วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.3) September – December 2023 บทความวิจัย

ผลของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง

Effect of Gac Fruit Aril Powder on Product Development of Tofu Milk Supplemented with Gac Fruit Aril Powder

วัฒนา วิริวุฒิกร*

Wattana Wirivutthikorn*

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประเทศไทย

Division of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Received : 23 March 2023

Revised : 5 April 2023

Accepted : 8 April 2023

บทคัดย่อ

จุดประสงค์งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดโดยได้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสว่าง ค่าสี เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ ศึกษาสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ไลโคพีน และความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ DPPH ศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด และศึกษาการยอมรับประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน แบบ 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นค่าความสว่างเมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมากขึ้นมีผลทำให้แนวโน้มเนื้อสัมผัส ไลโคพีน และความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของทุกตัวอย่างเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.528/2547) ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 1 ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุดเท่ากับ 7.56, 7.36 และ 7.53 คะแนน ตามลำดับ

คำสำคัญ : เต้าหู้นมสด ; เยื่อหุ้มเมล็ด ; ฟักข้าว ; การพัฒนาผลิตภัณฑ์

Abstract

The objective of this research was to study the effect of gac fruit aril powder on the processing of the tofu milk that was supplemented with 0%, 1%, 2% and 3% of gac fruit aril powder. Physical properties such as brightness, color, texture, appearance, chemical properties including pH, lycopene and percentage of DPPH inhibition and microbiological properties including total plate count of samples were analyzed. In addition, sensory evaluation of each product's appearance, color, odor, taste, texture and overall acceptability was performed by 30 untrained panelists using the 9-point hedonic scale. With respect to the physical properties, it was found that all treatments were significantly different, except for the brightness. As the amount of gac fruit aril powder increased texture, lycopene and percentage of DPPH inhibition values also significantly increased. Chemical properties showed that they were significantly different ($p \leq 0.05$). Microbiological results revealed that total plate count of all samples met the standard regulation according to the Thai Industrial Standards Institute for tofu milk (CPS.528/2004). Sensory evaluation indicated that taste, texture and overall acceptability of tofu milk products supplemented with 1% of gac fruit aril powder gave the highest scores of 7.56, 7.36 and 7.53, respectively.

Keywords : tofu milk ; aril ; gac fruit ; product development

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

บทนำ

เต้าหู้นมสด หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนมวุ้นหรือเจลาตินอย่างใดอย่างหนึ่งหรือผสมกันและน้ำตาลอาจเติมส่วนประกอบอื่นเพื่อปรุงแต่งกลิ่นรส เช่น กาแฟ วานิลลา ชาเขียว และอาจเติมส่วนประกอบอื่น เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืช บรรจุในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง ปิดสนิท และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้ และควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2004) เต้าหู้นมสดเป็นอาหารชนิดหนึ่งที่คนไทยนิยมบริโภค เนื่องจาก รับประทานง่ายเหมาะกับทุกเพศทุกวัยประกอบกับประเทศไทยมีสภาพอากาศร้อนคนไทยจึงนิยมบริโภคอาหารที่ทำให้รู้สึกสดชื่นโดยมีส่วนประกอบหลักเป็นนมสด นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นที่สำคัญ ได้แก่ เจลาติน น้ำตาล ทรายที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อละเอียด ยืดหยุ่น และคงรูป (Siriwan, 2012)

ฟักข้าวเป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ด้านคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่มักจะถูกนำมาบริโภคและนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ คือ การทำเป็นผงนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอาหารได้ ซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญของสารไลโคพีนเป็นสารที่พบในกลุ่มของแคโรทีนอยด์พบได้ในผัก และผลไม้บางชนิดทำหน้าที่เป็นรงควัตถุรวบรวมแสงให้แก่พืช และป้องกันพืชผักจากออกซิเจนโมเลกุลเดี่ยว (อนุมูลอิสระ) มีรายงานเกี่ยวกับไลโคพีนที่พบปริมาณมาก 380 ไมโครกรัมต่อกรัม หรือสูงกว่าผักและผลไม้ที่มีปริมาณไลโคพีนสูงถึง 10 เท่า และสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสำคัญที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอนุมูลอิสระอันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ และหลอดเลือด มะเร็ง และต้อกระจก เป็นต้น (Aoki *et al*., 2002; Phamonprawat, 2013; Punkaew *et al*., 2016) นอกจากนี้ยังพบวิตามินซี เบต้าแคโรทีน แร่ธาตุประเภทแคลเซียม และเหล็ก (Phamonprawat, 2013; Punkaew *et al*., 2016) ปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มาจากส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการบริโภคในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ มากขึ้น (Wanapa, 2011) เช่น อัตราส่วนที่เหมาะสมของเจลาตินที่มีต่อการผลิตกัมมี่น้ำสับปะรดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (Wirivutthikorn, 2020) การพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กเนยสดโดยเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง (Wirivutthikorn, 2022b) การผลิตน้ำเห็ดสมุนไพรผสมจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและเก๊กฮวยพร้อมดื่ม (Wirivutthikorn, 2022c) และผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่มีต่อคุณภาพน้ำนมข้าวโพด (Wirivutthikorn, 2023a)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารว่างรูปแบบใหม่ที่ประกอบด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเหมาะสำหรับผู้ที่มีความห่วงใยเรื่องสุขภาพ (Ruankon *et al*., 2017) ทั้งนี้เนื่องจาก ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดที่ได้หลังผ่านกระบวนการแปรรูปมีสีขาวจากวัตถุดิบดูไม่น่ารับประทานไม่มีจุดเด่นที่ดึงดูดความสนใจให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค การใช้เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมาปรับปรุงในเรื่องของสีนั้นน่าจะสามารถทำให้ลักษณะของเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ออกมามีแนวโน้มไปในทางที่ดีรวมถึงสารประกอบทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น เบต้าแคโรทีน และไลโคพีนจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวจะช่วยปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดที่ได้ประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีประโยชน์ต่อร่างกาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณสมบัติที่สำคัญทางเภสัชศาสตร์ในด้านเป็นยารักษาโรคได้ มีรายงานว่า เยื่อหุ้มเมล็ดของฟักข้าวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพปริมาณสูงซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีผลลดความเสี่ยง

ของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็งต่อมลูกหมาก โรคมะเร็งปอด และโรคมะเร็งกระเพาะอาหาร เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีไลโคพีนมากกว่าผลไม้อื่นๆ ทุกชนิด (Chuyen *et al*., 2015) ซึ่งน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ทำให้ประชาชนบริโภคพืชผักมากขึ้น เพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพในการป้องกันโรค และเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Wirivutthikorn, 2023a) และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่มีความสนใจผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพประกอบกับจากการศึกษาข้อมูลพบว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังไม่มีการรายงานไว้อย่างชัดเจนในด้านส่วนผสมที่เหมาะสม ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาอาหารว่างที่เป็นไปได้ คือ การผสมกับพืชสมุนไพรอื่นๆ เช่น ฟักข้าว ด้วยเป็นการเพิ่มมูลค่าฟักข้าวเป็นการส่งเสริมสินค้าที่ผลิตจากวัตถุดิบในประเทศเป็นการช่วยทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างรูปแบบใหม่ที่ทำให้เกิดความหลากหลาย และเป็นทางเลือกของผู้ประกอบการในการนำไปขยายต่อยอดในเชิงพาณิชย์ต่อไป โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่เหมาะสมที่มีต่อการผลิตเต้าหู้นมสด และศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ เคมีด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ส่วน คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต

นำผลฟักข้าวซื้อมาจากตลาดไท จังหวัดปทุมธานีนำมาล้างทำความสะอาด ผ่าครึ่งผลฟักข้าว คว้านเอาแต่เมล็ดที่มีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวติดอยู่ นำส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวใส่ลงภาชนะที่สะอาด แยกเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวออกจากเมล็ดฟักข้าวทำการอบแห้งที่ตู้อบลมร้อนยี่ห้อ ADV รุ่น TD-012T ผลิตในประเทศไทย อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ควบคุมความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 80.14 ฐานเปียก นำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการอบแห้งแล้วมานำมาปั่นโดยใช้เครื่องปั่นไฟฟ้ายี่ห้อ Moulinex รุ่น A241 ประเทศฝรั่งเศสให้ละเอียดจะได้เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ดัดแปลงจาก Punkaew *et al*. (2016); Tanongkankit *et al*. (2016)

ดำเนินการเตรียมนมสดรสจืด นมข้นจืด และนมข้นหวานตามปริมาตรที่กำหนดดังตารางที่ 1 นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพื่อให้ส่วนผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นเติมผงวุ้นและผงเจลาตินตามปริมาณที่กำหนดดังตารางที่ 1 คนให้ผงวุ้นและผงเจลาตินละลายเป็นเนื้อเดียวกันไม่จับตัวเป็นก้อน ในการทดลองแบ่งเป็น 4 การทดลองเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงในปริมาณร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และนำส่วนผสมที่ได้ทั้งหมดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เพื่อให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันจึงค่อยเติมน้ำตาลทรายตามปริมาณที่กำหนดดังตารางที่ 1 คนจนส่วนผสมละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด จากนั้นทำการปรับความร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ทำให้เย็นลงโดยการลดอุณหภูมิด้วยน้ำหล่อเย็นนานประมาณ 10 นาที นำมาเทใส่ลงในขวด

พลาสติกขนาด 400 มิลลิลิตร ปิดฝาให้เรียบร้อยนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4-6 องศาเซลเซียส แล้วนำไปตรวจสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ ดัดแปลงจาก Jatupornpongchai (2009); Putthongsiri *et al*. (2011); Ruankon *et al*. (2017)

Table 1 Ingredients for the production of milk tofu supplemented with various gac fruit aril powder

Ingredients (g)	Gac fruit aril powder (%)			
	0	1	2	3
fresh milk	400	400	400	400
gac fruit aril powder	0.00	7.16	14.32	21.48
condensed milk	180	180	180	180
sweetened condensed milk	30	30	30	30
sucrose	100	100	100	100
agar	2	2	2	2
gelatin	4	4	4	4

2. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

การวิเคราะห์ค่าความสว่างและค่าสีด้วยเครื่อง L^*, a^* และ b^* ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex ทำโดยการเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงนำมาใส่ในภาชนะ และทำการวัดค่า L^*, a^* และ b^* บันทึกค่าที่ได้ (CIE, 1986) และการวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ภายนอกโดยวิธีการสังเกตด้วยผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงด้วยตาเปล่าทำโดยการนำผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมาหั่นเป็นชิ้นขนาด 4x4 เซนติเมตร วางลงบนโต๊ะ สังเกตลักษณะภายนอกที่เกิดขึ้น ดัดแปลงจาก Wirivutthikorn (2022a)

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ทำได้โดยการเตรียมเครื่องต่อเข้ากับแขนสำหรับต่อหัววัดของ Texture analyzer ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT ประเทศอังกฤษ โดยวาง Flat Plate ที่ฐานเครื่อง (สำหรับวางตัวอย่าง) เลือก Calibrate Probe กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่กลับไปของหัววัด เมื่อหัววัดสัมผัสกับ Flat Plate แล้วโดยใช้ความสูงของตัวอย่างที่ต้องการวัดเป็นเกณฑ์ (ให้ระยะทางมากกว่าความสูงของตัวอย่างเล็กน้อย) รอให้หัววัดเคลื่อนลงสัมผัสกับฐานวาง ตัวอย่างแล้วเคลื่อนกลับขึ้นไปเป็นระยะทางเท่ากับที่กำหนดไว้ปรากฏที่หน้าจอสำหรับกำหนด ตัวแปรเพื่อสั่งงานเครื่อง ทำการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่ต้องการวัดโดยวางตัวอย่างเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ต้องการทดสอบบน Flat Plate หัววัดจะเคลื่อนที่และกดลงบนเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงเป็นระยะทาง 4 มิลลิเมตร แล้วหัววัดจะเคลื่อนที่ออกจากเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงกลับสู่ตำแหน่งเดิม (Bourne, 2002)

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง เตรียมผลิตภัณฑ์ในรูปสารละลายโดยเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง จำนวน 10 กรัม ละลายน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบิกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร วัดค่าความเป็นกรด-ด่างยี่ห้อ HANNA รุ่น HI98127 ประเทศสหรัฐอเมริกา บันทึกค่าที่ได้ (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ไลโคพีน โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยการสกัดไลโคพีนตัวอย่างเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงด้วยสารละลายที่มีส่วนผสมของสารละลายอะซิโตนที่มี BHT 0.05%(w/v) : เอทานอล : เฮกเซน (5:5:10) ทำการแยกส่วนด้านบนที่เป็นสารสีแดง ไปวัดค่าดูดกลืนแสงยี่ห้อ Metertech รุ่น sp-830 plus ประเทศไต้หวันที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร โดยใช้เฮกเซนเป็นแบลงค์ (blank)

คำนวณปริมาณไลโคพีน (มิลลิกรัม/100กรัม) = A503 x 31.2/น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) (1)

โดย A คือค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร
31.2 คือค่าสัมประสิทธิ์เอกซ์ทิงชันของโมเลกุลไลโคพีนในเฮกเซน ดัดแปลงจาก Fish *et al.* (2002)

การวิเคราะห์ร้อยละการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ดัดแปลงจาก Manok & Limcharoen, (2015); Shimada *et al.*(1992) โดยการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงจำนวน 2.5 มิลลิลิตร มาผสมกับเอทานอล 12.5 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงยี่ห้อ Hermle รุ่น Z206A ประเทศเยอรมันที่ความเร็ว 15,000 รอบเป็นเวลานาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ใช้กรองด้วยกระดาษกรอง) และปิเปตสารละลายตัวอย่างดังนี้ หลอดที่ 1 ตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองที่หุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันแสง แล้วเติมสารละลาย DPPH 2.9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที หลอดที่ 2 ตัวอย่าง ควบคุมโดยใช้เอทานอล 0.1 มิลลิลิตร และเติม DPPH 2.9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และคำนวณหาร้อยละการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระดังสมการ (2)

$$\% \text{ inhibition} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) \times 100] / A_{\text{control}} \quad (2)$$

เมื่อ A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH
A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

การวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมดในรูปแบคทีเรีย ขั้นแรกเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar บรรจุลงในฟลาส์กรูปชมพู่ เตรียมจานเลี้ยงเชื้อ และหลอดทดลองที่ประกอบด้วยน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อด้วยวิธีเครื่องฆ่าเชื้อหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ปิเปตตัวอย่างเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองที่ระดับการเจือจางตั้งแต่ 10^{-1} ถึง 10^{-3} จำนวน 3 ซ้ำ ลงในจานเพาะเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้วเททับด้วยอาหาร plate count agar ประมาณ 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส หมุนจานอาหารเป็นวงกลมช้าๆ ตั้งทิ้งให้อาหารแข็งตัวประมาณ 15 นาที นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส ในลักษณะคว่ำจานเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีเชื้อจุลินทรีย์บนอาหารแต่ละความเจือจาง (30-300 โคโลนี) บันทึกผลคำนวณจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เป็น colony forming unit / ml (CFU/ml)

5. การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9 - point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน เสนอตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทดสอบปริมาตร 40 กรัม ทดสอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม (Wiriyajaree, 2018)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel 2016 (เป็นโปรแกรมการวิเคราะห์ค่าสถิติในชุดโปรแกรม Microsoft) การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี สำหรับการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance ; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) (Wiriyajaree, 2018)

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง โดยวิธีการสังเกตด้วยตาเปล่าในด้านลักษณะภายนอกปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ วัดค่าความสว่าง ค่าสีแดง สีเหลือง และเนื้อสัมผัส จากผลการศึกษาพบว่า ลักษณะปรากฏที่เกิดขึ้นด้านความสว่าง ค่าสี และเนื้อสัมผัสที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันตามเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่เติมลงไปปริมาณแตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์ดัง Table 2 Table 3 และ Figure 1

Table 2 Characteristics of milk tofu supplemented with various gac fruit aril powder

Attribute	Milk tofu supplemented with various gac fruit aril powder (%)			
	0	1	2	3
Appearance	smooth surface medium	smooth few bubble	medium smooth few bubble	few smooth few bubble
Color	very light brown	light brown	medium brown	dark brown
Odor	very milky	little milky gac	little milk medium gac	a lot gac
Texture	soft few flexible	few soft medium	flexible rather hard	hard
Taste	little sweet	little sweet	little sweet	little sweet

Table 3 Physical properties of milk tofu supplemented with various gac fruit aril powder

Gac fruit aril powder	Values*				
	L*^{ns}	a*	b*	hardness* (N)	springiness* (mm)
0	64.72±0.87	-1.05^{b}±0.78	7.94^{b}±0.51	454.36^{c}±1.36	0.973^{a}±0.72
1	65.27±1.21	0.53^{ab}±0.32	8.52^{b}±0.35	490.62^{b}±1.21	0.961^{b}±1.41
2	66.02±0.54	1.39^{a}±0.51	10.69^{ab}±0.88	500.57^{b}±0.98	0.958^{c}±1.07
3	66.20±0.98	1.75^{a}±1.13	13.49^{a}±0.69	526.96^{a}±0.82	0.943^{d}±1.41

N.B.: *Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test DMRT) at the 95 percent level of significance ($p \leq 0.05$)

Figure 1 Milk tofu supplemented with gac fruit aril powder of 0, 1, 2 and 3%, respectively

2. สมบัติทางเคมีผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ไลโคพีน และความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ DPPH จากผลการศึกษาพบว่าทุกค่าที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ผลการวิเคราะห์ดัง Table 4

Table 4 Chemical properties of milk tofu supplemented with various gac fruit aril powder

Gac fruit aril powder	Values*		
	pH*	lycopene* (µg/g)	antioxidant inhibition DPPH*(%) *
0	6.04^{d}±0.23	0.000^{d}±0.00	0.00^{d}±0.00
1	6.12^{c}±0.70	7.658^{c}±0.76	17.23^{c}±1.31
2	6.25^{b}±0.53	9.469^{b}±0.43	19.98^{b}±0.87
3	6.34^{a}±0.11	10.713^{a}±0.55	22.27^{a}±0.54

N.B.: *Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test DMRT) at the 95 percent level of significance ($p \leq 0.05$)

3. สมบัติทางจุลชีววิทยาผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง

จากการวิเคราะห์จุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง โดยมีการตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมดในรูปแบคทีเรียในวันที่ 0, 2 และ 4 ผลการศึกษาพบว่า การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง ผลการทดลองที่ได้แสดงดัง Table 5

Table 5 Total bacteria of milk tofu supplemented with various gac fruit aril powder

Day	Values (CFU/ml)			
	gac fruit aril powder (%)			
	0	1	2	3
0	0	0	0	0
2	1.2×10^{2}	2.8×10^{2}	1.8×10^{3}	2.5×10^{3}
4	2.3×10^{3}	3.2×10^{3}	3.5×10^{4}	3.8×10^{4}

4. สมบัติทางประสาทสัมผัสผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง

จากการวิเคราะห์การประเมินผลลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9- point hedonic scale test ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คนที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ตัวแปรที่ต้องการทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง จากผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่ทำการทดสอบทุกค่าที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกันทางสถิติตามปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่เติมลงไป ผลการวิเคราะห์ดัง Table 6

Table 6 Sensory evaluation of milk tofu supplemented with various gac fruit aril powder

Gac fruit aril powder	Liking scores					
	appearance*	color*	odor*	taste*	texture*	overall acceptability*
0	$7.53^{a}\pm1.28$	$7.36^{a}\pm0.81$	$7.08^{ab}\pm0.71$	$7.30^{a}\pm0.84$	$7.34^{a}\pm0.52$	$7.46^{a}\pm0.51$
1	$7.10^{ab}\pm1.65$	$7.46^{a}\pm0.55$	$7.20^{a}\pm0.62$	$7.56^{a}\pm0.53$	$7.36^{a}\pm0.93$	$7.53^{ab}\pm0.32$
2	$7.10^{ab}\pm0.53$	$7.33^{a}\pm0.91$	$6.70^{b}\pm0.59$	$6.80^{b}\pm0.88$	$6.83^{b}\pm0.28$	$7.03^{b}\pm0.65$
3	$6.76^{b}\pm0.88$	$6.93^{b}\pm0.44$	$5.90^{c}\pm0.77$	$6.00^{c}\pm0.71$	$6.13^{c}\pm0.66$	$6.33^{c}\pm0.88$

N.B.: *Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test DMRT) at the 95 percent level of significance ($p\leq0.05$), ns non significant

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาสูตรการผลิตเต้าหู้นมสดทั้ง 4 การทดลองโดยแปรปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ต่างกันดังแสดง Table 2 และ Figure 1 พบว่าเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่างกันมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันทั้ง 4 การทดลอง ทั้งนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก ปริมาณการใช้เยื่อหุ้มฟักข้าวผงที่แตกต่างกันโดยเฉพาะการทดลองที่ไม่ได้เติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง (ตัวควบคุม) มีกลิ่น รสชาติค่อนข้างไปทางกลิ่นนมซึ่งเป็นกลิ่นวัตถุดิบหลัก ส่วนการทดลองที่มีการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ร้อยละ 3 มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง กลิ่นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่มากกว่าการทดลองอื่น (Chysirichote & Pichaiyongvongdee, 2015; Wirivutthikorn, 2023a, b)

ค่าความสว่าง และค่าสีนับเป็นปัจจัยหนึ่งของการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงจึงคำนึงถึงปัจจัยนี้เป็นอันดับแรกๆ ในการทดสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความสว่าง และค่าสี (L^*, a^* และb^*) (Parnsakhorn & Langkapin, 2020, 2021) ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงในปริมาณที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3) พบว่า ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ยกเว้นค่าความสว่าง (Prabhakaran *et al*., 2006; Ruankon *et al*., 2017) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมากขึ้นซึ่งโดยปกติเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีสีแดงเข้มการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงปริมาณมากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความสว่างที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดแดงเข้มสีแดงเข้มนี้ประกอบด้วยรงควัตถุแคโรทีนอยด์หลักในฟักข้าว ซึ่งรงควัตถุนี้ประกอบด้วยพันธะคู่เป็นจำนวนมาก (Punkaew *et al*., 2016) เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงก็จะทำให้สีของเต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีสีแดงเข้มตามไปด้วย ค่าความเป็นสีแดง และค่าสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเยื่อหุ้มฟักข้าวผงที่เติมลงไป เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม การให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ส่งผลลักษณะผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลเข้มเป็นผลเนื่องมาจาก การให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อสามารถเกิดปฏิกิริยาโดยฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เมื่อสารประกอบ

ฟีนอลิกและออกซิเจนสัมผัสกันโดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสารโมโนฟีนอล (mono-phenol) ซึ่งไม่มีสีจะถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งไม่มีสีและถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น **O**-quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีสีน้ำตาล ความร้อนมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ที่เกิดจากการเปลี่ยนไอโซเมอร์จากทรานส์ (trans) ไปเป็นซิส (cis) (John, 1980; Punkaew *et al*., 2016) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ได้อิทธิพลจากปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลชนิดไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (caramelization) และเต้าหู้นมสดมีส่วนผสมของน้ำตาลและโปรตีนจากนมจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนของโปรตีนในนมสด นมข้นหวาน และนมข้นจืด และน้ำตาลรีดิวซ์ในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาล ผลิตภัณฑ์นี้จึงมีสีที่คล้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อหุ้มฟักข้าวผง (Chysirichote & Pichaiyongvongdee, 2015) ที่อุณหภูมิการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกสิ่งทดลองเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูงมีการเกิดโพลิเมอร์ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard) (Wirivutthikorn, 2022a, b, 2023a, b) การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้งแบบใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์เป็นผลเนื่องมากจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและเวลาในการให้ความร้อนที่นานจะทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น ผลของความร้อนนั้นจะทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และการสร้างสารพิษจากจุลินทรีย์ได้ (Parnsakhorn & Langkapin, 2021; Wirivutthikorn, 2022c, 2023a)

เนื้อสัมผัสในอาหารเป็นสิ่งที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ด้วยการสัมผัสผู้บริโภครับรู้เนื้อสัมผัสของอาหารได้ด้วยการสัมผัสด้วยมือโดยการจับ แตะ บีบ และบี้ ระหว่างการปอกเปลือก การสัมผัสด้วยฟัน เพดานปาก ลิ้น และอาจรับรู้ด้วยการฟังเสียงจากการดีด การเคี้ยว (Pastsart *et al*., 2019) มีบทบาทสำคัญมากในแง่คุณภาพ และการยอมรับของผู้บริโภค (Baba *et al*., 2018) ซึ่งในผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามปริมาณเยื่อหุ้มฟักข้าวผงที่เติมลงไป ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีเนื้อวุ้นต้องมีความนุ่ม และเนียน (Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2004) ค่าความแข็งที่วัดได้มีความสำคัญมากที่สุดในเรื่องการประเมินเนื้อสัมผัส (Baba *et al*., 2018) ความแข็ง (hardness) ที่วัดได้มีค่าต่างกันในช่วง 454-526 นิวตัน (Table 3) ตามปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่เติมลงไป การทดลองที่เติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 3 มีความแข็งมากที่สุดเท่ากับ 526 นิวตัน เนื้อสัมผัสที่วัดได้จึงมีความแข็งมากกว่าการทดลองอื่นๆ เนื่องจาก การเพิ่มปริมาณเยื่อหุ้มฟักข้าวมากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่เติมลงไปเพิ่มมากขึ้นซึ่งทำให้เกิดการรวมตัวกับส่วนผสมอื่นๆ คือ นมสด นมข้นจืด และนมข้นหวานซึ่งมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักรวมถึงมีส่วนผสมของผงวุ้น เจลาติน และน้ำตาลทรายที่มีผลต่อการอุ้มน้ำในการเกิดเจลมากที่สุดส่งผลทำให้ค่าความแข็งที่วัดได้มีค่ามากที่สุด และมีผลทำให้น้ำไม่สามารถเคลื่อนที่ออกมาได้ลักษณะการเกิดเช่นนี้มีผลให้เกิดความยืดหยุ่น (springiness) ของเจลน้อยที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะมความแข็งของการเกิดเจลมากขึ้นตามปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่เติมลงไป การเกิดเจลที่เป็นผลของโปรตีนในเต้าหู้นมสดกับองค์ประกอบจากฟักข้าว และองค์ประกอบอื่นๆ เกิดขึ้นเนื่องจาก การจัดเรียงตัวของโครงสร้างโปรตีนเรียงตัวประสานกันอย่างมีแบบแผนเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ โดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหเหล่านั้น เรียกว่า การเกิดเจล (gelation) เจลที่ได้มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี

มีผลทำให้เกิดเนื้อสัมผัสเจลที่ได้มีความยืดหยุ่น (Chysirichote & Pichaiyongvongdee, 2015) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่เติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 3 มีค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุดเท่ากับ 0.943 มิลลิเมตร (Baba *et al*., 2018; Erfanian & Rasti, 2019; Mitra *et al*., 2013; Prabhakaran *et al*., 2006)

จากการทดลองทดสอบคุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไลโคพีน และความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ DPPH มีความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงในปริมาณที่แตกต่างกันมีความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจาก ปริมาณเยื่อหุ้มฟักข้าวผงที่ใช้ในส่วนผสมมีค่าความเป็นกรดต่ำจึงมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 6.04- 6.34 หรือจัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีสภาพเป็นกรดต่ำ (low acid food) (Baba *et al*., 2018)

การตรวจวิเคราะห์ไลโคพีนในผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงโดยการศึกษาปริมาณไลโคพีนของผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงสูตรต่างๆ คือ ผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 1 ถึง 3 มีค่าไลโคพีนในช่วง 7.7-10.7 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งค่าที่วัดได้แตกต่างจากงานวิจัยของ Vuong *et al*. (2006) ที่วัดในฟักข้าวมีค่าเท่ากับ 3.80 มิลลิกรัม/กรัม และงานวิจัยของ Yeesaeng (2017) ที่วัดในฟักข้าว และผลิตภัณฑ์ฟักข้าวมีค่าเท่ากับ 0.96 มิลลิกรัม/กรัม แต่มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Wirivutthikorn (2022c) ที่วัดในน้ำเห็ดสมุนไพรผสมเก็กฮวยพร้อมดื่มมีค่าในช่วง 3.97-10.73 ไมโครกรัม/กรัม โดยปกติเนื้อฟักข้าวมีไลโคพีนเท่ากับ 0.9 ไมโครกรัม/กรัมของน้ำหนักผล ส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีไลโคพีน 380 ไมโครกรัม/กรัมของน้ำหนักผล (Punkaew *et al*., 2016) ฟักข้าวในประเทศมาเลเซียมีค่าไลโคพีนในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว เปลือก และเนื้อฟักข้าวมีค่าเท่ากับ 579.3, 51.0 และ 37.6 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Abdulqader *et al*., 2019) ค่าที่วิเคราะห์นี้แตกต่างกันขึ้นกับฤดูกาล สายพันธุ์ และสูตรที่ใส่เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 1, 2 และ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผสมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ความเข้มข้นสูงมีผลทำให้มีปริมาณไลโคพีนมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผสมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงความเข้มข้นต่ำ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ผสมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 2 และ 3 ค่าที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกัน การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 3 มีผลทำให้ค่าปริมาณไลโคพีนทั้งหมดที่วัดได้มีค่ามากที่สุด (Paralee, *et al*., 2013; Yeesaeng, 2017; Wirivutthikorn, 2023a, b)

งานวิจัยนี้ศึกษาตรวจวัดฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ที่รายงานค่าเป็น mg eq Trolox/100g โดยวิธี DPPH เป็นการทดสอบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระของ DPPH ซึ่งเป็นวิธีที่วิเคราะห์ง่าย สะดวก มีความเสถียร และสามารถใช้กับตัวอย่างหลายชนิด (Parnsakhorn & Langkapin, 2021) วิธีนี้เป็นการทดสอบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระของ DPPH (Anukulwattana & Srinual, 2018) จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จะเห็นได้ว่าค่านี้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่เติมลงไปเนื่องจาก ในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงจึงทำให้ปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้นี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และครั้งที่ 2 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ดังนั้นการให้ความร้อนทั้ง 2 ครั้งจึงมีผลทำให้ปริมาณสารต้าน

อนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงได้ (Baba *et al*., 2018; Chysirichote & Pichaiyongvongdee, 2015; Paralee *et al*., 2013; Yeesaeng, 2017; Wirivutthikorn, 2023a, b)

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง (Table 5) โดยเริ่มตรวจหาปริมาณแบคทีเรียทั้ง 4 การทดลองตั้งแต่วันที่ 0 และนำผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 การทดลองมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน โดยตรวจหาปริมาณแบคทีเรียวันที่ 2 และ 4 พบว่า ผลการตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.528/2547) ซึ่งกำหนดไว้ว่า เต้าหู้นมสดจะต้องตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 5×10^4 โคโลนี/ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร (Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2004) จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงทั้ง 4 การทดลอง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตรวจจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 การทดลองเมื่อเก็บไว้นานขึ้นมีโอกาสพบปริมาณแบคทีเรียมากขึ้นโดยเฉพาะวันที่ 4 ผลิตภัณฑ์ที่เติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 2 และ 3 พบปริมาณแบคทีเรียเริ่มสูงขึ้น แต่ก็ยังไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด หากเก็บไว้นานเกินถึงวันที่ 5 ผลิตภัณฑ์ที่เติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 2 และ 3 มีโอกาสเสียได้เนื่องจากปริมาณแบคทีเรียที่พบเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (Chysirichote & Pichaiyongvongdee, 2015) แสดงว่าผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงทุกการทดลองผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 2 ครั้ง สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้บางส่วน แต่จุลินทรีย์บางชนิดที่ทนต่ออุณหภูมิสูงสามารถเจริญเติบโตได้ กระบวนการเทคนิคขั้นตอนในการผลิตมีความสะอาด และมีความปลอดภัยซึ่งแสดงให้เห็นถึงสุขลักษณะที่ดีในการผลิต และกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสม (Chysirichote & Pichaiyongvongdee, 2015; Wirivutthikorn, 2022a,b, 2023a) มีรายงานงานวิจัยเกี่ยวข้องกับสารสกัดจากฟักข้าว และผลิตภัณฑ์ฟักข้าวที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Bacillus cereus*, *Candida* Sp., *Escherichai coli* และ *Staphylococcus aureus* พบว่า สารสกัดจากฟักข้าว และผลิตภัณฑ์ฟักข้าวสามารถยับยั้งเชื้อรา *A. niger* ได้ดีที่สุด โดยมีค่าร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 66 สำหรับจุลินทรีย์ก่อโรคในกลุ่มแบคทีเรีย พบว่า สารสกัดจากฟักข้าว และผลิตภัณฑ์ฟักข้าวสามารถยับยั้งเชื้อ *B. subtilis* ได้ดีที่สุดโดยมีค่าร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 50 สารสกัดจากฟักข้าวและผลิตภัณฑ์ฟักข้าวสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีที่สุดมีค่าร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 82 แต่ไม่สามารถยับยั้งยีสต์ *Candida* Sp. ได้ (Yeesaeng, 2017) แต่มีข้อจำกัดด้านระยะเวลาการเก็บรักษาทำให้ระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 2 สัปดาห์ซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีการฆ่าเชื้อด้วยวิธีนี้ (Putthongsiri *et al*., 2011; Wirivutthikorn, 2022a, b, 2023a, b)

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัสมีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์การบริโภคอาหารความรู้สึกที่ซับซ้อนที่เกิดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้จะส่งผลให้เกิดการยอมรับของผู้บริโภคหรือไม่ (Parnsakhorn & Langkapin, 2020) จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงดัง Table 6 โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 9-point hedonic scale โดยผู้ทดสอบชิมไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมพบว่าทุกค่าที่วิเคราะห์มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\leq0.05$) จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 1 พบว่า มีค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมมากที่สุดเท่ากับ 7.46, 7.20, 7.56, 7.36 และ

7.53 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์มีการเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงในปริมาณที่มากขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีสีแดงเข้มมากขึ้น เนื้อเต้าหู้นมสดมีลักษณะกึ่งแข็งเหมือนฟองน้ำทำให้เนื้อเต้าหู้มีความนิ่มและมีความยืดหยุ่นจัดเป็นลักษณะที่ดีของเต้าหู้นมสด (Chysirichote & Pichaiyongvongdee, 2015; Mitra, 2013; Ruankon *et al*., 2017; Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2004) ซึ่งการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 1 มีผลทำให้สี กลิ่น และรสชาติเข้มข้นมากเกินไป และยังทำให้เนื้อสัมผัสที่ได้มีความหนืดมากเกินไป จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Wirivutthikorn, 2022a, b, 2023a, b) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีกลิ่นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเป็นกลิ่นที่เฉพาะตัว การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์ได้ (Chysirichote & Pichaiyongvongdee, 2015; Wirivutthikorn, 2020a, b, 2023a, b)

สรุปผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง จากผลการวิเคราะห์ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสพบว่า การเติมปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ต่างกันมีผลต่อการวัดค่าทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงร้อยละ 1 มีความเหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่มากกว่าร้อยละ 1 ผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มให้คะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่ลดลงทุกด้านเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใส่เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่มากขึ้น มีกลิ่นเฉพาะตัวฟักข้าวที่มากเกินไปซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ส่วนผลการวิจัยด้านจุลชีววิทยาพบว่า ผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงทุกการทดลองพบปริมาณแบคทีเรียไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน หากเก็บผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 การทดลองไว้ระยะเวลามากกว่า 4 วัน มีโอกาสที่จะเสื่อมเสียได้มากขึ้น แสดงว่า กระบวนการให้ความร้อนในผลิตภัณฑ์ฯ เป็นกระบวนการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์ทำให้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ และจะต้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่อุณหภูมิต่ำมีสารต้านออกซิเดชันจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง และมีข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านสมุนไพรชนิดอื่นเพิ่มเติม เช่น ชาเขียว งาขาว ปรับปรุงด้านวิธีการกำจัดกลิ่นรสฟักข้าว การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรส เช่น เต้าหู้นมสดเสริมงาขาว สารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง ผลของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้นมสดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผง สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารชั้นปีที่ 4 เจ้าหน้าที่สาขาฯ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ช่วยเหลือด้านการเตรียมตัวอย่าง การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ในการปฏิบัติการตลอดจนการสนับสนุนทุนวิจัยด้วยเงินงบประมาณคณะฯ จนแล้วเสร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Abdulqader, A., Ali, F., Ismail, A., & Esa, N. M. (2019). Antioxidant compounds and capacities of Gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) fruits. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 9*(4), 158-167.

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

Aoki, H., Kieu, N. T., Kuze, N., Tomisaka, K., & Chuyen. N. V. (2002). Carotenoid pigments in GAC fruit (*Momordica cochinchinensis* SPRENG). *Biosci Biotechnol Biochem*, 66(11), 2479-2482.

Anukulwattana, K., & Srinual, K. (2018). Effects of processing, storage and reheating on the amounts and capacities of the antioxidants of ready-to-eat rice in retort pouch. *KMUTT Res. Develop. J*, *41*(3), 299-309. (in Thai)

Baba, W. N., Punoo, H. A., Rasool, N., & Shafi, M. (2018). Physico-chemical, textural and antioxidant properties of low fat tofu prepared from blends of cow milk and soymilk. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, *6*(1), 8-12.

Bourne, M. C. (2002). *Food texture and viscosity*. 2 nd Edition. Concept and measurement. New York: Academic Press.

Chuyen, H. V., Nguyen, M. H., Roach, P. D., Golding, J. B., & Parks, S. E. (2015). Gac fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng.): A rich source of bioactive compounds and its potential health benefits. *Int. J. Food Sci. Technol, 50*(3), 567-577.

Chysirichote, T., & Pichaiyongvongdee, S. (2015). Development of pomelo albedo fiber enriched milk pudding. Research Report. School of Culinary Art, Suan Dusit University. (in Thai)

CIE. (1986). *CIE Colorimetry*. 2 nd Edition. Commission Internationale de l'Eclairage, Vienna.

Erfanian, A., & Rasti, B. (2019). Effects of soy milk on physical, rheological, microbiological and sensory properties of cake. *International Food Research Journal*, *26*(1), 237 – 245.

Fish, W. W., Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2002). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, *15*(3), 309-317.

Jatupornpongchai, A. (2009). A tofu processing from goat milk. *Advanced Science Journal*, *9*(1), 169-175. (in Thai)

John, M. D. (1980). *Principle of food chemistry*. Westport, Conn.: AVI publishing.

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

Mitra, J., Jha, A., Alam, T., Singh, D. S., Ranjan, S. K., Pathak, S. & Naz, A. (2013). Sensory and textural properties of tofu manufactured by blending buffalo milk. *Asian J. Dairy & Food Res*, *32*(2), 135-138.

Paralee, P., Praychoen, P., & Phongtongpasuk, S. (2013). Effect of thermal treatment on phytochemical content and antioxidant activity of gac juice. *Burapha Science Journal, 18*(2), 90-96. (in Thai)

Parnsakhorn, S., & Langkapin, J. (2020). Analysis of characterization of physicochemical properties of different formulations of riceberry malted beverage. *Journal of Engineering, RMUTT*, *18*(2), 157-168. (in Thai)

Parnsakhorn, S., & Langkapin, J. (2021). Effects of processing and heating on antioxidant activity and quality of riceberry malted beverage. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ), 29*(1), 119-133. (in Thai)

Pastsart, U., Prompakdee, N., & Promtansud, P. (2019). Quality evaluation and texture profile analysis of beef patties formulated with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) *Khon Kaen Agr. J*, *47* SUPPL(2), 1029-1034. (in Thai)

Phamonprawat, K. (2013). *Gac, a very valuable local plant*. (1st ed). Bangkok: Phan villagers publishing house. (in Thai)

Prabhakaran, M. P., Perera, C. O., & Valiyaveettil, S. (2006). Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu. *Food Chemistry*, *99*(3), 492-499.

Punkaew, T., Hnongkhunsan, K., & Baipong, S. (2016). The appropriate amount of maltodextrin for gac aril powder processing. *J. of Food Science and Technology*, *1*, 1-10. (in Thai)

Putthongsiri, T., Changsuwan, K., Sathong, K., & Sraphu, N. (2011). Shelf-life extension tofu milk using chitosan. *RMUTP Research Journal*, *5*(2), 139-152. (in Thai)

Ruankon, J., Kongnoi, P., Phrigboonchan, P., Jaipong, P., & Samawattana, K. (2017). Development of tofu milk-like product substituted with lotus seed milk. *Khon Kaen Agr. J, 45* SUPPL(1), 1555-1559. (in Thai)

Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., & Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthone on the auto oxidation of soybean in cyclodextrin emulsion. *J. Agr. Food Chem*, *40*, 945–948.

Siriwan, D. (2012). Milk hero or villain. *Village Doctor*, *34*(398), 10-18. (in Thai)

Tanongkankit, Y., Narkprasom, K., & Narkprasom, N. (2016). Effect of processing on physical property and carotenoid content in natural food colorant from gac aril. *J. of Food Technology Siam University*, *11*(1), 47-57. (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry. (2004). *Thai community product standard tofu milk (CPS.528/2004)*. (1st ed). Bangkok: Thai Industrial Standards Institute. (in Thai)

Vuong, L. T., Franke, A. A., Custer, L. J., & Murph, S. P. (2006). *Momordica cochinchinensis* Spreng. (gac) fruit carotenoids reevaluated. *J. Food Comps*, *19*(6-7), 664-668.

Wanapa, S. (2011). Superfruit gac fruit is the best local crop. *Agricultural Housing Journal*, *35*(4), 75-90. (in Thai)

Wirivutthikorn, W. (2020). Appropriate ratios of gelatin on pineapple juice gummy production supplemented with gac fruit aril. *King Mongkut's Agricultural Journal*, *38*(3), 400-407. (in Thai)

Wirivutthikorn, W. (2022a). Product development of banana blended corn milk and soy milk beverage. In *Conference Proceedings The 15 Research Administration Network Conference*. (pp.403-414). Bangkok. (in Thai)

Wirivutthikorn, W. (2022b). The appropriate addition quantity of gac fruit powder for the development of butter cake product. *Naresuan Phayao J*, *15*(2), 128-141. (in Thai)

Wirivutthikorn, W. (2022c). Study of gac fruit aril powder enrichment in the production of ready-to-drink from medicinal mushrooms blended chrysanthemum. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal, 14*(3), 594-607. (in Thai)

Wirivutthikorn, W. (2023a). Effect of gac fruit aril amounts on the corn milk qualities. *Burapa Science Journal*, 28(1), 517-533. (in Thai)

Wirivutthikorn, W. (2023b). Product development of blended barley milk and black sesame beverage. *Burapa Science Journal*, *28*(2), 1194-1211. (in Thai)

Wiriyajaree, P. (2018). Sensory evaluation. Chiang Mai: Faculty of Agro Industry, Chiang Mai University. (in Thai)

Yeesaeng, J. (2017). The study of phytochemical and antioxidant activity of Thai gac and gac product. In Conference Proceedings The 9th NPRU National Academic Conference. (pp.35-44). Nakhon Pathom. (in Thai)