

การศึกษาสภาวะการผลิตผงฝ้ายแห้งเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมจากเมล็ดบักวีต

ขวัญชนก เจริญสันติสุข¹, วรรณสวัสดิ์ รัฐพิทักษ์สันติ^{1*} และนันทวัน เทอดไทย¹

¹ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*wannasawat.r@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้ง 2 วิธี (การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ) ร่วมกับวิธีการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะการอบแห้งฝ้ายสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมล็ดบักวีต โดยฝ้ายแห้งต้องมีปริมาณความชื้น ไม่เกิน 10% และมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 850 -1,180 ไมโครเมตร พบว่า การลวกฝ้าย 0.5 นาที ก่อนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศที่กำลัง 460 วัตต์ นาน 25 นาที ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด (7.50±0.88%) ผงฝ้ายแห้งมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.29±0.01 ค่าสี L* 41.68±0.28, a* -0.28±0.16 และ b* 10.08±0.47 ค่าความสามารถในการละลายน้ำสูงสุด (37.99±2.05%) และปริมาณโปรตีนสูงสุด (29.23±0.65%, ฐานแห้ง) เมื่อเติมผงฝ้ายแห้ง 0.09% ในเครื่องดื่มจากเมล็ดบักวีตร่วมกับการเติมกลิ่นรสมีทละ 0.84% พบว่าผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏและสี กลิ่นรสมีทละรสชาติ ความชื้นหนืด และความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.46±0.73 – 7.51±1.0) โดยคุณค่าทางโภชนาการของเครื่องดื่มจากเมล็ดบักวีตกลิ่นรสมีทละผสมฝ้าย 100 มิลลิลิตร มีพลังงาน 56 กิโลแคลอรี ไขมัน 0.63 กรัม โปรตีน 1.06 กรัม และน้ำตาลทั้งหมด 5.63 กรัม ดังนั้นผงฝ้ายที่พัฒนาได้สามารถนำไปประยุกต์ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากพืชได้ โดยให้ปริมาณโปรตีนและความสามารถในการละลายน้ำสูง ซึ่งกลิ่นรสเฉพาะตัวของผงฝ้ายสามารถเข้ากันได้กับกลิ่นรสมีทละ

คำสำคัญ: ฝ้าย เทคโนโลยีการอบแห้ง เครื่องดื่มนมจากพืช มีทละ

Study of Drying Conditions for dried *Wolffia arrhiza* powder Used in Buckwheat Milk Beverage

Kwanchanok Charoensantisuk¹, Wannasawat Ratphitagsanti^{1*} and Nantawan Therdthai¹

¹Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University

*wannasawat.r@ku.th

Abstract

This research investigated 2 different drying technologies (hot air drying and microwave-vacuum drying) in combined with blanching as a pre-treatment. The objective was to identify suitable drying conditions for *Wolffia* powder intended to use in buckwheat-based milk beverage. Dried *Wolffia* was required to have less than 10% moisture content and particle sizes ranging from 850 to 1,180 micrometers. Results indicated that blanching *Wolffia* for 0.5 minute prior to microwave-vacuum drying at 460 watts for 25 min provided the highest yield ($7.50 \pm 0.88\%$). Physical quality was determined as water activity of 0.29 ± 0.01 and color values (L^* 41.68 ± 0.28 , a^* -0.28 ± 0.16 and b^* 10.08 ± 0.47). This drying condition provided *Wolffia* powder with the highest water solubility ($37.99 \pm 2.05\%$) and protein content ($29.23 \pm 0.65\%$, dry basis). Incorporating 0.09% of the dried *Wolffia* powder into the buckwheat-based milk beverage along with 0.84% matcha flavor resulted in liking scores from sensory evaluation on appearance & color, matcha flavor, taste, viscosity and overall liking between 6.46 ± 0.73 and 7.51 ± 1.0 . Nutritional composition per 100 ml of the beverage was 56 kcal of energy, 0.63 g of fat, 1.06 g of protein, and 5.63 g of total sugar. *Wolffia* powder obtained from this study could be applied in plant-based milk products. It possessed the high protein content and good water solubility. Distinctive aroma of *Wolffia* powder could enhance matcha flavor in the beverage.

Keywords: *Wolffia arrhiza* L. Wimm., Drying technology, Plant-based milk beverage, Matcha

1. บทนำ

แนวโน้มการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกเป็นมิตรต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์นมจากพืช (Plant-based milk) ซึ่งตอบโจทย์สำหรับผู้บริโภคที่มีข้อจำกัดในการบริโภคนมจากสัตว์ เช่น ผู้แพ้โปรตีนนมวัว ผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติ หรือผู้ที่ต้องการลดปริมาณไขมันอิ่มตัวในอาหาร [1] ทั้งนี้ จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2564 ตลาดนมจากพืชในประเทศไทยมีมูลค่าสูงถึง 23,633.9 ล้านบาท และคาดว่าจะขยายตัวเฉลี่ยสะสม (Compound annual growth rate: CAGR) ร้อยละ 4.6 ต่อปี ในช่วงปี พ.ศ. 2564–2569 ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของตลาดดังกล่าวในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ครอบคลุมกลุ่มผู้บริโภคที่กว้างขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์นมจากพืชบางชนิดยังมีข้อจำกัดด้านปริมาณโปรตีนเมื่อเปรียบเทียบกับนมจากสัตว์ ดังนั้น การคัดเลือกวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะด้านโปรตีน จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพซึ่งบัควีต (Buckwheat) เป็นพืชตระกูลธัญพืชเทียมที่มีคุณสมบัติเด่น

ด้านการต้านอนุมูลอิสระและช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด มีใยอาหาร แร่ธาตุ และสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ และฝำ (*Wolffia globosa* L.) เป็นพืชขนาดเล็กที่จัดเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูง มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน และมีศักยภาพในการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เสริมโปรตีน ทั้งนี้ฝำสดมีอายุการเก็บสั้น เนื่องจากมีความชื้นสูง 94% จากงานวิจัยของวันเพ็ญและคณะ (2560) [2] พบว่าการลวกฝำสดในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 % ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ส่งผลให้ปริมาณโปรตีน (ฐานเปียก) ลดลง 19.5% สารฟีนอลิกทั้งหมดลดลง 18.56% ปีตา-แคโรทีนลดลง 29% ในขณะที่ใยอาหารหยาบมีปริมาณเพิ่มขึ้น 2.58 เท่า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการผลิตฝำอบแห้งร่วมกับวิธีการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวก ที่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนและคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมจากเมล็ดบักวีต ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาอาหารทางเลือกเพื่อสุขภาพในปัจจุบัน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบและเครื่องมืออุปกรณ์

ฝำสด (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) จากจังหวัดหนองคาย บรรจุในถุงพลาสติกสภาวะแช่เย็นและบรรจุในกล่องกระดาษพร้อมแผ่นเจลเย็น และบักวีตที่ผ่านการกระเทาะเปลือก (hulled buckwheat) นำเข้าโดยบริษัท Organic Pavilion จากประเทศจีน บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิทเก็บที่อุณหภูมิห้อง

เครื่องมือที่ใช้ในการอบแห้ง คือเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด (Frecon , รุ่น BWS-Model , Thailand) และเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ยี่ห้อ March-cool , Thailand) และเครื่องปั่นผสมอาหารแบบควบคุมอุณหภูมิ (Thermomix ,รุ่นTM-6, Vorwerk, France)

2.2 การศึกษาผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของฝำอบแห้ง

การเตรียมตัวอย่างฝำสดโดยล้างในน้ำสะอาด 3 ครั้ง หรือจนกว่าน้ำจะใส แช่ฝำสดในสารละลายเกลือความเข้มข้น 1% นาน 10 นาที แล้วสะเด็ดน้ำ จากนั้นแบ่งฝำสดออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกแบ่งซังไว้โดยไม่ลวก อีกส่วนนำไปลวกที่อุณหภูมิน้ำเดือด นาน 30 วินาที (น้ำหนักเริ่มต้น 1 กิโลกรัม) ก่อนนำไปอบแห้งโดยเทคโนโลยีอบแห้ง 2 วิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ แสดงดังตารางที่ 1 โดยการอบแห้งด้วยลมร้อน ศึกษาอุณหภูมิอบแห้งที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ ศึกษา กำลังของเครื่องที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (210, 330 และ 460 วัตต์)

- (1) การอบแห้งด้วยลมร้อน นำฝำสดใส่ถาด ถาดละ 50 กรัม จากนั้นแผ่เพื่อเกลี่ยให้บาง 2-3 มิลลิเมตร ใช้ถาดที่มีรูเปิดเพื่อให้เกิดการถ่ายเทของลมร้อนในเครื่องอบแห้งได้กระจายตัวสม่ำเสมอ ที่อุณหภูมิ 50,60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งนาน 7, 4 และ 3.5 ชั่วโมง ตามลำดับ เก็บตัวอย่างฝำอบแห้งในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ชนิดซิปล็อคที่อุณหภูมิห้อง
- (2) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ ชั่งน้ำหนักฝำสด 50 กรัมศึกษาสภาวะการอบแห้งที่กำลัง 210,330 และ 460 วัตต์ เวลาในการอบแห้งคือ 0.62,0.48 และ 0.42 ชั่วโมง ตามลำดับ

วิเคราะห์คุณภาพของฝำอบแห้งดังต่อไปนี้

ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น DP-400 ยี่ห้อ Konica Minolta ประเทศญี่ปุ่น) บรรจุตัวอย่างใส่ลงในภาชนะทึบ เกลี่ยตัวอย่างจนเกือบเต็มกระบอก นำเครื่องวัดสีกดทับตัวอย่างจนแนบสนิท บันทึกค่าสีในระบบ CIE L^* a^* และ b^* จากนั้นคำนวณค่า ΔE^* โดยใช้ฝำสดเป็นตัวอย่างอ้างอิง วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ตามวิธี AOAC (2023) ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC., 2023) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity; a_w) โดยใช้ตัวอย่างจนถึงขอบในดิสก์ปิดฝาโดยใช้เครื่องวัด Water activity analyzer (รุ่น CX3TE ยี่ห้อ Aqualab) ที่อุณหภูมิห้อง 25 ± 1 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถใน

การละลาย (water solubility index ; WSI) นำตัวอย่างผำหลังอบมาร้อนด้วยตะแกรง ซึ่งตัวอย่าง 0.1 กรัม น้ำ 12 กรัม ใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยงชนิดกันแหลม แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงที่ 5000 g เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำสารละลายส่วนบนหลังผ่านการแยกชั้นเทใสในถ้วยอะลูมิเนียม นำไปอบแห้งที่ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ [3] คำนวณค่าความสามารถในการละลายตามสมการ (1)

$$WSI (\%) = \frac{\text{น้ำหนักของของแข็งละลายที่ละลายได้ในน้ำ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น (กรัม)}} \quad (1)$$

ตารางที่ 1 สภาวะการอบแห้งผำสดด้วยเทคโนโลยีการอบแห้ง 2 วิธี

เทคโนโลยีการอบแห้ง	การเตรียมตัวอย่างก่อนอบ	สภาวะการอบแห้ง
การอบแห้งด้วยลมร้อน	ไม่ลวก	50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง
		60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง
		70 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง
	ลวก 30 วินาที	50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง
		60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง
		70 องศาเซลเซียส นาน 3.30 ชั่วโมง
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ	ไม่ลวก	210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง
		330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง
		460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง
	ลวก 30 วินาที	210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง
		330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง
		460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง

2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องต้มนมบักวีตกลั่นรสมีตะกั่วผงผำอบแห้ง ซึ่งน้ำหนักและนำบักวีตดิบมาแช่น้ำสะอาด นาน 30 นาที สะเด็ดน้ำแล้วนึ่งที่เตาหนึ่งอุณหภูมิน้ำเดือด 98-100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที นำมาปั่นรวมกับน้ำ สัดส่วน บักวีตต่อน้ำ 1:3 ด้วยเครื่องปั่นผสมและให้ความร้อนอัตโนมัติ ตั้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วประมาณ 10,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตีผสมรวมส่วนผสมอื่นๆ ตามสูตรได้แก่ ผงผำอบแห้ง ผงมีตะกั่ว เกลือ และน้ำผึ้ง ปรับอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบประมาณ 3,100 รอบต่อนาที ปั่นเป็นเวลา 6 นาที จนได้เนื้อสัมผัสที่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้เย็นลงทันที เมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส จึงบรรจุลงในขวดพลาสติกชนิด PET ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ศึกษาอัตราส่วนของนมบักวีตต่อน้ำ 3 ระดับ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ได้แก่ อัตราส่วน 1:0.8, 1:1 และ 1:1.2 โดยกำหนดให้ส่วนผสมอื่นๆ ในสูตรมีค่าคงที่ (น้ำผึ้ง 6.48% ผงผำอบแห้ง 0.09% ผงมีตะกั่ว 0.84% และเกลือ 0.09%) วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้ ปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ค่าสี และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ สีและลักษณะปรากฏ กลิ่นรสมีตะกั่ว รสหวาน ความข้นหนืด และความชอบโดยรวม โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า จากนั้นนำเครื่องต้มนมจากเมล็ดบักวีตกลั่นรสมีตะกั่วผำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ (ไขมัน โปรตีน และน้ำตาลทั้งหมด) ตามวิธีการของ AOAC (2023) และคำนวณปริมาณพลังงาน

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ การทดลองวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี จำนวน 3 ซ้ำ แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดย one-way analysis of variance (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 23, SPSS inc., Chicago, IL, USA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple-range test

4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า กระบวนการเตรียมผ้าโดยการล้าง แขนในสารละลายน้ำเกลือความเข้มข้น 1% นาน 10 นาที และลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 วินาที ช่วยลดกลิ่นเหม็นเขียว มีสีเขียวอ่อนตามธรรมชาติ โดยยังคงลักษณะปรากฏที่ดีของผ้าสด ปริมาณผลผลิตหลังการอบแห้งพบว่าอยู่ในช่วง 3.67–7.50% (ตารางที่ 3) ผงผ้าอบแห้งที่ใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนให้ค่า ΔE^* อยู่ในช่วง 6.04–11.04 ซึ่งมีค่ามากกว่าผงผ้าอบแห้งที่ใช้ไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่มีค่าอยู่ในช่วง 3.08–6.74 เนื่องจากกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนใช้เวลานาน (3.5–7 ชั่วโมง) ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของสารประกอบที่ไวต่อความร้อน เช่น คลอโรฟิลล์ และสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ที่สลายตัวเมื่อได้รับความร้อนต่อเนื่องเป็นเวลานาน และการสะสมพลังงานความร้อนอย่างช้าๆ มีผลให้เกิดการสลายตัวของเม็ดสีสีเขียว และเกิดการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดร่วมด้วย ทำให้ตัวอย่างมีสีคล้ำขึ้นและมีความแตกต่างจากผ้าสดที่ใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง ในขณะที่การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศให้พลังงานความร้อนอย่างรวดเร็ว ช่วยรักษาสีคลอโรฟิลล์ได้ อย่างไรก็ตาม ผ้าสดที่ไม่ผ่านการลวกและอบแห้งด้วยลมร้อนมีค่า ΔE^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผ้าสดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิน้ำเดือด นาน 30 วินาที ก่อนอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ การลวกช่วยหยุดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ เช่น เพอร์ออกซิเดส และแคทาเลสและช่วยรักษารงควัตถุในผ้า เช่น แคโรทีนอยด์ ไม่ให้เสื่อมสภาพระหว่างกระบวนการอบแห้ง [4] ผงผ้าอบแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.57–7.36 ทั้งยังพบว่าการลวกก่อนการอบแห้งสามารถส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนในโครงสร้างภายในของเนื้อวัตถุดิบได้ดี [5] ในส่วนของค่าอوترแอคตีวิตี้ของทุกสภาวะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25–0.29 (ตารางที่ 3) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศช่วยรักษาค่าความสว่างของสีได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน ลดการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและออกซิเดชันของรงควัตถุได้ [4] นอกจากนี้ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศส่งผลให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำมีค่าสูงที่สุด กลไกสำคัญคือการเกิดแรงดึง (capillary flow) จากภายในเนื้อผ้าที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำให้เมื่อคืนสภาพ ผงผ้าอบแห้งสามารถดูดซับน้ำและละลายได้อย่างรวดเร็ว [5] การลวกก่อนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ ส่งผลให้ผงผ้ามีคุณลักษณะที่ดีทางกายภาพรวมถึงสมบัติเชิงหน้าที่

ตารางที่ 3 ปริมาณผลผลิต ปริมาณความชื้น และค่าอوترแอคตีวิตี้ของผงผ้าอบแห้งที่ได้จากเทคโนโลยีการอบแห้ง 2 วิธี

เทคโนโลยีการอบแห้ง	การเตรียมตัวอย่างก่อนอบแห้ง	สภาวะการอบแห้ง	ปริมาณผลผลิต (%)	ความชื้น (%)	ค่าอوترแอคตีวิตี้
การอบแห้งด้วยลมร้อน	ไม่ลวก	50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง	4.16 $\pm$ 0.51 ^d	6.89 $\pm$ 1.23 ^{ab}	0.28 $\pm$ 0.01 ^{abcd}
		60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง	3.80 $\pm$ 0.38 ^d	6.75 $\pm$ 1.28 ^{ab}	0.28 $\pm$ 0.01 ^{abc}
		70 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง	4.60 $\pm$ 0.89 ^{cd}	6.67 $\pm$ 1.37 ^{ab}	0.26 $\pm$ 0.02 ^{abcd}

ตารางที่ 3 ปริมาณผลผลิต ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผงฝักรอบแห้งที่ได้จากเทคโนโลยีการอบแห้ง 2 วิธี (ต่อ)

เทคโนโลยีการอบแห้ง	การเตรียมตัวอย่างก่อนอบแห้ง	สภาวะการอบแห้ง	ปริมาณผลผลิต (%)	ความชื้น (%)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ	ลวก 30 วินาที	50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง	3.67±0.23 ^d	6.80±0.19 ^{ab}	0.26±0.02 ^{bcd}
		60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง	4.75±0.74 ^{cd}	7.36±0.70 ^{ab}	0.26±0.01 ^{cd}
		70 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง	4.68±0.10 ^{cd}	6.44±0.72 ^{ab}	0.28±0.01 ^{abc}
	ไม่ลวก	210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง	6.25±1.08 ^{ab}	5.57±0.35 ^b	0.26±0.03 ^{abcd}
		330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง	6.68±1.85 ^{ab}	6.26±0.63 ^{ab}	0.27±0.01 ^{abcd}
		460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง	6.46±0.15 ^{ab}	6.62±1.36 ^{ab}	0.28±0.008 ^{ab}
	ลวก 30 วินาที	210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง	6.18±0.13 ^{ab}	6.79±0.85 ^{ab}	0.25±0.02 ^d
		330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง	7.16±0.51 ^a	6.38±0.60 ^{ab}	0.27±0.025 ^{abcd}
		460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง	7.50±0.88 ^a	6.73±0.81 ^{ab}	0.29±0.01 ^a

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 1 สีและลักษณะปรากฏของผงฝักรอบแห้งจากเทคโนโลยีการอบแห้ง 2 วิธี

ก. (สภาวะที่ 1-6) การอบแห้งด้วยลมร้อน ; สภาวะที่ 1 ลวก 30 วินาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง สภาวะที่ 2 ไม่ลวก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง สภาวะที่ 3 ลวก 30 วินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง สภาวะที่ 4 ไม่ลวก อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง สภาวะที่ 5 ลวก 30 วินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง สภาวะที่ 6 ไม่ลวก อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง

ข. (สภาวะที่ 7-12) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ ; สภาวะที่ 7 ลวก 30 วินาที กำลัง 210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง สภาวะที่ 8 ไม่ลวก กำลัง 210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง สภาวะที่ 9 ลวก 30 วินาที กำลัง 330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง สภาวะที่ 10 ไม่ลวก กำลัง 330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง สภาวะที่ 11 ลวก 30 วินาที กำลัง 460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง สภาวะที่ 12 ไม่ลวก กำลัง 460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ผงผำอบแห้งที่ได้จากสภาวะการอบแห้งต่างๆ

เทคโนโลยีการอบแห้ง	การเตรียมตัวอย่างก่อนอบแห้ง	สภาวะการอบแห้ง	ปริมาณโปรตีน (%) ,ฐานแห้ง	ค่าความสามารถในการละลายน้ำ (%)
การอบแห้งด้วยลมร้อน	ไม่ลวก	50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง	25.93± 0.88 ^{bcd}	19.81±0.21 ^d
		60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง	25.78 ±0.50 ^{cd}	18.71±0.81 ^{de}
		70 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง	26.19±0.31 ^{bc}	17.64±0.80 ^e
	ลวก 30 วินาที	50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง	26.01±0.47 ^{bcd}	19.73±0.40 ^d
		60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง	26.10±0.18 ^{bcd}	19.78±0.17 ^d
		70 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง	25.76±0.08 ^{cd}	17.29±0.45 ^e
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ	ไม่ลวก	210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง	25.20±0.73 ^{cd}	26.86±0.71 ^c
		330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง	25.53±0.90 ^{cd}	27.61±1.09 ^{bc}
		460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง	25.46±0.32 ^{cd}	36.44±1.72 ^a
	ลวก 30 วินาที	210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง	26.64±0.36 ^{bc}	27.15±0.73 ^{bc}
		330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง	27.31±0.44 ^b	29.17±0.37 ^b
		460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง	29.23±0.65 ^a	37.99±2.05 ^a

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4 พบว่าปริมาณโปรตีนของผงผำอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ กำลัง 460 วัตต์ เป็นเวลา 0.42 ชั่วโมง มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (29.23 ± 0.79%,ฐานแห้ง) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการอบแห้งอื่นๆ (p<0.05) เนื่องจากกลไกการเกิดความร้อนจากการสั่นของโมเลกุลน้ำภายในเนื้อวัสดุ ทำให้ความร้อนกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นวัตถุดิบ ลดการเกิดจุดร้อน (hot spots) ที่อาจทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพ (thermal denaturation) และสูญเสียไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้บางส่วน [6] ดังนั้นการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศสามารถช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการได้ โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ผงผำอบแห้ง ค่าความสามารถในการละลายของสภาวะที่กำลัง 420 วัตต์พบมีค่าสูงกว่าสภาวะอื่นอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2017) ที่ระบุว่าโครงสร้าง micro-porous จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศสามารถเพิ่มค่าความสามารถในการละลาย ได้ถึง 15–40 % เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน [7] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cong et al. (2023) ที่พบว่าพลังงานระดับนี้สร้างโครงสร้างภายในที่หลวมและพรุน ส่งผลให้การแทรกซึมและการละลายของน้ำเร็วขึ้นอย่างชัดเจน [8]



ตารางที่ 5 ค่าสีและความแตกต่างของสีทั้งหมดของผงผ้าอบแห้งที่ได้จากเทคโนโลยีการอบแห้ง 2 วิธี

เทคโนโลยีการอบแห้ง	การเตรียมตัวอย่างก่อนอบ	สภาวะการอบแห้ง	L*	a*	b*	ΔE*
การอบแห้งด้วยลมร้อน	ไม่ลวก	50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง	42.18±0.57 ^{fgh}	-3.93±0.16 ^c	9.34±0.46 ^d	6.04±0.92 ^e
		60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง	40.69±1.42 ⁱ	-3.60±0.52 ^c	8.13±0.49 ^e	7.19±0.73 ^d
		70 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง	42.3±0.77 ^{fgh}	-4.03±0.29 ^{def}	10.02±0.86 ^{cd}	6.67±0.13 ^{de}
	ลวก 30 วินาที	50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง	40.54±0.66 ⁱ	-3.03±0.18 ^b	7.72±0.51 ^f	9.55±0.78 ^{bc}
		60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง	43.21±0.84 ^{de}	-4.12±0.16 ^{def}	9.94±0.48 ^{cd}	11.04±0.18 ^a
		70 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง	39.47±0.09 ^j	-2.71±0.16 ^a	6.72±0.2 ^g	9.13±2.06 ^c
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ	ไม่ลวก	210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง	45.08±0.39 ^b	-5.20±0.15 ^h	12.68±0.62 ^a	4.47±0.69 ^f
		330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง	44.18±0.96 ^c	-4.19±0.29 ^{def}	9.52±0.33 ^d	3.08±0.67 ^g
		460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง	46.17±0.61 ^a	-6.11±0.42 ^j	12.29±0.23 ^{ab}	3.16±0.22 ^g
		ลวก 30 วินาที	210 วัตต์ นาน 0.62 ชั่วโมง	42.57±0.78 ^{efg}	-4.29±0.27 ^{ef}	9.87±0.81 ^{cd}
	330 วัตต์ นาน 0.48 ชั่วโมง	43.86±0.55 ^{cd}	-5.52±0.15 ⁱ	12.02±0.60 ^{ab}	6.74±0.46 ^{de}	
		460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง	42.41±0.39 ^{efgh}	-4.15±0.21 ^{def}	9.76±0.30 ^{cd}	5.80±0.44 ^e

หมายเหตุ ^{a-j} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ สำหรับผลิตภัณฑ์ทางการค้าและอัตราส่วนนมจากเมล็ดบัวต่อน้ำที่ 1:0.8, 1:1 และ 1:1.2 เท่ากับ 8.0±0.2, 11.2±0.2, 9.0±0.2 และ 7.4±0.53 องศาบริกซ์ ตามลำดับโดยอัตราส่วนนมจากเมล็ดบัวต่อน้ำที่ 1:0.8 มีค่าของแข็งละลายน้ำสูงที่สุด ค่า L* ที่อัตราส่วนของนมจากเมล็ดบัวต่อน้ำ 1:1 (49.65±0.18) มีความใกล้เคียงกับค่า L* ของผลิตภัณฑ์ทางการค้า (49.70±0.40) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มีผลจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสูตรส่งผลต่อ ค่า a* (-1.03±0.76) และค่า b* (19.90±0.20) ที่อัตราส่วนของนมจากเมล็ดบัวต่อน้ำ 1:1 พบว่ามีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าเช่นกัน

ตารางที่ 6 ค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องต้มนมบัวตอกลิ้นรสมัทธะผสมผงผำอบแห้งเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า

อัตราส่วนของนมจาก เมล็ดบัวตอกต่อน้ำ	L*	a ^{ns}	b*
ผลิตภัณฑ์ทางการค้า	49.70±0.40 ^b	-0.96±0.25	19.85±0.45 ^a
1:0.8	46.53±0.35 ^c	-0.50±1.20	19.06±0.40 ^b
1:1	49.65±0.18 ^b	-1.03±0.76	19.90±0.20 ^a
1:1.2	52.50±0.50 ^a	-0.91±0.76	19.23±0.25 ^{ab}

หมายเหตุ ^{a-c} ในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{a-d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องต้มนมบัวตอกลิ้นรสมัทธะผสมผงผำอบแห้ง เริ่มจากการศึกษาอัตราส่วนน้ำนมบัวตอก-น้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ 1:0.8, 1:1 และ 1:1.2 เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมก่อนเติมผงผำอบแห้ง จากผลการประเมินความชอบโดยใช้ผู้ทดสอบไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 100 คน (ตารางที่ 7) พบว่าอัตราส่วนนมจากเมล็ดบัวตอกต่อน้ำ 1:1 ให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านรสหวาน (6.7±0.7), ความข้นหนืด (6.5±0.7) และความชอบโดยรวม (6.7±0.7) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นแสดงให้เห็นว่าเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม

ตารางที่ 7 คะแนนความชอบจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องต้มนมบัวตอกลิ้นรสมัทธะผสมผงผำอบแห้งเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า

(n = 100)

อัตราส่วนของนมจาก เมล็ดบัวตอกต่อน้ำ	สีและลักษณะ ปรากฏ	กลิ่นรสมัทธะ	รสหวาน	ความข้น หนืด	ความชอบโดยรวม
ผลิตภัณฑ์ทางการค้า	7.5±0.6 ^a	7.0±0.7 ^a	7.1±0.6 ^a	6.8±0.6 ^a	6.8±0.6 ^a
1 : 0.8	5.9±0.6 ^b	5.6±1.3 ^c	5.2±1.3 ^d	6.1±0.9 ^c	6.0±0.8 ^b
1 : 1	7.5±1.0 ^a	6.9±0.7 ^a	6.7±0.7 ^b	6.5±0.7 ^b	6.7±0.7 ^a
1 : 1.2	5.7±0.8 ^b	6.1±0.7 ^b	5.7±1.1 ^c	6.2±0.8 ^{bc}	6.2±0.6 ^b

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 7 ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มนมบัวตอกลิ้นรสมัทธะผสมผงผำอบแห้งที่อัตราส่วน 1:1 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีและลักษณะปรากฏ กลิ่นรสมัทธะ และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เครื่องต้มนมบัวตอกลิ้นรสมัทธะผสมผงผำอบแห้ง 100 มิลลิลิตร พบว่ามีปริมาณไขมัน 0.63 กรัม ปริมาณโปรตีน 1.06 กรัม และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 5.63 กรัม เมื่อคำนวณปริมาณพลังงานพบว่าเครื่องต้ม 100 มิลลิลิตร ให้พลังงานเท่ากับ 56 กิโลแคลอรี โดยผลิตภัณฑ์ทางการค้า (เครื่องต้มน้ำนมอัลมอนด์ รสมัทธะ) ปริมาตรสุทธิ 180 มิลลิลิตร มีพลังงาน 60 กิโลแคลอรี ปริมาณไขมัน 2.5 กรัม ปริมาณโปรตีน 1 กรัม และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 7 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรสุทธิ 180 มิลลิลิตรเท่ากัน ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าและปริมาณไขมันต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า อย่างไรก็ตามปริมาณพลังงานและน้ำตาลทั้งหมดมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า

5. สรุป

การเตรียมวัตถุดิบผงผำอบแห้งโดยการลวกในน้ำเดือด นาน 30 วินาที ก่อนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศที่กำลัง 460 วัตต์ นาน 0.42 ชั่วโมง ทำให้ผงผำอบแห้งมีความสามารถในการละลายน้ำสูงที่สุด ($37.99 \pm 2.05\%$) และปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ($29.23 \pm 0.65\%$, ฐานแห้ง) โดยมีปริมาณผลผลิตอยู่ที่ $7.50 \pm 0.88\%$ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมบัควีตกลิ่นรสมีผงผำอบแห้ง พบว่าอัตราส่วนนมบัควีตต่อน้ำที่ 1:1 ให้ค่า L^* และค่า b^* ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเท่ากับ 9.0 ± 0.2 องศาบริกซ์ และได้รับความชอบในด้านสีและลักษณะปรากฏ กลิ่นรสมีผง และความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.5 ± 1.0 , 6.9 ± 0.7 และ 6.7 ± 0.7 คะแนน) แสดงถึงศักยภาพในการใช้ประโยชน์วัตถุดิบผงผำอบแห้งในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากพืชเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2018). How well do plant-based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 10–20.
- [2] Saengthongpinit, W., Sricharoen, B., & Krangpreecha, M. (2017, February 1–3). *Effect of blanching in sodium chloride solution on phenolic content and antioxidant activity of water meal (Wolffia globosa)*. Paper presented at the 55th Kasetsart University Annual Conference, Bangkok, Thailand. (In Thai)
- [3] Elorrieta, F., Llerena, W., Vázquez, L., Jurado, D., & Vasco, M. (2022). Quality retention in pumpkin (*Cucurbita moschata*) powder dried by combined microwave–vacuum and hot-air drying. *Foods*, 11(4), 345.
- [4] Bhatt, P., Sharma, S., Grover, K., & Dhatt, A. (2023). Effect of blanching and drying methods on β -carotene, ascorbic acid and chlorophyll retention of leafy vegetables. *LWT – Food Science and Technology*, 33(4), 295–298.
- [5] Poojitha, P., & Athmaselvi, K. A. (2020). Effect of ohmic blanching on drying kinetics, physicochemical and functional properties of garlic powder. *Journal of Food Science and Technology*. 60(3), 845–855.
- [6] Lamb, J. M., & Hosney, R. C. (1982). Kinetics of nitrogen solubility loss in heated flour and protein isolates. *Journal of Food Science*, 47(4), 1237–1241.
- [7] Wang, W., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Sun, J. (2017). Microwave vacuum drying of carrot slices. *Drying Technology*, 35(12), 1463–1471.
- [8] Cong, Y., Liu, Y., Tang, Y., Ma, J., Wang, X., Shen, S., & Zhang, H. (2023). The effect of drying variables on the microwave–vacuum-drying characteristics of mulberries (*Morus alba* L.) Experiments and multivariate models. *Agriculture*, 13(9), 1843.