วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.1) January – April 2023 บทความวิจัย

ผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่มีต่อคุณภาพน้ำนมข้าวโพด

Effect of Gac Fruit Aril Amounts on the Corn Milk Qualities

วัฒนา วิริวุฒิกร*

Wattana Wirivutthikorn*

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

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

Received : 11 May 2022

Revised : 12 August 2022

Accepted : 23 September 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เหมาะสมต่อคุณภาพของน้ำนมข้าวโพด โดยได้ทำการศึกษาน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ได้แก่ สี ความสว่าง ความหนืด ปริมาณตะกอน ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณไลโคพีน ร้อยละการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และศึกษาการยอมรับประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมแบบ 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ และเคมีพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นความเป็นกรด-ด่าง และของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมากขึ้นมีผลให้ไลโคพีนที่วัดได้ และร้อยละการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาพบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินปริมาณที่กำหนด ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าค่าสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2 ให้คะแนนด้านรสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมมีค่าสูงสุดคือ 6.43, 6.53 และ 6.60 ตามลำดับ

คำสำคัญ : เยื่อหุ้ม ; เมล็ดฟักข้าว ; น้ำนมข้าวโพด

Abstract

The purpose of this research was to study the effect of gac fruit aril on the quality of the corn milk that had been supplemented with 0%, 2%, 4% and 6% of gac fruit aril. The physical, chemical and microbiological properties such as L*, a*, b* values, viscosity, sedimentation amounts, pH, total soluble solid content, lycopene content, percentage of antioxidant inhibition as DPPH assay as well as total plate count were also analyzed. In addition, a sensory evaluation of each product's color, odor, taste, appearance and overall acceptability characteristics was performed using a 9-point hedonic scale by 30 untrained panelists. The results indicated that all values were significant difference ($p \leq 0.05$), except for the pH and total soluble solid values. As the amounts of gac fruit aril increased, lycopene value and percentage of antioxidant inhibition values also significantly increased. The microbiological results demonstrated that total plate count followed in accordance with standard regulation. The results of sensory evaluation indicated that color, odor, taste, appearance and overall acceptability of corn milk products were significant difference. The supplementation of 2% of gac fruit aril showed the highest scores of taste, appearance and overall acceptability of 6.43, 6.53 and 6.60, respectively.

Keywords : aril ; gac fruit ; corn milk

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

บทนำ

ในสังคมปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับเรื่องสุขภาพมากขึ้นแต่เนื่องด้วยรูปแบบการดำรงชีวิตประจำวันที่เปลี่ยนไป ส่งผลทำให้เกิดความเร่งรีบในการดำรงชีวิตประจำวัน ทำให้ร่างกายอ่อนแอ เจ็บป่วยได้ง่ายขึ้น การเลือกบริโภคเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่ประกอบด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์จากผัก ธัญพืชเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เครื่องดื่มจากธัญพืชมีบทบาทในตลาดอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น และได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้นตามกระแสการตื่นตัวของการรักษาสุขภาพ เครื่องดื่มธัญพืชที่มีการเติมนมลงไป (เครื่องดื่มเลียนแบบนม) จัดว่าประเภทหนึ่งที่น่าสนใจ เช่น ข้าวโพด จัดเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการเครื่องดื่มเลียนแบบนมได้ อาจจะใช้ในรูปของการใช้เมล็ดพืชมาผลิตโดยตรง เครื่องดื่มผัก หรือผลไม้ผสมธัญพืชเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันมากมีแนวโน้มการบริโภคมากขึ้น แต่ยังพบปัญหาที่สำคัญคือ ด้านกลิ่นเฉพาะตัววัตถุดิบ ทำให้ผู้บริโภคบางคนไม่ยอมรับ (Wirivutthikorn, 2022) รูปแบบการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพออกมาหลายชนิด และวางจำหน่ายอยู่ทั่วไปเป็นจำนวนมาก และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคจากผู้บริโภคเป็นอย่างสูง ให้รสชาติดี ราคาไม่แพง รับประทานง่าย และมีความสะดวกสบายในการบริโภคโดยรูปแบบของผลิตภัณฑ์มีทั้งแบบสำเร็จรูปพร้อมดื่ม และแบบผงสำหรับชงดื่ม (Apichartsrangkoon, *et al*., 2009)

ฟักข้าวเป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ด้านคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่มักจะถูกนำมาบริโภคและนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ คือ การทำเป็นผงนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอาหารได้ ซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญของสารไลโคพีนเป็นสารที่พบในกลุ่มของแคโรทีนอยด์พบได้ในผัก และผลไม้บางชนิดโดยทำหน้าที่เป็นรงควัตถุรวบรวมแสงให้แก่พืช และป้องกันพืชผักจากออกซิเจนโมเลกุลเดี่ยว (อนุมูลอิสระ) มีรายงานเกี่ยวกับไลโคพีนที่พบปริมาณมาก 380 ไมโครกรัมต่อกรัม หรือสูงกว่าผักและผลไม้ที่มีปริมาณไลโคพีนสูงถึง 10 เท่า และสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสำคัญที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอนุมูลอิสระอันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจ 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 (Wanapa, 2011) เช่น งานวิจัยการพัฒนาแผ่นฟิล์มบริโภคได้ไลโคปีนสูงจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (Buadilok & Oupathumpanont, 2022) อัตราส่วนที่เหมาะสมของเจลาตินที่มีต่อการผลิตกัมมี่น้ำสับปะรดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (Wirivutthikorn, 2020)

ข้าวโพดหวาน (sweet corn) เป็นข้าวโพดที่ปลูกเพื่อใช้รับประทานในรูปฝักสด โดยเฉพาะเมล็ดอ่อนมีลักษณะโปร่งแสง และมีรสหวาน เนื่องจากมีน้ำตาลมาก คนไทยคุ้นเคยกับการบริโภคข้าวโพดหวานฝักสดมากกว่าข้าวโพดหวานแปรรูป เนื่องจากการแปรรูปเน้นส่งออกเพียงอย่างเดียวจะประสบปัญหาด้านราคาในการส่งออกสู้กับคู่แข่งไม่ได้ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส จึงทำให้การแปรรูปข้าวโพดหวานเริ่มให้ความสนใจกับตลาดภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น มีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น แป้งข้าวโพด ข้าวโพดคลุกเนย ข้าวโพดหวานทอด เป็นต้น (Revilla *et al*., 2021) ผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันชนิดหนึ่งก็คือ น้ำนมข้าวโพดเป็นเครื่องดื่มที่นิยมมากโดยเฉพาะในหมู่ผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพเพราะ มีประโยชน์ทางโภชนาการ ซึ่งน้ำนมข้าวโพด 100 กรัม มีวิตามินเอ 24 IU วิตามินบี 1 0.020 มิลลิกรัม วิตามิน

บี 2 0.030 มิลลิกรัม วิตามินบี 6 0.020 มิลลิกรัม วิตามินซี 3.7 มิลลิกรัม และไนอาซิน 0.520 มิลลิกรัม นอกจากนี้น้ำนมข้าวโพดยังมีกรดไขมันอิ่มตัวและคอเลสเตอรอลต่ำ (USDA, 2008) ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางชีวเคมี และความหวานลดลงเนื่องจาก น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแป้ง (Ryall & Lipton, 1997) สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดได้ เช่น กล้วยหอมผสมนมข้าวโพดและนมถั่วเหลือง (Wirivutthikorn, 2022)

จากข้อมูลดังกล่าวทางผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นคุณประโยชน์ที่มีมากในข้าวโพดหวาน และฟักข้าวเป็นผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสำหรับการผลิตเครื่องดื่ม และการนำไปประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจึงได้คิดพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดผสมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยมีการใส่เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวลงไปนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารไลโคพีน และให้มีสีสันที่สวยงามเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้ยังเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตร การแก้ปัญหาการเก็บรักษาข้าวโพดหวานเนื่องจาก ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางสารอาหาร (Thepyothin *et al*., 2011) และผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณสมบัติที่สำคัญทางเภสัชศาสตร์ในด้านเป็นยารักษาโรคได้ ซึ่งน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ทำให้ประชาชนบริโภคพืช ผักมากขึ้น เพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพในการป้องกันโรคและเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย นอกจากนี้ยังสามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เหมาะสมที่มีต่อการผลิตน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว และศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ เคมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมน้ำนมข้าวโพด

การเตรียมน้ำนมข้าวโพด โดยมีการควบคุมปัจจัยที่สำคัญในการผลิตสายพันธุ์อินทรี 2 ของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ระยะเวลา 18-20 วันหลังข้าวโพดออกไหมร้อยละ 50 (ไร่สุวรรณ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นำข้าวโพดล้างทำความสะอาด แยกส่วนที่เป็นซังออกให้หมด และทำการฝานข้าวโพดให้เป็นชิ้นบางๆ จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที เทน้ำออก ทิ้งไว้ให้เย็น นำส่วนเนื้อข้าวโพดที่เย็นแล้วมาปั่นพร้อมเติมน้ำ (อัตราส่วน 1:1) กรองผ่านผ้าขาวบาง ได้เป็นน้ำนมข้าวโพด สำหรับใช้ในการผลิตต่อไป ดัดแปลงจาก Ruangthamasingh *et al*. (2016)

2. การเตรียมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

นำผลฟักข้าวมาล้างทำความสะอาด ผ่าครึ่งผลฟักข้าว คว้านเอาแต่เมล็ดที่มีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวติดอยู่ นำส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวใส่ลงภาชนะที่สะอาด แยกเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวออกจากเมล็ดฟักข้าว โดยกรองผ่านกระชอนได้เป็นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสำหรับใช้ในการผลิตต่อไป ดัดแปลงจาก Punkaew *et al*. (2016); Tanongkankit *et al*. (2016)

3. การผลิตน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

ศึกษาปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เหมาะสมในน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยแปรปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ทดลอง 3 ซ้ำโดยควบคุมใช้น้ำนมข้าวโพด 1,400 มิลลิลิตร น้ำตาลทราย 150 กรัม และเกลือ 1 กรัม เท่ากันทุกสิ่งทดลอง นำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เตรียมไว้เติมลงในน้ำนมข้าวโพด และนำไปปั่นรวมเป็น

เนื้อเดียวกัน การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ตามลำดับ เท่ากับปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเติมลงไปเท่ากับ 0.00, 31.02, 62.04 และ 93.06 กรัม นำไปให้ความร้อนอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที บรรจุน้ำนมข้าวโพดลงในขวดพลาสติกขนาด 400 มิลลิลิตรที่ผ่านการต้มฆ่าเชื้อเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นทันทีโดยการแช่ลงในน้ำแข็ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ดัดแปลงจาก Punkaew *et al*. (2016); Ruangthamasingh *et al*. (2016); Tanongkankit *et al*. (2016)

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

การวิเคราะห์ค่าความสว่างและค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color flex ทำโดยการเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวนำมาใส่ในภาชนะ และทำการวัดค่า L^*, a^* และ b^* (CIE, 1986) และการวิเคราะห์การตกตะกอนโดยวิธีการวัดปริมาตรส่วนใสที่เกิดจากการแยกชั้นตะกอน ทำโดยการนำผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อฟักข้าวเขย่าให้เข้ากันและเทลงไปในกระบอกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร นำไปเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ (4±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 14 ชั่วโมง สังเกตการเกิดตะกอนที่ได้ ดัดแปลงจาก Wirivutthikorn (2022) การวิเคราะห์ความหนืดโดยใช้เครื่องมือวัดความหนืดยี่ห้อ Brookfield รุ่น RVDV-IT PRO S/N RTP 85021 ขั้นตอนแรกดำเนินการปรับค่าการทำงานของเครื่อง นำตัวอย่างที่ต้องการวัดปริมาตร 500 มิลลิลิตรใส่ในบิกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เลือกหัวเข็มเบอร์ 1 จุ่มหัวเข็มปรับความเร็วรอบ 10 รอบ/นาทีแล้วกดตั้งปุ่มปรับความเร็วอีกครั้งเพื่อให้เครื่องบันทึกการเลือกความเร็วรอบในการหมุนจนกว่า torque จะมีค่าเข้าใกล้ 100% บันทึกค่าความหนืดและอุณหภูมิที่วัดได้ ดัดแปลงจาก Wirivutthikorn (2022)

5. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง เตรียมผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดในรูปสารละลายจำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในบิกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร ใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง บันทึกค่าที่วัดได้ (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้โดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดแบบมือ (hand refractometer) หยดสารละลายบนแผ่นปริซึม ปิดด้วยแผ่นปิดแล้วส่องมองผ่านช่องในที่มีแสงจะมองเห็นเป็นแถบสีที่อ่านค่าตัวเลขได้ตามสเกลมีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ ($^{\circ}$บริกซ์) (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ไลโคพีน ชั่งตัวอย่างหนัก 1 กรัม ใส่หลอดทดลองที่มีน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร และทำการเจือจางจนถึงการเจือจาง 10^{-2} และนำมาเติมสารละลายผสม (สารละลายเอทานอล 3 มิลลิลิตร เฮกเซน 6 มิลลิลิตร และอะซิโตน 3 มิลลิลิตร) นำสารละลายใส่ลงในขวดแยกสาร ปิดฝาเขย่าพร้อมปล่อยแก๊สออก (เขย่าจนกว่าแก๊สจะหมด) ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที หรือจนกว่าสารจะแยกชั้น แยกสารละลายทั้งสองชั้นออกจากกันโดยเฮกเซน (สีแดงส้ม) ที่อยู่ส่วนบนออกใส่ไว้ในขวดสีชา และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 5 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้น นำสารละลายที่ประกอบด้วยเฮกเซน (ส่วนบน) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตรใช้คิวเวตขนาด 1 เซนติเมตรด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เฮกเซนเป็นแบลงก์ คำนวณหาปริมาณไลโคพีนดังสมการ ดัดแปลงจาก Fish *et al*. (2002)

ปริมาณไลโคพีน (มิลลิกรัม/กิโลกรัมตัวอย่าง) = $\frac{A_{503}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$ x 31.2

เมื่อ A_{503} = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

การวิเคราะห์ร้อยละการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ดัดแปลงจาก Manok & Limcharoen (2015); Shimada *et al*. (1992) โดยการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำนวน 2.5 กรัม มาผสมกับเอทานอล 12.5 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 15,000 รอบเป็นเวลานาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ใช้กรองด้วยกระดาษกรอง) และปิเปตสารละลายตัวอย่างดังนี้ หลอดที่ 1 ตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองที่หุ้มด้วยอะลูมินัมฟอยล์ เพื่อป้องกันแสง แล้วเติมสารละลาย DPPH 2.9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที หลอดที่ 2 ตัวอย่างควบคุม โดยใช้เอทานอล 0.1 มิลลิลิตร และเติม DPPH 2.9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และคำนวณหาร้อยละการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ ดังสมการ (1)

$$\% \text{ inhibition} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) \times 100] / A_{\text{control}} \quad (1)$$

เมื่อ A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH

6. การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

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

7. การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

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

8. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel 2016 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. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

จากการศึกษาคุณภาพด้านกายภาพ ค่า *L**, *a** และ *b** ลักษณะปรากฏ และความหนืดของเครื่องดื่ม*น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว* ผลการศึกษาดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1

Table 1 Physical properties of corn milk beverage supplemented with different gac fruit aril beverage

Gac fruit aril (%)	*L**	*a**	*b**	viscosity (cps)*
0	62.27±0.95^{a}	-4.04±1.14^{c}	57.01±0.51^{a}	2.43±1.13^{c}
2	51.25±1.25^{b}	11.63±1.08^{b}	49.68±0.27^{b}	6.45±0.96^{b}
4	46.25±0.48^{c}	17.10±0.64^{a}	42.96±0.84^{c}	7.21±0.35^{b}
6	42.98±0.47^{d}	18.72±0.38^{a}	39.54±0.58^{c}	9.38±0.54^{a}

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 ($p \leq 0.05$)

1 2 3 4

Figure 1 Corn milk beverage supplemented with gac fruit aril of 0, 2, 4 and 6%, respectively

2. ศึกษาสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

จากการศึกษาคุณภาพด้านเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด ไลโคพีน และร้อยละการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ของเครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ผลการศึกษาดังตารางที่ 2

Table 2 Chemical properties of corn milk beverage supplemented with different gac fruit aril

Gac fruit aril (%)	pH^{ns}	total soluble solid (^{o}Brix)^{ns}	lycopene* (mg/g)	antioxidant inhibition DPPH*(%)
0	6.42±0.32	15.10±0.41	2.61±0.76^{c}	22.14±1.21^{d}
2	6.48±0.54	14.20±0.33	8.52±0.21^{b}	31.55±0.93^{c}
4	6.57±0.21	16.18±0.38	9.53±0.92^{b}	33.39±1.08^{b}
6	6.52±0.39	16.32±0.45	25.11±1.13^{a}	35.21±0.75^{a}

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 ($p \leq 0.05$), ns non significant.

3. ศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

จากการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในทุกสิ่งทดลอง คือ น้ำนมข้าวโพดเสริมปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0 เป็นสูตร (Control) และสูตรที่เสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2, 4 และ 6 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3

Table 3 Microbiological properties of corn milk beverage supplemented with different gac fruit aril

Gac fruit aril (%)	Total plate count (CFU/ml)
0	<1
2	<1
4	<1
6	<1

4. ศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

จากการศึกษาคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมของเครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ผลการศึกษาดังตารางที่ 4

Table 4 Sensory evaluation properties of corn milk beverage supplemented with different gac fruit aril

Gac fruit aril (%)	Liking scores				
	colour*	odour*	taste*	appearance*	overall acceptability*
0	6.13±0.91^{c}	6.47±0.65^{a}	6.17±1.25^{b}	6.40±0.74^{b}	5.70±0.53^{c}
2	6.33±0.56^{b}	6.37±0.87^{b}	6.43±1.08^{a}	6.53±0.49^{a}	6.60±0.42^{a}
4	6.63±1.05^{a}	6.37±0.43^{b}	5.97±1.17^{c}	6.23±0.51^{c}	6.33±0.91^{b}
6	6.40±1.13^{b}	6.03±0.65^{c}	5.76±0.92^{d}	6.13±0.75^{d}	6.07±1.35^{b}

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 ($p \leq 0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองจากการวิเคราะห์สมบัติกายภาพดัง (ตารางที่ 1) พบว่า ทุกค่าที่วัดได้คือความสว่าง สีแดง สีเหลือง และความหนืดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการเติมปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่แตกต่างกันมีผลต่อการวัดค่าสี ความสว่าง และความหนืดอย่างชัดเจน ค่าความสว่าง และค่าสีที่วัดได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมเยื่อหุ้มฟักข้าว โดยปกติข้าวโพดมีสีเหลืองประกอบด้วยรงควัตถุประเภทแคโรทีนอยด์ คือ เบตา-คริพโตแซนทิน (β-cryptoxanthin) ประมาณ 1 ใน 3 และแซนโทฟิลล์ประมาณ 2 ใน 3 และลูเทอินที่ให้สีแดง-เหลือง เมื่อถูกความร้อนที่ใช้ในการผลิตจะแยกสารแคโรทีนอยด์ออกจากโปรตีนทำให้เปลี่ยนแปลงเป็นสีแดง การเติมเยื่อหุ้มฟักข้าวที่มากขึ้นส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงน้ำตาลมากขึ้น ส่วนรงควัตถุที่พบในฟักข้าวมีปริมาณบีตาแคโรทีนมากกว่าแครอท 10 เท่า มีไลโคพีนมากกว่ามะเขือเทศ 12 เท่า (Aoki, *et al.*, 2002) ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอมแดงเหลืองที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการให้ความร้อนอุณหภูมิสูงในการฆ่าเชื้อสามารถเกิดปฏิกิริยาโดยมีเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) เป็นสารเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เมื่อสารประกอบฟีนอลิกและออกซิเจนสัมผัสกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารโมโน-ฟีนอล (mono-phenol) ซึ่งไม่มีสีจะถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งไม่มีสีและถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น o-quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีสีน้ำตาล นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ได้อิทธิพลจากปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลชนิดไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (caramelization) ที่อุณหภูมิการพาสเจอไรซ์ในทุกสิ่งทดลองเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และมีการเกิดโพลิเมอร์ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard) ที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวโพด และฟักข้าวกับโปรตีนที่มีอยู่ในข้าวโพดในสภาวะที่ให้ความร้อนสูงในระหว่างการพาสเจอไรซ์ (Ulziijargal *et al.*, 2013) จากตารางที่ 1 และภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมปริมาณเยื่อหุ้มฟักข้าวในปริมาณที่มากขึ้นมีผลทำให้ความสว่างและค่าสี +b* มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ แต่ค่าสีแดงซึ่งเป็นสีของรงควัตถุแคโรทีนอยด์หลักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมลงไป (Nualkaekul, 2003; Ngamlamai,

2007) ซึ่งรงควัตถุนี้ประกอบด้วยพันธะคู่เป็นจำนวนมากเมื่อสัมผัสกับความร้อนในการฆ่าเชื้อรูปแบบพาสเจอไรซ์มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ที่เกิดจากการเปลี่ยนไอโซเมอร์จากทรานส์ (trans) ไปเป็นซิส (cis) มีผลทำให้เกิดการสลายตัวแคโรทีนอยด์ ทำให้ค่าแคโรทีนอยด์ลดลง ซึ่งเป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในปริมาณมากขึ้น (Tantaphanichakul, 2004; Punkaew *et al.*, 2016) นอกจากการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นยังมีผลต่อการ-เปลี่ยนกลิ่นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว สำหรับปริมาตรตะกอนที่วัดได้ทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทดสอบมาเขย่าให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันก่อนเทลงในกระบอกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (4±2 °ซ) เป็นเวลา 14 วัน เพื่อสังเกตการเกิดตะกอน และเก็บตัวอย่างทุกๆ สัปดาห์จนกว่าครบ 14 วันพบว่า ในวันแรกที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวทั้ง 4 สิ่งทดลองไม่เกิดการตกตะกอน แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้จนครบ 7 วัน ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0 เกิดการตกตะกอนชัดเจนวัดปริมาตรส่วนใสที่อ่านค่าได้จากกระบอกตวงเท่ากับ 2 มิลลิลิตร เนื่องจากน้ำนมข้าวโพดไม่ใช่สารละลาย แต่มีคุณสมบัติเป็นสารแขวนลอย คือ เป็นอนุภาคข้าวโพดเล็กๆ แขวนลอยอยู่ในน้ำ (Nualkaekul, 2003; Ngamlamai, 2007; Wirivutthikorn, 2022) พอตั้งทิ้งไว้นานก็เกิดการตกตะกอนแยกชั้น แต่เมื่อสังเกตการเกิดตะกอนไม่ชัดเจนลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นแขวนลอย ตะกอนที่เกิดขึ้นมีปริมาตรไม่มากพอที่จะเกิดความแตกต่าง และสีของผลิตภัณฑ์บดบังการเกิดตะกอนบางส่วน ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสิ่งทดลองที่ 2, 3 และ 4 เกิดการตกตะกอนเล็กน้อย แต่ยังสังเกตเห็นไม่ชัดเจนจนถึงวันที่ 14 สังเกตเห็นการตกตะกอนชัดเจนมากขึ้น คือ ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0 เกิดการตกตะกอน 4 มิลลิลิตร ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2, 4 และ 6 เกิดการตกตะกอน 2 มิลลิลิตร 1 มิลลิลิตร และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีความข้นหนืดมากจึงทำให้เกิดตกตะกอนน้อยลง (Nualkaekul, 2003; Ngamlamai, 2007) ทำการวัดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นพบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0 มีปริมาตรตะกอนมากที่สุด คือ 12.5 มิลลิลิตร ส่วนผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 6 มีปริมาตรตะกอนที่มากที่สุดคือ 33.0 มิลลิลิตร จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้มีความหนืดมากขึ้นทำให้เกิดการตกตะกอนมากขึ้นสอดคล้องกับการวัดความหนืดที่วัดได้ (Nualkaekul, 2003; Ngamlamai, 2007)

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดในผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวทุกสิ่งทดลองพบว่าค่าความหนืดมีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมลงไปโดยผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 6 มีความหนืดสูงสุด 9.38 เซนติพอยส์ โดยความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นดังกล่าวมาจากส่วนผสมของนมข้าวโพด และปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมลงไปที่ปั่นผสมรวมกับน้ำ สัดส่วนปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีผลทำให้เกิดปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำมากขึ้นทำให้เกิดการตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงโลกส่งผลทำให้ค่าความหนืดที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมลงไป เนื่องจากนมข้าวโพดประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรทประเภทแป้งซึ่งในแป้งข้าวโพดประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพคตินมีคุณสมบัติด้านความหนืด และความคงตัวของแป้งข้าวโพดเพิ่มมากขึ้น (Satsue, 2019) รวมถึงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอื่นๆ มากขึ้น เช่น เอนไซม์ ผนังเซลล์ กรดอินทรีย์ และน้ำตาล (Paseephol *et al.*, 2017)

จากการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวโดยการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวทั้ง 4 สิ่งทดลอง คือ น้ำนมข้าวโพดเสริมปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0 เป็นสูตร (Control) และสูตรที่เสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2, 4 และ 6 พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีรายงานวิจัยค่าความเป็นกรด-ด่างของฟักข้าวอยู่ในช่วง 4.17-5.06 (Punkaew *et al*., 2016) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำนมข้าวโพดควรอยู่ที่ 6.5-7.0 ผลการทดลองที่ได้มีค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.42-6.57 เนื่องจาก มีการเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวจัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ (low acid food) ค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.6 (pH>4.6) หมายถึง อาหาร หรือผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.6 และมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้มากกว่า 0.85 เป็นอาหารที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลาย หรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อนภายหลัง หรือก่อนบรรจุปิดผนึก รวมถึงอาหารอื่นที่มีกระบวนการผลิตในทำนองเดียวกันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.6 ซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่สามารถป้องกันมิให้อากาศเข้าไปในภาชนะบรรจุได้และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ (Buadilok & Oupathumpanont, 2022) ดั้งนั้นปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสิ่งทดลองที่วัดได้สามารถเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอลฟา-แลคตาบูมิน และบีตา-แลคโตโกลบูลินซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในน้ำนมข้าวโพด (Li *et al*., 2014) กับเคซีนซึ่งเป็นโปรตีนหลักที่พบมาก ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเคซีนที่มีความคงตัวมากขึ้น (Chaikulsareewath, 2012)

จากการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยการศึกษา ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวทั้ง 4 สิ่งทดลอง คือ น้ำนมข้าวโพดเสริมปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0 เป็นสูตร (Control) และสูตรที่เสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2, 4 และ 6 พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกับการวัดความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ที่ 16 องศาบริกซ์ ซึ่งในงานวิจัยวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้ำทั้งหมด 16 องศาบริกซ์ ทั้งนี้ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมดแสดงถึงส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้เป็นผลรวมของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรักโทส กรดอะมิโน กรดซิตริก วิตามินที่ละลายน้ำ และแร่ธาตุต่างๆ เนื่องจากในการวิจัยนี้ควบคุมปริมาตรน้ำนมข้าวโพด 1,400 มิลลิลิตร น้ำตาลทราย 150 กรัม และเกลือ 1 กรัมเท่ากันทุกสิ่งทดลอง ยกเว้นปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมปริมาณที่ต่างกัน ทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้ทางสถิติไม่แตกต่างกัน การสะสมของปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้ำทั้งหมดมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอายุการเก็บเกี่ยว มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาด้านปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดกับช่วงระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวของข้าวโพดเพิ่มขึ้นของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอาจลดลงเนื่องจาก เกิดการสะสมองค์ประกอบจำพวกแป้ง และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มมากขึ้น (Nualkaekul, 2003; Ngamlamai, 2007; Thepyothin *et al*., 2011)

จากการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยการศึกษาปริมาณไลโคพีนของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสูตรต่างๆ คือ น้ำนมข้าวโพดเสริมปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0 เป็นสูตร (Control) มีค่าไลโคพีนเท่ากับ 2.61 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (Vuong *et al*., 2006) ที่วัดในฟักข้าวมีค่าเท่ากับ 3.80 มิลลิกรัม/กรัม แต่แตกต่างจากงานวิจัยของ (Yeesaeng, 2017) ที่วัดในฟักข้าว และผลิตภัณฑ์

ฟักข้าวมีค่าเท่ากับ 0.96 มิลลิกรัม/กรัม ค่าที่วิเคราะห์นี้แตกต่างกันขึ้นกับฤดูกาล สายพันธุ์ และสูตรที่ใส่เยื่อเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2, 4 และ 6 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผสมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ความเข้มข้นสูงมีผลทำให้มีปริมาณไลโคพีนมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผสมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวความเข้มข้นต่ำ และไม่ได้ผสมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว แต่ผลิตภัณฑ์ที่ผสมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2 และ 4 จะมีความแตกต่างกัน เพราะฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่า ปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโคพีนทั้งหมด เนื่องจากในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีปริมาณไลโคพีนสูง (Paralee, *et al*., 2013; Yeesaeng, 2017)

จากการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเสริมปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 0 เป็นสูตร (Control) และสูตรที่ใส่เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2, 4 และ 6 พบว่าแต่ละสิ่งทดลองมีค่าร้อยละการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH เท่ากับ 22.14, 31.55, 33.39 และ 35.21 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง จึงทำให้ปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการให้ความร้อนพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นความร้อนจึงมีผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงได้ (Paralee *et al*., 2013; Yeesaeng, 2017)

จากผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สิ่งทดลองแสดงผลปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงในตารางที่ 3 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชมน้ำนมข้าวโพดกำหนดไว้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำนมข้าวโพด คือ จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร (มผช. 124/2554) (Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2011) แสดงว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มทุกสิ่งทดลองผ่านการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์ กระบวนการเทคนิคขั้นตอนในการผลิตมีความสะอาด และมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ฟักข้าวมีสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ มีรายงานงานวิจัยเกี่ยวข้องกับสารสกัดจากฟักข้าว และผลิตภัณฑ์ฟักข้าวที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Bacillus cereus*, *Candida* sp., *Escherichai coli* และ *Staphylococcus aureus* พบว่า สารสกัดจากฟักข้าวและผลิตภัณฑ์ฟักข้าวสามารถยับยั้งเชื้อรา *A. niger* ได้ดีที่สุด โดยมีค่าร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 66 สำหรับจุลินทรีย์ก่อโรคในกลุ่มแบคทีเรีย พบว่า สารสกัดจากฟักข้าวและผลิตภัณฑ์ฟักข้าวสามารถยับยั้งเชื้อ *B. subtilis* ได้ดีที่สุดโดยมีค่าร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 50 สารสกัดจากฟักข้าวและผลิตภัณฑ์ฟักข้าวสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีที่สุดมีค่าร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 82 แต่ไม่สามารถยับยั้งยีสต์ *Candida* sp. ได้ (Yeesaeng, 2017) ทำให้ไม่พบการเจริญเติบโตจุลินทรีย์ในทุกสิ่งทดลอง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่อุณหภูมิแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี และกระบวนการทางชีวภาพเนื่องจากเป็นการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ทุกสิ่งทดลองแบบพาสเจอไรซ์ (Wirivutthikorn, 2022) ทำให้ระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 2 สัปดาห์ซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีการฆ่าเชื้อด้วยวิธีนี้เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อไม่สูง (Wirivutthikorn, 2022)

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดเสริม เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

ทุกสิ่งทดลองโดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 9-point hedonic scale โดยผู้ทดสอบชิมไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้าน สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมพบว่า ทุกค่าที่วิเคราะห์มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาข้อมูลการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมลงไปพบว่า มีผลต่อการยอมรับของผู้ทดสอบชิม ปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกันที่เติมลงไปส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค จากข้อมูลตารางที่ 4 พบว่า การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 6 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับสูงสุด แต่คะแนนด้านกลิ่น รสชาติ ลักษณะทั่วไป และความชอบโดยรวมมีค่าลดลงอย่างชัดเจน สำหรับการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2 และ 4 ให้คะแนนด้านกลิ่นไม่ต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาด้านรสชาติ ลักษณะทั่วไป และความชอบโดยรวม พบว่า การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2 ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุด ปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 2 ซึ่งการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในปริมาณที่มากเกินไปทำให้สี กลิ่น และรสชาติเข้มข้นมากเกินไป และยังทำให้เนื้อสัมผัสที่ได้มีความหนืดมากเกินไป จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Thepyothin *et al*., 2011; Chaikulsareewath, 2012; Kanenok, 2018) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทุกสิ่งทดลองมีกลิ่นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเป็นกลิ่นที่เฉพาะตัว การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในปริมาณที่มากเกินไป ส่งผลต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์ (Thepyothin *et al*., 2011; Chaikulsareewath, 2012; Kanenok, 2018; Wirivutthikorn, 2020)

สรุปผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เหมาะสมที่เติมลงในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดเสริมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ผลการวิเคราะห์ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ที่เติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 2 มีคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมมากที่สุด คือ 6.43, 6.53 และ 6.60 ตามลำดับ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของฟักข้าว คือ ฟักข้าวเป็นพืชที่มีกลิ่นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว และเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวปริมาณที่มากเกินไปมีผลทำให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ลดลง จากข้อสรุปที่ได้นี้สามารถนำมาปรับใช้ในการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้เหมาะสำหรับผู้ที่มีความเป็นห่วงใยในเรื่องสุขภาพ และเหมาะสำหรับผู้ที่แพ้นมวัว ผลิตภัณฑ์ที่ได้น่าจะมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่านมข้าวโพดทั่วไป ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ร่างกาย เนื่องจากข้อดีของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูง เช่น บีตาแคโรทีน และไลโคพีน เป็นต้น ซึ่งสารดังกล่าวมีส่วนช่วยเสริมภูมิคุ้มกัน ลดอัตราเสี่ยงของการเป็นโรคมะเร็ง จึงควรศึกษาวัตถุดิบทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีศักยภาพความเป็นไปได้ เช่น ชาเขียว และสมุนไพรบางชนิด รวมถึงสารให้ความหวานชนิดอื่นที่ให้พลังงานต่ำ เช่น ซูคราโลส เพื่อปรับปรุงกลิ่น รสชาติ และวิธีการกำจัดกลิ่นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยเรื่อง ผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่มีต่อคุณภาพน้ำนมข้าวโพด สำเร็จลุล่วงด้วยดีผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารชั้นปีที่ 4 อาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความช่วยเหลือด้านการเตรียมตัวอย่าง การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล และอำนวย

ความสะดวกในด้านสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัยตลอดจนการสนับสนุนทุนวิจัยด้วยงบประมาณคณะ ฯ จนงานวิจัยแล้วเสร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

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.

Apichartsrangkoon, A., Wongfhun, P., & Gordon, M. H. (2009). Flavor characterization of sugar-added Pennywort (*Centella asiatica* L.) juices treated with ultra-high pressure and thermal processes. *Journal of Food Science*, *74*, 643-646.

Buadilok, N., & Oupathumpanont, O. (2022). Development of high lycopene edible film from gac aril. *Burapa Science Journal*, *27*(1), 31-47. (in Thai)

Chaikulsareewath, A. (2012). Production of drinking yogurt fortified with gac fruit. *Food Technology Siam University*, *7*(1), 23-30. (in Thai)

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

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,* 309- 317.

Jan, A., & Masih, E. D. (2012). Development and quality evaluation of pineapple juice blend with carrot and orange juice. *International Journal of Scientific and Research Publication, 2*(8), 1-8.

Kanenok, S. (2018). Product development of gac fruit yoghurt. *DRIRDI Research for Community Service Journal, 4*(1), 92-100. (in Thai)

Lia, S. S., Shena, J. S., Ren, D. X., & Liu, J. X. (2015). Effects of the processing methods of corn grain and soybean meal on milk protein expression profiles in dairy cows. *Animal*, *9*(2), 267-274.

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)

Ngamlamai, S. (2007). Effect of raw material and processing on quality of corn milk. Master of Science (Food Science and Technology). Chiang Mai University. (in Thai)

Nualkaekul, S. (2003). Development of enriched dietary fiber corn beverage from corn cake. Master of Science (Agro-Industrial Product Development). Kasetsart University. (in Thai)

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)

Paseephol, T., Injun, N., & Sukmark, S. (2017). Development of sterilized soy milk mixed with mango juice. *Conference Proceedings The 13th Mahasarakham University Research Conference*. (pp.465-471). Mahasarakham. (in Thai)

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

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)

Revilla, P., Anibas, C. M., & William, F. T. (2021). Sweet corn research around the world 2015–2020. *Agronomy*, *11*(534), 1-49.

Ruangthamasingh, R., Piyasuwanying, P., & Siriwong, N. (2016). Formulation development of milk pudding substituted with corn milk. *KKU Sci. J., 44*(2), 345-354. (in Thai)

Ryall, A. L, & Lipton, W. J. (1997). *Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Vol 1*. Westport, C.T..: AVI Publishing Co.

Satsue, N. (2019). Product development of imitation milk from water caltrop. Master of Science (Home Economics). Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)

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

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)

Tantaphanichakul, R. (2004). *Food chemistry*. (2 nd ed). Bangkok: Ramkhamhaeng University Press. (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry. (2011). *Thai community product standard corn milk (CPS.124/2015)*. (1st ed). Bangkok: Thai Industrial Standards Institute. (in Thai)

Thepyothin, W., Senawong, N., & Muangprom, J. (2011). The quality and consumer acceptance of corn milk powder with sugar coating and pasteurized process. *RMUTP Research Journal Special Issue*, 192-202. (in Thai)

Ulziijargal, E., Yang, J. H., Lin, L. Y., Chen, C. P., & Mau, J. L. (2013). Quality of bread supplemented with mushroom mycelia. *J. of Food Chem*, *138*, 70-76.

USDA Agricultural Research Service. (2008). *Mango, raw*. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 21.

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. (2022). 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)

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