

ผลของคาร์ราจีแนนและกลูโคแมนแนนต่อเยลลี่น้ำเชื่อมจาก และความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นกัมมีเยลลี่ปราศจากเจลาติน

Effect of Carrageenan and Glucomannan on Nipa Syrup Jellies and Their Potential for Development as Gelatin-Free Gummy Jellies

สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, สุกัญญา ไหมเครือแก้ว, อรุณทัย เจือมณี และ รวงนลิน เทพนวล

Supaporn Apirattanusorn^{*}, Sukanya Maicaurkaew, Arunothai Juemanee and Ruangnalin Thepnuan

สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย

Program of Food Innovation and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Thailand

Received : 5 February 2025, Received in revised form : 10 April 2025, Accepted : 14 April 2025

Available online : 21 May 2025

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : น้ำเชื่อมจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำหวานของต้นจาก โดยผ่านกระบวนการเคี่ยวเพื่อลดปริมาณน้ำจนมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดประมาณ 60-70 องศาบริกซ์ แต่การที่อยู่ในรูปน้ำเชื่อมอาจไม่สะดวกในการรับประทานโดยตรง ดังนั้นหากนำน้ำเชื่อมจากมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่จะทำให้สะดวกแก่การบริโภคมากยิ่งขึ้น การใช้คาร์ราจีแนน (CG) ร่วมกับกลูโคแมนแนน (GM) สามารถสร้างเจลที่มีความเสถียรทางโครงสร้างเพิ่มขึ้น ช่วยให้เจลมีความแข็งแรงและสามารถเก็บกักน้ำได้ดี จึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเยลลี่และกัมมีเยลลี่ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำเชื่อมจาก และการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 2 ชนิดที่มีผลต่อการผลิตเยลลี่น้ำเชื่อมจากโดยวิเคราะห์จากสมบัติทางเคมี กายภาพ และประเมินทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้การใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากพืชสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ปราศจากเจลาตินได้ด้วย ดังนั้นจึงศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกัมมีเยลลี่น้ำเชื่อมจากที่ปราศจากเจลาติน เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับน้ำเชื่อมจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับผู้บริโภคในปัจจุบัน

วิธีดำเนินการวิจัย : วิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื่อมจากด้วยการวัดค่า pH ปริมาณกรด น้ำตาล ความชื้น ของแข็งที่ละลายน้ำได้ วอเตอร์เอกติวิตี (a_w) ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และความหนืด นำสูตรพื้นฐานเยลลี่ที่ได้จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทดลองผลิตเบื้องต้นมาผลิตเป็นเยลลี่น้ำเชื่อมจาก (ไม่ได้แสดงผล) โดยมีส่วนผสมของน้ำ น้ำเชื่อมจาก น้ำตาลทราย น้ำตาลทรายแดง กรดซิตริก และโซเดียมซิเตรตร้อยละ 74.1, 15.0, 9.0, 1.0, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ เติม CG และ/หรือ GM ลงไปร้อยละ 1 ของส่วนผสมทั้งหมด ศึกษาอัตราส่วน CG:GM (ตั้งแต่ 10:0 ถึง 0:10) ที่มีผลต่อเจลเยลลี่น้ำเชื่อมจาก นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (ค่า pH ปริมาณกรด และความชื้น) กายภาพ (ค่าสี และค่าเนื้อสัมผัส) และประเมินทางประสาทสัมผัส การวัดค่าเนื้อสัมผัส (TPA) วัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสที่มีกำลังโหลดเซลล์ 10 กิโลกรัม โดยวัดค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียว และการเคี้ยว คำนวณด้วยโปรแกรมประมวลผล ประเมินทางประสาทสัมผัสโดยพิจารณาจากลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม กับผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน โดยใช้แบบประเมินความชอบ 9 Point hedonic

scale ตั้งแต่ 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) ถึง 9 (ชอบมากที่สุด) ศึกษาปริมาณน้ำเชื่อมจากที่เหมาะสม (ร้อยละ 15-25) นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ค่าสี และประเมินทางประสาทสัมผัส และศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกัมมีเยลลี่น้ำเชื่อมจากที่ปราศจากเจลาติน โดยทดสอบผลการอบแห้งเยลลี่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-8 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและค่าเนื้อสัมผัส

ผลการวิจัย : ผลการวิจัยพบว่าน้ำเชื่อมจากมีค่า pH 5.21 ค่า a_w 0.80 ความชื้นร้อยละ 31.69 กรดทั้งหมดร้อยละ 1.26 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 28.09 น้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 78.27 และของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 67.8 องศาบริกซ์ มีค่าสี L^* 56.41, a^* 21.15 และ b^* 34.37 และมีค่าความหนืด 135.3 cPs การใช้ CG:GM ในอัตราส่วน 6:4 ทำให้ได้เจลลี่น้ำเชื่อมจากที่มีค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียว และการเคี้ยวเพิ่มขึ้นเมื่อวัดโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส และมีผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมในระดับชอบปานกลางถึงชอบมากจากผู้ทดสอบชิม แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับการใช้อัตราส่วน 8:2 เยลลี่น้ำเชื่อมจากที่ใช้ปริมาณน้ำเชื่อมจากที่ร้อยละ 20.0 มีค่า pH 4.06 ปริมาณกรดร้อยละ 0.65 ความชื้นร้อยละ 71.75 และค่าสี L^* , a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 21.96, 2.62 และ 3.97 ตามลำดับ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด (7.73) อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก การอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ช่วยลดความชื้นในเจล ทำให้เนื้อสัมผัสมีความแข็ง ความเหนียว และการเคี้ยวเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า pH และปริมาณกรดคงที่ เจลที่ได้มีลักษณะเป็นกัมมีเยลลี่ ที่มีความเหนียว เคี้ยวได้ง่ายและไม่แข็งจนเกินไป วิธีการอบแห้งนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการผลิตกัมมีเยลลี่น้ำเชื่อมจากที่ปราศจากเจลาติน

สรุปผลการวิจัย : งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำเชื่อมจากที่ได้จากน้ำหวานต้นจากสามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่น้ำเชื่อมจากได้ โดยใช้ส่วนผสมจากร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ CG และ GM เพื่อสร้างเจลที่มีโครงสร้างเสถียร และมีเนื้อสัมผัสที่ดี ได้ผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มจากน้ำเชื่อมจาก และความเป็นไปได้ในการผลิตกัมมีเยลลี่ที่ปราศจากเจลาติน ผลการวิเคราะห์น้ำเชื่อมจากพบว่า มีค่า pH 5.21 ความชื้นร้อยละ 31.69 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 28.09 น้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 78.27 และความหนืด 135.3 cPs เมื่อพัฒนาเยลลี่ด้วยการปรับอัตราส่วน CG:GM พบว่าอัตราส่วน 6:4 ให้เจลที่มีความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียว และการเคี้ยวที่เหมาะสมโดยได้คะแนนความชอบโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมากแต่ไม่แตกต่างกับการใช้อัตราส่วน 8:2 การใช้น้ำเชื่อมจากร้อยละ 20 ให้เยลลี่ที่มีค่า pH 4.06 ความชื้นร้อยละ 71.75 และได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ส่วนการผลิตกัมมีเยลลี่ พบว่าการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ช่วยลดความชื้นในเจล ทำให้เนื้อสัมผัสมีความแข็ง ความเหนียว และการเคี้ยวเพิ่มขึ้น โดยค่า pH และปริมาณกรดไม่เปลี่ยนแปลง ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาน้ำเชื่อมจากให้เป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่และกัมมีเยลลี่ที่ปราศจากเจลาติน และสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำเชื่อมจากในเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ : น้ำเชื่อมจาก ; เจล ; คาร์ราจีแนน ; กูโคแมนแนน

Abstract

Background and Objectives : Nipa syrup, a concentrated product derived from the sap of the nipa palm, contains a high total soluble solid content of 60-70 °Brix, making it often impractical for direct consumption. Therefore, development of new jelly products made of nipa syrup would enhance its practicality and convenience for consumption. The mixture of carrageenan (CG) and glucomannan (GM) as hydrocolloids has been shown to enhance the gel strength and improved water retention, thereby rendering them highly suitable for jelly and gummy jelly products. This study aims to evaluate the quality characteristics of nipa syrup and investigate chemical and physical properties, including sensory evaluation of nipa syrup jellies. Additionally, these plant-based hydrocolloids offer an alternative to gelatin-free gummy product. So, the potential of producing gelatin-free gummy jellies from nipa syrup was also studied to create a value-added product for today's consumers.

Methodology : Local nipa syrup was analyzed for pH, total acidity, total sugar, moisture content, total soluble solid, water activity (a_w), color values (L^* , a^* and b^*), and viscosity. Literature reviews and preliminary experiments were investigated to obtain nipa syrup-based jellies (data not reported). The resulting basic ingredients were composed of water, nipa syrup, sugar, brown sugar, citric acid and sodium citrate at 74.1%, 15.0%, 9.0%, 1.0%, 0.4% and 0.5%, respectively. CG and/or GM were added at 1% of the total mixture. The effect of CG:GM ratios (ranging from 10:0 to 0:10) on nipa syrup jellies was examined through chemical properties (pH value, acidity and moisture content), physical properties (color and texture) and sensory attributes. The texture profile analysis (TPA) was carried out using a texture analyzer, attached with a 10-Kg load cell. The textural properties of the jelly gel in parameters of hardness, springiness, gumminess and chewiness were calculated with the help of software provided along with the instrument. Assessment of sensory evaluations (appearance, color, odor, texture, taste and overall liking) by 30 panelists was performed employing a 9-hedonic scale ranging from 1 (dislike extremely) to 9 (like extremely). The optimal nipa syrup concentration (15-25%) was determined by analyzing chemical properties, color, and sensory attributes. The feasible production of gelatin-free gummy jellies was assessed by drying jelly gel at 60°C for 0-8 hrs. The dried gel was then analyzed of chemical properties and textural characteristics.

Main Results : The results showed that the pH value of nipa syrup was 5.21 with a_w of 0.80, and it consisted of 31.69% moisture, 1.26% total acidity, 28.09% reducing sugar and 78.27% total sugar with total soluble solid of 67.8 °Brix. The color values of nipa syrup were recorded as L^* 56.41, a^* 21.15, and b^* 34.37, with a viscosity of 135.3 cPs. The ratio of CG to GM at 6:4 increased in hardness, springiness, gumminess and chewiness of nipa syrup jelly gel by using a texture analyzer. The sensory evaluations showed that the ratios of 6:4 and 8:2 were not

significantly different ($p \geq 0.05$) in overall liking, ranging from moderate to very much liked score assessed by sensory panelists. The jelly with 20.0% nipa syrup-based exhibited a pH of 4.06, 0.65% total acidity, 71.75% moisture content and color values of L^* , a^* and b^* were 21.96, 2.62 and 3.97, respectively. In addition, the highest score of overall liking (7.73), ranging from moderate to very much liked was also obtained. Hot-air drying at 60°C for 6 hrs effectively reduced the moisture content in the gel, resulting in higher hardness, chewiness, and cohesiveness, while the pH and total acidity were stable. The drying gel demonstrated characteristics of gummy jelly with a chewy texture that was easy to bite and not excessively firm. This drying method demonstrates potential as a viable approach to produce gelatin-free gummy jellies from nipa syrup.

Conclusions : This research demonstrated that nipa syrup, derived from nipa palm sap, could be produced a nipa syrup-based jelly product with the two mixture of hydrocolloids, CG and GM. The value added nipa syrup jelly with CG and GM provided a stable structure and good textural properties. The gelatin-free gummy jelly was also possibly produced. The results showed that the local nipa syrup revealed a pH of 5.21, 31.69% moisture content, 28.09% reducing sugars, and 78.27% total sugars with a viscosity of 135.3 cPs. The jelly with CG:GM at a ratio of 6:4 provided a gel with desirable hardness, springiness, gumminess and chewiness, achieving the highest overall liking scores by panelists, ranging from moderate to high preference but not significantly different with a ratio of 8:2. The 20% nipa syrup in jelly showed a pH of 4.06 and 71.75% moisture content with the highest overall liking scores. For the production of gummy jelly, hot air drying at 60°C for 6 hrs effectively reduced moisture content in gel and enhanced hardness, gumminess and chewiness, while the pH and acidity was maintained. These findings highlight the development of jelly and gelatin-free gummy jelly products to commercially add value to nipa syrup.

Keywords : nipa syrup ; gel ; carrageenan ; glucomannan

*Corresponding author. E-mail : supapom@sru.ac.th

Introduction

บริเวณพื้นที่ตำบลบางไทร และบางไผ่ อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีความอุดมสมบูรณ์ของผืนป่าชายเลน ด้วยระบบนิเวศที่น้ำจืดและน้ำเค็มไหลมาบรรจบกันจนเกิดเป็นน้ำกร่อย ป่าชายเลนบริเวณนี้จึงมีความหลากหลายทางชีวภาพ มีพืชพรรณและสัตว์น้ำหลายชนิด มีการจัดกิจกรรมล่องเรือเที่ยวชมป่าชายเลนในบริเวณพื้นที่ ชมความงดงามของพืชพันธุ์นานาชนิด ได้แก่ ต้นโกงกาง ต้นลำพู และต้นจาก และมีการเก็บน้ำหวานจากเพื่อนำมาทำเป็นน้ำดื่มสายชู น้ำตาลเมา (หวาน) และน้ำเชื่อมจากอีกด้วย

น้ำเชื่อมจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำหวานของต้นจากที่ได้จากการปาดปลายก้านช่อดอกแล้วรองรับน้ำหวานไว้น้ำน้ำหวานจากมาเคี้ยวระเหยน้ำออกให้ได้ความเข้มข้นของน้ำตาลที่มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดประมาณ 60-70 องศาบริกซ์ น้ำเชื่อมจากประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น ซูโครส กลูโคส และฟรุกโทส อุดมไปด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น โพแทสเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และอื่น ๆ รวมทั้งมีกลุ่มสารที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ และยังมีฟรุกแทนและฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียโพรไบโอติกในลำไส้ใหญ่ (Phetrit *et al.*, 2020; Saengkrajang *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตามการที่อยู่ในรูปน้ำเชื่อมทำให้ไม่สะดวกในการรับประทานโดยตรง ในจังหวัดสุราษฎร์ธานิยมนำน้ำเชื่อมจากมารับประทานกับขนมจิ้งหรือมะพร้าวทึนทึก หรือใช้เพิ่มรสชาติความหวานให้กับขนมท้องถิ่น เช่น ขนมกรุป ดังนั้นหากนำน้ำเชื่อมจากมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่จะทำให้สะดวกแก่การบริโภค สามารถบริโภคได้ทันที เป็นการเพิ่มประโยชน์การใช้ และยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับน้ำเชื่อมจากและเพิ่มความหลากหลายให้กับสินค้าด้วย

เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของน้ำผลไม้หรือน้ำผลไม้เข้มข้น หรืออาจเป็นน้ำผลไม้แช่แข็ง มีลักษณะเป็นเจลใส โปร่งแสง มีเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่มและมีความยืดหยุ่นเนื่องจากมีส่วนผสมของไฮโดรคอลลอยด์หรือกัมที่ยึดเกาะจับกับน้ำไว้ และมีความชื้นประมาณร้อยละ 65-90 (Kaenin *et al.*, 2020; Belova *et al.*, 2021; Thanaratikul, 2022; Thai Industrial Standards Institute, 2024) มีส่วนผสมที่สำคัญได้แก่ น้ำ น้ำตาล กรด และคาร์ราจีแนน เป็นต้น โดยมีคาร์ราจีแนนเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่ (Suwan *et al.*, 2018; Thanaratikul, 2022) นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้คาร์ราจีแนนร่วมกับกลูโคแมนแนนสามารถทำให้เกิดลักษณะเจลที่มีโครงสร้างแข็งแรงและมีความเสถียรเพิ่มขึ้น สามารถเก็บกักน้ำได้ดีเหมาะที่จะนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์เยลลี่และกัมมีเยลลี่ (Baiti *et al.*, 2024; Zheng *et al.*, 2024)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ คาร์ราจีแนน ที่ได้มาจากสาหร่ายสีแดง เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลและให้ความหนืด ให้โครงสร้างเจลที่มีความคงตัว และเคี้ยวง่าย ไม่ติดฟัน (Pechillo & Izzo, 1996) ร่วมกับกลูโคแมนแนนที่ได้จากหัวบุกนำมาผลิตเป็นเยลลี่ โดยนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเชื่อมจากให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่น้ำเชื่อมจาก นับเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับน้ำเชื่อมจากทำให้อยู่ในรูปแบบที่ทันสมัยกับการบริโภคในปัจจุบัน นอกจากนี้เยลลี่ที่เป็นขนมหวานที่รู้จักกันโดยทั่วไปแล้ว กัมมีเยลลี่ก็เป็นขนมหวานอีกชนิดหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย ขนมหวานทั้งสองชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มขนมหวานที่ยังเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Board, 2012) ดังนั้นจึงศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกัมมีเยลลี่น้ำเชื่อมจากที่ปราศจากเจลาติน จัดเป็นผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ที่ได้จากพืช จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภคที่ไม่นิยมบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ และอาจเป็นแนวทางขยายผลการจำหน่ายไปยังประเทศในตะวันออกกลางได้ในอนาคต

Methodology

1. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื่อมจากที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

น้ำเชื่อมจากได้รับมาจากเกษตรกรในบริเวณพื้นที่ตำบลบางไทร อำเภอมะนัง จังหวัดสุราษฎร์ธานี นำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค่า pH) โดยใช้เครื่อง pH meter (ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น F20 FiveEasy-LE407 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) ปริมาณกรดทั้งหมดโดยวิธีการไตเตรต (AOAC, 2005) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด (Ranganna, 1986) วัดปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดโดยใช้รีแฟกโตมิเตอร์ (ยี่ห้อ Atago รุ่น Mater series ประเทศญี่ปุ่น) วัดค่าออกเตอร์แอกติวิตี (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (ยี่ห้อ Aqualab รุ่น Series 3TE ประเทศสหรัฐอเมริกา) วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี (ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-400 ประเทศญี่ปุ่น) ระบบ CIE (Lightness, L^* ; Red-green, a^* ; Yellow-blue, b^*) และค่าความหนืดโดยวัดด้วยเครื่องวัดความหนืด (ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DVNext Rheometer ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ความเร็วรอบ 100 rpm ด้วยหัววัด Small sample adapter (SSA) SSA21/13R

2. การศึกษาอัตราส่วนระหว่างคาราจีแนนและกลูโคแมนแนนสำหรับการผลิตเยลลี่

ศึกษาวิธีการทำเยลลี่โดยใช้อัตราส่วนของคาราจีแนนและกลูโคแมนแนน (Food grade) ที่แตกต่างกันใช้สูตรที่ได้จากการค้นคว้าจากเอกสารงานวิจัย และบทความที่เกี่ยวข้อง และมีการทดลองเบื้องต้นด้วยการทดสอบชิมโดยเปรียบเทียบกับเยลลี่ทางการค้าจนได้ลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกัน (ไม่ได้แสดงผล) ได้สูตรตัวอย่างพื้นฐานโดยมีส่วนผสมของน้ำ น้ำเชื่อมจาก น้ำตาลทราย น้ำตาลทรายแดง กรดซิตริก และโซเดียมซิเตรตร้อยละ 74.1, 15.0, 9.0, 1.0, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ แสดงใน Table 1 ใช้ คาราจีแนนและ/หรือกลูโคแมนแนนร้อยละ 1 ของส่วนผสมทั้งหมด โดยใช้คาราจีแนน (CG) และกลูโคแมนแนน (GM) ในอัตราส่วนที่ต่างกัน คือ 10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8 และ 0:10 วิธีการผลิตแสดงใน Figure 1

2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

วัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัดค่า pH รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณกรด และปริมาณความชื้น

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี ค่าเนื้อสัมผัสวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer ยี่ห้อ Brookfield รุ่น CT3 ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่มีกำลังโหลดเซลล์ 10 กิโลกรัม (10-kg Load cell) โดยวัดค่าความแข็ง (Hardness) ความยืดหยุ่น (Springiness) ความเหนียว (Gumminess) และการเคี้ยว (Chewiness) ตั้งค่าการวัดแบบ TPA (Texture profile analysis) โดยกำหนดค่าการวัดระยะจากผิวหน้าลงไปจนถึงจุดกึ่งกลางของตัวอย่าง เป็นเวลา 3 วินาที ใช้หัววัด TA25/1000 โดยหัววัดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.50 มิลลิเมตร/วินาที ใช้โปรแกรม TexturePro CT ในการคำนวณ (ดัดแปลงจาก Mutlu *et al.*, 2018) โดยที่การเคี้ยวหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟแรงต่อระยะทาง (Force-Distance)

Table 1 Nipa syrup jellies with varying ratios of carrageenan (CG) and glucomannan (GM)

Ingredients (%)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Water	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1
Nipa syrup	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Sugar	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Brown sugar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Citric acid	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Sodium citrate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ratios of CG:GM	10:0	8:2	6:4	4:6	2:8	0:10

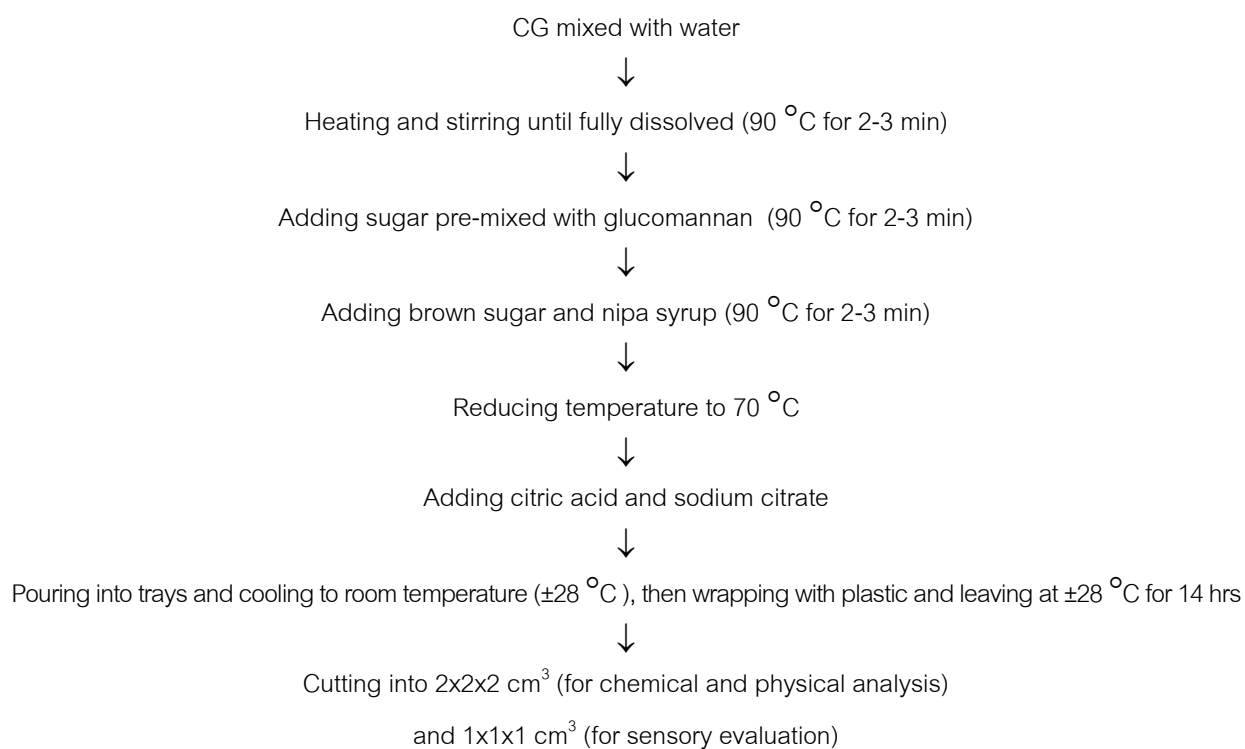


Figure 1 Processing of nipa syrup jellies

2.3 การประเมินทางประสาทสัมผัส

ประเมินทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม กับผู้ทดสอบชิม ที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์จำนวน 30 คน โดยใช้แบบประเมินความชอบ 9 Point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด)

3. การศึกษาปริมาณน้ำเชื่อมจากสำหรับการผลิตเยลลี่

คัดเลือกสูตรการผลิตที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2. นำมาศึกษาปริมาณของน้ำเชื่อมจากที่เหมาะสม โดยใส่น้ำเชื่อมจากแตกต่างกัน 5 ระดับ คือร้อยละ 15.0, 17.5, 20.0, 22.5 และ 25.0 ใช้ส่วนผสมเช่นเดียวกับ Table 1 (น้ำเชื่อมที่เกินร้อยละ 15 จะลดปริมาณน้ำในสูตรลงเพื่อให้ได้ส่วนผสมเป็นร้อยละ 100 คงเดิม) นำมาตรวจวัดทางเคมีตามข้อ 2.1 ค่าสีตามข้อ 2.2 และประเมินทางประสาทสัมผัสตามข้อ 2.3

4. การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกัมมีเยลลี่โดยศึกษาผลของการอบแห้งเยลลี่ที่มีต่อสมบัติทางเคมีและค่าเนื้อสัมผัส

นำเยลลี่ที่ได้ขนาด 2x2x2 ซม.³ มาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Enviro-Pak รุ่น CVU-350E ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง นำมาตรวจวัดทางเคมีตามข้อ 2.1 และทางเนื้อสัมผัสตามข้อ 2.2

5. การวางแผนการทดลอง

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และการประเมินทางประสาทสัมผัสใช้การวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยวัดค่าจำนวน 3 ซ้ำ ยกเว้นค่าเนื้อสัมผัสวัดค่าจำนวน 10 ซ้ำ และประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิม จำนวน 30 คน เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

Results

1. ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื่อมจากที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำเชื่อมจากพบว่าน้ำเชื่อมจากมีค่า pH เท่ากับ 5.21 ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปของกรดแลกติก) มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.26 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 08.09 และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 78.27 (Table 2) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 67.8 องศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) มีความชื้นร้อยละ 31.69 และมีค่า a_w 0.80 มีค่าสี (L^* , a^* และ b^*) โดยมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 56.41 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 21.15 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 34.37 และมีค่าความหนืดเท่ากับ 135.3 cPs (Table 2)

2. ผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์ราจีแนนและกลูโคแมนเนตต่อการผลิตเยลลี่น้ำเชื่อมจาก

การใช้กลูโคแมนเนนเพียงอย่างเดียว (0:10) ไม่สามารถสร้างลักษณะโครงสร้างของเจลได้ จึงศึกษาอัตราส่วนระหว่างคาร์ราจีแนน (CG) และกลูโคแมนเนน (GM) ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เยลลี่น้ำเชื่อมจาก 5 ชุดการทดลอง โดยใช้

CG:GM ที่อัตราส่วน 10:0, 8:2, 6:4, 4:6 และ 2:8 พบว่าอัตราส่วนของ CG ที่ลดลงและ GM ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณความชื้นของเจล โดยมีค่า pH ระหว่าง 4.09-4.12 ปริมาณกรดร้อยละ 0.61-0.63 และปริมาณความชื้นร้อยละ 74.25-74.66 และไม่มีผลต่อค่า L^* (24.13-26.48) แต่พบว่า ค่า a^* และ ค่า b^* มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดังแสดงใน Table 3

Table 2 Chemical and physical properties of nipa syrup

Chemical properties	Values
pH	5.21±0.01
Acid content (% Dw)	1.26±0.20
Reducing sugar (% Dw)	28.09±0.89
Total sugar (% Dw)	78.27±2.24
Moisture content (% Fw)	31.69±0.28
Total soluble solid ($^{\circ}$ Brix)	67.8±0.17
a_w	0.80±0.01
Physical properties	Values
Color	
L^*	56.41±1.24
a^*	21.15±1.63
b^*	34.37±1.10
Viscosity (cPs)	135.3±1.15

Note: Mean ± standard deviation (n=3); Dw = Dry weight; Fw = Fresh weight

Table 3 Chemical properties and color of gel at various ratios of CG:GM

Ratios of CG:GM	pH	Acid content (%, w/v)	Moisture content (%)	ค่าสี		
				L^*	a^*	b^*
10:0	4.12±0.00 ^{ns}	0.62±0.01 ^{ns}	74.61±0.26 ^{ns}	24.13±1.80 ^{ns}	3.88±0.30 ^b	6.45±0.87 ^b
8:2	4.10±0.01	0.60±0.08	74.36±0.34	26.43±2.07	3.38±0.40 ^{ab}	5.17±1.38 ^{ab}
6:4	4.09±0.01	0.63±0.01	74.41±0.15	25.13±1.58	3.33±0.21 ^{ab}	4.96±0.61 ^{ab}
4:6	4.12±0.00	0.67±0.07	74.66±0.18	26.48±2.42	3.26±0.25 ^a	3.96±0.98 ^a
2:8	4.09±0.00	0.62±0.01	74.25±0.58	25.73±2.76	3.04±0.67 ^a	3.53±1.72 ^a

Note: Mean ± standard deviation (n=3)

The different superscripts (a, b) in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

The superscript (ns) in the same column is not significantly different ($p \geq 0.05$)

การทดสอบค่าเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์เยลลี่น้ำเชื่อมจาก 5 ชุดการทดลอง (CG:GM เท่ากับ 10:0, 8:2, 6:4, 4:6 และ 2:8) ใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสวัดค่าความแข็ง (Hardness) ความยืดหยุ่น (Springiness) ความเหนียว (Gumminess) และการเคี้ยว (Chewiness) พบว่าเมื่อปริมาณของ GM เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งของเจลเยลลี่มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเจลที่ใช้อัตราส่วนของ CG:GM ที่ 6:4 มีค่าความแข็งมากที่สุดคือมีค่า 5.07 กิโลกรัม (Kg) และเริ่มมีค่าลดลงเมื่อมีอัตราส่วนของ CG:GM ลดลงเหลือ 4:6 และ 2:8 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความเหนียวและค่าการเคี้ยว ขณะที่ค่าความยืดหยุ่นของเจลมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มปริมาณ GM ดังนั้นการใช้ GM ในผลิตภัณฑ์เยลลี่จะมีผลต่อเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียว และการเคี้ยว ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Textural properties of gel at various ratios of CG:GM

Ratios of CG:GM	Textural properties of gel			
	Hardness (Kg)	Springiness (mm)	Gumminess (Kg)	Chewiness (mJ)
10:0	1.51±0.08 ^b	2.83±0.39 ^a	0.62±0.16 ^c	2.02±0.78 ^a
8:2	3.19±0.17 ^d	2.61±0.23 ^a	0.81±0.55 ^d	20.57±0.45 ^b
6:4	5.07±0.51 ^e	3.25±0.09 ^b	0.82±0.79 ^d	38.27±3.10 ^d
4:6	2.08±0.12 ^c	4.80±0.11 ^c	0.60±0.17 ^b	28.86±3.85 ^c
2:8	1.00±0.17 ^a	5.61±0.32 ^d	0.45±0.38 ^a	25.04±2.59 ^c

Note: Mean ± standard deviation (n=10)

The different superscripts (a, b, c, d, e) in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์เยลลี่ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) โดยผู้ทดสอบชิมที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์จำนวน 30 คน นำผลมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างผลดังแสดงใน Table 5 พบว่ามีผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เจลเยลลี่ที่มี CG และ GM สัดส่วน 6:4 ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก มากกว่าการใช้อัตราส่วนอื่น ๆ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับการใช้สัดส่วน 8:2 โดยได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมในช่วง 7.10-7.60 และ 7.27-7.43 ตามลำดับ ทั้ง 5 ชุดการทดลองได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 6.30-7.12 โดยคะแนนความชอบด้านสี (6.53-7.00) กลิ่น (5.67-6.37) และรสชาติ (6.10-6.70) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จะเห็นว่าเมื่อสัดส่วนของ CG:GM เท่ากับ 6:4 จะมีลักษณะทางกายภาพที่วัดได้คือความแข็งมากที่สุด และมีความยืดหยุ่นที่มากพอ ทำให้

ผู้ทดสอบชิมมีความชอบโดยรวมมากที่สุด จึงใช้ระดับอัตราส่วน CG:GM เท่ากับ 6:4 ในการศึกษาปริมาณน้ำเชื่อมจากที่เหมาะสมในการทดลองถัดไป

3. ผลของปริมาณน้ำเชื่อมจากต่อการผลิตเยลลี่

จากการวิเคราะห์พบว่าเยลลี่ที่มีปริมาณน้ำเชื่อมจากที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 15.0, 17.5, 20.0, 22.5 และ 25.0 มีผลทำให้ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดแตกต่างกัน (Table 6) โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.04-4.10 มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อน้ำเชื่อมจากเพิ่มขึ้น และปริมาณกรดอยู่ในช่วง 0.62-0.67 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น มีความชื้นลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าที่น้ำเชื่อมร้อยละ 15.0 เจลจะมีค่าความชื้นร้อยละ 74.42 และลดลงเหลือร้อยละ 70.27 เมื่อน้ำเชื่อมร้อยละ 25.0 ค่าสีของเจลพบว่าเมื่อปริมาณน้ำเชื่อมจากเพิ่มขึ้น ค่า L* มีค่าลดลง และ ค่า b* มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากน้ำเชื่อมที่มีสีน้ำตาล ส่วนค่า a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

Table 5 Sensory evaluation of gel at various ratios of CG:GM

Ratios of CG:GM	Appearance	Color	Odor	Texture	Taste	Overall liking
10:0	7.12±1.02 ^b	6.90±1.18 ^{ns}	5.73±1.51 ^{ns}	5.60±1.38 ^a	6.32±1.13 ^{ns}	6.40±1.38 ^a
8:2	6.80±1.27 ^{ab}	6.63±1.38	5.67±1.42	7.10±1.35 ^b	6.23±1.01	7.27±1.36 ^{bc}
6:4	6.70±1.32 ^{ab}	6.53±1.33	6.00±1.66	7.60±1.13 ^b	6.20±1.52	7.43±1.36 ^c
4:6	6.87±1.41 ^{ab}	6.80±1.37	6.37±1.43	5.73±1.68 ^a	6.70±1.28	6.60±1.22 ^{ab}
2:8	6.30±1.74 ^a	7.00±1.20	6.30±1.39	5.40±1.22 ^a	6.10±1.02	6.07±1.26 ^a

Note: Mean ± standard deviation (n=30)

The different superscripts (a, b) in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

The superscript (ns) in the same column is not significantly different ($p \geq 0.05$)

Table 6 Chemical properties and color values of gel with different % of nipa syrup

Nipa syrup (%)	pH	Acid content (% w/v)	Moisture content (%)	Color		
				L*	a*	b*
15.0	4.10±0.01 ^c	0.62±0.01 ^a	74.42±0.10 ^d	27.23±1.48 ^d	2.46±0.10 ^a	5.36±0.16 ^d
17.5	4.07±0.03 ^b	0.65±0.03 ^b	72.34±0.21 ^c	25.73±1.56 ^c	2.78±0.26 ^{bc}	4.54±0.33 ^c
20.0	4.06±0.01 ^b	0.65±0.01 ^b	71.75±0.15 ^b	21.96±1.44 ^b	2.62±0.25 ^b	3.97±0.93 ^{ab}
22.5	4.07±0.02 ^b	0.66±0.11 ^b	70.62±0.32 ^a	20.30±1.23 ^a	2.64±0.07 ^b	4.08±0.15 ^{ab}
25.0	4.04±0.03 ^a	0.67±0.10 ^b	70.21±0.80 ^a	20.24±1.18 ^a	2.89±0.20 ^c	4.14±0.22 ^{ab}

Note: Mean ± standard deviation (n=3)

The different superscripts (a, b, c, d) in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

ค่าสีที่มีความแตกต่างกันมีผลต่อคะแนนความชอบด้านสีของผู้ทดสอบชิม โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนอยู่ในช่วง 7.01-7.40 (ชอบปานกลางถึงชอบมาก) (Table 7) ส่วนคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก (7.37-7.50 และ 7.25-7.57 ตามลำดับ) พบว่าปริมาณน้ำเชื่อมร้อยละ 20.0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด คือ 7.73 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากชุดการทดลองอื่น

4. ผลของการอบแห้งต่อสมบัติทางเคมีและค่าเนื้อสัมผัสของเจล

ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวหนึบเมื่อเคี้ยวมากกว่าเยลลี่ การใช้ CG และ GM ในความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าจะทำให้เจลเกิดการเซตตัวเร็วเกินไปและยังคงมีปริมาณความชื้นสูงอยู่ ดังนั้นวิธีการหนึ่งในการผลิตกัมมีเยลลี่ปราศจากเจลาตินคือการนำเยลลี่ที่ได้มาอบลมร้อน การอบลมร้อนเพื่อระเหยน้ำออกจะทำให้เนื้อสัมผัสของเจลเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงศึกษาผลของการอบแห้งเยลลี่ที่มีต่อสมบัติทางเคมีและค่าเนื้อสัมผัส โดยทดลองนำเจลเยลลี่มาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-8 ชั่วโมง พบว่าสามารถปรับเนื้อสัมผัสของเจลทำให้มีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำที่ลดลง และเมื่อลองทดสอบทางประสาทสัมผัสเบื้องต้นพบว่ามีความหวานเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและสีของเจลมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นด้วย เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นค่า pH และค่าปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกัน คือมีค่า pH 4.06-4.09 และปริมาณกรดร้อยละ 0.67-0.69 แต่มีผลต่อปริมาณความชื้น (Figure 2) โดยค่าความชื้นก่อนอบแห้งมีค่าร้อยละ 75.11 มีค่าลดลงเหลือร้อยละ 56.68, 46.78, 36.81 และ 30.85 เมื่อผ่านการอบแห้งไปเป็นระยะเวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ

Table 7 Sensory evaluation of gel with different % of nipa syrup

Nipa Syrup (%)	Appearance	Color	Odor	Texture	Taste	Overall liking
15.0	6.93±1.46 ^{ab}	7.27±1.20 ^{ab}	6.43±1.50 ^a	7.37±1.19 ^{ab}	7.30±1.41 ^a	7.60±1.13 ^b
17.5	7.17±1.28 ^{ab}	7.40±1.13 ^b	6.90±1.51 ^b	7.37±1.03 ^{ab}	7.53±1.07 ^b	7.60±0.81 ^b
20.0	7.23±1.19 ^b	7.14±1.13 ^{ab}	6.55± 1.71 ^a	7.50± 1.10 ^b	7.57±1.16 ^b	7.73±1.04 ^c
22.5	7.07±1.18 ^{ab}	7.24± 1.13 ^{ab}	6.57±1.50 ^{ab}	7.50±1.29 ^b	7.38±1.04 ^a	7.57±1.10 ^a
25.0	6.90±1.58 ^a	7.01±1.49 ^a	6.62±1.52 ^a	7.31±1.13 ^a	7.25±1.32 ^a	7.52±0.91 ^a

Note: Mean ± standard deviation (n=30)

The different superscripts (a, b, c) in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

ผลของระยะเวลาการอบแห้งที่มีต่อค่าเนื้อสัมผัสของเจลแสดงใน Figure 3 ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจาก 5.24 กิโลกรัม (0 ชั่วโมง) เป็น 5.88 กิโลกรัม (6 ชั่วโมง) และเริ่มคงที่ ค่าความเหนียวเพิ่มขึ้นจาก 1.27 กิโลกรัม (0 ชั่วโมง) เป็น 2.11 กิโลกรัม

(4 ชั่วโมง) จากนั้นจึงคงที่ เช่นเดียวกับค่าการเคี้ยวที่เพิ่มขึ้นจาก 37.81 มิลลิจูน (0 ชั่วโมง) เป็น 57.76 มิลลิจูน (4 ชั่วโมง) และเริ่มคงที่ ยกเว้นค่าความยืดหยุ่นมีค่าไม่แตกต่างกันโดยมีค่าประมาณ 3.25-3.71 มิลลิเมตร การใช้วิธีการอบลมร้อนสามารถลดปริมาณน้ำในเจลและมีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของเจล รูปร่างลักษณะของเจลตามระยะเวลาการอบแห้งดังแสดงใน Figure 4

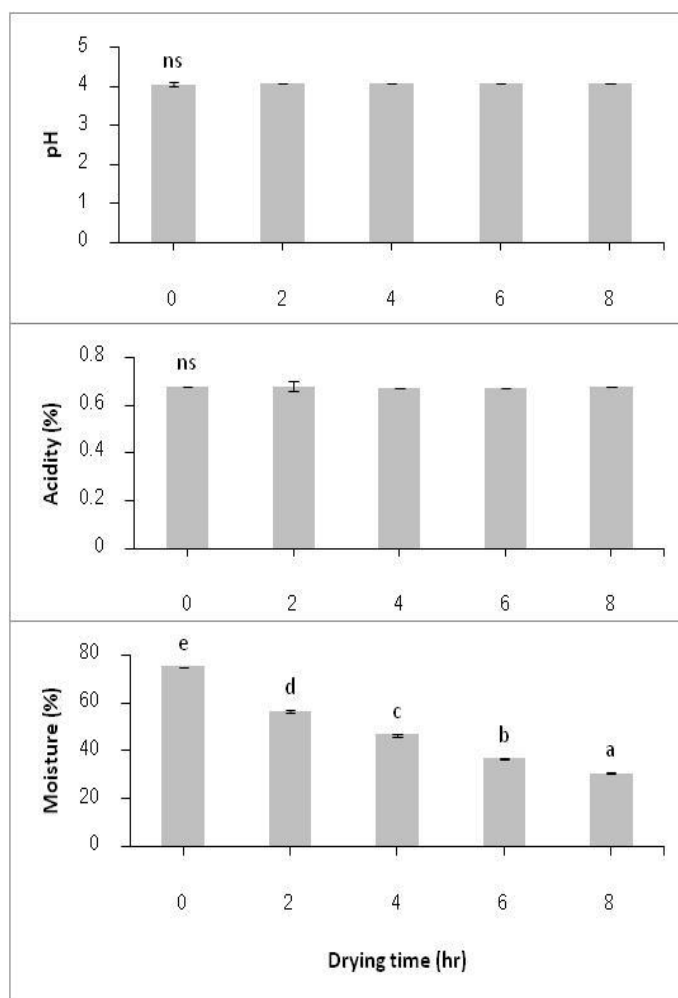


Figure 2 Effect of drying time on pH, acidity and moisture contents of gel

Note: Means with different letters (a, b, c, d, e) are significantly different ($p < 0.05$), while means marked as 'ns' are not significantly different ($p \geq 0.05$), with standard error in bars ($n=3$)

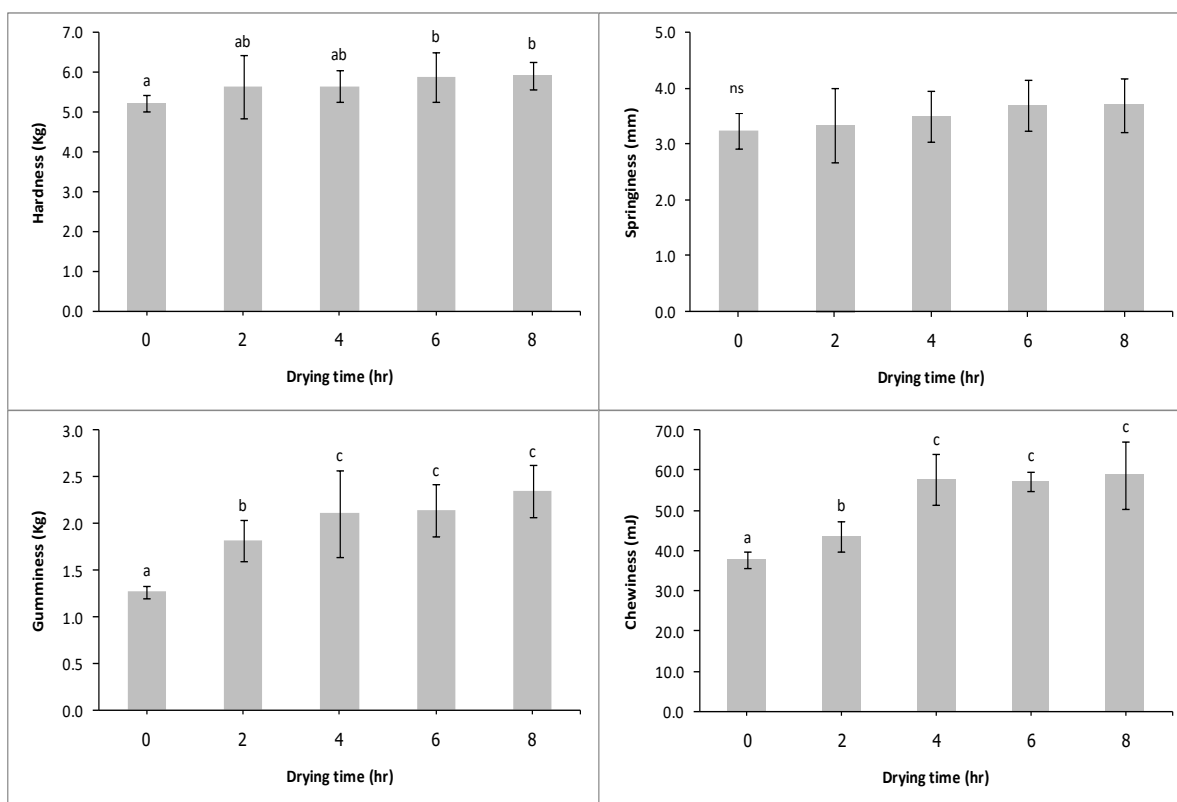


Figure 3 Effect of drying time on hardness, gumminess, springiness and chewiness of gel

Note: Means with different letters (a, b, c) are significantly different ($p < 0.05$), while means marked as 'ns' are not significantly different ($p \geq 0.05$), with standard error in bars ($n=10$)

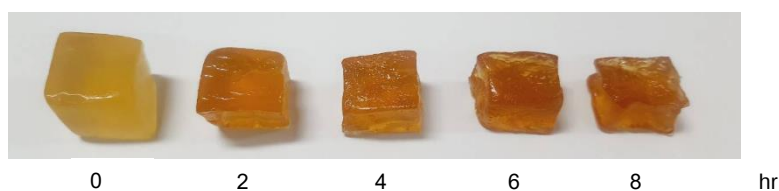


Figure 4 Characteristics of gel drying at different times

Discussion

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื่อมจากมีค่า pH เท่ากับ 5.21 และปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.26 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 28.09 และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 78.27 น้ำตาลรีดิวซ์ส่วนใหญ่ที่พบในน้ำเชื่อมจาก ได้แก่ กลูโคส และฟรุกโทส ส่วนน้ำตาลนอนรีดิวซ์ที่พบในน้ำเชื่อมจากมากที่สุดคือน้ำตาลซูโครส (Phetrit *et al.*, 2020; Saengkrajang *et al.*, 2021) ค่า a_w เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้รวมถึงใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ (Mathlouthi, 2001) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความชื้นและค่า a_w มีค่าใกล้เคียงกับ Saengkrajang *et al.* (2021) ที่ได้รายงานไว้ว่าน้ำเชื่อมจากมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 70 องศาบริกซ์ มีค่าความชื้นร้อยละ 28.9-31.5 และค่า a_w 0.80

ค่า L^* มีค่า 56.41 เข้าใกล้ 100 บ่งบอกว่าวัตถุดิบมีความสว่าง ค่า a^* มีค่า 21.15 มีค่าเป็นบวก บ่งบอกว่าวัตถุดิบมีสีแดง และค่า b^* มีค่า 34.37 มีค่าเป็นบวกบ่งบอกว่าวัตถุดิบมีเหลือง จากการวัดค่าสีของน้ำเชื่อมนี้จึงมีสีค่อนข้างสว่างและค่อนข้างออกไปทางแดงและเหลืองมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเมื่อมองด้วยสายตา น้ำเชื่อมจากที่ได้มาพบว่ามีตะกอนบริเวณก้นขวดอาจเกิดจากโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำเชื่อมรวมตัวกับสารประกอบฟีนอลิกแล้วตกตะกอนลงมาเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน (Apirattananusorn, 2021)

สูตรการทำเยลลีน้ำเชื่อมจากที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นสูตรที่ดัดแปลงมาจากการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารงานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้องและมีการทดลองเบื้องต้นจนได้สูตรตัวอย่างที่เหมาะสม พบว่าการใช้ CG:GM ที่อัตราส่วน 10:0, 8:2, 6:4, 4:6 และ 2:8 ไม่มีผลต่อค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณความชื้นของเจล โดยมีค่า pH ระหว่าง 4.09-4.12 ปริมาณกรดร้อยละ 0.61-0.63 และปริมาณความชื้นร้อยละ 74.25-74.66 ถึงแม้ว่า GM มีความเป็นเบส (Tye, 1991) แต่การเติมกรดลงไปในการผลิตเจลเยลลี่ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนไอออน (H^+) สูงขึ้น ซึ่งหมายความว่า pH ของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงและมีสภาพเป็นกรด GM ทำปฏิกิริยากับกรดบางส่วนแต่ปริมาณกรดหรือ H^+ ยังคงมีมากกว่าจึงไม่มีผลต่อค่า pH นอกจากนี้สารให้ความเป็นกรดที่เติมลงไปคือกรดซิตริกและโซเดียมซิเตรท ยังช่วยรักษาค่า pH เยลลี่ให้คงอยู่ในสภาวะกรด (Rochmawati & Ermawati, 2012) ผลการทดลองนี้จึงแตกต่างจากเยลลี่ธัญพืชที่ไม่มีการเติมกรดที่มีรายงานว่า การเพิ่มขึ้นของกลูโคแมนแนนนั้น มีผลทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Tinakorn Na Ayutthaya & Putduang, 2016) และการทดลองนี้พบว่าปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ GM ส่งผลให้ค่า b^* มีค่าลดลงอาจเนื่องมาจาก GM เป็นผงที่มีสีขาวจึงเจือจางความเป็นสีเหลืองของส่วนผสมอื่น CG และ GM เป็นกัมที่นิยมใช้ในการผลิตเยลลี่ การผสมผสานกันระหว่าง CG และ GM สามารถส่งเสริมคุณสมบัติและปรับปรุงโครงสร้างของเจลให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนระหว่าง CG และ GM ที่ต่างกันส่งผลให้เนื้อสัมผัสเจลมีความแตกต่างกัน (Utomo *et al.*, 2014; Saengkrajang *et al.*, 2020) การศึกษาเยลลีน้ำเชื่อมทั้ง 5 ชุดการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน 6:4 มีผลทำให้ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือมีค่า 5.07 กิโลกรัม มากกว่าการใช้ CG เพียงอย่างเดียว (10:0) หรือการใช้ CG:GM ในอัตราส่วนอื่น (Table 4) อัตราส่วนของ CG ที่ลดลง ในขณะที่ GM เพิ่มขึ้น (8:2, 6:4) มีผลทำให้ค่าความยืดหยุ่น ความเหนียว และการเคี้ยวเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการรวมตัวกันของพอลิเมอร์ระหว่าง CG และ GM มีการ

ตอบสนองแบบเสริมฤทธิ์กันทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น GM ยังช่วยทำให้โครงสร้างของ CG มีลักษณะเป็นแบบเกลียวมากขึ้น และรวมตัวกันเป็นหน่วยสามเหลี่ยมที่จัดเรียงในแนวข้าง เกิดโครงข่ายสามมิติที่ทำให้เจลมีความแข็งแรงและยืดหยุ่น (Li *et al.*, 2024) อย่างไรก็ตามค่าความแข็งเริ่มมีค่าลดลงเมื่อใช้อัตราส่วน CG ที่ลดลงและ GM ที่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 4:6 และ 2:8 เนื่องจากปริมาณ CG ที่ลดลงทำให้เกิดลักษณะเป็นเจลน้อยลง การโอบอุ้มน้ำจึงน้อยลงด้วย เจลจึงมีความอ่อนตัว ทำให้ค่าความแข็งที่วัดได้ของเจลลดลง (Imeson, 2009) ค่าความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนของ GM เพิ่มขึ้นแต่ความเหนียวและการเคี้ยวมีแนวโน้มลดลงเนื่องจาก GM มีความสามารถในการดูดซึมน้ำและพองตัวในน้ำได้ดี

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์เยลลี่ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ พบว่าอัตราส่วนของ CG:GM ส่งผลต่อคะแนนความชอบในด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยเยลลี่ที่ใช้อัตราส่วน CG:GM เท่ากับ 6:4 ได้รับคะแนนความชอบในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ อย่างไรก็ตามคะแนนดังกล่าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 8:2 จะเห็นว่าเมื่อสัดส่วนของ CG:GM เท่ากับ 6:4 โดยผู้ทดสอบชิมให้ความเห็นว่าเจลจะมีความแข็ง และความยืดหยุ่นที่มากขึ้นสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพที่วัดได้ จึงใช้ระดับอัตราส่วน CG:GM เท่ากับ 6:4 ในการศึกษาปริมาณน้ำเชื่อมจากที่เหมาะสมในการทดลองถัดไป

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำเชื่อมจากที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 15.0, 17.5, 20.0, 22.5 และ 25.0 ส่งผลต่อค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดของเยลลี่ (Table 6) โดยค่า pH มีแนวโน้มลดลงและปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำเชื่อมจากเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำเชื่อมจากมีปริมาณกรดเล็กน้อย นอกจากนี้พบว่าความชื้นของเยลลี่ลดลงเมื่อปริมาณน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของแข็งในสูตรเพิ่มขึ้น โดยที่น้ำเชื่อมร้อยละ 15.0 เยลลี่มีความชื้นร้อยละ 74.42 และลดลงเหลือร้อยละ 70.27 เมื่อใช้น้ำเชื่อมร้อยละ 25.0 ส่วนค่าสีพบว่าค่าการเพิ่มปริมาณน้ำเชื่อมส่งผลให้ค่า L^* และค่า b^* ลดลงเนื่องจากน้ำเชื่อมมีสีน้ำตาล ขณะที่ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าสีในผลิตภัณฑ์เยลลี่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านสีของผู้ทดสอบชิม โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านสีอยู่ในช่วง 7.01-7.40 ซึ่งจัดอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก (Table 7) สำหรับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติ พบว่าอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมากเช่นกัน โดยคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 7.37-7.50 และคะแนนความชอบด้านรสชาติอยู่ในช่วง 7.25-7.57 ทั้งนี้สูตรที่ใช้น้ำเชื่อมร้อยละ 20.0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด คือ 7.73 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากสูตรอื่น ๆ ในการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่มีเยลลี่เมื่อเคี้ยวในปากจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวหนึบแตกต่างจากเยลลี่ทั่วไป ความชื้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ มีผลต่อเนื้อสัมผัสและลักษณะภายนอกของอาหาร ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตที่มีเยลลี่ปราศจากเจลาตินจึงเน้นไปที่การศึกษาผลของการอบแห้งเยลลี่ที่มีต่อสมบัติทางเคมีและเนื้อสัมผัส โดยทดลองนำเจลเยลลี่มาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0-8 ชั่วโมง พบว่าการอบแห้งสามารถปรับเปลี่ยนเนื้อสัมผัสของเจลให้มีความแข็งและเหนียวเพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดลงของปริมาณน้ำในเนื้อเยลลี่ และเมื่อทดลองนำมาประเมิน

ทางประสาทสัมผัสเบื้องต้นพบว่าที่ระยะเวลาการอบแห้ง 6 ชั่วโมง จะได้กัมมีเยลลี่น้ำเชื่อมจากที่มีความเหนียว เคี้ยวได้ง่าย และไม่แข็งจนเกินไป มีความหวานเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและสีของเจลมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น

เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) การลดน้ำในอาหารทำให้ความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น ปริมาณน้ำตาล ซึ่งสามารถทำให้ลักษณะของอาหารเปลี่ยนไปในแง่ของสี เนื้อสัมผัสและรสชาติ แต่ไม่ส่งผลต่อค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดของเจล เจลที่ผ่านการอบแห้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าความชื้นร้อยละ 36.81 สูงกว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ ที่รายงานโดย Cebin *et al.* (2024) ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 30 ระยะเวลาการอบแห้งมีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของเจลโดยพบว่าค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจาก 5.24 (0 ชั่วโมง) เป็น 5.88 กิโลกรัม (6 ชั่วโมง) และเริ่มคงที่ ค่าความเหนียวเพิ่มขึ้นจาก 1.27 (0 ชั่วโมง) เป็น 2.11 กิโลกรัม (4 ชั่วโมง) จากนั้นจึงคงที่ เช่นเดียวกับค่าการเคี้ยวที่เพิ่มขึ้นจาก 37.81 (0 ชั่วโมง) เป็น 57.76 มิลลิจูล (4 ชั่วโมง) และเริ่มคงที่ ยกเว้นค่าความยืดหยุ่นมีค่าไม่แตกต่างกันโดยมีค่าประมาณ 3.25-3.71 มิลลิเมตร การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง ความเหนียว และการเคี้ยวของเจลระหว่างกระบวนการทำแห้งสามารถอธิบายได้จากปรากฏการณ์การเกิดเจล (Gelation) และการสูญเสียน้ำ (Dehydration) การทำงานร่วมกันของสารก่อเจลในระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาล น้ำ และองค์ประกอบรองอื่น ๆ ทำให้เกิดโครงสร้างที่แน่นและเหนียวหนึบซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของขนมกัมมีเยลลี่ การสูญเสียน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสร้างเนื้อสัมผัสของเจล อัตราการสูญเสียน้ำในเจลจะสูงในช่วงเริ่มต้นของการทำแห้ง ทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว การระเหยน้ำจากเจลในระหว่างการทำแห้งทำให้ปริมาณน้ำลดลงเรื่อย ๆ และเพิ่มปริมาณของแข็งในเนื้อเจล การระเหยของน้ำยังคงดำเนินต่อไปและความชื้นก็ยังคงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แม้เนื้อสัมผัสของเจลเริ่มคงที่แล้วก็ตาม คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Suankramdee *et al.* (2022) ที่ศึกษาการใช้คาร์ราจีแนนทดแทนเจลาตินเพื่อผลิตกัมมีเยลลี่โดยการอบแห้งเพื่อระเหยน้ำออก การใช้เจลาตินในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ทั่วไปอาจต้องคำนึงถึงช่วงค่า pH โดยเฉพาะจุดไอโซอิเล็กทริก (pI) ที่โปรตีนเจลาตินอาจเกิดการตกตะกอนและเกิดการไฮโดรไลซ์เนื่องจากกรดและความร้อนซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเจล ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของ pH เพียงเล็กน้อยในระหว่างให้ความร้อนและการทำแห้งอาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเจลที่มีการเติมกรด (Edwards, 2000; Wang & Hartel, 2022) กัมมีเยลลี่ที่ทำจากเจลาตินใช้ระยะเวลาในการทำแห้งตั้งแต่ 12 ถึง 24 ชั่วโมงหรือมากกว่านั้นโดยใช้ลมพัดผ่านที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 35 (Delgado & Bañón, 2015) ส่วนการทดลองนี้ใช้ CG และ GM แทนเจลาติน อบแห้งตั้งแต่ 6-8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงจะสามารถลดปริมาณน้ำในเจลเพื่อปรับเนื้อสัมผัสให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ที่ทำจากเจลาติน ดังนั้นการอบลมร้อนเพื่อลดปริมาณน้ำในเจลจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ผลิตกัมมีเยลลี่น้ำเชื่อมจากที่ปราศจากเจลาตินได้

Conclusions

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื่อมจาก และการผลิตเยลลี่น้ำเชื่อมจากโดยศึกษาอัตราส่วน CG:GM และปริมาณน้ำเชื่อมจาก ผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำเชื่อมจากมีค่า pH 5.21 ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 1.26 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 28.09 น้ำตาล

ทั้งหมดร้อยละ 78.27 ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 67.8 องศาบริกซ์ ความชื้นร้อยละ 31.69 ค่า a_w 0.80 และความหนืด 135.3 cPs ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) เท่ากับ 56.41, 21.15 และ 34.37 ตามลำดับ การใช้อัตราส่วน CG:GM เท่ากับ 6:4 ให้ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียว และการเคี้ยวสูง สอดคล้องกับคะแนนความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบชิมที่อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมากแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราส่วน 8:2 ปริมาณน้ำเชื่อมจากมีผลต่อค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดโดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.38-4.57 และปริมาณกรดอยู่ในช่วง 0.42-0.57 ปริมาณความชื้นลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำเชื่อมจากเพิ่มขึ้น ค่าสี L^* ของเจลมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำเชื่อมจากเพิ่มขึ้น ค่า b^* มีแนวโน้มลดลง และค่า a^* มีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณน้ำเชื่อมร้อยละ 20.0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด (7.73)

การศึกษาผลของการอบแห้งโดยการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อผลิตกัมมี่เยลลี่น้ำเชื่อมจากที่ปราศจากเจลาติน พบว่าการอบแห้งช่วยลดปริมาณน้ำในเจล ส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความแข็ง ความเหนียว และการเคี้ยวเพิ่มขึ้น การอบแห้งยังทำให้เจลมีสีเข้มขึ้นและรสหวานเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการอบลมร้อนสามารถลดปริมาณน้ำในเจลและมีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของเจล เป็นวิธีที่มีความเป็นไปได้เพื่อผลิตกัมมี่เยลลี่ที่ปราศจากเจลาติน

Acknowledgments

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีที่สนับสนุนและส่งเสริมการทำงานวิจัยมาโดยตลอด

References

- AOAC. (2005). *Official Method of Analysis*. (18th Ed.). Maryland : Association of Official Analytical Chemists International.
- Apirattananusorn, S. (2021). Effect of heating processes on physical and chemical properties of syrup from sap of nipa palm (*Nypa fruticans* Wurmb.). *Sugar Tech*, 23(4), 907-914.
- Baiti, Q.A.N., Salsabila, Z., Apsari, W., Ramadan, M.B., Karen, E., Valencia, Sahid, M.N.A., Darsih, C. , & Laksitorini, M.D. (2024). The development of plant-based jelly candy for *Chrysanthemum indicum* L. flower extract and evaluation of the antioxidant activity. *Indonesian Journal of Pharmacy*, 35(2), 292-304.
- Belova, N.M., Kutsenkova, V.S., Petrova, O.N., Popova, O.M., Yeganehzad, S. , & Nepovinnikh, N.V. (2021). New insights into grain hydrogels with reinforced textural properties: design of low-calorie jelly desserts technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723, 032066 (1-8).

Board, E. (2012). *Hand book of confectionery with formulations*. New Delhi : Engineers India Research Institute.

Cebin, A., Bunić, M., Jarić, A., Šeremet, D., & Komes, D. (2024). Physicochemical and sensory stability evaluation of gummy candies fortified with mountain germander extract and prebiotics. *Polymers*, 16, 259 (1-25).

Delgado, P. , & Bañón, S. (2015). Determining the minimum drying time of gummy confections based on their mechanical properties. *CyTA- Journal of Food*, 13(3), 329-335.

Edwards, W.P. (2000). *The Science of sugar confectionery*. London : Royal Society of Chemistry.

Imeson, A.P. (2009). Carrageenan and furcellaran. In G.O. Phillips & P.A. Williams. (Eds.), *Handbook of hydrocolloids*. (pp. 164-185). (2nd Ed.). Cambridge : Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

Kaenin, J., Pongsetkul, J., Thavarang, P., Kaesang, T., & Takeungwongtrakul, S. (2020). Development of strawberry dessert jelly fortified with collagen hydrolysate. *Burapha Science Journal*, 25(1), 117-128. (in Thai)

Li, Y., Li, K., Guo, Y., Liu, Y., Zhao, G., Qiao, D., Jiang, F., & Zhang, B. (2024). Mechanism for the synergistic gelation of konjac glucomannan and **K**-carrageenan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 277, 134423 (1-9).

Mathlouthi, M. (2001). Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12(7), 409-417.

Mutlu, C., Tontul, S.A., & Erbaş, M. (2018). Production of a minimally processed jelly candy for children using honey instead of sugar. *LWT Food Science and Technology*, 93, 499-505.

Pechillo, D., & Izzo, M. (1996). The Use of carrageenan and cellulose gel in gummi candy. *The Manufacturing Confectioner*, 76(11), 62-66.

Phetrit, R., Chaijan, M., Sorapukdee, S., & Panpipat, W. (2020). Characterization of nipa palm's (*Nypa fruticans* Wurmb.) sap and syrup as functional food ingredients. *Sugar Tech*, 22(1), 191-201.

- Ranganna, S. (1986). *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*. (2 nd. ed.). India : Tata McGraw-Hill publishing company.
- Rochmawati, N., & Ermawati, D.E. (2012). The effect of carrageenan concentration on the physical and chemical properties of gummy turmeric acid Jamu. *Majalah Farmaseutik*, 17(2), 230-237.
- Saengkrajang, W., Chaijan, M., & Panpipat, W. (2021). Physicochemical properties and nutritional compositions of nipa palm (*Nypa fruticans* Wurmb) syrup. *NFS Journal*, 23, 58-65.
- Saengkrajang, W., Thanonthip, P., Nounmusig, J., & Suhem, K. (2020). Effect of gelling agents on quality attributes of durian jelly. *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*, 15(2), 141-155. (in Thai)
- Suankramdee, W., Jirakachaporn, B., & Harnsilawat, T. (2022). Effect of carrageenan and drying time on selected qualities of gummy jelly. In *Proceedings of 60th Kasetsart University Annual Conference: Science, Engineering and Architecture, Agro-Industry, Natural Resources and Environment*. (pp. 455-460). Pathum Thani (Thailand) : Prachacheun Research Network. (in Thai)
- Suwan, T., Narathapanon, P., Lamsuwan, A., Pongpattanapanich, W., & Kullamethee, P. (2018). Development of Babbler's Bill leaf carragenan jellies. *The Journal of KMUTNB*, 28(2), 403-411. (in Thai)
- Thanaratikul, P. (2022). Effect of carrageenan on quality of germinated soybean jelly. *Journal of Science and Science Education*, 5(2), 215-224. (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute. (2024). *Thai industrial standards institute standards of jelly*. TISI 263-2566. (in Thai)
- Tinakorn Na Ayutthaya, K., & Putduang, N. (2016). The Product Development of Healthy Cereal Jelly. *The Journal of Food Technology Siam University*, 11(1), 13-20. (in Thai)
- Tye, R.J. (1991). Konjac flour: Properties and application. *Food Technology*, 45(3), 86-92.

- Utomo, B.S.B., Darmawan, M., Rahman, A.H., & Ardi, D.T. 2014. Physicochemical properties and sensory evaluation of jelly candy made from different ratio of **K**-carrageenan and konjac. *Squalen Bulletin of Marine & Fisheries Postharvest & Biotechnology*, 9(1), 25-34.
- Wang, R. & Hartel, R.W. (2022). Citric acid and heating on gelatin hydrolysis and gelation in confectionery gels. *Food Hydrocolloids*, 129, 107642 (1-14).
- Zheng, M., Wei, Y., Jiao, X., Jiang, Z., Li, Z., Ni, H., & Zhu, Y. (2024). Effects of konjac glucomannan with different molecular weights on functional and structural properties of **K**-carrageenan composite gel. *Food Biophysics*, 19, 553-566.