

ผลของความร้อนต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ
และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของฝัา และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

Effects of Heat on the Physicochemical Quality, Bioactive Compound Content and
Antioxidant Activity of Wolffia (*Wolffia globosa*) and Application in Snack Product

จิตรา สิงห์ทอง^{1,2*} ภูริวัจน์ ด้อยแมน¹ และ วรัญญา วะชุม¹

Jittra Singthong^{1,2*} Phuriwat Tuiman¹ and Waranya Wachum¹

¹สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190 ประเทศไทย

²ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมพื้นบ้าน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190 ประเทศไทย

¹Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

²Indigenous Food Research and Industrial Development Center, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University,
Ubon Ratchathani 34190, Thailand

*E-mail: jittra.w@ubu.ac.th

Received: Sep 09, 2024

Revised: Oct 07, 2024

Accepted: Oct 09, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของฝัา จากผลการวิจัยพบว่าการทำแห้งฝัาที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของฝัา ($p>0.05$) โดยฝัามีปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 20.36-20.35, 2.85-2.93, 9.79-9.84, 13.45-13.69 และ 30.97-31.40 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งฝัาส่งผลกระทบต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการทำแห้งฝัาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุด โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 3.35 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณฟลาโวนอยด์ 19.084 มิลลิกรัม สมมูลของแควอซิทินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณฟีนอลิก 20.62 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง รวมทั้งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP มีค่าเท่ากับ 15.69, 0.51 และ 6.51 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอคซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนคุณภาพทางด้านกายภาพพบว่าฝัาที่ทำแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่าง (L^*) ไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกับค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) จากนั้นได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิเสริมฝัา โดยการเติมฝัาที่ทำแห้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสลงไปในการผลิตขนมขบเคี้ยว ร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 จากการศึกษาคุณภาพทางด้านเคมีของขนมขบเคี้ยวพบว่ามีความโปรตีน เถ้า และเยื่อใย ของขนมขบเคี้ยวเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเติมฝัาปริมาณเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: ฝัา คุณภาพทางเคมีกายภาพ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

Abstract

This study investigated the effects of drying temperature on the physicochemical quality, bioactive compound content and antioxidant activity of Wolffia (*Wolffia globosa*). The results revealed that drying at 40, 50 and 60°C did not significantly affect the approximate chemical composition of Wolffia ($p>0.05$). The protein, fat, fiber, ash and carbohydrate contents of Wolffia were found to be 20.35-20.36%, 2.85-2.93%, 9.79-9.84%, 13.45-13.69% and 30.97-31.40%, respectively. However, the drying temperature significantly affected bioactive compound contents ($p\leq 0.05$). Wolffia dried at 40°C had the highest bioactive compound content, with total chlorophyll content of

3.35 mg/g dry weight, flavonoid content of 19.084 mg quercetin equivalent/g dry weight and phenolic content of 20.62 mg gallic acid equivalent/g dry weight. Additionally, the antioxidant activity, measured by DPPH, ABTS and FRAP assays, was 15.69, 0.51 and 6.51 mg trolox equivalent/g dry weight, respectively. For physical quality, it was observed that *Wolffia* dried at different temperatures tended to exhibit a decrease in brightness (L^*) value as the temperature increased. At 50 and 60°C, the brightness (L^*) and yellowness (b^*) values were not statistically different. Subsequently, a snack product was developed from jasmine rice supplemented with *Wolffia* dried at 40°C. The dried *Wolffia* was added to the snack product at 0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10%. From chemical quality analysis, it was found that snack product's protein, ash and fiber contents increased depending on the amount of supplemented *Wolffia*.

Keywords: *Wolffia*, Physicochemical quality, Bioactive compound, Antioxidant activity, Snack product

1. บทนำ

ผำ (*Wolffia*, *Wolffia globosa*) เป็นพืชน้ำมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีการบริโภคและถูกนำมาเป็นวัตถุดิบพื้นบ้านในการประกอบอาหารของไทยมาเป็นเวลานาน โดยเฉพาะในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีการนำผำมาประกอบอาหารรูปแบบต่าง ๆ มากมาย เช่น ไข่เจียวแกง และ สลัด เป็นต้น นอกจากนั้นผ่ายังมีการรับประทานในรูปแบบอาหารเพื่อสุขภาพในกลุ่มมังสวิรัต (Vegetarian) และไม่ใช่มังสวิรัต (Non-Vegetarian) [1] เนื่องจากผำเป็นพืชน้ำที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ราคาถูก และมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง โดยเฉพาะโปรตีน และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) [2] ปริมาณไขมันต่ำ และใยอาหารสูง [3] รวมทั้งมีกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกายสำหรับผู้ใหญ่ ได้แก่ ไอโซลิวซีน (Isoleucine) ลิวซีน (Leucine) ลิวซีน (Lysine) วาลีน (Valine) เมไทโอนีน (Methionine) ทริปโตเฟน (Tryptophan) ทรีโอนีน (Threonine) และ ฟีนีลอลานีน (Phenylalanine) [3] นอกจากนั้นยังพบว่าผำมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวกลุ่ม โอเมก้า 3 มากกว่า โอเมก้า 6 [2] ซึ่งปริมาณโอเมก้า 3 สูง มีส่วนช่วยด้านการอักเสบ จึงสามารถช่วยในการรักษาโรคข้ออักเสบเรื้อรัง เช่น โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ (Rheumatoid arthritis) [4] ด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่หลากหลายของผำ อีกทั้งตลาดโปรตีนจากพืชที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุผลจากพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป ไม่ว่าจะเป็นการหันมาสนใจกับสุขภาพและให้ความสำคัญกับอาหารการกินมากขึ้น โดยลดการกินเนื้อสัตว์แล้วหันมาบริโภคโปรตีนจากพืชแทน ซึ่งโปรตีนจากพืช เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมเพราะดูดซึมง่าย ทั้งยังมีใยอาหารที่ได้จากพืช ซึ่งจะช่วยให้ระบบขับถ่ายอยู่ในภาวะสมดุล ลดอาการท้องผูก ลดการดูดซึมของคอเลสเตอรอลและไขมันอีกด้วย ผำจึงเหมาะแก่การใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์

แม้ผำจะมีข้อดีมากมาย แต่ก็ยังไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค สาเหตุหลักมีหลายประการ เช่น แหล่งที่ใช้ในการเพาะปลูกผำ สารอาหารในแหล่งน้ำ ความสะอาด และการจัดเก็บรักษาผำ เนื่องจากผำมีผนังเซลล์ที่บาง อาจเกิดความเสียหายได้ง่ายในการเคลื่อนย้าย อีกทั้งหากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิในการจัดเก็บ ผำจะเน่าเสียได้ง่าย ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำผำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ดังนั้นการทำให้ผำเป็นที่นิยมและมีการบริโภคมากขึ้น ควรมีการปรับปรุงกระบวนการเพาะเลี้ยงให้มีประสิทธิภาพและควบคุมคุณภาพแหล่งน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ ควรมีการพัฒนากระบวนการจัดเก็บและขนส่งที่รักษาคุณภาพของผำให้ได้มากที่สุด เช่น การใช้อุปกรณ์จัดเก็บที่เหมาะสมและการควบคุมอุณหภูมิในการขนส่ง อีกทั้งควรมีการส่งเสริมความรู้และประโยชน์ของการบริโภคผำให้แก่ผู้บริโภคผ่านช่องทางต่าง ๆ การพัฒนาการจัดเก็บและการขนส่ง รวมถึงการส่งเสริมความรู้แก่ผู้บริโภค จะช่วยให้ผำเป็นที่นิยมมากขึ้นและมีการบริโภคอย่างแพร่หลายในอนาคต

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในทุกวัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มเด็กและวัยรุ่น ด้วยความสะดวกในการบริโภคและรสชาติที่หลากหลาย ขนมขบเคี้ยวไม่ได้เป็นเพียงแค่การเติมพลังงานระหว่างมื้ออาหารเท่านั้น แต่ยังเป็นสัญลักษณ์ของการพักผ่อนและความสนุกสนาน อย่างไรก็ตาม ด้วยความกังวลเกี่ยวกับสุขภาพที่เพิ่มขึ้น ผู้บริโภคเริ่มหันมาสนใจขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น เช่น ขนมที่มีส่วนผสมของธัญพืช ผัก หรือผลไม้แห้ง การพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพนี้ไม่เพียงแต่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ แต่ยังเปิดโอกาสให้กับผู้ผลิตในการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และสารต้านอนุมูลอิสระของผำ เพื่อการยืด

อายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้อย่างยั่งยืน โดยการควบคุมอุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผ้าในด้านคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังศึกษาผลของปริมาณผ้าต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยว โดยศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิตท้องถิ่นได้

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

ผ้าที่ใช้ในการศึกษานี้รับซื้อจากฟาร์มเพาะเลี้ยงของเกษตรกร บ้านกลางหมื่น จังหวัดกาฬสินธุ์ จากนั้นนำผ้าที่ได้มาล้างทำความสะอาด โดยล้างทำความสะอาดแบบเปิดน้ำไหลผ่านในผ้าขาวบาง 2 ชั้น เป็นเวลา 5 นาที นำผ้าที่ล้างทำความสะอาดแล้วไปแช่น้ำเกลือร้อยละ 5 เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการสเด็ดน้ำโดยการวางแผ่นตะแกรงเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปศึกษาการทำแห้งในสภาวะที่กำหนด

2.2. กระบวนการทำแห้งผ้า

นำผ้าจาก ข้อ 2.1. มาทำแห้งผ้าที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยมีการควบคุมความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 กระบวนการนี้ช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผ้าและป้องกันการเน่าเสีย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงสำหรับการนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป

2.3. การประยุกต์ใช้ผ้าในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิ

นำข้าวหอมมะลิมาล้างทำความสะอาดสิ่งแปลกปลอมก่อนการหุงโดยทำการล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง จากนั้นนำข้าวหอมมะลิมาซังให้ได้อัตราส่วนที่กำหนดโดยซังข้าวหอมมะลิ 1 ส่วน ต่อ น้ำ 2 และนำข้าวหอมมะลิผ่านกระบวนการทำให้สุกโดยวิธีให้ความร้อน จากนั้นผสมตามสูตร ซึ่งมีทั้งหมด 5 สูตร (S1-S5) ดังแสดงใน Table 1 ทำการนวดผสมส่วนผสมให้เข้ากัน นำไปขึ้นรูป และแช่เย็นทิ้งไว้ข้ามคืน นำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนผลิตภัณฑ์มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำขนมขบเคี้ยวที่ได้ไปให้พองกรอบด้วยไมโครเวฟสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2.4. การวิเคราะห์คุณภาพ

2.4.1. สี

สีของผ้าวัดโดยใช้เครื่องวัดสี (Chroma meter, Color Flex Model 45/0, USA) โดยพารามิเตอร์ที่วัดประกอบด้วย L* (ความมืด/ความสว่าง), a* (สีเขียว/สีแดง) และ b* (สีน้ำเงิน/สีเหลือง)

2.4.2. องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน เยื่อใย โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตตามวิธีของ the Association Official Analytical Chemists (AOAC, 2000) [5]

Table 1 Formulation of snack from jasmine rice with Woffia

Ingredient	Quantity (in %) of ingredients in each recipe				
	S1	S2	S3	S4	S5
Jasmine rice	94	91.5	89	86.5	84
Salt	1	1	1	1	1
Sugar	3	3	3	3	3
Wolffia	0	2.5	5	7.5	10
Garlic	1	1	1	1	1
Pepper	1	1	1	1	1

2.4.3. ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ศึกษา ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

1) การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์

สกัดตัวอย่างด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อแยกของแข็งที่ไม่ละลายออก และปรับปริมาตรของสารสกัดด้วยอะซิโตน (Acetone) ความเข้มข้นร้อยละ 80 ให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร หุ้มภาชนะบรรจุด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil) เพื่อป้องกันการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่ไวต่อแสง จากนั้นนำสารสกัดที่เตรียมไว้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร และ 663 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่น จากนั้นนำมาคำนวณดังนี้ [6]

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g/mL}) = 12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645})$$

$$\text{Chlorophyll b } (\mu\text{g/mL}) = 22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663})$$

$$\text{Total Chlorophyll } (\mu\text{g/mL}) = 20.2(A_{645}) + 8.02(A_{663})$$

เมื่อ

A₆₆₃ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

A₆₄₅ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร

2) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

สกัดตัวอย่างด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 หลังจากนั้นไปเตรียมน้ำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมมา 0.3 มิลลิลิตร เติมน้ำสารละลาย Folin-Ciocalteu เข้มข้น 1:10 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และสารละลาย Sodium carbonate เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที นำสารตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) และคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรง [7]

3) การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

สกัดตัวอย่างด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จากนั้นนำไปผสมกับน้ำกลั่น 1.25 มิลลิลิตร และสารละลาย Sodium nitrite เข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 0.075 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 นาที หลังจากนั้นเติมน้ำสารละลาย Aluminium chloride เข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที

เมื่อครบเวลา เติมน้ำสารละลาย Sodium hydroxide ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 0.275 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเคอควิซีน (Quercetin) และคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรง [8]

2.4.4. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษานี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 3 วิธี คือ วิธี DPPH วิธี ABTS และวิธี FRAP

1) การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี

DPPH

สกัดตัวอย่างด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จากนั้นเติมน้ำสารละลาย DPPH ลงในตัวอย่างที่สกัดและเขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox) และคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรง [8]

2) การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี

ABTS

สกัดตัวอย่างด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จากนั้นเตรียมน้ำสารละลาย ABTS reagent ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ และเตรียมน้ำสารละลาย potassium persulfate โดยผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 12-14 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตรให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.7 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปผสมกับตัวอย่างที่ผ่านการสกัดแล้ว เขย่าส่วนผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox) และคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรง [8]

3) การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี

FRAP

สกัดตัวอย่างด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จากนั้นเตรียมน้ำสารละลาย FRAP reagent โดยผสม 300 มิลลิโมลาร์ของ Acetate buffer pH 3.6, สารละลาย 20 มิลลิโมลาร์ของ Ferric chloride และสารละลาย 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) 10 มิลลิโมลาร์ใน 40 มิลลิโมลาร์ HCl ในอัตราส่วน 10:1:1 จากนั้นนำ FRAP reagent

ไปผสมกับตัวอย่างที่สกัดแล้ว เขย่าส่วนผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox) และคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรง [8]

2.5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดแสดงด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และทำการทดลอง 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ความแปรปรวนใช้วิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. คุณภาพของผ้าที่ผ่านการอบแห้ง

การศึกษาผลของอุณหภูมิทำแห้งต่อคุณภาพของผ้า โดยทำการศึกษาอุณหภูมิที่ต่างกันในการทำแห้งผ้า ที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.1.1. สี

ค่าสีเป็นค่าที่บ่งบอกลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง อีกทั้งยังสามารถบ่งบอกองค์ประกอบทางเคมีบางชนิดที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงจะสัมพันธ์กับค่า a^* ซึ่งแสดงความเป็นสีเขียว สำหรับการวัดค่าสีผ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ $L^*a^*b^*$ ดังแสดงใน Table 2, Table 3 และ Figure 1 สำหรับค่า L^* หรือค่าความสว่าง ถ้ามีค่าเป็น 100 แสดงถึงความเป็นสีขาวหรือความสว่าง แต่ถ้าเป็นค่า 0 จะแสดงถึงความเป็นสีดำหรือความมืด พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้น จะทำให้ค่า L^* มีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่า L^* เท่ากับ 37.23 และเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ค่า L^* จะลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 36.36 และ 35.31 ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผ้ามีความสว่างสูงสุด สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งพบว่าเมื่อทำแห้งผ้าที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ความสว่างลดลง [6] เนื่องจากเซลล์พืชเมื่อได้รับความร้อนจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) เป็นต้น กรดนี้จะเร่งปฏิกิริยา

ให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็น Pheophytin ทำให้ความสว่างลดลง ในส่วนของค่า a^* พบว่าผ้าที่นำไปอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยค่า a^* มีค่าเป็นลบ ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว สำหรับการทำให้แห้งที่ 40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีความเป็นสีเขียวมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าค่า b^* ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงินและสีเหลือง โดยถ้ามีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงความเป็นสีเหลือง แต่ถ้าเป็นค่าลบจะแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน พบว่าผ้าที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่า b^* เท่ากับ 23.18 ± 0.43 , 22.13 ± 0.27 และ 22.22 ± 0.31 ตามลำดับ ซึ่งการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่า b^* มีค่าเป็นบวก ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง สำหรับค่า C^* บ่งบอกความสดหรือความเข้ม (Chroma) ของสี โดยผ้าเมื่อผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่า C^* เท่ากับ 24.32 ± 0.45 , 23.21 ± 0.28 และ 23.05 ± 0.32 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ค่า h^* บ่งบอกค่าสีหลัก (Hue) โดยผ้าเมื่อผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่า h^* เท่ากับ 107.63 ± 0.22 , 107.54 ± 0.25 และ 105.41 ± 0.26 ซึ่งมีค่าเป็นโทนสีเขียว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ส่งผลต่อค่าสีของผ้า โดยที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีความสว่าง (L^*) สูงสุด และมีความเป็นสีเขียวสูงสุด ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูง ส่วนค่า b^* บ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง ไม่มีความแตกต่างกันมากนักในอุณหภูมิที่สูงขึ้น

3.1.2. องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ

องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) ของผ้าที่ทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ผลที่ได้แสดงใน Table 4 พบว่าผ้าที่ผ่านการทำให้แห้งแต่ละอุณหภูมิ มีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 20.36 ± 0.30 , 19.87 ± 0.19 และ 20.35 ± 0.90 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าปริมาณโปรตีนเฉลี่ยของผ้าในแต่ละสายพันธุ์มีตั้งแต่ร้อยละ 18.9 ถึง 36.5 [9]-[11] ผ้าที่ได้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 30.97 ± 0.10 , 31.40 ± 0.03 และ 31.01 ± 0.025 ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Xu et al. [12] พบว่าปริมาณโปรตีน และ คาร์โบไฮเดรต ขึ้นอยู่กับการเพาะเลี้ยงโดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตได้มากถึงร้อยละ 40 ต่อน้ำหนักแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Djaeni

and Sari [13] พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าจะทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการเพียงเล็กน้อย โดยการอบแห้งจะทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง เนื่องจากความร้อนจะส่งผลต่อโครงสร้างโปรตีนเกิดการครอสลิงค์ (Crosslink) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนส่งผลให้ปริมาณโปรตีนลดลง [14] จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนั้นยังมีปริมาณไขมันอยู่ในที่ร้อยละ 2.85 $\pm$ 0.07, 2.91 $\pm$ 0.11 และ 2.93 $\pm$ 0.07 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าปริมาณไขมันในผัวยูระหว่างร้อยละ 0.7 ถึง 5.3 ซึ่งในผัามีปริมาณไขมันที่ค่อนข้างต่ำ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) [2]

สำหรับปริมาณเยื่อใยในผัาพบว่าปริมาณร้อยละ 9.79 $\pm$ 0.008, 9.91 $\pm$ 0.008 และ 9.84 $\pm$ 0.007 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องงานวิจัยของ Gaigher et al. [15] ที่พบว่าปริมาณเยื่อใยในผัาพบตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง 15 สำหรับปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 13.45 $\pm$ 0.24, 13.50 $\pm$ 0.25 และ 13.69 $\pm$ 0.25 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งผัา พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีของผัา โดยมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ข้อมูลเหล่านี้บ่งชี้ว่าการทำแห้งผัาที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียสสามารถรักษาค่าทางโภชนาการของผัาได้อย่างดี

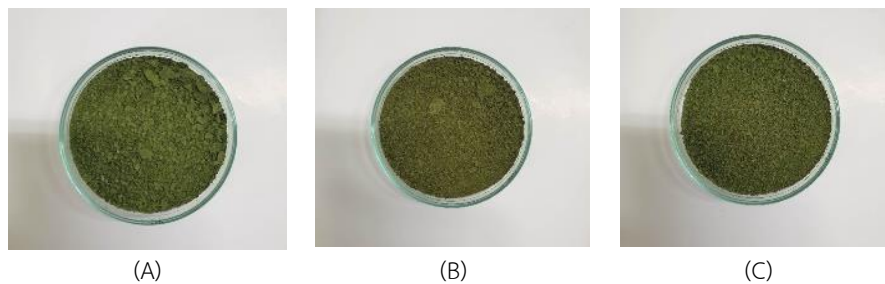


Figure 1 Color of Wolffia dried at different temperatures
(A) 40 °C; (B) 50 °C; (C) 60 °C

Table 2 Effect of drying temperature on the color quality of dried Wolffia

Temperature (°C)	Color		
	L*	a*	b*
40	37.23 $\pm$ 0.16 ^a	-7.40 $\pm$ 0.18 ^a	23.18 $\pm$ 0.43 ^a
50	36.36 $\pm$ 0.10 ^b	-6.99 $\pm$ 0.13 ^b	22.13 $\pm$ 0.27 ^b
60	35.31 $\pm$ 0.04 ^b	-6.12 $\pm$ 0.13 ^c	22.22 $\pm$ 0.31 ^b

Data are expressed as mean $\pm$ SD of five replication (n = 5).

Values with different letters in a column are significant differences ($p\leq 0.05$).

Table 3 Effect of drying temperature on the color freshness of dried Wolffia

Temperature (°C)	Color		
	L*	C*	h*
40	37.23 $\pm$ 0.16 ^a	24.32 $\pm$ 0.45 ^a	107.63 $\pm$ 0.22 ^a
50	36.36 $\pm$ 0.10 ^b	23.21 $\pm$ 0.28 ^b	107.54 $\pm$ 0.25 ^a
60	35.31 $\pm$ 0.04 ^b	23.05 $\pm$ 0.32 ^b	105.41 $\pm$ 0.26 ^b

Data are expressed as mean $\pm$ SD of five replication (n = 5).

Values with different letters in a column are significant differences ($p\leq 0.05$).

Table 4 Effect of drying temperature on proximate composition (in %) of Wolffia

Proximate composition	Temperature (°C)		
	40	50	60
Moisture ^{ns}	6.37±0.26	7.63±0.31	7.01±0.68
Protein ^{ns}	20.36±0.30	19.87±0.19	20.35±0.90
Fat ^{ns}	2.85±0.07	2.91±0.11	2.93±0.07
Ash ^{ns}	13.45±0.24	13.50±0.25	13.69±0.25
Fiber ^{ns}	9.79±0.01	9.91±0.01	9.847±0.01
Carbohydrates ^{ns}	30.97±0.10	31.40±0.03	31.01±0.03

Data are expressed as mean ± SD of three replication (n = 3).

^{ns}Not significantly different among values in each row ($p>0.05$)

3.1.3. ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

จากการศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระของผ้าที่ทำแห้งอุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ผลแสดงใน Table 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด เท่ากับ 3.35 ± 0.17 , 3.34 ± 0.10 และ 1.80 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg/g dry weight, mg/g DW) ตามลำดับ โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าการทำแห้งน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวหอมมะลิผึ่งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูงกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส [16] และงานวิจัยที่พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ Chlorophyllase ซึ่งทำงานได้ดีที่อุณหภูมิไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส ส่งผลให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงและปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง [6] สำหรับปริมาณฟลาโวนอยด์ของผ้าที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิพบว่ามีความเท่ากับ 19.084 ± 0.96 , 16.6052 ± 0.94 และ 15.992 ± 0.97 มิลลิกรัมสมมูลของเคอควิตินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg quercetin equivalent/g dry weight, mg QE/g DW) ตามลำดับ โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุดเท่ากับ 19.084 ± 0.96 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ($p\leq 0.05$) สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง จนก่อให้เกิดความเสียหายของเซลล์หรือเกิดการสลายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) [17] นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้อุณหภูมิสูงขึ้นไม่ส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด จากการที่ทำแห้งผ้าที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 20.62 ± 0.37 , 20.79 ± 0.84 และ 20.75 ± 0.37 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg gallic acid equivalent/g dry weight, mg GAE/g DW) ตามลำดับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าการทำแห้งเปลือกแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน [18]

3.1.4. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP ของผ้าที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส (Table 6) พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผ้ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 15.69 ± 0.44 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg Trolox equivalent/g dry weight, mg TE/g DW) รองลงมาที่ 50 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 9.79 ± 0.42 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 8.42 ± 0.68 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สำหรับการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี

FRAP ของผ้าที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 6.51 ± 0.49 และ 6.15 ± 0.33 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอคซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งผ้าไม่มีผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ($p>0.05$) โดยผ้าที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผ้าที่ทำแห้งอุณหภูมิอื่น ๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Taokaenchan et al. [19] ซึ่งทำการศึกษาอุณหภูมิในการใช้ออบชาแก่นฝาง ที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อมีการใช้อุณหภูมิในการอบที่สูงขึ้น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะมีค่าลดลง เนื่องจากสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่มีความไวต่ออุณหภูมิ จึงทำให้เมื่อใช้อุณหภูมิสูงจะส่งผลทำให้สารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสลายตัวไป [20] อย่างไรก็ตามมีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนกับเห็ดและพืชผักบางชนิดสามารถทำให้ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากความร้อนไปทำให้โครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระเปลี่ยนไป

และอาจส่งผลกระทบต่อความเสถียร และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ [21], [22] ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผ้าที่ได้ในแต่ละวิธีไม่สอดคล้องกัน อาจเนื่องมาจากสารในพืชที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีหลายชนิดทั้งมีขี้และไม่ขี้ ซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน

จากการศึกษาผลของการทำแห้งผ้าที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าการทำแห้งผ้าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผ้า ไม่ว่าจะเป็นปริมาณคลอโรฟิลล์ ฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระ การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบางอย่างลดลง เช่น คลอโรฟิลล์และฟลาโวนอยด์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการสลายตัวจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีความไวต่ออุณหภูมิสูงก็สลายตัวเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการทำแห้งผ้าที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นวิธีที่ดีในการรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผ้า ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการเตรียมอาหารที่มีคุณค่าสูงและเหมาะสมสำหรับการบริโภค

Table 5 Effect of drying temperature on bioactive compounds of dried Wolffia

Bioactive compounds	Temperature (°C)		
	40	50	60
Chlorophyll (mg/g DW)	3.35 ± 0.17^a	3.34 ± 0.10^a	1.80 ± 0.07^b
Flavonoid (mg QE/g DW)	19.08 ± 0.96^a	16.61 ± 0.94^b	15.99 ± 0.97^b
Phenolic (mg GAE/g DW)	20.62 ± 0.37^{ns}	20.79 ± 0.84^{ns}	20.75 ± 0.47^{ns}

Data are expressed as mean $\pm$ SD of three replication (n = 3).

^{ns}Not significantly different among values in each row ($p>0.05$)

Values with different letters in a row are significant differences ($p\leq0.05$).

Table 6 Effect of drying temperature on antioxidant activity of dried Wolffia

Antioxidant activity	Temperature (°C)		
	40	50	60
DPPH assay (mg TE/g DW)	15.69 ± 0.44^a	9.79 ± 0.42^b	8.42 ± 0.68^c
ABTS assay (mg TE/g DW)	0.51 ± 0.01^{ns}	0.51 ± 0.00^{ns}	0.51 ± 0.00^{ns}
FRAP assay (mg TE/g DW)	6.51 ± 0.49^a	6.15 ± 0.33^b	4.69 ± 0.39^c

Data are expressed as mean $\pm$ SD of three replication (n = 3).

^{ns}Not significantly different among values in each row ($p>0.05$).

Values with different letters in a row are significant differences ($p\leq0.05$).

3.2. การประยุกต์ใช้ผ้าในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิเสริมผ้า โดยนำผ้าที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ยังคงคุณภาพทางด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไว้มากที่สุดหลังการทำแห้ง โดยเติมผ้าลงไปในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 เพื่อศึกษาคุณภาพทางด้านเคมี และกายภาพ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.2.1. คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิเสริมผ้า

จากการศึกษาผลของปริมาณผ้าต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิเสริมผ้า โดยนำขนมขบเคี้ยวไปทำการพองกรอบด้วยไมโครเวฟจากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ผลแสดงดัง Table 7 การเสริมผ้าเข้าไปในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของขนมให้สูงกว่าท้องตลาดทั่วไป โดยคำนึงถึงปริมาณโปรตีน ไขมัน และเยื่อใย จากผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมผ้าร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 ทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.52 เป็นร้อยละ 7.90, 8.75, 9.36 และ 10.26 ตามลำดับ ส่วนของไขมันเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.30 เป็นร้อยละ 3.76, 6.25, 7.03 และ 8.10 ตามลำดับ โดยเมื่อเติมผ้าปริมาณมากขึ้นส่งผลให้โปรตีนและไขมันมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกันกับปริมาณของเยื่อใยเมื่อเติมผ้าปริมาณมากขึ้นก็จะส่งผลให้มีปริมาณเยื่อใยเพิ่มมากขึ้น แต่การเติมผ้าที่ร้อยละ 2.5 กับ 5 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonwittaya et al. [23] ที่พบว่าการเติมผ้าลดลงในมัฟฟินช็อกโกแลตชิป (Chocolate chip muffin) ร้อยละ 20 ส่งผลให้มัฟฟินช็อกโกแลตชิปมีองค์ประกอบทางเคมีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับมัฟฟินช็อกโกแลตชิปสูตรควบคุม พบว่ามีปริมาณโปรตีนจากร้อยละ 7.34 เพิ่มขึ้น

เป็นร้อยละ 7.64 ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.65 เป็นร้อยละ 2.06 และปริมาณเยื่อใยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.32 เป็นร้อยละ 1.56

3.2.2. ค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิเสริมผ้า

จากผลการศึกษาค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิเสริมผ้าแต่ละสูตร โดยนำขนมขบเคี้ยวไปให้พองกรอบด้วยไมโครเวฟจากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIE $L^*a^*b^*$ โดยผลที่ได้แสดงดัง Table 8 พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิเสริมผ้าจะลดลงเมื่อเติมผ้าปริมาณเพิ่มมากขึ้น การเติมผ้าร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 ทำให้มีค่าความสว่าง (L^*) เป็น 77.33, 66.86, 61.07, 60.74 และ 54.69 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผ้ามีลักษณะเป็นสีเขียวเข้มและมีความทึบแสง การทดแทนผ้าในผลิตภัณฑ์จึงทำให้ค่าความสว่างลดลง สำหรับค่า a^* แสดงถึงค่าสีแดง (+) และสีเขียว (-) ตัวอย่างที่มีการเติมผ้ามีค่า a^* ติดลบมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเขียวเพิ่มมากขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในตัวอย่างที่มีการเติมผ้าซึ่งค่า a^* ที่เปลี่ยนไปเมื่อมีการเติมผ้าเปลี่ยนตามลักษณะของผ้าที่มีสีเขียว ส่วนค่า b^* แสดงถึงค่าสีเหลือง (+) และสีน้ำเงิน (-) พบว่าตัวอย่างที่เติมผ้าร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 มีความแตกต่างกันของค่า b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยิ่งมีการเติมผ้าเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิเสริมผ้ามีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น โดยคลอโรฟิลล์ที่มีมากในผ้าซึ่งมีสีเขียวจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวมะกอก และมีสีน้ำตาลมากขึ้น เนื่องจากคลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็น Pheophytins เนื่องจากกระบวนการแปรรูปที่มีความร้อนมาเกี่ยวข้อง ทำให้เกิดการสูญเสีย Magnesium ion ที่อยู่กลางโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ แล้วถูกแทนที่ด้วยอะตอมของ Hydrogen [24] จึงทำให้ตัวอย่างที่มีปริมาณผ้าสูงจึงมีค่า a^* แสดงออกถึงความเป็นสีเหลืองมากขึ้น

Table 7 Effect of Woffia quantity on chemical quality of snack product

Quantity of Woffia (%)	Protein (%)	Ash (%)	Fiber (%)
0	7.52±0.0017 ^e	2.30±0.0352 ^e	0.32±0.0120 ^d
2.5	7.90±0.0105 ^d	3.76±0.0632 ^d	0.77±0.0420 ^c
5	8.75±0.0017 ^c	6.25±0.2877 ^c	0.83±0.0700 ^c
7.5	9.36±0.0871 ^b	7.03±0.1098 ^b	1.25±0.0037 ^b
10	10.26±0.0563 ^a	8.10±0.1543 ^a	1.83±0.0752 ^a

Data are expressed as mean ± SD of three replication (n = 3).

Values with different letters in a column are significant differences ($p \leq 0.05$).

Table 8 Effect of Woffia quantity on color quality of snack product

Quantity of Woffia (%)	L*	a*	b*
0	77.33±0.05 ^a	0.84±0.03 ^b	15.15±0.06 ^e
2.5	66.86±0.07 ^b	-1.62±0.10 ^a	15.62±0.12 ^d
5	61.07±0.02 ^c	-2.14±0.05 ^a	16.31±0.07 ^c
7.5	60.74±0.01 ^d	-2.13±0.05 ^a	16.02±0.15 ^b
10	54.69±0.03 ^e	-2.39±0.07 ^a	18.08±0.05 ^a

Data are expressed as mean ± SD of five replication (n = 5).

Values with different letters in a column are significant differences ($p \leq 0.05$).

4. บทสรุป

จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งฝั้วที่ 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีของฝั้ว ได้แก่ ความชื้น โปรตีน เยื่อใย ไขมัน และเถ้า แต่มีผลต่อปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (โดยวิธี DPPH และ FRAP) โดยเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเก็บรักษาฝั้ว และการนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารในอนาคตได้ การควบคุมอุณหภูมิการทำแห้งเป็นปัจจัยสำคัญในการรักษาคุณภาพของผลผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดในด้านคุณภาพทางกายภาพทางเคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สำหรับการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิเสริมฝั้ว พบว่า เมื่อมีการเติมฝั้วปริมาณมากขึ้นส่งผลให้คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน เยื่อใย และเถ้าเพิ่มขึ้น และยังส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพด้านสี เมื่อเพิ่มปริมาณฝั้ว ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มมากขึ้นมีค่าความสว่าง (L*) ลดลง และมีค่าสีเขียวเพิ่มมากขึ้น (a*) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเสริมผลิตภัณฑ์

ขนมขบเคี้ยวด้วยฝั้วสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

6. References

- [1] Sree, K.S., Bog, M. and Appenroth, K.J. 2016. Taxonomy of duckweeds (*Lemnaceae*) potential new crop plants. **Emirates Journal of Food and Agriculture**. 28(5): 291-302.
- [2] Appenroth, K.J. and et al. 2018. Nutritional value of duckweed species of the genus *Wolffia* (*Lemnaceae*) as human food. **Frontiers in Chemistry**. 6: 483.
- [3] Appenroth, K.J. and et al. 2017. Nutritional value of duckweeds (*Lemnaceae*) as human food. **Food Chemistry**. 217: 266-273.

- [4] Dawczynski, C. and et al. 2017. Docosahexaenoic acid in the treatment of rheumatoid arthritis: A double-blind, placebo-controlled, randomized cross-over study with microalgae vs. sunflower oil. **Clinical Nutrition**. 37(2): 494-504.
- [5] Association Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th edition. Gaithersburg, MD: AOAC International.
- [6] Eskin, N.A. 1990. **Biochemistry of Food**. New York: Academic Press.
- [7] Thiranasornkij, L. 2018. Physicochemical properties of Hom Nil (*Oryza sativa*) rice flour as gluten free ingredient in bread. **Foods**. 7(10): 159-171.
- [8] Hu, Z. and et al. 2022. Determining the nutritional value and antioxidant capacity of duckweed (*Wolffia arrhiza*) under artificial conditions. **LWT-Food Science and Technology**. 153: 112477.
- [9] Bhanthumanavin, K. and McGarry, M.G. 1971. *Wolffia arrhiza* as a possible source of inexpensive protein. **Nature**. 232: 495.
- [10] Bergmann, B.A. and et al. 2000. In vitro selection of duckweed geographical isolates for potential use in swine lagoon effluent renovation. **Bioresource Technology**. 73(1): 13-20.
- [11] Rusoff, L.L., Blakeney, E.W. and Culley, D.D. 1980. Duckweed (Lemnaceae Family): A potential source of protein and amino acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 28: 848-850.
- [12] Xu, J. and et al. 2011. Production of high-starch duckweed and its conversion to bioethanol. **Biosystems Engineering**. 110(2): 67-72.
- [13] Djaeni, M. and Sari, D.A. 2015. Low temperature seaweed drying using dehumidified air. **Procedia Environmental Sciences**. 23: 2-10.
- [14] Yuenyongputtakal, W. and et al. 2017. Effects of hot air drying temperature and time on qualities of Enoki mushroom (*Flammulina velutipes*) powder produced from uncommonly consumed part. **Journal of Science and Technology**. 25(6): 1002-1013. (in Thai)
- [15] Gaigher, I.G., Porath, D. and Granoth, G. 1984. Evaluation of duckweed (*Lemna gibba*) as feed for tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) in a recirculating unit. **Aquaculture**. 41(3): 235-244.
- [16] Parnaskhorn, S. and et al. 2013. Effects of hot air and freeze drying on physicochemical properties of Thai Hom Mali rice grass juice powder. **Thai Agriculture Research Journal**. 31(1): 78-89. (in Thai)
- [17] Davey, M.W. and et al. 2000. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 80: 825-860.
- [18] Kelley, K. and et al. 2003. Good practice in the conduct and reporting of survey research. **International Journal for Quality in Health Care**. 15(3): 261-266.
- [19] Taokaenchan, N., Areseesom, P. and Kawaree, R. 2018. Antioxidant activities and sensory acceptability of herbal tea of *Caesalpinia sappan* L. obtained by different infusion processes. **Journal of Science and Technology**. 26(8): 1411-1421. (in Thai)
- [20] Reblova, Z. 2012. Effect of temperature on the antioxidant activity of phenolic acids. **Czech Journal of Food Sciences**. 30(2): 171-177.
- [21] Choi, Y. and et al. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. **Food Chemistry**. 99(2): 381-387.

- [22] Rueangsuksudand, P. and Punnongwa, W. 2022. Physicochemical properties and antioxidant activity of Japanese purple sweet potato starch modified by acid and heat treatments. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**. 24(2): 72-80.
- [23] Boonwittaya, W., Tongcom, N. and Rittilert, P. 2016. Effect of added water meal added on chocolate chip muffin quality. **VRU Research and Development Journal Science and Technology**. 11(3): 41-53. (*in Thai*)
- [24] Rudra, S.G. and et al. 2008. Enthalpy entropy compensation during thermal degradation of chlorophyll in mint and coriander puree. **Journal of Food Engineering**. 86(3): 379-387.