

การผลิตรีฟลาผงชงดื่มด้วยกระบวนการอบแห้งแบบโฟมแมท

Production of Triphala Instant Drinking Powder using Foam-mat Drying

ภัทรภร ภควีระชาติ¹, ณัฏพล โชติชัยชรินทร์², นครินทร์ มัททวิวงศ์², วิฑูรย์ ยวงสะอาด²,
ชัยญญาณูช ขุนแก้ว¹, ปณาลี กันท์เสลา¹, ศุภิสรา พลยางนอก¹, อังศุมาลิ จันนุกูล¹, จตุพล กิจทวี¹,
ภาพิมล ประจงพันธ์^{1,*}

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
กรุงเทพมหานคร 10120

²กองพัฒนายาแผนไทยและสมุนไพร กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข ปทุมธานี 12120
Pattarabhorn Pakaweerachat¹, Natchaphon Chotchaicharin², Nakarin Mattaweewong²,
Witoon Youngsaad², Chanyanuch Khunkaew¹, Panalee Kansela¹,
Suphisara Phonyangnok¹, Angsumalee Jannukoon¹, Jatupol Kijtawee¹,
Papimon Prachongpun^{1,*}

¹Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology,
Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok 10120

²Herb and Thai Traditional Medicine Division, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine,
Ministry of public health, Pathum Thani 12120

Received 14 February 2023; Received in revised 29 March 2024; Accepted 20 May 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผงชงดื่มตรีผลาด้วยกระบวนการอบแห้งแบบโฟมแมท โดยศึกษาอุณหภูมิ (60 80 และ 100 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (60 90 และ 120 นาที) ที่เหมาะสมในการสกัดตรีผลา จากการทดลองพบว่าน้ำตรีผลาสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด 10.90 ± 0.36 °Brix และปริมาณกรดแกลลิกสูงที่สุดร้อยละ 0.55 ± 0.12 จากนั้นศึกษาการใช้สารห่อหุ้มที่เหมาะสมในการอบแห้งตรีผลาแบบโฟมแมท ได้แก่ ผงไข่ขาว ผงไข่ขาวผสมกลีเซอรินโมโนสเตียเรท (GMS) ในอัตราส่วน 3: 2 และผงไข่ขาวผสมโซเดียมคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (CMC) ในอัตราส่วน 3: 2 พบว่าสภาวะผงไข่ขาวผสมโซเดียมคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (CMC) ในอัตราส่วน 3: 2 เป็นสารห่อหุ้มที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต โดยผงชงดื่มตรีผลาที่ได้มีปริมาณน้ำอิสระร้อยละ 0.21 ± 0.03 ค่าการละลายร้อยละ 97.21 ± 1.58 ค่าการขยายตัวของโฟม

ร้อยละ 359.40 ± 6.34 ค่าสี L^* 53.01 ± 0.39 ค่าสี a^* 5.32 ± 0.80 ค่าสี b^* 13.67 ± 3.28 ความหนาแน่น 0.25 ± 0.02 g/cm³ และปริมาณกรดแกลลิกร้อยละ 3.42 ± 1.18 ตามลำดับ

คำสำคัญ: กรดแกลลิก; ตริฟลา; โฟมแมท; ผงชงดื่ม

Abstract

The purpose of this research is to develop Triphala instant drinking powder using a foam mat drying process by studying the appropriate temperature and time for extracting Triphala powder at temperatures of 60, 80, and 100°C for 60, 90, and 120 minutes. It was found that Triphala juice extracted at 100°C for 120 minutes had the highest amount of total soluble solid at 10.90 ± 0.36 °Brix and gallic acid content of $0.55 \pm 0.12\%$. The study of the encapsulating agent for the foam mat drying process included egg white powder, egg white powder mixed with glyceryl monostearate (GMS) in a ratio of 3: 2, and egg white powder mixed with sodium carboxymethyl cellulose (CMC) in a ratio of 3: 2. It was found that the condition using egg white powder mixed with CMC was the most suitable encapsulating agent, providing Triphala drinking powder with a water activity (a_w) of 0.21 ± 0.03 , solubility of $97.21 \pm 1.58\%$, overrun of $359.40 \pm 6.34\%$, color value of L^* 53.01 ± 0.39 , a^* 5.32 ± 0.80 , b^* 13.67 ± 3.28 , density of 0.25 ± 0.02 g/cm³, and gallic acid content of $3.42 \pm 1.18\%$.

Keywords: Gallic acid; Triphala; Foam mat; Drinking powder

1. บทนำ

ตรีผลา เป็นหนึ่งในตำรับยาสมุนไพรที่พบในประเทศไทย และประเทศอินเดีย ซึ่งประกอบด้วยสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ มะขามป้อม (*Embllica officinalis*) สมอไทย (*Terminalia chebula* Retz. var. *chebula*) และสมอพิเภก (*Terminalia bellerica* (Gaertn.) Roxb) ซึ่งรายงานว่าการใช้ในทางการแพทย์ เช่น ยารักษาแผลในกระเพาะอาหาร ยารักษาโรคกระเพาะอาหาร ใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ การลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด เป็นต้น [1-4] กลุ่มของสารสำคัญหลักที่อยู่ในตรีผลาเป็นกลุ่มของโพลีฟีนอล เช่น รุติโน แทนนิน คอริลาจिन กรดเชบูลาจิก กรดเชบูลินิก และกรดแกลลิก เป็นต้น [5-7] กรดแกลลิก (Gallic acid; 3,4,5-trihydroxybenzoic acid) เป็นสารสำคัญที่พบมากในตรีผลา และพบได้ทั่วไปในพืชต่างๆ เป็นกรดอินทรีย์ที่ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระ สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส นอกจากนี้ยังสามารถต้านมะเร็ง และด้านการอักเสบอีกด้วย [8-9] ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ ทำให้ตรีผลามีชื่อเสียงในการเป็นตำรับยาอายุวัฒนะ โดยกรดแกลลิกยังถูกใช้เป็นสารมาร์คเกอร์ในการตรวจสอบและกำหนดคุณภาพของตรีผลา [10-11]

การสกัดเป็นกระบวนการที่สำคัญในการแยกสารสำคัญจากสมุนไพรเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การหมัก (maceration) การหมักแบบต่อเนื่อง (percolation) การสกัดแบบต่อเนื่องโดยใช้ความร้อน (soxhlet extraction) การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (liquid-liquid extraction) และการสกัดน้ำมันหอมระเหย (extraction of volatile oil) เป็นต้น [12] ซึ่งการสกัดตรีผลาตามภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยใช้วิธีการต้มด้วยน้ำ (decoction) และกรองสารสกัดที่ได้นำมาบริโภค หรือนำมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตสารสกัดด้วยการทำแห้งสารสกัดให้อยู่ในรูปของผงแห้ง เพื่อลดความชื้นในสารสกัด และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้สามารถเก็บได้นาน โดยรักษาคุณภาพและคุณสมบัติต่างๆ ที่

ต้องการได้ดี [13] ซึ่งการอบแห้งแบบผงมีหลายวิธี เช่น การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (roller drying) เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และการอบแห้งแบบโฟมเมท (foam mat drying) เป็นต้น [14] ด้วยเทคโนโลยีเหล่านี้ ทำให้สามารถแปรรูปตรีผลาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค นอกจากการใช้เป็นยา เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการทำแห้ง สารสกัดเป็นผงด้วยวิธีการดังกล่าว จำเป็นต้องลงทุนในด้านของเครื่องจักร และสถานที่สำหรับประกอบการผลิต ซึ่งมีต้นทุนที่สูง [15] จึงไม่เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตปริมาณน้อยสำหรับใช้ในชุมชน ดังนั้นกระบวนการอบแห้งแบบโฟมเมทจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการทำแห้งสารสกัดตรีผลา เนื่องจากมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน ระยะเวลาสั้น และต้นทุนต่ำ [16] โฟมเมทเป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้แรงกลในการตีหรือปั่น เพื่อเติมอากาศเข้าไปในอาหารหรือผลิตภัณฑ์เหลวให้กลายเป็นโฟมก่อนนำไปอบให้แห้ง โดยอาศัยสารก่อฟุ้งที่ประกอบด้วยสารก่อให้เกิดโฟม (foaming agent) ร่วมกับสารให้ความคงตัว (stabilizer) เพื่อให้โฟมสามารถคงสภาพได้ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง ซึ่งสามารถทำแห้งได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโครงสร้างของโฟมที่เป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากจึงสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสความร้อนระหว่างการอบแห้งได้หลายเท่าตัว โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูง กระบวนการนี้จึงเหมาะสมกับอาหาร เครื่องดื่ม หรือผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบที่ไม่ทนต่อความร้อน (heat-labile compounds) มีความชื้นหนืด หรือมีปริมาณน้ำตาลสูง [17-18] สำหรับสารช่วยให้เกิดโฟม และสารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ คือกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (glyceryl monostearate) ขอยโปรตีนไอโซเลต (soy protein isolate) โปรตีนไข่ขาว (egg albumin) มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose) และ โซเดียมเคซีเนต (sodium caseinate) เป็นต้น [19]

จากเหตุผลดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตตรีผลาผงขี้ผึ้งด้วยกระบวนการอบแห้งแบบโฟมเมท โดยศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มสกัดตรีผลา จากนั้นนำไปศึกษาสารห่อหุ้มในการทำแห้ง และศึกษาปริมาณสารสำคัญ คุณลักษณะทางด้านเคมี และกายภาพของผลิตภัณฑ์ตรีผลาผงขี้ผึ้ง เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแปรรูปตรีผลา ที่มีคุณสมบัติทั้งในด้านเป็นเครื่องดื่มแก้กระหาย และมีคุณสมบัติในการเป็นตำรับยาสมุนไพรอีกด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มสกัดตรีผลา

นำตรีผลา (สมอไทย สมอทิพย์ และมะขามป้อม อัตราส่วน 1: 1: 1) ผลแห้ง (ความชื้น $8.23 \pm 0.87\%$ wet basis) ไปบดหยาบ แล้วนำไปต้มโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณตรีผลาเป็น 5: 1 ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 80 และ

100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 90 และ 120 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าสี (Hunter Lab Colorimeter รุ่น UltraScan® VIS, Hunter Assoc. Lab, Inc., USA.) วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่อง Refractometer (Bellingham+Stanley Digital Refractometer RFM742-M, Xylem Inc., Germany) หน่วยเป็นองศาบริกซ์ (°Brix) และวิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิกในน้ำตรีผลาด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC; column: Hypersil Gold column ขนาด 4.6 x 250 มม. ขนาด particle size 5 ไมครอน, Mobile phase: Methanol : 0.1% Formic acid (5: 95) และ Flow rate: 1 ml/min) การเตรียมตัวอย่างน้ำตรีผลาในการวิเคราะห์ โดยการใช้ น้ำตรีผลา 1 มิลลิลิตร กรองผ่าน membrane filter ขนาด 0.22 ไมครอน จากนั้นใช้น้ำตรีผลาที่กรองแล้ว 10 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง HPLC [7] แสดงผลโครมาโตแกรมดัง Figure 1

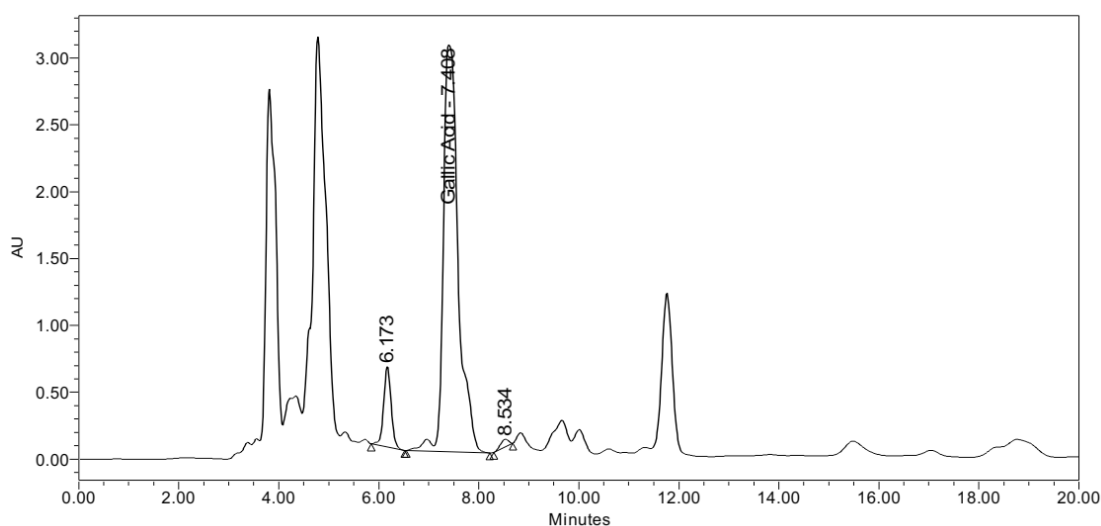


Figure 1 Chromatogram of Triphala water extract

2.2 ศึกษาสารหล่อหุ้มต่อผลิตภัณฑ์ตริฟลาฟงซึ่งดื่มด้วยกระบวนการอบแห้งแบบโฟมเมท

นำน้ำตริฟลาจากข้อที่ (1) มาศึกษาสารหล่อหุ้ม โดยมีปัจจัย 3 ระดับ คือผงไข่ขาว ผงไข่ขาวผสมโซเดียมคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (CMC) ในอัตราส่วน 3: 2 และผงไข่ขาวผสมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (GMS) ในอัตราส่วน 3: 2 ผสมในน้ำตริฟลาสดร้อยละ 5 จากนั้นนำมาปั่นให้เกิดโฟม โดยใช้เครื่องปั่นผสมอาหารที่ความเร็วสูงสุด โดยใช้เวลาในการตี 10 นาที แล้วนำโฟมมาวัดค่าการขยายตัวของโฟม (overrun) ตามสมการที่ 1 [20] จากนั้นนำมาเกลี่ยใส่ถาดให้โฟมมีความหนา 1 เซนติเมตร นำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที แล้วนำมาบดให้ละเอียด นำตริฟลาฟงที่ได้มาวิเคราะห์วัดค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) (LabMaster-a_w neo/ Novasina, Switzerland) ค่าความชื้น [21] ตามสมการที่ 2 ความหนาแน่นของผงตริฟลา (bulk density) ตามสมการที่ 3 การละลาย (solubility) ตามสมการที่ 4 [22] และวิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิกในผงตริฟลา โดยตัวอย่างผงแห้งตริฟลาเตรียมโดยใช้ผงแห้งตริฟลา 100 มิลลิกรัม ละลายในน้ำ 25 มิลลิลิตร แล้วกรองสารละลายที่ได้ผ่าน membrane filter ขนาด 0.22 ไมครอน จากนั้นใช้สารละลายที่กรองแล้ว 10 ไมครอลิตร ฉีดเข้าเครื่อง HPLC สำหรับการตรวจวิเคราะห์

$$\text{ค่าการขยายตัวของโฟม (ร้อยละ)} = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ V_0 คือ ปริมาตรเริ่มต้นของน้ำตริฟลาก่อนตีโฟม (ลูกบาศก์เซนติเมตร, cm^3)

V_1 คือ ปริมาตรสุดท้ายของน้ำตริฟลาหลังตีโฟม (ลูกบาศก์เซนติเมตร, cm^3)

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ M_1 คือ น้ำหนักผงตริฟลาก่อนอบ

M_2 คือ น้ำหนักผงตริฟลาหลังอบ

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของผงตริฟลา (g)}}{\text{ปริมาตรของผงตริฟลา (cm}^3\text{)}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างที่ละลายได้ในตัวทำละลาย (g)}}{\text{มวลของตัวอย่าง (g)}} \times 100 \quad (4)$$

2.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

จัดสิ่งทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มโดยตลอด (Factorial in CRD) และแผนการทดลองแบบสุ่มโดยตลอด (Completely randomized design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มสกัดตรีผลา

จากการศึกษาการสกัดตรีผลาด้วยการต้มที่อุณหภูมิ และระยะเวลา 3 ระดับ คือ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 90 และ 120 นาที แสดงผลการทดลองดัง Table 1 และ Table 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการต้มสกัดตรีผลามีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตรีผลา โดยเมื่อเปรียบเทียบน้ำตรีผลาที่ได้จากการต้มสกัดเป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ที่ 0.94 ± 0.12 5.65 ± 0.33 และ 7.30 ± 0.59 °Brix ตามลำดับ ในขณะที่การสกัดตรีผลาที่เวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับการสกัดตรีผลาที่ 120 นาที อุณหภูมิ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 1.29 ± 0.07 8.42 ± 0.14 และ 10.90 ± 0.36 °Brix ตามลำดับ ทั้งนี้ระยะเวลาในการต้มสกัดเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตรีผลาสกัด ในการต้มสกัดตรีผลาด้วยระยะเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การต้มตรีผลาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 90 และ 120 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 5.65 ± 0.33

6.41 ± 0.17 และ 8.42 ± 0.14 °Brix ตามลำดับ ส่วนการต้มสกัดตรีผลาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 90 และ 120 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 7.30 ± 0.59 9.57 ± 0.11 และ 10.90 ± 0.36 °Brix ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการต้มสกัดตรีผลาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาดังกล่าว ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (0.94 ± 0.12 1.26 ± 0.08 และ 1.29 ± 0.07 °Brix)

จากผลการทดลองการต้มสกัดตรีผลาที่อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ต่างกัน พบว่ามีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำตรีผลาต้มสกัด ทั้งนี้อุณหภูมิและระยะเวลาเป็นปัจจัยซึ่งทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามปัจจัยทางด้านอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีน้ำหนักมากกว่าปัจจัยด้านระยะเวลากัด เพราะหากเปรียบเทียบน้ำตรีผลาที่สกัดด้วยอุณหภูมิเดียวกันที่ระยะเวลาดังกล่าว พบว่ามีความแตกต่างของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดน้อยกว่าน้ำตรีผลาจากการสกัดในระยะเวลาดังกล่าวที่อุณหภูมิต่างกัน เช่น น้ำตรีผลาที่สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 60 90 และ 120 นาที มีค่า 0.94 ± 0.12 1.26 ± 0.08 และ 1.29 ± 0.07 °Brix ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่น้ำตรีผลาจากการสกัดที่ระยะเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด 0.94 ± 0.12 5.65 ± 0.33 และ 7.30 ± 0.59 °Brix ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดกับค่าสีของน้ำตรีผลา โดยค่าสี L^* มีค่าลดลงมากขึ้นในสภาวะการต้มสกัดที่ใช้อุณหภูมิสูง หรือใช้เวลานาน ซึ่งมีค่า L^* สูงสุดที่ 34.55 ± 0.82 ในการสกัดตรีผลาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และต่ำสุดที่ 24.48 ± 0.71 จากการสกัดตรีผลาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 120 นาที ซึ่งสัมพันธ์กับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สูงขึ้นในสภาวะการสกัดดังกล่าว ส่งผลให้น้ำตรีผลามีความหนาแน่นของปริมาณของแข็งมากขึ้น และแสงสามารถส่องผ่านได้น้อยลง โดยค่าสี L^* นั้นแสดงถึงค่าความสว่าง การที่ค่าลดลงจึงแสดงถึงค่าความสว่างที่ลดลงของของน้ำตรีผลา [23-24] นอกจากนั้นยังส่งผลให้ค่าสี a^* (สีแดง-สีเขียว) และ b^* (สีเหลือง - สีน้ำเงิน) มีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2.50-5.37 และ 1.87-3.10 ตามลำดับ แสดงถึงความเป็นแดงและสีน้ำเงินที่เพิ่มขึ้นของน้ำตรีผลาเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้น ซึ่งเป็นโทนสีเข้มและสอดคล้องกับค่าความสว่าง (L^*) ที่ลดลงอีกด้วย ดังนั้นน้ำตรีผลาที่ได้จากการต้มสกัดที่อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลานาน จึงมีลักษณะปรากฏเป็นสีเข้มและมีดี

Table 2 แสดงถึงปริมาณของกรดแกลลิกที่พบในน้ำตรีผลาที่ต้มสกัดที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 0.55 ± 0.12 จากการสกัดที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที และมีค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 0.03 ± 0.02 จากการสกัดที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสกัดที่ 60 องศาเซลเซียส ไม่เหมาะสมต่อการสกัดตรีผลา เนื่องจากน้ำตรีผลามีปริมาณกรดแกลลิกอยู่ในช่วงร้อยละ 0.03-0.05 นอกจากนี้การเพิ่มระยะเวลาสกัดจาก 90 เป็น 120 นาที ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณกรดแกลลิก แต่การสกัดตรีผลาที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มปริมาณกรดแกลลิกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณกรดแกลลิกเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.09-0.28 และ

Table 1 Effect of extraction temperature and time on total soluble solid and color of Triphala extracts

Triphala extracted conditions	Total soluble solid (°Brix)	Color		
		L^*	a^*	b^{*ns}
Extraction time 60 °C 60 min	0.94 ± 0.12^g	34.55 ± 0.82^a	4.98 ± 1.31^{ab}	1.87 ± 1.19
Extraction time 60 °C 90 min	1.26 ± 0.08^g	33.87 ± 0.71^{ab}	4.63 ± 1.52^{abc}	3.02 ± 0.69
Extraction time 60 °C 120 min	1.29 ± 0.07^g	32.87 ± 0.64^{bc}	5.37 ± 1.21^a	2.38 ± 1.13
Extraction time 80 °C 60 min	5.65 ± 0.33^f	32.86 ± 0.80^{bc}	4.54 ± 1.88^{abc}	2.04 ± 0.89
Extraction time 80 °C 90 min	6.41 ± 0.17^e	31.86 ± 0.52^{cd}	4.70 ± 1.33^{abc}	2.96 ± 0.76
Extraction time 80 °C 120 min	8.42 ± 0.14^c	30.64 ± 0.40^{de}	2.79 ± 0.59^{bc}	2.37 ± 1.64
Extraction time 100°C 60 min	7.30 ± 0.59^d	32.58 ± 0.75^{bc}	3.21 ± 0.51^{abc}	3.10 ± 0.36
Extraction time 100°C 90 min	9.57 ± 0.11^b	29.36 ± 1.89^e	3.08 ± 0.62^{bc}	2.70 ± 0.48
Extraction time 100°C 120 min	10.90 ± 0.36^a	24.48 ± 0.71^f	2.50 ± 1.36^c	2.80 ± 0.73

Notes : Means±Standard deviation

: ns shows data that is not statistically different

: Different English letters in the same vertical line show statistically significant differences ($P \leq 0.05$)

Table 2 Effect of extraction temperature and time on gallic acid content of Triphala extracts

Triphala extracted conditions	Gallic acid content (% w/w)
Extraction time 60 °C 60 min	0.03±0.02 ^f
Extraction time 60 °C 90 min	0.05±0.03 ^{ef}
Extraction time 60 °C 120 min	0.05±0.02 ^{ef}
Extraction time 80 °C 60 min	0.09±0.03 ^d
Extraction time 80 °C 90 min	0.18±0.04 ^c
Extraction time 80 °C 120 min	0.28±0.06 ^b
Extraction time 100°C 60 min	0.31±0.10 ^b
Extraction time 100°C 90 min	0.48±0.06 ^a
Extraction time 100°C 120 min	0.55±0.12 ^a

Notes : Means±Standard deviation

: Different English letters in the same vertical line show statistically significant differences ($P \leq 0.05$)

ร้อยละ 0.31-0.55 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นการต้มสกัดที่ผลที่ได้ 100 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมเนื่องจากได้ปริมาณกรดแกลลิกในน้ำตรีผลาสูงที่สุด อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณกรดแกลลิกจากการสกัดที่อุณหภูมิดังกล่าวที่ระยะเวลา 90 และ 120 นาที (ร้อยละ 0.48±0.06 และ 0.55±0.12) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีความสัมพันธ์ที่แปรผันกับปริมาณกรดแกลลิก เนื่องจากสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 60 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดน้อยที่สุด (0.94±0.12 °Brix) มีปริมาณกรดแกลลิกที่น้อยที่สุดด้วย (ร้อยละ 0.03±0.02) ในขณะเดียวกัน สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 120 นาที ให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากที่สุด (10.90±0.36 °Brix) มีปริมาณของกรดแกลลิกที่สูงที่สุด (ร้อยละ 0.55±0.12) จากการที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าที่สูงขึ้น หมายถึงสภาวะการสกัดนั้นมีความสามารถในการสกัดสารจากตรีผลาออกมาได้ดีขึ้น จึงทำให้ได้ปริมาณของกรดแกลลิกมากขึ้น

3.2 ผลของสารหล่อหุ้มต่อผลิตภัณฑ์ตรีผลาผงขี้ผึ้งด้วยกระบวนการอบแห้งแบบโฟมเมท

ศึกษากระบวนการทำแห้งตรีผลาด้วยวิธีการอบแห้งแบบโฟมเมท โดยนำสภาวะที่ดีที่สุดคือการต้มสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที (มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุดซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นเครื่องดื่มผง) ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ (1) ผงไข่ขาว (EA) (2) ผงไข่ขาวผสมโซเดียมคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (CMC) ในอัตราส่วน 3: 2 (3) ผงไข่ขาวผสมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (GMS) ในอัตราส่วน 3: 2 เติมน้ำไปร้อยละ 5 ของน้ำตรีผลา แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที แสดงผลการทดลองดัง Table 3 พบว่าสารหล่อหุ้มในการทำโฟมเมทมีผลต่อการขยายตัวของโฟม ปริมาณน้ำอิสระ และความชื้นของผงตรีผลา ซึ่งการใช้ผงไข่ขาวเป็นสารหล่อหุ้มเพียงอย่างเดียว สามารถให้การขยายตัวของโฟมสูงที่สุด ร้อยละ 398.77±8.45 รองลงมาคือสภาวะที่ใช้ผงไข่ขาวร่วมกับ CMC (ร้อยละ 359.40±6.34) และผงไข่ขาวร่วมกับ GMS (ร้อยละ 316.66±9.21) ตามลำดับ ในด้านของปริมาณน้ำอิสระ ผงตรีผลาที่ใช้ผงไข่ขาวเป็นสารหล่อหุ้มมี

ปริมาณน้ำอิสระสูงที่สุดร้อยละ 0.41 ± 0.02 รองลงมา ได้แก่สภาวะที่ใช้ผงไข่ขาวร่วมกับ GMS และผงไข่ขาวร่วมกับ CMC (ร้อยละ 0.33 ± 0.03 และ 0.21 ± 0.03) ตามลำดับ ส่วนในด้านความชื้น ผงตรีผลาที่ใช้ผงไข่ขาวเป็นสารห่อหุ้ม มีความชื้นสูงที่สุดร้อยละ 9.24 ± 0.71 ตามด้วย สภาวะที่ใช้ผงไข่ขาวร่วมกับ GMS และผงไข่ขาวร่วมกับ CMC (ร้อยละ 8.33 ± 0.36 และ 8.15 ± 0.42) ตามลำดับ

สำหรับค่าสีของผงตรีผลาที่สภาวะการใช้สารห่อหุ้มต่าง ๆ แสดงให้เห็นใน Table 4 โดยผงตรีผลาที่ใช้ผงไข่ขาวมีค่า L^* สูงที่สุด (65.00 ± 0.61) รองลงมาคือผงไข่ขาวร่วมกับ GMS (62.52 ± 0.57) เป็นสารห่อหุ้ม ส่วน

สภาวะการใช้สารห่อหุ้มเป็นผงไข่ขาวร่วมกับ CMC นั้น มีค่าสี L^* (53.01 ± 0.39) น้อยกว่าสภาวะสารห่อหุ้มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าสี a^* และ b^* ทั้ง 3 สภาวะ อยู่ในช่วง 5.01-5.32 และ 13.67-17.00 ตามลำดับ

ในส่วนของความหนาแน่น การละลาย และปริมาณกรดแกลลิกของผงตรีผลาโฟมเมท แสดงใน Table 5 พบว่าสภาวะการทำโฟมเมทที่ใช้ผงไข่ขาวเป็นสารห่อหุ้ม ได้ผงตรีผลาที่มีความหนาแน่นมากที่สุด 0.28 ± 0.03 รองลงมาคือสภาวะการใช้ผงไข่ขาวผสม GMS และผงไข่ขาวผสม CMC ตามลำดับ (0.26 ± 0.09 และ 0.25 ± 0.02) ในขณะที่ค่าการละลายพบว่าสภาวะ

Table 3 Effect of encapsulating agents on foam expansion, water activity and moisture content of foam matted Triphala powder

Encapsulating agents	Foam expansion (%)	Water activity	Moisture content (%)
EA	398.77 ± 8.45^a	0.41 ± 0.02^a	9.24 ± 0.71^a
EA+GMS (3:2)	316.66 ± 9.21^c	0.33 ± 0.03^b	8.33 ± 0.36^b
EA+CMC (3:2)	359.40 ± 6.34^b	0.21 ± 0.03^c	8.15 ± 0.42^b

Notes : Means±Standard deviation

: Different English letters in the same vertical line show statistically significant differences ($P \leq 0.05$)

Table 4 Effect of encapsulating agents on the color of foam matted Triphala powder

Encapsulating agents	L^*	a^*	b^*
EA	65.00 ± 0.61^a	5.01 ± 0.09^b	17.00 ± 0.26^a
EA+GMS (3:2)	62.52 ± 0.57^b	5.27 ± 0.13^a	17.28 ± 0.14^a
EA+CMC (3:2)	53.01 ± 0.39^c	5.32 ± 0.80^a	13.67 ± 3.28^b

Notes : Means±Standard deviation

: Different English letters in the same vertical line show statistically significant differences ($P \leq 0.05$)

Table 5 Effect of encapsulating agents on the density, solubility and gallic acid content of foam matted Triphala powder

Encapsulating agents	Density (g/cm ³) ^{ns}	Solubility (%)	Gallic acid content (%) ^{ns}
EA	0.28±0.03	44.67±5.03 ^c	3.21±0.53
EA+GMS (3:2)	0.26±0.09	61.33±1.14 ^b	3.33±0.94
EA+CMC (3:2)	0.25±0.02	97.21±1.58 ^a	3.42±1.18

Notes : Means±Standard deviation

: ns shows data that is not statistically different

: Different English letters in the same vertical line show statistically significant differences (P≤0.05)

การใช้ผงไข่ขาวผสม CMC ในการทำโฟมเมท ได้ผงตรีผลาที่มีค่าการละลายมากที่สุด (ร้อยละ 97.21±1.58) รองลงมาคือสภาวะการใช้ผงไข่ขาวผสม GMS (61.33±1.14) และสภาวะที่ใช้ไข่ขาวเป็นสารห่อหุ้มมีค่าการละลายน้อยที่สุด (ร้อยละ 44.67±5.03) สำหรับปริมาณของกรดแกลลิก พบว่าการใช้สารห่อหุ้มทั้ง 3 สภาวะ มีปริมาณกรดแกลลิกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือ ร้อยละ 3.21±0.53 3.33±0.94 และ 3.42±1.18 ในสภาวะการใช้ผงไข่ขาว ผงไข่ขาวร่วมกับ GMS และผงไข่ขาวร่วมกับ CMC ตามลำดับ

สารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบโฟมเมท มีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของผงตรีผลา เช่น การขยายตัวของโฟม ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น ค่าสี ความหนาแน่น การละลาย และปริมาณกรดแกลลิก เป็นต้น โดยทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่มีความสามารถในการดักจับอากาศเมื่อมีการตีปั่น ช่วยให้ฟองอากาศสามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างของน้ำตรีผลาได้ดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นโฟมและมีความหนาแน่นลดลงซึ่งแปรผกผันกับการขยายตัวของโฟมที่มากขึ้น [25] การใช้ผงไข่ขาวเป็นสารห่อหุ้มจะห่อหุ้มค่าการขยายตัวของโฟมที่สูงที่สุด (ร้อยละ 398.77±8.45) ซึ่งมีข้อดีคือ ได้เนื้อโฟมที่มีปริมาณสูง มีรูพรุนอากาศในโครงสร้างมาก ทำให้มีพื้นที่

ผิวในการสัมผัสความร้อนระหว่างการอบแห้งได้ดีช่วยให้สามารถทำแห้งได้อย่างรวดเร็ว แต่การใช้ผงไข่ขาวเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียวแม้จะให้การขยายตัวของโฟมที่ดีที่สุด แต่การกระจายตัวในน้ำจะลดน้อยลง เนื่องจากโฟมที่มีการขยายตัวสูงและมีความหนาแน่นต่ำจะได้ผงแห้งที่มีอนุภาคเล็ก และเกาะกลุ่มกันได้ง่ายจากแรงกระทำของไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างอนุภาค ทำให้น้ำแทรกซึมผ่านได้ยากเนื่องจากมีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อย และใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการละลาย [19] จึงมีค่าการละลายที่น้อยที่สุด (ร้อยละ 44.67±5.03) เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติด้านอื่น ๆ พบว่าสภาวะการใช้สารห่อหุ้มนี้ให้ผงตรีผลาที่มีปริมาณน้ำอิสระ และความชื้นสูงที่สุดร้อยละ 0.41±0.02 และ 9.24±0.71 ตามลำดับ ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเทียบกับผงตรีผลาจากการใช้สภาวะสารห่อหุ้มอื่น ซึ่งทำให้ไม่เหมาะสมในการนำไปทำเป็นผงขงดื่ม ในขณะที่สภาวะการใช้ผงไข่ขาวร่วมกับ CMC เป็นสารห่อหุ้ม แม้ว่าจะให้การขยายตัวของโฟมที่น้อยกว่าสภาวะที่ใช้ผงไข่ขาว แต่ผงตรีผลาที่ได้นั้นมีปริมาณน้ำอิสระ และความชื้นที่ต่ำที่สุด (ร้อยละ 0.21±0.03 และ 8.15±0.42) ซึ่งมีความปลอดภัยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษามากกว่าสภาวะอื่น นอกจากนั้นยังพบว่า

ค่าการละลายสูงที่สุด (ร้อยละ 97.21 ± 1.58) ทั้งนี้เนื่องจาก GMS และ CMC เป็นสารให้ความคงตัว ซึ่งสามารถผสานให้องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยสามารถทำละลายได้มากขึ้น [26-28] เพราะโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophile) ซึ่งเป็นพวกอนุโมลอิสระที่มีประจุ เป็นส่วนที่จะละลายอยู่ในเฟสของน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobe) เป็นส่วนที่ไม่มีประจุ มักเป็นอนุพันธคาร์บอนอะตอมที่มีสายยาว (aliphatic carbon chain) เป็นส่วนที่จะละลายอยู่ในเฟสของน้ำมัน [29] ส่งผลให้ค่าการละลายสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ GMS หรือ CMC ทำให้สารละลายมีความหนืดมากขึ้น ซึ่งความหนืดจะทำให้เกิดการป้องกันการตกจับกับอากาศระหว่างการตีฟอม ทำให้การขยายตัวของโฟมลดลง [30-31] ดังนั้นสภาวะการใช้ผงไข่ขาวร่วมกับ CMC เป็นสารหล่อหุ้มจึงเหมาะสมในการใช้ออบแห้งตรีผลาโฟมเมทเพื่อนำมาทำเป็นผงขงตี๋ม ในส่วนค่าความหนาแน่น และปริมาณกรดแกลลิก พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่าสปีพบว่าสภาวะการใช้ผงไข่ขาวร่วมกับ CMC เป็นสารหล่อหุ้ม ให้ผงตรีผลาที่มีค่าสปี L^* และ b^* ที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นถึงลักษณะสีของผงตรีผลาที่สีเข้มขึ้นจากค่าความสว่างที่น้อยลง และมีความเป็นสีเหลืองที่มากขึ้น

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการอบแห้งตรีผลาแบบโฟมเมทเพื่อนำมาใช้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ผงขงตี๋ม พบว่าการต้มสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 120 นาที เหมาะสมในการผลิตน้ำตรีผลามากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณกรดแกลลิกสูงที่สุด ส่วนในกระบวนการอบแห้งแบบโฟมเมทพบว่าการใช้ผงไข่ขาวร่วมกับ CMC ในอัตราส่วน 3: 2 เป็นสารหล่อหุ้มทำให้ได้ผงตรีผลาที่

เหมาะสมต่อการทำเป็นผงขงตี๋ม เนื่องจากมีค่าการละลายสูงที่สุด ถึงแม้ว่าค่าการขยายตัวของโฟมจะต่ำกว่าสภาวะการใช้ผงไข่ขาวเป็นสารหล่อหุ้มก็ตาม นอกจากนั้นยังมีค่าปริมาณน้ำอิสระ และความชื้นน้อยที่สุด สำหรับค่าสปีพบว่า ค่า L^* และ b^* ต่ำกว่าสภาวะการใช้สารหล่อหุ้มอื่นๆ ทำให้ลักษณะสีของผงตรีผลามีลักษณะสีที่เข้มและมีความเป็นสีเหลืองมากกว่า ส่วนค่าความหนาแน่น และปริมาณกรดแกลลิกในผงตรีผลาที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบโฟมเมทมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพงบประมาณเงินรายได้ พ.ศ. 2565 และขอขอบพระคุณกองพัฒนายาแผนไทยและสมุนไพร กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข ในการสนับสนุนเครื่องมือในงานวิจัย

6. References

- [1] Rajan, S.S. and Antony, S., 2008, Hypoglycemic effect of Triphala on selected non insulin dependent Diabetes mellitus subjects, *Anc. Sci. Life*. 27(3): 45-49.
- [2] Maruthappan, V. and Shree, K.S., 2010, Hypolipidemic activity of haritaki (*Terminalia chebula*) in atherogenic diet induced hyperlipidemic rats, *J. Adv. Pharm. Technol. Res*. 1(2): 229-235.
- [3] Nariya, M.B., Shukla, V.J., Ravishankar, B. and Jain, S.M., 2011, Comparison of gastroprotective effects of Triphala formulations on stress-induced ulcer in rats, *Indian J. Pharm. Sci*. 73(6): 682-687.

- [4] Koppikar, S.J., Jagtap S.D., Devarshi, P.P., Jangle Nivedita, M.b., Awad, V.B., Wele, A.A. and Harsulkar, A.M., 2014, Triphala, an Ayurvedic formulation improves the antioxidant status on TNBS induced IBD in rats, *Eur. J. Integr. Med.* 6(6): 646-656.
- [5] Peterson, C.T., Kate, D. and Deepak, C., 2017, Therapeutic uses of Triphala in Ayurvedic medicine, *J. Altern. Complement. Med.* 23(8): 607-614.
- [6] Charoenchai, L., Pathompak, P., Madaka, F., Settharaksa, S. and Saingam, W., 2016, HPLC-MS profile and quantitative analysis of Triphala formulation, *BHST.* 14(1): 57-67.
- [7] Pakaweerachat, P., Klinthong, W., Ohtaguchi, K., and Chysirichote, T., 2023, Simultaneous isoquercetin and gallic acid production of *Aspergillus niger* on Triphala byproduct under solid state fermentation in packed-bed bioreactor, *AIMS Agric. Food.* 8(2): 359-373.
- [8] Hozumi, T. and Oyama, H., 1997, Crude drugs for treating AIDS, *Jpn. Kokai Tokkyo Koho.* 9: 87-185.
- [9] Niyomdech, M. and Saelim, S., 2022, Synthesis of gallic acid derivatives and anti-oxidation properties, *RMUTSV Res. J.* 11(3): 478-490. (in Thai)
- [10] Mukherjee, P.K., Rai, S., Bhattacharya, S., Wahile, A. and Saha, B.P., 2008, Marker analysis of polyherbal formulation, Triphala: A well known Indian traditional medicine, *Indian J. Tradit. Knowl.* 7: 379-83.
- [11] Singh, D.P., Govindrajan, R. and Rawat, A.K.S., 2008, High-performance Liquid Chromatography as a tool for the chemical standardization of Triphala: An Ayurvedic formulation, *Phytochem Anal.* 19: 164-168.
- [12] Thipayarat, A., 2017, Pharmaceutical-grade, high-throughput, continuous medicinal herbs extraction combining liquefied butane and supercritical carbon dioxide technologies, Research Project 2018, Burapha University, Chonburi, 77 p. (in Thai)
- [13] Adeyeye, S.A.O., Ashaolu, T. J. and Babu, A. S., 2022, Food Drying: A Review. *Agricultural Reviews:* 10.18805/ag.R-2537.
- [14] Kumar, G., Kumar, N., Prabhakar, P. K., and Kishore, A., 2022, Foam mat drying: Recent advances on foam dynamics, mechanistic modeling and hybrid drying approach, *Crit Rev Food Sci.* 1-17.
- [15] Kunapornsujarit, D., 2011, Production of longan beverage powder by spray drying, Master thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai, 139 p. (in Thai)
- [16] Çalışkan, K.G., Tekgöl, Y., Yüksel, A.N., Khanashyam, A.C., Kothakota, A., and Pandiselvam, R., 2022, Recent development in foam-mat drying process: Influence of foaming agents and foam properties on powder properties, *J Surfactants Deterg.* 25(5): 539-557.
- [17] Franco, T.S., Perussello, C.A., Ellendersen, L.S.N., and Masson, M.L., 2015, Foam-mat drying of yacon juice: Experimental

- analysis and computer simulation, J. Food Eng. 158(3): 48-57.
- [18] Chandrasekar, V., Gabriela, J. S., Kannan, K., and Sangamithra, A., 2015, Effect of foaming agent concentration and drying temperature on physiochemical and antimicrobial properties of foam-mat dried powder, J. Dairy Foods Home Sci. 34(1): 39-43.
- [19] Sangamithra, A., Venkatachalam, S., John, S. G., and Kuppuswamy, K., 2015, Foam-mat drying of food materials: A review, J. Food Process. Preserv. 39: 3165-3174.
- [20] Tulardilok, K., 2009, Production of Pickled Garlic Powder by Foam-mat Drying, Master thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai, 132 p. (in Thai)
- [21] AOAC., 2000, Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- [22] Jittanit, W., Niti-Att, S. and Techanuntachaikul, O, 2010, Study of spray drying of pineapple juice using maltodextrin as an adjunct, Chiang Mai J. Sci. 37(3): 498-506.
- [23] Puttame, K., Sawasdikarn, J. and Chitphutthanakul, S., 2016, Effect of Karanda Fruit (*Carissa carandas* Linn.) and Water Ratio on Physical, Chemical Properties and Sensory Quality of Karanda Gummy Jelly Product, RRBR. 10(3): 114-118. (in Thai)
- [24] Faye, P., Ndiaye, E., Baldé, S., Sow, A., Cissé, O., Ayessou, N. and Cisse, M., 2023, Optimization of the Aqueous Decoction Process of *Combretum micranthum* Leaves, Food Sci. Nutr. 14: 277-286.
- [25] Murray, B. (2020). Recent developments in food foams. Current Opinion in Colloid and Interface Science 50: 101394.
- [26] Zhu, X., Zhan, F., Zhao, Y., Han, Y., Chen, X. and Li, B., 2020, Improved foaming properties and interfacial observation of sodium caseinate-based complexes: Effect of carboxymethyl cellulose, Food Hydrocoll. 105: Article 105758.
- [27] Keskin, U. E. and Yılmaz, E., 2021, Preparation and characterization of glycerol monostearate and polyglycerol stearate oleogels with selected amphiphiles, Food Struct. 28: 100192.
- [28] Belal, M., Hossain, M. A., Mitra, S., and Zzaman, W., 2023, Effect of foaming agent concentration and foam stabilizer on the foaming capacity and physical properties of tomato powder at dried at different temperature: foam mat dried tomato powder, J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci. 12(4): e4741-e4741.
- [29] Saentaweesuk, S., 2012, A Production of indian gooseberry instant powder by foam-mat drying, Research Project 2012, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, 81 p. (in Thai)

- [30] Rahman, M. S., Hasan, M. S., Nitai, A. S., Nam, S., Karmakar, A. K., Ahsan, M. S., Shiddiky, M. J. A., and Ahmed, M. B., 2021, Recent Developments of Carboxymethyl Cellulose, *Polymers*. 13(8): 1345.
- [31] Abd Karim, A., and Wai, C.C., 1999, Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree, Stability and air drying characteristics, *Food Chem.* 64(3): 337-343.