

การผลิตมันแกวผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมต: คุณสมบัติทางกายภาพและ การยอมรับทางประสาทสัมผัส

Production of Yam Bean Powder Using Foam-Mat Drying: Investigation of Physical Properties and Sensory Acceptance

พริยา โชติถนอม¹ มนัญญา นันทสาร² ศรินทร สุวรรณรงค์¹
เกษสุณีย์ เชื้อยกลาง¹ กันทริกา เหมทานนท์¹ วนิดา ชื่นตา¹ และศรินทร์ จันทไทย¹
Pheeraya Chottanom¹, Manunya Nuntasan², Srinthron Suwanarong¹,
Kedsunee Chuiyglang¹, Guntriga Hemthanoon¹, Wanida Chuenta¹ and Srinuan Jantathai¹

บทคัดย่อ

การศึกษาระบวนการผลิตมันแกวผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมต (foam-mat drying) เพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ผงชงดื่ม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของสารทำให้เกิดโฟมที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัส ใช้สารทำให้เกิดโฟม ได้แก่ มอลโทเดกซ์ทริน (Mal) ร้อยละ 10 และ 15 และโซเดียมเคซีเนต (NaCas) ร้อยละ 5 และ 10 ทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ Mal ได้โฟมมันแกวที่มีการขยายตัวที่น้อยกว่าแต่มีความคงตัวที่สูงกว่าการใช้ NaCas และมันแกวผงที่ได้มีคุณภาพด้านสีและการละลายที่ดีกว่า ปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) เมื่อใช้ที่ความเข้มข้นเท่ากัน ผลิตภัณฑ์ผงชงดื่มได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกัน แต่จุดเด่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ Mal คือ มีคะแนนรสชาติและการละลายสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้ NaCas อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นการทำแห้งแบบโฟมแมตโดยใช้ Mal จึงมีความน่าสนใจในการผลิตเชิงพาณิชย์แบบต้นทุนต่ำสำหรับผลิตภัณฑ์ผงชงดื่ม

คำสำคัญ: การทำแห้งแบบโฟมแมต การยอมรับทางประสาทสัมผัส การละลาย ต้นทุนต่ำ มันแกวผง

Abstract

This research was a study of the production process of yam bean powder using foam-mat drying, which is done in order to produce drinking powder products. The objective of this research was to study the effect of foaming agent types and concentrations on the physical properties and consumer sensory acceptance. Maltodextrin (Mal) at the concentrations of 10 and 15% (w/w) and sodium caseinate (NaCas) at the concentrations of 5 and 10% were used as foaming agents. The samples were dried at 80°C. The use of Mal produced foam that expanded less but was more stable than NaCas-based foam. In addition, yam bean powder made using Mal had better color quality and solubility. The yield of powder was not significantly different ($P \geq 0.05$) when the foaming agents, used at the same concentration, were compared. Furthermore, the products using Mal and NaCas were not significantly different in overall sensory acceptance. However, the strong point of the product using Mal was that it achieved a higher taste and solubility score than did the product using NaCas ($P < 0.05$). Therefore, foam-mat drying of yam bean powder with addition of Mal is an attractive and low cost method for the commercial production of drinking powder products.

Keywords: foam-mat drying, sensory acceptance, solubility, low-cost, yam bean powder

¹ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ. กันทรวิชัย จ. มหาสารคาม 44150

² คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อ. เมือง จ. มหาสารคาม 44000

¹ Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150

² Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Mahasarakham University, Muang, Mahasarakham 44000

*Corresponding author, Email: pheechot@yahoo.com

คำนำ

มันแกว หรือ มันพา (yam bean, Jicama, *Pachyrhizus erosus* (L.) Urb.) เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของอำเภอบรบือ และอำเภอกุดรัง จังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่เพาะปลูก (ปี 2559/2560) ประมาณ 5,788 ไร่ (สำนักงานสถิติจังหวัดมหาสารคาม, 2562) องค์ประกอบส่วนใหญ่ของมันแกว ได้แก่ น้ำ คาร์โบไฮเดรต เส้นใย น้ำตาล และโปรตีน ซึ่งมีประมาณร้อยละ 90.07, 8.82, 4.90, 1.80 และ 0.72 ตามลำดับ และเป็นแหล่งของวิตามินซี (20 มิลลิกรัม/100 กรัม) และแร่ธาตุอีกหลายชนิด (USDA, 2019) คาร์โบไฮเดรตที่สำคัญด้านการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่พบในมันแกว คือ อินนูลิน (Inulin) และฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Fructooligosaccharide, FOS) โครงสร้างทางเคมีของอินนูลิน ประกอบด้วย น้ำตาลฟรุคโตสที่เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว จำนวน 2 ถึง 60 หน่วย บางโครงสร้างอาจมีน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อที่ปลายสายด้วย พืชที่มีปริมาณอินนูลินมาก ได้แก่ แคนเดวัน สามสิบ ฝรั่ง หอมหัวใหญ่ และหอมแดง (วีณา นกุลการ, 2552) ปัจจุบันอินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้รับความสนใจและนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น เนื่องจากสามารถให้ความหวานแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นใยอาหารและสารพรีไบโอติกที่ร่างกายไม่สามารถเผาผลาญได้ มันแกวจึงเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผู้ที่เป็โรคเบาหวาน นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในเรื่องการขับถ่าย แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากมันแกวที่น่าสนใจ คือ การผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งในลักษณะแผ่นและผงขงดื่ม ซึ่งเป็นประภพผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้ที่ผู้บริโภคมีความคุ้นเคย กระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมต (foam-mat drying) เป็นกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผงที่นิยมนำมาใช้กับวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ เนื่องจากมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน ใช้เวลาสั้น และมีต้นทุนต่ำ (Chandrasekar et al., 2015; Sangamithra et al., 2015) ดังนั้นจึงเป็นกระบวนการที่น่าสนใจในการนำมาใช้ในการผลิตเครื่องดื่มมันแกวผง การทำแห้งแบบโฟมแมตเป็นกระบวนการที่ทำให้อาหารเหลว หรืออาหารที่มีลักษณะข้น เกิดเป็นโฟมที่มีความคงตัวโดยผสมกับสารที่ช่วยให้เกิดโฟม (foaming agents) เช่น กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (glycerol monostearate, GMS) ซอยโปรตีนไอโซเลต (soy protein isolate, SP) โปรตีนไข่ขาว (egg albumin) โซเดียมเคซีนเต (sodium caseinate) มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) และเมทิลเซลลูโลส (methylcellulose) แล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งการเกิดโฟมจะช่วยให้มีการทำแห้งได้รวดเร็วขึ้นและส่งผลดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กระบวนการดังกล่าวมีความเหมาะสมกับอาหารที่มีองค์ประกอบที่ไม่ทนต่อความร้อน (heat-labile compounds) หรือมีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น น้ำผลไม้ หรือเนื้อผลไม้ชิ้น ปัจจุบันที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับทั้งสภาวะการทำแห้งและความคงตัวของโฟมในระหว่างการทำแห้ง หากเกิดการยุบตัวในระหว่างการทำแห้งจะทำให้อัตราการทำแห้งลดลง และส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันที่ส่งผลต่อการทำแห้งแบบโฟมแมต คือ ชนิดและปริมาณของสารทำให้เกิดโฟม ความเข้มข้นของอาหารเหลว วิธีการตีโฟมและระยะเวลา ความหนาของชั้นโฟมก่อนการทำแห้ง และสภาวะในการอบแห้งโฟม (Hart et al., 1963; Franco et al., 2015) Rajkumar et al. (2007) ได้ศึกษาการทำแห้งมะม่วงด้วยกระบวนการโฟมแมตโดยมีการนำมะม่วงไปบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงทำการผสมสารช่วยให้เกิดโฟม ได้แก่ โปรตีนไข่ขาว (ร้อยละ 10) ร่วมกับเมทิลเซลลูโลส (ร้อยละ 0.5) ลงไป จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปเกลี่ยบนถาดหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมสารช่วยให้เกิดโฟมทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทำให้เป็นโฟม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดีกว่า เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลดลงสอดคล้องกับรายงานของ Sankat and Castaigne (2004) ซึ่งพบว่าการทำแห้งแบบโฟมแมตสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลงได้ และยังสามารถลดการเกิดขอบแข็ง (case hardening) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อัตราการอบแห้งลดลง โดยเฉพาะการทำแห้งผลไม้ที่มีน้ำตาลสูงและใช้อุณหภูมิสูง จากข้อดีของการทำแห้งแบบโฟมแมตด้านระยะเวลาการแห้งดังที่กล่าวมาแล้ว ปัจจุบันจึงมีการพัฒนากระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมตเพื่อใช้ผลิตอาหารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ โดยมีการศึกษาสภาวะที่ทำให้ได้โฟมที่มีความคงตัวสูงในขณะทำแห้ง เพื่อลดระยะเวลาการแห้งและการสลายตัวขององค์ประกอบสำคัญ โดยทั่วไปสารช่วยให้เกิดโฟมประเภทโปรตีนมีคุณสมบัติในการเกิดโฟมได้ง่าย มีปริมาตรโฟมสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารประเภทคาร์โบไฮเดรต แต่อย่างไรก็ตาม มีข้อจำกัดด้านราคา จึงพบการใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด มีรายงานการใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) ร่วมกับเลซิติน พบว่าสามารถรักษาคงสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผงมะม่วงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นได้ เพื่อลดระยะเวลาการแห้ง จึงเหมาะสมสำหรับการใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม โดย CMC มีผลต่อการรักษาสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เลซิตินมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมความคงตัวของโฟมในขณะทำแห้ง (Lobo et al., 2017) สำหรับการผลิตมันแกวผงจำเป็นต้องใช้สารทำให้เกิดโฟมที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากมันแกวมีปริมาณของแข็งต่ำและมีองค์ประกอบประเภทอินนูลิน ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และน้ำตาลดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงอาจต้องใช้เวลาในการทำแห้งนาน ดังนั้นการใช้สารทำให้เกิดโฟมที่เหมาะสมนอกจากช่วยให้อัตราการแห้งสูงแล้ว ยังส่งผลในการรักษาคงสมบัติทางเคมีและกายภาพ และส่งเสริมปริมาณผลผลิตที่ได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้สารที่ทำให้เกิดโฟมที่มีความคงตัวสูงและราคาไม่แพงในการทำแห้งแบบโฟมเม็ด สำหรับการผลิตมันแกวมัง และก็นำไปประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ผงขงดื่ม โดยเลือกใช้มอลโทเดกซ์ทรินและโซเดียมเคซีเนต เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารให้ความคงตัว ให้ความข้นหนืด และสามารถสร้างชั้นฟิล์มที่แข็งแรง จึงช่วยให้การเก็บกักอากาศได้ดีขณะตีโฟมและช่วยห่อหุ้มอนุภาคของแข็งได้ดี ซึ่งนิยมใช้ในกระบวนการสร้างไมโครแคปซูล และใช้เป็นตัวพาในการทำแห้งแบบพ่นฝอย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินและโซเดียมเคซีเนต และหาปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการผลิตมันแกวมังด้วยวิธีโฟมเม็ด ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางกายภาพ และเปรียบเทียบผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขงดื่ม

วิธีการศึกษา

การเตรียมวัตถุดิบ

เลือกมันแกวมังที่ปลูกในพื้นที่ของอำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว โดยมีระยะการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 4-6 เดือน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-13 ซม. น้ำหนักเฉลี่ย 0.5-0.7 กิโลกรัม/หัว ล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกแล้วหั่นเป็นชิ้น จากนั้นนำชิ้นมันแกวมังไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นแบบเบี่ยง (IMARFLEX IF-329) ในอัตราส่วนมันแกวมังต่อน้ำเท่ากับ 1:1 ด้วยความเร็วระดับ 3 เป็นเวลา 15 นาที แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำน้ำมันแกวมังที่กรองได้ไปทำการทดลองต่อไป

การทำให้เกิดโฟม

เตรียมสารละลายสารทำให้เกิดโฟม โดยค่อย ๆ ละลายมอลโทเดกซ์ทริน DE10 (Mal) และโซเดียมเคซีเนต (NaCas) ในน้ำดื่มรีเวอร์สออสโมซิส นำน้ำมันแกวมังที่สกัดได้มาผสมกับสารละลาย Mal ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 และสารละลาย NaCas ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 (โดยน้ำหนักของน้ำมันแกวมัง) คนนาน 5 นาที เพื่อให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันแกวมัง ปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นแบบเบี่ยงความเร็วระดับ 3 นาน 10 นาที จากนั้นนำไปตีให้เกิดโฟมโดยเครื่องผสมอาหาร (หัวตะกร้อ) ความเร็วระดับ 10 เป็นเวลา 10 นาที

การทำแห้งด้วยลมร้อน

ซึ่งน้ำหนักโฟมมันแกวมัง เทลงบนถาดอลูมิเนียมแล้วเกลี่ยให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (BWS5, B.W.S. Trading Limited, Thailand) ความเร็วลมร้อน 1 เมตร/วินาที จนตัวอย่างมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) 0.3-0.5 โดยสุ่มตัวอย่างมาวัดค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (AQUA LAB series 3 TE) ทุก ๆ 30 นาที ทำการอบให้เป็นผง อบไล่ความชื้นที่ผิว ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที บรรจุในถุงพลาสติกพอลิโพรไพลีนแล้วปิดผนึกให้สนิท เก็บที่อุณหภูมิห้อง เพื่อรอการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

การวิเคราะห์คุณสมบัติของโฟมและมันแกวมัง

การขยายตัวของโฟม

การขยายตัวของโฟมของน้ำมันแกวมังชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเกิดโฟมที่เกิดจากอากาศผสมในโครงสร้างของโฟม วิเคราะห์ตามวิธีของ Durian (1995) คำนวณการขยายตัวของโฟม จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{การขยายตัวของโฟม} = 100 \times (V_f - V_0) / V_0$$

เมื่อ V_0 คือ ปริมาตร (ลบ.ซม.) เริ่มต้นของส่วนผสมก่อนเกิดโฟม และ V_f คือ ปริมาตร (ลบ.ซม.) ของส่วนผสมหลังเกิดโฟม

ความหนาแน่นของโฟม

ตรวจสอบความหนาแน่นของโฟมมันแกวมัง ด้วยวิธีของ Bag et al. (2011) โดยเทโฟมมันแกวมังลงในเหยือกวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของโฟม คำนวณความหนาแน่นของโฟม จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความหนาแน่นของโฟม} = 100 \times (\text{น้ำหนักของโฟม (กรัม)}) / (\text{ปริมาตรของโฟม (มิลลิลิตร)})$$

ความคงตัวของโฟม

วิเคราะห์ความคงตัวของโฟม ด้วยวิธีซึ่งดัดแปลงบางส่วนจากวิธีของ Marinova et al. (2009) โดยเทโฟมมันแกวลงใน ปีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 ชั่วโมง ทำการวัดปริมาตรที่เปลี่ยนไปของโฟม ทุก ๆ 30 นาที คำนวณความคงตัวของโฟม จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความคงตัวของโฟม} = 100 \times (V_{\text{foam}} / V_0)$$

เมื่อ V_0 คือ ปริมาตรของโฟมเริ่มต้น และ V_{foam} คือ ปริมาตรของโฟมเมื่อตั้งทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่กำหนด

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของมันแกวผง

วัดค่า a_w โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w วัดปริมาณความชื้นโดยวิธีมาตรฐาน AOAC (1999) วิเคราะห์ค่าการละลาย (solubility) ตามวิธีของ Cano-Chauca (2005) วิเคราะห์ค่าการดูดความชื้น (hygroscopicity) ตามวิธีของ Jaya and Das (2004) และ Sabhadinde (2014) โดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของการทดสอบที่ร้อยละ 75 ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Chroma meter, CR-400) รายงานค่าความสว่าง (L^*) สีแดง (a^*) และ สีเหลือง (b^*) ของตัวอย่างมันแกวผง คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE^*) และดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index, BI) (Lopez-Malo et al., 1998) ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta E^* = [(L_o^* - L_t^*)^2 + (a_o^* - a_t^*)^2 + (b_o^* - b_t^*)^2]^{1/2}$$

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17}$$

$$x = \frac{(a + 1.75L^*)}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*}$$

การประเมินทางประสาทสัมผัส

นำมันแกวผงที่ได้มาทำเป็นเครื่องดื่ม โดยผสมมันแกวผง ครีมเทียม และน้ำตาล ปริมาณ 7, 7 และ 4 กรัม ตามลำดับ ละลายในน้ำร้อน 120 มิลลิลิตร และมีการแต่งกลิ่นสังเคราะห์ จากนั้นนำเครื่องดื่มไปทดสอบความชอบด้วยวิธี 9 point hedonic scaling โดยที่ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด 5 หมายถึง เฉย ๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ซึ่งผู้ทดสอบประเมินและ ให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ การละลาย และการยอมรับโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 30 ราย

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD และ RCBD (การทดสอบทางประสาทสัมผัส) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Tests ($P < 0.05$) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

มีรายงานการวิจัยจำนวนมากที่กล่าวถึงความสำคัญของการขยายตัวของโฟมต่อการลดระยะเวลาการทำแห้งและ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ การขยายตัวของโฟมช่วยส่งเสริมการเพิ่มอัตราการทำแห้งของอาหารให้เร็วขึ้น เพราะโครงสร้างของโฟม ซึ่งมีรูพรุนทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้น ในการทดลองนี้ใช้น้ำมันแกวที่มีค่าเฉลี่ยของความชื้นร้อยละ 94.19 ± 2.69 และของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ 4.17 ± 0.79 องศาบริกซ์ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของโฟมจากน้ำมันแกวที่ผสมสารช่วยให้เกิดโฟม แสดงใน Table 1 พบค่าการขยายตัวของโฟมในช่วงร้อยละ 492-797 โดยการใช้ NaCas ช่วยให้มีการขยายตัวของโฟมสูงกว่าการใช้ Mal แม้ว่าใช้ในปริมาณที่ต่ำกว่า เนื่องจาก NaCas เป็นโปรตีน เมื่อได้รับแรงเชิงกลจะทำให้ โครงสร้างโปรตีนคลายตัวออก และสามารถจับกับน้ำโดยหันโครงสร้างด้านที่ไม่ชอบน้ำออกด้านนอก และแผ่เป็นฟิล์มบาง ๆ จึงสามารถเก็บกักอากาศไว้ได้ดีหรือทำให้เกิดโครงสร้างของโฟมได้ง่าย อย่างไรก็ตามการใช้ Mal ร้อยละ 10 ให้ค่าการขยายตัวของโฟมใกล้เคียงกับการใช้ NaCas ขณะที่สารที่ทำให้เกิดโฟมทั้ง 2 ชนิด ให้โฟมที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน แม้ว่าการใช้ NaCas ให้การขยายตัวของโฟมสูงแต่มีการยุบตัวค่อนข้างเร็ว จึงทำให้ค่าความหนาแน่นแตกต่างจากการใช้ Mal ไม่มากนัก

โดยทั่วไปการใช้สารทำให้เกิดโฟมปริมาณมากมักส่งผลให้มีปริมาณการเกิดโฟม (% overrun) หรือมีการขยายตัว (foam expansion) ของโฟมมาก ซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นของโฟมต่ำ แต่ผลจากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณ NaCas เป็นร้อยละ 10 ไม่มีผลต่อการขยายตัวและความหนาแน่นของโฟม ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นของ Mal มีผลให้ค่าการขยายตัวลดลง และส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของโฟมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เนื่องจากสารละลาย Mal มีคุณสมบัติเป็นสารให้ความคงตัวที่มีความหนืดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลาย NaCas มีรายงานว่า การใช้สารทำให้เกิดโฟมที่มีคุณสมบัติลดแรงตึงผิว เช่น กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต และ Methocel 65 HG (สารประเภท methylcellulose) หรือสารประเภทโปรตีน เช่น ไข่ขาวผง (Greminger and Krumel, 1980) ในปริมาณที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ได้โฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ แต่หากเพิ่มความเข้มข้นจนมีความหนืดมากเกินไปอาจให้ผลในทางตรงกันข้าม เช่น การใช้ความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 0.4 ส่งผลเสียต่อการเกิดโฟม เนื่องจากทำให้อาหารเหลวมีความหนืดสูง เกิดฟองอากาศได้ยาก (Karim and Wai, 1999) โดยทั่วไปความหนาแน่นของโฟมน้ำคั้นผักและผลไม้สำหรับการทำแห้งแบบโฟมแช่เยือกอยู่ในช่วง 0.1-0.8 กรัม/ลบ.ซม. โดยโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำมีผลให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องมีความคงตัวของโฟมในระหว่างการทำแห้งด้วยลมร้อน (Karim and Wai, 1999; Ng and Sulaiman, 2018) ความคงตัวของโฟมมันแกวมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารทำให้เกิดโฟม (Figure 1) การเปรียบเทียบความคงตัวของโฟมสามารถพิจารณาจากค่าคงที่ของสมการเอกซ์โพเนนเชียล จากการวิเคราะห์สมการถดถอยพบว่าสามารถใช้อธิบายความคงตัวของโฟมได้ดี (R^2 0.93-0.99) การใช้ Mal ให้ความคงตัวของโฟมสูงกว่าการใช้ NaCas อย่างชัดเจน โดยมีค่าคงที่ที่แสดงการลดความคงตัวที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ NaCas หรือมีความคงตัวสูงกว่าประมาณ 5 เท่า โดยมีค่าคงที่ในช่วง 0.003-0.004 ขณะที่การใช้ NaCas มีค่าคงที่ในช่วง 0.014-0.016 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการขยายตัวของโฟมที่ค่อนข้างสูงเมื่อใช้ NaCas ซึ่งสูงกว่าโฟม จาก Mal ประมาณ 1.5 เท่า หากกล่าวถึงข้อดีของการใช้ Mal พบว่ามีราคาถูกกว่า NaCas สามารถละลายได้ง่ายกว่า ใช้เวลาในการเตรียมสารละลายสั้นกว่า โดยทั่วไปโปรตีนเคซีนสามารถละลายได้สูงถึงร้อยละ 20 แต่ต้องใช้ความร้อนร่วมด้วย (Chen, 2002)

Table 1 Foam properties of yam bean extract.

Foaming agent	Concentration (% w/w)	Foam expansion (%)	Foam density (g/ cm ³)
Mal	10	682.10±20.23 ^b	0.11±0.01 ^a
	15	497.91±35.42 ^a	0.16±0.01 ^{bc}
NaCas	5	797.56±54.92 ^c	0.11±0.00 ^a
	10	737.50±33.07 ^c	0.12±0.01 ^b

a, b, c = Different superscript letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

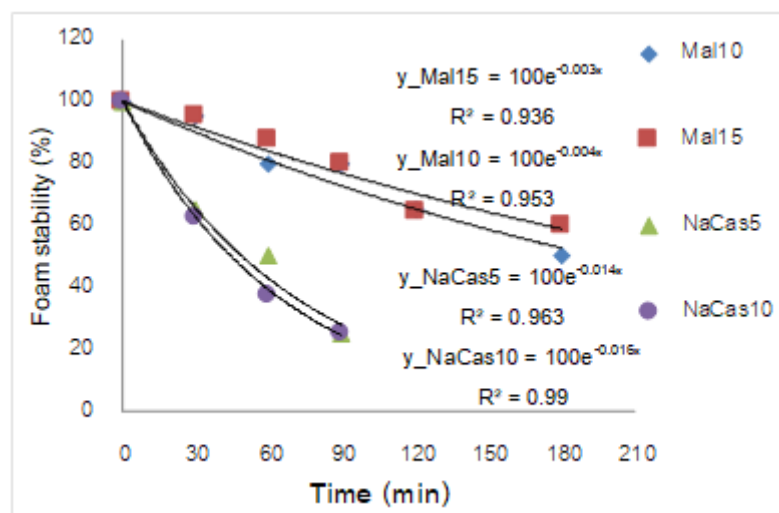


Figure 1 Effect of foaming agents on foam stability.

Table 2 Yam bean powder properties.

Foaming agent	Concentration (% w/w)	Product yield (%)	a_w	MC (%)	Density (g/cm ³)
Mal	10	27.60±2.22 ^b	0.41 ±0.00 ^a	5.83±0.13 ^a	0.92±0.01 ^d
	15	35.96±4.01 ^c	0.47±0.01 ^c	6.36±0.01 ^b	0.88±0.02 ^c
NaCas	5	18.36±2.12 ^a	0.44±0.02 ^b	7.91±0.36 ^c	0.76±0.02 ^a
	10	28.80±3.01 ^b	0.46±0.00 ^{bc}	8.91±0.18 ^d	0.84±0.03 ^b

a, b, c = Different superscript letters in the same column indicate significant difference (P<0.05).

Table 2 แสดงร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่าปริมาณที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารทำให้เกิดโฟม การใช้ Mal ได้ปริมาณไม่แตกต่างจากการใช้ NaCas เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกัน มันแกวมังที่ได้อัตรา a_w อยู่ในช่วง 0.41-0.46 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง อาหารแห้งควรค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 (Lewick, 2004) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การผลิตอาหารผงควรควบคุมให้มีค่า a_w ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผักและผลไม้อบแห้งทั่วไป เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา (Ng and Sulaiman, 2018) มันแกวมังที่ผลิตได้มีความชื้นในช่วงร้อยละ 5.83-8.91 ซึ่งการใช้ NaCas ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงกว่าการใช้ Mal เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เท่ากัน แต่มีค่า a_w แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) เนื่องจาก NaCas มีส่วนของโครงสร้างที่เป็นกรดอะมิโนสูงถึง 35-45% (Chen, 2002) ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนและแรงดึงดูดทางไฟฟ้าขึ้นในส่วนผสมของอาหารหรือเกิดน้ำผูกพัน จึงทำให้มีค่าความชื้นสูงขณะที่มีค่า a_w ต่ำ สำหรับในการทำแห้งโฟมมันแกวมังในงานวิจัยนี้ พบว่าการใช้ Mal ใช้เวลาในการทำแห้งประมาณ 22.5-3.0 ชั่วโมง ส่วนการใช้ NaCas ใช้เวลาทำแห้งประมาณ 3.0-3.5 ชั่วโมง ค่าความหนาแน่นของมันแกวมังมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยการใช้ Mal ได้ตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงกว่าการใช้ NaCas ซึ่งสัมพันธ์กับค่าการขยายตัวของโฟมที่ใช้ Mal ที่มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ NaCas

Table 3 Color parameters of yam bean powder.

Foaming agent	Concentration (% w/w)	L*	a*	b*
Mal	10	87.31±0.95 ^d	0.59±0.06 ^b	16.83±1.80 ^b
	15	84.06±0.98 ^c	-0.71±0.03 ^a	11.05±1.16 ^a
NaCas	5	77.45±1.25 ^a	2.97±0.09 ^d	25.18±1.02 ^c
	10	79.95±1.78 ^b	2.64±0.11 ^c	25.33±1.16 ^c

a, b, c = Different superscript letters in the same column indicate significant difference (P<0.05).



Figure 2 Yam bean powder: Mal10 (left), NaCas10 (right).

Table 4 Total color change and browning index of yam bean powder.

Foaming agent	Concentration (% w/w)	ΔE^*	Browning index
Mal	10	10.83±1.96 ^a	21.06±3.02 ^a
	15	8.22±2.73 ^a	15.04±4.94 ^a
NaCas	5	22.50±1.57 ^b	40.33±3.21 ^b
	10	21.54±1.98 ^b	39.71±4.11 ^b

a, b, c = Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

ในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยความร้อนตัวอย่างที่ใช้ NaCas อาจเกิดสีน้ำตาลได้เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนในสภาวะที่ได้รับความร้อน และผลิตภัณฑ์มีค่า a_w ลดต่ำลง โดยที่ระดับ a_w เข้าใกล้ 0.6 หรือมีความชื้นในช่วงร้อยละ 5-30 เป็นสภาวะที่มีความเข้มข้นของสารตั้งต้นเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Eskin and Shahidi, 2013) ส่วน Mal เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดและ/หรือเอนไซม์อะไมเลส ซึ่งส่วนของโปรตีนได้ถูกกำจัดออกในขั้นตอนการผลิตสตาร์ชจึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ยาก นอกจากนี้ฤทธิ์ของชนิดสารทำให้เกิดโฟมที่มีต่อคุณภาพด้านสี สรุปได้จากค่า ΔE^* และค่า BI (Table 4) ตัวอย่างที่ใช้ NaCas มีค่า ΔE^* และค่า BI สูงกว่าตัวอย่างที่ใช้ Mal อย่างชัดเจน ซึ่งสูงกว่าประมาณ 2 เท่า

Table 5 Hygroscopicity and solubility of yam bean powder.

Foaming agent	Concentration (% w/w)	Hygroscopicity (%)	Solubility (%)
Mal	10	1.24±0.02 ^a	72.74±1.93 ^b
	15	1.25±0.03 ^{ab}	78.08±2.79 ^c
NaCas	5	1.31±0.05 ^b	57.22±2.24 ^a
	10	1.26±0.01 ^{ab}	70.24±0.72 ^b

a, b, c = Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

Table 5 แสดงค่าการดูดความชื้น และความสามารถในการละลายน้ำของมันแกวผง ค่าการดูดความชื้น แสดงถึงความคงตัวของผลิตภัณฑ์ต่อความชื้นในอากาศหรือภายในบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อนำตัวอย่างไปใส่ในโถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ ตามวิธีของ Jaya and Das (2004) พบว่าตัวอย่างมันแกวผงมีการดูดความชื้นใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 1.24-1.31 ซึ่งไม่พบอิทธิพลของชนิดสารทำให้เกิดโฟมต่อค่าการดูดความชื้น ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดความชื้นโดยทั่วไปของอาหารผง ได้แก่ องค์ประกอบของอาหาร ความชื้น อุณหภูมิ และวิธีการเก็บรักษา การดูดความชื้นของมะม่วงผงอยู่ในช่วง 3-14% (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 79.5) ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต และไตรแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้ โดยปริมาณของมอลโทเดกซ์ทรินและไตรแคลเซียมฟอสเฟตมีความสัมพันธ์เชิงลบ ส่วนปริมาณกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าการดูดความชื้น (Jaya and Das, 2004) นอกจากนี้ในการทำแห้งอาหารผงควรให้ความสำคัญกับการเกิดสถานะคล้ายแก้ว (solid-like glassy stage) ของผลิตภัณฑ์ (ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งและเปราะคล้ายแก้ว) อาหารแห้งที่อยู่ในสถานะคล้ายแก้วมีความคงตัวสูงทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของสารต่าง ๆ ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผงเป็นเวลานานควรเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชัน (T_g) เพื่อรักษาสถานะคล้ายแก้วของผลิตภัณฑ์ไว้ (Fabra et al., 2010; Descamps et al., 2013) ค่า T_g ของอาหารอบแห้งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร ความชื้น หรือปริมาณน้ำอิสระ สำหรับมอลโทเดกซ์ทรินและโซเดียมเคซีนเนตที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 5 มีค่า T_g ค่อนข้างสูงกว่าอุณหภูมิห้อง (Fabra et al., 2010; Descamps et al., 2013) จึงรักษาสถานะคล้ายแก้วไว้ได้ดี ในงานวิจัยนี้มันแกวผงมีค่าความชื้นและ a_w ค่อนข้างต่ำ มันแกวผงส่วนใหญ่อาจอยู่ในสถานะคล้ายแก้วจึงส่งผลให้มีการดูดความชื้นต่ำและใกล้เคียงกันทั้งตัวอย่างที่ใช้ Mal และ NaCas ส่วนการทดสอบการละลายของมันแกวผงพบว่า ตัวอย่างที่ใช้ NaCas ร้อยละ 5 มีการละลายต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากตัวอย่างมีความหนาแน่นต่ำกว่าตัวอย่างอื่น ๆ จึงทำให้มีความสามารถในการจมน้ำหรือการเปียกน้ำได้ต่ำกว่า

Table 6 Sensory acceptance of yam bean power product.

Foaming agent	Concentration (% w/w)	Color	Odor	Flavor	Solubility	Overall acceptability
Mal	10	6.33±0.61 ^a	5.50±0.57 ^a	6.93±0.78 ^b	6.20±0.55 ^b	6.60±0.81 ^a
	15	6.30±0.59 ^a	5.63±0.61 ^{ab}	6.10±0.61 ^{ab}	6.80±0.61 ^b	6.23±0.97 ^a
NaCas	5	5.67±0.61 ^a	6.30±0.60 ^{ab}	5.87±0.57 ^{ab}	4.27±0.45 ^a	6.07±0.74 ^a
	10	5.33±0.61 ^a	6.70±0.47 ^b	5.47±0.57 ^a	4.67±0.48 ^a	5.30±0.84 ^a

^{a, b, c} = Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

Table 6 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มันแกวผงขงดื่ม โดยเตรียมผลิตภัณฑ์ให้มีส่วนผสมของครีมเทียม น้ำตาล และแต่งกลิ่นสังเคราะห์ (ดังที่กล่าวมาแล้ว) พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีคะแนนการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ยกเว้นตัวอย่างที่ใช้ NaCas ร้อยละ 10 ที่ได้คะแนนอยู่ในระดับเฉย ๆ (ระดับ 5) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าคะแนนการยอมรับโดยรวมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม คะแนนการยอมรับโดยรวมของตัวอย่างที่ใช้ NaCas ร้อยละ 10 มีค่าต่ำกว่า 6 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ทั้งนี้ตัวอย่างที่ใช้ NaCas มีคะแนนการละลายและกลิ่นรสที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ Mal อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับการใส่สารทำให้เกิดโฟมร้อยละ 10 เท่ากัน นอกจากนี้ค่าคะแนนการละลายของตัวอย่างที่ใช้ NaCas อยู่ในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (4.24-4.67) จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับการยอมรับ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการละลายน้ำของอาหารผง ประเภทโปรตีนที่ผ่านความร้อนสูง นอกจากความหนาแน่นแล้ว ยังรวมถึงการมีโครงสร้างกลุ่มก้อน การเสียสภาพธรรมชาติ หรือการรวมตัวกับสารอื่น ๆ (McKenna, 1999)

สรุปผลการศึกษา

ผลจากการเปรียบเทียบการใส่สารทำให้เกิดโฟมชนิด Mal และ NaCas ในการผลิตมันแกวผงขงดื่มด้วยวิธีโฟมเมต พบว่าผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับใกล้เคียงกัน แต่จุดเด่นของการใช้ Mal คือ มีคะแนนรสชาติและการละลายสูงกว่าการใช้ NaCas และผลิตภัณฑ์มีความคงตัวสูง มีคุณสมบัติด้านสีและการละลายที่ดีกว่า แม้ว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีการดูความข้นต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ NaCas ในปริมาณต่ำ มีแนวโน้มให้มีการดูความข้นได้สูงขึ้น ดังนั้นในการผลิตมันแกวผงขงดื่มด้วยวิธีโฟมเมตซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ ควรเลือกใช้สารทำให้เกิดโฟมชนิด Mal นอกจากได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีแล้ว ยังมีราคาถูกกว่าการใช้ NaCas ส่วนการนำเอา NaCas ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาใช้ในการผลิตมันแกวผง อาจเหมาะสำหรับการผลิตเป็นส่วนผสมในสินค้าเฉพาะกลุ่มที่มีมูลค่าสูง แต่ควรศึกษาวิธีการทำแห้ง และสภาวะที่เหมาะสมต่อไป ทั้งนี้เพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลและปรับปรุงคุณสมบัติด้านการละลายให้ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย (โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561)

เอกสารอ้างอิง

- วิธนา นฤกุลกร. 2552. การวิจัยเพื่อค้นหาสมุนไพรไทยที่มีศักยภาพในการสกัดอินนูลินเพื่อใช้เป็นวัตถุเติมในอาหารสัตว์. คลังข้อมูลงานวิจัยไทย. http://www.tnrr.in.th/?page=result_search&record_id=146963 (24 ตุลาคม 2560).
- สำนักงานสถิติ จังหวัดมหาสารคาม. 2561. สถิติการเกษตรและการประมง. รายงานสถิติจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2561. http://mahasarakham.nso.go.th/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=435 (25 เมษายน 2562).
- AOAC. 1999. *Official methods of analysis*. Washington D.C: Association of Official Analytical Chemists.
- Bag, S. K., Srivastav, P. P., and Mishra, H. N. 2011. Optimization of process parameters for foaming of bale (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. *Food and Bioprocess Technology* 4(8): 1450-1458.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., and Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6(4): 420-428.

- 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. *Asian Journal of Dairy Food Research* 34(1): 39-43.
- Chen, H. 2002. Formation and properties of casein films and coatings. In *Protein-based films and coatings*, A. Gennadios, ed. pp. 181-211. Boca Raton: CRC Press.
- Descamps, N., Palzer, S., Roos, Y. H., and Fitzpatrick, J. J. 2013. Glass transition and flowability/caking behavior of maltodextrin DE 21. *Journal Food Engineering* 119(1): 809-813.
- Durian, D. J. 1995. Foam mechanics at the bubble scale. *Physical Review Letters* 75(26): 4780-4783.
- Eskin, N. A. M., and Shahidi, F. 2013. *Biochemistry of Food*. London: Academic Press.
- Fabra, M. J., Talens, P., and Chiralt, A. 2010. Water sorption isotherms and phase transitions of sodium caseinate-lipid films as affected by lipid interactions. *Food Hydrocolloid* 24(4): 384-391.
- 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. *Journal of Food Engineering* 158(3): 48-57.
- Greminger, J. K. G., and Krumel, K. L. 1980. Alkyl and hydroxyalkyl cellulose. In *Handbook of water-soluble gums and resins*, R. L. Davidson, ed. pp.1-25. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Hart, M. R., Graham, R. P., Ginnette, L. E., and Morgan, A. I. 1963. Foams for foam-mat drying. *Food Technology* 17(10): 90-92.
- Jaya, S., and Das, H. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal Food Engineering* 63(2): 125-134.
- Karim, A. A., and Wai. C. C. 1999. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. *Food Chemistry* 64: 337-343.
- Lewicki, P. P. 2004. Water as the determinant of food properties. *Journal Food Engineering* 61(4): 483-495.
- Lobo, F. A., Nascimento, M. A., and 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.
- Lopez-malo, A., Palou, E., Barbosa-Canovas, G. V., Welti-Chanes, J., and Swanson, B. G. 1998. Polyphenol oxidase activity and color changes during storage of high hydrostatic pressure treated avocado puree. *Food Research International* 31(3): 549-556.
- Marinova, K. G., Basheva, E. S., Nenova, B., Temelska, M., and Mirarefi, A. Y. 2009. Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food hydrocolloid* 23(7): 1864-1876.
- McKenna, A. B., Lloyd, R. J., Munro, P. A., and Singh, H. 1999. Microstructure of whole milk powder and of insoluble detected by powder functional testing. *Scanning* 21(5): 305-315.
- Ng, M. L., and Sulaiman, R. 2018. Development of beetroot powder using foam-mat drying. *LWT - Food Science and Technology* 88: 80-86.
- Rajkumar, P., Kailappan, R., Vishwanathan, R., Raghavan, G. S. V., and Ratti, C. 2007. Foam-mat drying of Alphonso mango pulp. *Drying Technology* 25(2): 357-365.
- Sabhadinde, V. N. 2014. The physicochemical and storage properties of spray-dried orange juice powder. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* 4(4): 153-159.
- Sangamithra, A., Venkatachalam, S., John, S. G., and Kuppuswamy, K. 2015. Foam-mat drying of food materials: a review. *Journal of Food Processing and Preservation* 39: 3165-3174.
- Sankat, C. K., and Castaigne, F. 2004. Foaming and drying behavior of ripe bananas. *LWT - Food Science and Technology* 37: 517-525.
- USDA. 2019. National nutrient database for standard reference legacy release. USDA food composition databases. [https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list/?manu=&fgcd=&ds=&qlookup=Yambean%20\(jicama\),%20raw](https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list/?manu=&fgcd=&ds=&qlookup=Yambean%20(jicama),%20raw) (26 April 2019).

วันรับบทความ (Received date) : 5 ก.พ. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 29 เม.ย. 62

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 24 มิ.ย. 62