีในลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงที่ผ่านการอบแห้งที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3ก-3ฉ) อาจเป็นเพราะแครอทผสมส้มมะนาวผง

ทุกสิ่งทดลองใช้ระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากันจึงทำให้ค่าสีภายหลังการทำแห้งไม่แตกต่างกัน (Chottanom *et al*., 2020; Iqbal *et al*., 2018; Kandasamy *et al*., 2012) ซึ่งในระหว่างการอบแห้งด้วยความร้อนอาจเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์กับกรดอะมิโนในสภาวะที่ได้รับความร้อน และผลิตภัณฑ์มีค่า a_w ลดต่ำลง โดยที่ระดับ a_w มีค่าเข้าใกล้ 0.6 หรือมีความชื้นในช่วงร้อยละ 5-30 เป็นสภาวะที่มีความเข้มข้นของสารตั้งต้นเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ดี (Chottanom *et al*., 2020; Iqbal *et al*., 2018) นอกจากนี้อิทธิพลของชนิดสารทำให้เกิดโฟมที่มีต่อคุณภาพด้านสีที่วัดได้ เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนมีค่าน้อยลง ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องจากการสลายตัวของเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อยู่ตามธรรมชาติในผักและผลไม้ และเป็นเอนไซม์ที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา oxidative degradation ของเบต้าแคโรทีน และไลโคปีน ซึ่งจะเปลี่ยนเบต้าแคโรทีน และไลโคปีนให้อยู่ในรูปอื่นที่ไม่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสนี้สามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเกิดการเสียสภาพโปรตีน (denaturation) ที่อุณหภูมิ 70องศาเซลเซียส ดังนั้นในช่วงแรกของการให้ความร้อนอบแห้งที่อุณหภูมิสูงในตัวอย่างค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงอุณหภูมิส่งผลให้ช่วยเร่งปฏิกิริยา oxidative degradationให้เร็วขึ้น นอกจากนี้เบต้าแคโรทีน และ ไลโคปีนยังสามารถสลายตัวได้เนื่องจากความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้เกิดการสลายตัวจากความร้อนได้มากขึ้น และอีกปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง L* ค่าสี a* และ b* คืออุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิสูงและใช้เวลาที่นานขึ้นมีผลทำให้สารแคโรทีนอยเกิดสลายตัวมีผลทำให้สีแดงเข้มแคโรทีนอยด์ของผลิตภัณฑ์อ่อนลง (Krasaekoopt & Bhatia, 2012) ผลการวิเคราะห์ค่าการละลายพบว่า ค่าการละลายของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติอยู่ในช่วงร้อยละ 32.31 - 33.58 เนื่องจากมีปริมาณความชื้นที่วัดได้มีค่าเกินเกณฑ์ทั่วไปของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจึงส่งผลทำให้มีค่าการละลายที่ได้ค่อนข้างต่ำอันเนื่องมาจากไข่ขาวมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักเมื่อถูกความร้อนอุณหภูมิสูงเกิดการเสียสภาโปรตีนโดยที่โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแรงเชิงกลจะทำให้โครงสร้างโปรตีนคลายตัวออก และสามารถจับกับน้ำโดยหันโครงสร้างด้านที่ไม่ชอบน้ำออกด้านนอก (Chandrasekar *et al*., 2015) ทั้งนี้การทำแห้งแบบโฟมแมทจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก และมีความหนาแน่นต่ำ จึงเกิดการลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลว และจากการที่มีอนุภาคที่เล็กทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างอนุภาค ส่งผลให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมผ่านระหว่างอนุภาค หรือแทรกซึมผ่านได้น้อย ทำให้อนุภาคไม่เปียกอย่างสม่ำเสมอ เกิดการรวมเป็นก้อน โดยที่ผิวนอกเปียกแต่ภายในตรงกลางไม่เปียก จึงทำให้สมบัติการกระจายตัวเสียไปและใช้เวลานานในการละลาย (Chottanom *et al*., 2020; Tulardilok, 2009)

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม พบว่าปริมาณความชื้นของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อยู่ในช่วงร้อยละ 13.86 - 19.35 ซึ่งปริมาณความชื้นมีค่าเกินเกณฑ์ทั่วไปของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง อัตราส่วนแครอท ส้ม และมะนาวมีผลต่อค่าความชื้นที่ได้ สำหรับที่อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาว 70:20:10 มีความชื้นร้อยละ 19.35 และอัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาว 62: 31: 7 มีความชื้นร้อยละ 18.75 ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากข้อผิดพลาดในการทำวิจัยในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบและไข่ขาวอาจจะเข้ากันการเกิดโฟมที่ไม่เนียนหรืออาจเกิดจากอุณหภูมิในการอบแห้งอาจจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากปริมาณไข่ขาวผงและ

อุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อใช้ปริมาณไข่ขาวผงในระดับต่ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต่ำกว่าการใช้ไข่ขาวผงในระดับสูง และเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำลง (Chottanom *et al*., 2020; Tulardilok, 2009) ผลการวิเคราะห์การวัดระดับความเป็นกรด-ด่าง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 3.21 - 5.41 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เป็นกรดและพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 5.56 - 8.66 ° บริกซ์ เนื่องจากอัตราส่วนของแครอท ส้ม และมะนาวแตกต่างกันจากข้อมูลสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนส้มและมะนาวเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่วัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Md Shafiq Alam Kalika *et al*., 2013) ผลการวิเคราะห์วิตามินซี พบว่า ปริมาณวิตามินซีของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติอยู่ในช่วง 0.012 - 0.016 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ซึ่งในอัตราส่วนของแครอท ส้ม และมะนาวที่แตกต่างกัน แต่ค่าวิเคราะห์วิตามินซีที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอัตราส่วนของแต่ละสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันมากนักและอีกปัจจัยคือการใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากวิตามินซีเป็นวิตามินที่สลายตัวได้ง่ายหรือถูกทำลายได้ง่ายกว่าวิตามินชนิดอื่น ๆ วิตามินจะถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน แสงสว่าง สภาพที่เป็นเบส และเอนไซม์ โลหะที่ช่วยเร่งให้วิตามินซีถูกทำลายได้ดี ได้แก่ เหล็กและทองแดง กระบวนการใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในระหว่างการแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นต้นเหตุสำคัญในการทำลายวิตามินซี (Ancos *et al*., 2020) ผลการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มมะนาวผงพร้อมดื่ม พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 1.49 - 3.68 mg Trolox eq./g สาเหตุที่อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาวอัตราส่วน 50: 40: 10 และ 62: 31: 7 มีค่าสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อาจจะเนื่องมาจากมะนาวมีสารสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแครอทและส้ม และอัตราส่วนที่ผสมลงไปในช่วง 7-10 เป็นช่วงที่มากพอที่จะทำให้ค่าสารต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งจากการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในงานวิจัยของ (Sompud, 2014) ได้ทำการศึกษาการผลิตและจลนพลศาสตร์การทำแห้งแบบโฟมแมทของเครื่องดื่มน้ำข้าวก่ำผงสำเร็จรูป พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ การทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิอากาศที่ 60 องศาเซลเซียส มีค่าไม่แตกต่างจากการทำแห้ง ในขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศเป็น 70 องศาเซลเซียส พบว่าค่าที่ได้จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อรักษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ ผลการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนของทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 0.09 - 0.14 µg/100g FW จากงานวิจัยของ (Heinonen, 1990) พบว่าเบต้าแคโรทีนสามารถถูกทำลายได้โดยการออกซิไดซ์หรือรับความร้อนสูงมาก ๆ อากาศ แสงแดด ดังนั้นการแปรรูปจึงทำให้เกิดการสูญเสียได้ ซึ่งในงานวิจัยของ (Inpum *et al*., 2004; Nimitkeatka & Potaros, 2018) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณไข่ขาวผงจะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงมีผลทำให้เบต้าแคโรทีนจึงถูกทำลายด้วยความร้อนน้อยลง

จากตารางที่ 3 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสแบบ 9-Point Hedonic Scale ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแครอทผสมส้มและมะนาวผงพร้อมดื่ม โดยกำหนดลักษณะทางประสาทสัมผัส 5 ด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมพบว่า คะแนนการประเมินด้านประสาทสัมผัสทุกด้านมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของทุกสิ่ง

ทดลองโดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.36 - 6.93 ความชอบด้านสีของทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 6.13 - 6.93 ความชอบด้านกลิ่นของทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 5.06 - 6.06 ความชอบด้านรสชาติของทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 4.93 - 5.70 และความชอบโดยรวมของทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 5.70 - 6.33 เนื่องจากในช่วงระยะเวลาที่ทำการอบแห้งมีองค์ประกอบที่เป็นสารระเหยได้สูญหายไปซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้อุณหภูมิที่ไม่สูงมากเกินไป จะทำให้ความร้อนซึ่งมีผลกระทบทำให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการกับผลิตภัณฑ์ลดน้อยลง เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และกลิ่นเกิดการสูญเสีย (Auisakchaiyoung & Musika, 2020; Ng & Sulaiman, 2018; Sangamithra *et al*., 2015) จึงทำให้ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสิ่งทดลองที่องค์ประกอบโดยรวมดีที่สุด คือสิ่งทดลองที่ 4 ที่มีอัตราส่วนของแครอท ส้มและมะนาวเท่ากับ 50: 40: 10 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสัดส่วนผักและผลไม้ในช่วงดังกล่าวมีความเหมาะสมในทุก ๆ ด้านไม่ว่าจะเป็นลักษณะปรากฏ สีกลิ่น รสชาติ และความขอบโดยรวมซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีที่ให้ค่าวิตามินซี สารต้านอนุมูลอิสระ และเบต้าแคโรทีนมีค่าสูงสุด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกายเหมาะสำหรับผู้บริโภคที่มีความสนใจในเรื่องเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

สรุปผลการวิจัย

สูตร (องค์ประกอบ) ที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงพร้อมดื่มจากแครอท ส้ม และมะนาวโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมท คือ อัตราส่วนแครอท: ส้ม: มะนาวเท่ากับ 50:40:10 ให้ค่าสารต้านอนุมูลอิสระ และเบต้าแคโรทีนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.68 mg Trolox eq / g และ 0.14 µg / 100g FW ตามลำดับ การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติและการยอมรับรวมโดยรวมโดยใช้ 9 point hedonic scale ผลการวิจัยพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับให้คะแนนสูงสุดเท่ากับ 5.70 และ 6.33 ตามลำดับให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่คุณภาพดี สามารถต่อยอดสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ และองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ กลุ่มวิสาหกิจชุมชน เกษตรกร และผู้ที่มีความสนใจสามารถนำกระบวนการอบแห้งแบบโฟมแมทนี้ไปประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบในท้องถิ่นชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยเรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องดื่มผงพร้อมดื่มจากแครอท ส้ม และมะนาวโดยการอบแห้งแบบโฟมแมท สำเร็จลุล่วงด้วยดีผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารชั้นปีที่ 4 อาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความช่วยเหลือด้านการเตรียมตัวอย่างการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล และอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัยตลอดจนการสนับสนุนทุนวิจัยด้วยงบประมาณคณะ ฯ จนงานวิจัยแล้วเสร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (2000). *AOAC Official methods of analysis (Association of Official Analytical Chemists, 17th ed).* International Inc. Arlington Virginia, USA.

Akusu, O. M., Kiin-Kabari, D. B., & Ebere, C. O. (2016). Quality characteristics of orange/pineapple fruit juice blends. *American Journal of Food Science and Technology*, *4*(2), 43-47.

Ancos B. D., Rodrigo M. J., Moreno C. S., Cano M. P., & Zacarias L. (2020). Effect of high-pressure processing applied as pretreatment on carotenoids, flavonoids and vitamin C in juice of the Sweet Oranges 'Navel' and the red-fleshed 'Cara Cara'. *Food Research International*, *132*, 1-9.

Auisakchaiyoung, T & Musika, J. (2020). Optimum conditions of instant mulberry (*Murus alba* L.) powder production by foam-mat drying. *Food Technology Siam University*, *15*(2), 145-154. (in Thai)

Chandrasekar, V., Gabriela, J. S., Kannan, K., & Sangamithra, A. (2015). Effect of foaming agent concentration and drying temperature on physiochemical and antimicrobial properties of foam-mat dried powder. *Asian Journal of Dairy Food Research, 34*(1), 39-43.

Chottanom, P., Nuntasan, M., Suwanarong, S., Chuiyglang, K., Hemthanoon, G., Chuenta, W., & Jantathai, S. (2020). Production of yam bean powder using foam-mat drying: Investigation of physical properties and sensory acceptance. *King Mongkut's Agr. J*, *38*(2), 245 – 253. (in Thai)

Franco, T. S., Perussello, C. A., Ellendersen, L. S. N., & Masson, M. L. (2015). Foam-mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer simulation. *Journal of Food Engineering, 158*(3), 48-57.

Hart, M. R., Graham, R. P., Ginnette, L. E., & Morgan, A. I. (1963). Foams for foam-mat drying. *Food Technology, 17*(10), 90-92.

Heinonen, M. I. (1990). Caroteniod and provitamin A activity of carrots (*Daucus carota* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 36*, 609-612.

Inpum, S., Songwatthana, T., & Sangnark, A. (2004). Production of carrot powder by foam mat drying method. *Burapha Science J*, *9*(1-2), 65-72. (in Thai)

Iqbal M, J., Abbas, A., Rafique, H., Nawaz M, F., & Rasool, A. (2018). A review paper on foam-mat drying of fruits and vegetables to develop powders. *MOJ Food Processing & Technology*, *6*(6), 465-467.

Jan, A. & Masih, E. D. (2012). Development and quality evaluation of pineapple juice blend with carrot and orange juice. *International Journal of Scientific and Research Publication, 2*(8), 1-8.

Jittanit, W., Niti-Att, S., & Techanuntachaikul, O. (2010). Study of spray drying of pineapple juice using maltodextrin as an adjunct. *Chiang Mai J. Sci*, *37*(3), 498-506.

Kandasamy, P., Varadharaju, N., Kalemullah, S., & Moitra, R. (2012). Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, *5*(5), 374-387.

Krasaekoopt, W., & Bhatia, S. (2012). Production of yogurt powder using foam-mat drying. *Assumption University Journal Technology*, *15*(3), 166-171.

Lobo, F. A., Nascimento, M. A., & Domingues, J. R. (2017). Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin and antioxidant capacity. *Food Chemistry, 221*, 258-266.

Manok, S. & Limcharoen, P. (2015). Investigating antioxidant activity by DPPH and FRAP assay and total phenolic compounds of herbal extracts in Ya-Hom Theppachit. *Advanced Science*, *15*(1),106-117. (in Thai)

Maoka, T. (2019). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, *74*(5), 1-16.

Md Shafiq Alam, Kalika, G., Harjot, K., & Javed, M. (2013). Quality of dried carrot pomace powder as affected by pretreatments and methods of drying. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 15*(4), 236-243.

Ng, M. L., & Sulaiman, R. (2018). Development of beetroot powder using foam-mat drying. *LWT – Food Science and Technology, 88*, 80-86.

Ngamsanga, S., Laohakunjit, N., & Kerdchoechuen, O. (2015). Effect of foaming agent on characterization of banana (Kluay Hom Tong) by foam-mat drying. *Agricultural Sci. J*, *46*(3)(Suppl.), 429-432. (in Thai)

Nimitkeatka, H., & Potaros. T. (2018). Effect of foaming agents on properties of instant pumpkin soup powder using foam mat drying. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ)*, *28*(5), 790-798. (in Thai)

Prasert, W. (2013). Foam mat drying technique. *Food*, *43*(3), 23-26. (in Thai)

Sangamithra, A., Venkatachalam, S., John, S. G., & Kuppuswamy, K. (2015). Foam-mat drying of food materials: A review. *Journal of Food Processing and Preservation, 39*, 3165-3174.

Sankat, C. K., & Castaigne, F. (2004). Foaming and drying behavior of ripe bananas. *LWT - Food Science and Technology, 37*, 517-525.

Sompud, W. (2014). Production and kinetics using foam-mat drying of instant purple rice powder. Master of Science (Food Process Engineering), Chiang Mai University. (in Thai)

Szczykutowicz, M. K., Szopa, A., & Ekiert, H. (2020). *Citrus limon* (Lemon) phenomenon—A review of the chemistry, pharmacological properties, Applications in the modern pharmaceutical, food and cosmetics industries, and biotechnological studies. *Plants (basel)*, *9*(1), 1-24.

Tanambell, H., Quek, S. Y., & Bishop, K. S. (2019). Screening of in vitro health benefits of tangerine tomatoes. *Antioxidants*, *8,* 1-15.

Tulardilok, K. (2009). Production of pickled garlic powder by foam – mat drying. Master of Science (Food science and Technology). Chiang Mai University. (in Thai)

Xu, Z. S., Feng, K., & Xiong, A. S. (2019). CRISPR/Cas9-Mediated multiply targeted mutagenesis in orange and purple carrot plants. *Molecular Biotechnology*, *61*, 191-199.