

กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่จากคาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
Karanda fruit gummy made with carrageenan in combination with
carboxymethylcellulose

ศันสนีย์ ทิมทอง¹, ณนนท์ แดงสังวาล¹, ธนัทธ มีโหมด¹ และศุภักษร มาแสง¹

¹ เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Sansanee Thimthong¹, Nanoln Dangsungwal¹, Thanathat Memode¹ and
Supuksorn Masavang^{*1}

¹ Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

รับบทความ: 12 ธันวาคม 2566

แก้ไขบทความ: 26 เมษายน 2567

ตอบรับบทความ: 6 กรกฎาคม 2567

บทคัดย่อ

กัมมีเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล ทำให้ผู้ที่ไม่รับประทานอาหารจากสัตว์ไม่สามารถรับประทานได้ ดังนั้นจึงต้องใช้สารก่อเจลชนิดอื่นมาทดแทน โดยคาราจีแนนที่ผลิตจากสาหร่ายสีแดงและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่อนุพันธ์ของเซลลูโลสจากพืช มะม่วงหาวมะนาวโห่เป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งวิตามินซีและแอนโทไซยานินที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่จากคาราจีแนนที่ร้อยละ 2.43, 3.21, และ 3.99 ของน้ำหนักส่วนผสม โดยใช้กัมมีเจลล์ที่ใช้เจลาตินเป็นตัวอย่างควบคุม พบว่าเมื่อปริมาณของคาราจีแนนส่งผลให้ค่าสี aw hardness, cohesiveness, gumminess และ springiness เพิ่มขึ้น กัมมีเจลล์ที่ผลิตด้วยคาราจีแนนร้อยละ 3.21 มีค่าความชื้น ค่า L* b* และ a* ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุดถูกคัดเลือกเพื่อใช้พัฒนากัมมีจากคาราจีแนนร่วมกับ CMC ร้อยละ 0.04 0.08 และ 0.12 พบว่า กัมมีสูตรที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลที่ร้อยละ 3.21 ร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.04 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกับกัมมีจากเจลาตินมากที่สุด เนื่องจากทำให้กัมมีมีค่าปริมาณความชื้น Adhesiveness Cohesiveness Springiness Chewiness ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด งานวิจัยจึงเป็นแนวทางเพื่อใช้ในการพัฒนากัมมีปราศจากเจลาตินโดยใช้คาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อไป

คำสำคัญ: กัมมี มะม่วงหาวมะนาวโห่ คาราจีแนน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

Abstract

Gummy jelly generally uses gelatin as a gelling agent, therefore vegetarians cannot consume this type of product. Therefore, alternative gelling agents are used in gummy candy. The carrageenan is a gelling agent produced from red algae and carboxymethylcellulose (CMC) which is derivative plant-based cellulose widely used in such products. Karanda fruits contain high nutritional value. It is a source of vitamin C and anthocyanin which are antioxidants. The objective of this research was to develop a Karanda gummy jelly from carrageenan at 2.43, 3.21, and 3.99% of the ingredient weight. Gelatin-based gummy jelly was used as a control sample. It was found that with the increasing of carrageenan, the color values a_w hardness, cohesiveness, gumminess and springiness were increased. Gummy jelly with 3.21% carrageenan had the closest values of moisture content, L^* b^* and a^* to the control formula that was selected to develop gummy jelly from carrageenan combination with CMC at 0.04, 0.08, and 0.12%. It was found that the gummy formula using carrageenan at 3.21% combination with 0.04% CMC has a quality most similar to gelatin gummies. Due to the moisture content, Adhesiveness, Cohesiveness, Springiness, Chewiness, brightness (L^*), red (a^*) and yellow (b^*) values of sample are the closest to the control sample. This study can be used as a guideline gelatin-free gummy jelly product from carrageenan and carboxymethylcellulose.

Keywords: Gummy, Karanda fruit, Carrageenan, Carboxymethylcellulose

บทนำ

ผลิตภัณฑ์กัมมี่ หรือเยลลี่แห่งเป็นผลิตภัณฑ์ลูกกวาด (Confectionery products) ที่ได้รับความนิยมประเภทหนึ่ง มีส่วนแบ่งการตลาดของตลาดลูกกวาดในประเทศไทยที่สูง ลักษณะเฉพาะของกัมมี่คือ มีลักษณะเป็นเจลใส เนื้อสัมผัสเนียน ไม่หยาบสาก เหนียวนุ่ม และมีความยืดหยุ่น (สุวรรณา, 2543) มีส่วนประกอบหลักได้แก่ น้ำ น้ำตาลทราย สารก่อเจล และกรด (กรมวิชาการเกษตร, 2543) สารก่อเจลที่ใช้ในการผลิตกัมมี่เยลลี่ได้แก่ เจลาติน เพคติน อะการ์ และคาราจีแนน เป็นต้น (นราธิป, 2556) โดยสารก่อเจลทำหน้าที่ในการขึ้นรูปและปรับปรุงเนื้อสัมผัสของกัมมี่ ทั้งนี้ชนิดของสารก่อเจลและปริมาณการเติมสารก่อเจลในสูตรการผลิตที่แตกต่างกันมักส่งผลให้ลักษณะของกัมมี่แตกต่างกันและเกิดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ในผลิตภัณฑ์กัมมี่ผลไม่มีการใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจลมากที่สุด เจลาตินเป็นโปรตีนที่สกัดได้จากส่วนของคอลลาเจนในกระดูกและหนังสัตว์ (มัทนา และคณะ, 2552) ทำให้ผู้ที่ได้รับประทานเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ไม่สามารถรับประทานกัมมี่ที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจลได้ คาราจีแนนเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล นิยมใช้เป็นสารก่อเจล และสามารถใช้ในอาหารฮาลาลได้ คาราจีแนนที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์กัมมี่ ได้แก่ แคปปาคาราจีแนน การใช้คาราจีแนนร้อยละ 2 ส่งผลให้กัมมี่นุ่มและเคี้ยวซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่เจลของแคปปาคาราจีแนน

มักมีการปล่อยของเหลว (syneresis) ออกมาหลังจากเซ็ทตัว (Ako, 2015) เมื่อใช้ในกัมมีจึงต้องนำไปอบแห้งเพื่อลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ และยืดอายุการเก็บรักษา

การผสมคาราจีแนนร่วมกับสารก่อเจลชนิดอื่นได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง ซึ่ง Sinurat และคณะ (2006) เปิดเผยว่าส่วนผสมของคาราจีแนนและบุกทำให้โครงสร้างเจลมีความแข็งแรงและความหนืดสูงกว่าส่วนผสมไฮโดรคอลลอยด์อื่น ๆ ดังนั้นสูตรของกัมมีจึงเหมาะสำหรับผลิตขนมเยลลี่ Subaryono & Utomo (2006) ได้สังเกตการใช้คาราจีแนนผสมบุกในการผลิตกัมมี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของคาราจีแนนผสมบุกที่ใช้ในการแปรรูปกัมมี คือ 1.5% ด้วยอัตราส่วน 2:1 อย่างไรก็ตามในกรณีเดียวกัน Sinurat et al., (2010) ได้ศึกษาคุณลักษณะของขนมกัมมีที่ทำจากคาราจีแนน ผลการวิจัยพบว่าคาราจีแนนที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความแข็งแรงของเจล ความเหนียว และความยืดหยุ่นของลูกอมเยลลี่ ซึ่งได้รับคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุดด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ความยืดหยุ่น ความโปร่งใส และการยอมรับโดยรวมเป็นกัมมีที่ใช้ปริมาณของสารก่อเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 4.5 นอกจากนี้คาราจีแนนถูกใช้ผลิตกัมมีร่วมกับสารก่อเจลชนิดอื่นได้ (Kreungngern and Chaikham, 2016) เช่น การใช้คาราจีแนนร่วมกับเพคตินจากเปลือกแก้วมังกรอัตราส่วน 2:1 ที่ความเข้มข้นของสารก่อเจลดังกล่าวร้อยละ 4.5 (Soedirga and Marchellin, 2022) การใช้คาราจีแนนร่วมกับผงบุกที่อัตราส่วน 40:25 ใช้ความเข้มข้นของผงก่อเจลดังกล่าวร้อยละ 4.5 (Utomo et al., 2014) การศึกษาของ Song และคณะ (2022) ซึ่งได้ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณสมบัติเนื้อสัมผัสและความคงตัวในการเก็บรักษาของกัมมีจากคาราจีแนนมีการรายงานว่าการบดซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ร้อยละ 0.4 ร่วมกับคาราจีแนนร้อยละ 2.0 ทำให้เกิดเป็นกัมมีที่ยืดหยุ่นได้ ซึ่งมีความเปราะบางต่ำ และมีน้ำซึมออกมาน้อยระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่า CMC ร้อยละ 0.4 ส่งเสริมการรวมตัวระหว่างโมเลกุลแบบเคียงข้างกันของคาราจีแนนผ่านการสร้างพันธะไฮโดรเจน ซึ่งทำให้โครงสร้างเครือข่ายของเจลหนาแน่นและเสถียรเมื่อเทียบกับไฮโดรเจลของคาราจีแนนเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามสัดส่วนของ CMC ที่สูง (ร้อยละ 0.8–0.12) จะทำให้เกิดแรงผลักไฟฟ้าสถิตที่ครอบงำอยู่ในระบบและยับยั้งกระบวนการสร้างเจลทำให้โครงสร้างเจลอ่อนแอพร้อมกับซินเนเรซิสที่เร่งขึ้นอีกด้วย

มะม่วงหาวมะนาวโห่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carissa carandas L.* มีชื่อสามัญว่า Karanda fruit เป็นผลไม้ที่มีสารพฤษเคมี (phytonutrient) ที่สำคัญ คือ แอนโทไซยานิน ซึ่งผลของมะม่วงหาวมะนาวโห่ทั้งเปลือกและเนื้อมีแอนโทไซยานินอยู่มาก ซึ่งเป็นรงควัตถุในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ทำให้เกิดสีม่วงแดง ผลที่สุกแล้วจะมีรสเปรี้ยวน้อยกว่าผลสุกกึ่งดิบ เหมาะสำหรับทำผลไม้ดอง เมื่อแห้งมีเพคตินมากหากบดเป็นผงจะใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อทำให้เกิดความข้นหนืดลักษณะเป็นเป็นเยื่อใย สามารถเป็นส่วนผสมของเยลลี่ แยม น้ำเชื่อม และเครื่องปรุงเติมในอาหารให้ได้รับรสชาติ (มธุรส รัตนวงศ์สนธิ, 2562) นอกจากนี้งานวิจัยของ วชิราภรณ์ และคณะ (2556) รายงานว่าผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ระยะผลสุก (ผลมีสีชมพูเข้มถึงม่วง) มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด 4.67 ± 0.41 mg GAE/g, 54.80 ± 6.07 mg/L และ 2.42 ± 0.41 mg AAE/g ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะผลดิบ (ผลมีสีเขียว) และผลกึ่งสุก (ผลมีสีชมพูปนชมพู) และมีวิตามินซี 180.40 mg/100g

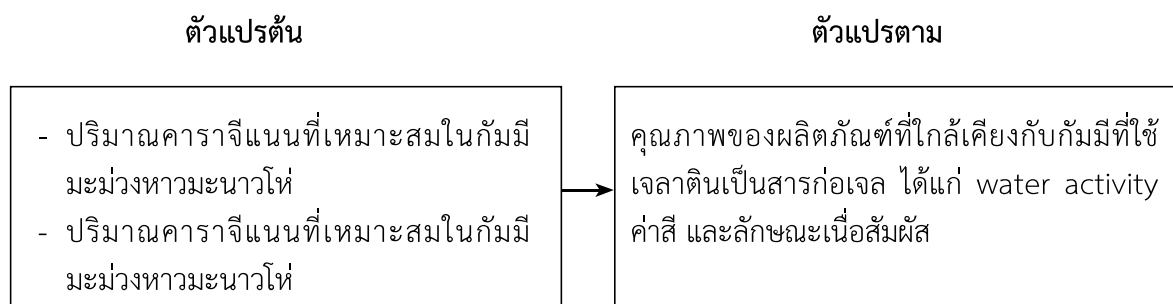
ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิด ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีจากมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่เป็นผลไม้พื้นเมือง ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการส่งเสริมให้ผู้บริโภคหันมารับประทานผลไม้มากขึ้น อีกทั้งผู้วิจัยได้ศึกษาปริมาณ

การใช้คาราจีแนนที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อพัฒนากัมมี่ให้ยังคงมีคุณภาพใกล้เคียงกับการใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจลมากที่สุดและตรงกับความต้องการของผู้บริโภคที่รับประทานผลิตภัณฑ์จากสัตว์ จากการวิเคราะห์ข้างต้นยังมีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของสัดส่วนคาราจีแนนและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในการผลิตขนมกัมมี่ค่อนข้างน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอัตราส่วนคาราจีแนนที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมกัมมี่ นอกจากนี้ศึกษาผลของระยะเวลาการอบแห้ง ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของกัมมี่ เพื่อเป็นทางเลือกในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่ในรูปแบบที่หลากหลายและเหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้บริโภคในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของคาราจีแนนที่เหมาะสมที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่มะม่วงหาวมะนาวโห่
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของคาราจีแนนร่วมกับสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่เหมาะสมที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่มะม่วงหาวมะนาวโห่

กรอบแนวคิด



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณคาราจีแนนที่เหมาะสมในการผลิตกัมมี่มะม่วงหาวมะนาวโห่

ศึกษาปริมาณคาราจีแนนที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์กัมมี่จากคาราจีแนนที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 2.43, 3.21 และ 3.99 ต่อน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ใช้กัมมี่สูตรที่ผลิตจากเจลาตินเป็นตัวอย่งควบคุม (control sample) มีสูตรในการผลิตดังแสดงในตารางที่ 1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multi Range Test (DMRT) เพื่อเลือกปริมาณของคาราจีแนนที่เหมาะสม โดยจะมีคุณภาพด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส water activity และความชื้นใกล้เคียงกับกัมมี่สูตรควบคุมมากที่สุด โดยการเตรียมตัวอย่างกัมมี่ ดังนี้

1.1 การผลิตกัมมี่มะม่วงหาวมะนาวโห่จากเจลาติน (สูตรควบคุม) (ดัดแปลงจาก ภาสุรี และคณะ, 20562) โดยแบ่งน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกผสมกับผงเจลาตินให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสจนเจลาตินละลายหมดได้สารละลายใส ส่วนที่สองนำไปผสมกับน้ำตาลทรายและกลูโคสไซรัปเคี้ยวไฟกลางจนน้ำเชื่อมมีอุณหภูมิ 116.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส และมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 70.0 ± 1.0 องศาบริกซ์

ยกออกจากเตารอให้ฟองยุบตัว จากนั้นนำไปกวนผสมกับสารละลายเจลาตินที่เตรียมไว้ให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว แล้วนำไปหยอดลงพิมพ์ซิลิโคนขนาด 15x15x10 มิลลิเมตร แช่เย็นที่อุณหภูมิ 5-8 องศาเซลเซียส ในตู้แช่เย็นเป็นเวลา 30 นาที แกะออกจากพิมพ์เก็บในกล่องพลาสติกปิดสนิทเพื่อทำการทดสอบต่อไป

1.2 การผลิตกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่จากคาราจีแนน (ดัดแปลงจากยวดี และคณะ, 2555) เริ่มจากการผสมน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ น้ำตาลทรายและคาราจีแนน เคี่ยวด้วยไฟกลางจนน้ำเชื่อมมีอุณหภูมิประมาณ 90.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 43.0 ± 1.0 องศาบริกซ์ จากนั้นเติมเกลือและกรดซิตริกคนให้ละลายเข้ากันดี แล้วเทลงพิมพ์ซิลิโคนขนาด 15x15x10 มิลลิเมตร ปล่อยให้เย็น จากนั้นนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5-8 องศาเซลเซียส ในตู้แช่เย็นเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาให้แกะกัมมีออกจากพิมพ์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 ชั่วโมง แล้วเก็บในกล่องพลาสติกปิดสนิทเพื่อทำการทดสอบต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรการผลิตกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่

ส่วนผสม	ปริมาณ (%)			
	Control	Formula 1	Formula 2	Formula 3
น้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่	53.07	66.77	66.23	65.70
เจลาติน	8.03	-	-	-
คาราจีแนน	-	2.43	3.21	3.98
กรดซิตริก	-	0.20	0.20	0.20
น้ำตาลทราย	31.84	30.35	30.11	29.87
กลูโคสไซรัป	7.06	-	-	-
เกลือ	-	0.25	0.25	0.25

2. ศึกษาปริมาณคาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมในการผลิตกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่

ศึกษาปริมาณคาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ โดยมีการใช้ปริมาณคาราจีแนนจากระดับที่คัดเลือกในข้อ 1 และทำการผสมคาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ร้อยละ 0.04, 0.08 และ 0.12 โดยมีสูตรพื้นฐานในการผลิต ดังตารางที่ 2 โดยใช้กัมมีจากเจลาตินเพื่อใช้เป็นตัวอย่างควบคุม วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multi Range Test (DMRT) เพื่อเลือกปริมาณของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสม โดยจะมีคุณภาพด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส water activity และความชื้นใกล้เคียงกับกัมมีสูตรควบคุมมากที่สุด ซึ่งการกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่จากคาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ใช้วิธีตามข้อ 1.2 แต่มีการเติม CMC พร้อมกับการคาราจีแนนในขั้นตอนแรก

3. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กัมมี

3.1 Water Activity (a_w) โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่มาตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กขนาดประมาณ $2.0 \times 2.0 \times 2.0$ มิลลิเมตร ใส่ในภาชนะใส่ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w ยี่ห้อ AquaLab รุ่น CX4TE

3.2 วิเคราะห์ความชื้น โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่มาตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กประมาณ $2.0 \times 2.0 \times 2.0$ มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนัก 3-5 กรัม เกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วภาชนะลิ้นเยนิม เพื่อวัดค่าความชื้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ Sartorius รุ่น MA35 โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

3.3 วัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ซึ่งเป็นการวัดเนื้อสัมผัสในลักษณะเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ ทำการวัดตัวอย่างกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ ทั้งชิ้น ขนาด $15 \times 15 \times 10$ มิลลิเมตร โดยการวางตัวอย่างตรงกลางซึ่งในการวัดจะทำการกดตัวอย่าง 2 ครั้ง โดยให้กดจากความสูงของตัวอย่างกัมมีลดลงจากความเริ่มต้นร้อยละ 75 (75% strain) ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA-XT2i ด้วยหัววัดทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) โดยกำหนด Pre-Test Speed 10.0 mm/s, Test Speed 10.0 mm/s, Post-Test Speed 10.0 mm/s แล้วทำการสอบเทียบมาตรฐานน้ำหนักด้วยลูกตุ้ม 1 กิโลกรัม และสอบเทียบความสูงจากฐานเครื่องที่ใช้วางตัวอย่างกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ ทำการวัด 5 ครั้ง รายงานผลค่า Hardness Adhesiveness Cohesiveness Springiness Gumminess และ Chewiness

3.4 วัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Chroma meter) ยี่ห้อ Konica Minota รุ่น CR-400 โดยค่า L^* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว) ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความสว่างมาก ถ้ามีค่าต่ำแสดงผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำหรือค่อนข้างมืด ค่าดัชนีสีแดง (a^*) ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีแนวโน้มไปทางสีแดง (redness) ถ้ามีค่าเป็นลบ แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีแนวโน้มไปทางสีเขียว (greenness) ส่วนค่าดัชนีสีเหลือง (b^*) คือ มีค่าเป็นบวก แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีแนวโน้มไปทางสีเหลือง (yellowness) ถ้าเป็นค่าลบ แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเป็นสีน้ำเงิน (blueness)

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาปริมาณการจี้แฉกที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่

จากการศึกษาปริมาณการจี้แฉกที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 2.43, 3.21 และ 3.99 พบว่าการใช้การจี้แฉกเป็นสารถือเจลในปริมาณที่ต่างกันทำให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยนำผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ไปวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าออสโมเตอร์แอคทีวิตี (a_w) ปริมาณความชื้น ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยวิธีการกด (Compression) 2 ครั้ง และวัดค่าสีได้ผลดังตารางที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ



a) Control (gelatin) b) Carrageenan 2.43% c) Carrageenan 3.21% d) Carrageenan 3.99%

ภาพที่ 1 กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลปริมาณแตกต่างกันแตกต่างกัน

a) Control (gelatin) b) Carrageenan 2.43% c) Carrageenan 3.21% d) Carrageenan 3.99%

ผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนจะมีขนาดของผลิตภัณฑ์ที่เล็กกว่ากัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวหลังอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง อีกทั้งผิวด้านนอกของกัมมีที่ใช้คาราจีแนนทั้ง 3 ระดับ มีขนาดของชิ้นกัมมีที่เล็กกว่าซึ่งอาจเกิดจากการหดตัวของกัมมีเมื่อน้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกไป ผิวของกัมมีจากคาราจีแนนมีลักษณะที่ไม่เรียบ ไม่เป็นมันวาว และมีสีของผลิตภัณฑ์ที่แดงเข้มกว่ากัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล (ภาพที่ 1)

ตารางที่ 2 ค่า Water activity (a_w) และปริมาณความชื้นของกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลปริมาณแตกต่างกัน

สารก่อเจล	a_w	ปริมาณความชื้น (%)
Control (gelatin)	0.8211 ± 0.0014^a	21.04 ± 2.92^a
Carrageenan 2.43%	0.5822 ± 0.0019^c	3.44 ± 0.28^b
Carrageenan 3.21%	0.5989 ± 0.0015^b	3.54 ± 0.22^b
Carrageenan 3.99%	0.6029 ± 0.0154^b	3.32 ± 0.14^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 พบว่ากัมมีสูตรที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร แต่มีค่าปริมาณความชื้นต่ำกว่ากัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล เนื่องจากกัมมีที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลต้องทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง ทำให้น้ำในโครงสร้างเจลระเหยออกไปจากผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการหดตัวและผิวด้านนอกขรุขระไม่มันวาว ซึ่งอาจเป็นจากการเกิดเปลือกแข็งของชิ้นอาหารแห้งที่เกิดขึ้นระหว่างการทำแห้ง (dehydration) อาหาร ที่ใช้อุณหภูมิสูงเกินไปหรือทำแห้งเป็นเวลานานส่งผลให้ผิวของอาหารสุกเกิดเป็นเปลือกแข็งหุ้ม ในขณะที่ความชื้นในภายในชิ้นอาหารยังมีอยู่สูงน้ำภายในชิ้นอาหารจะระเหยออกยากขึ้นและอาจทำให้การทำแห้งไม่สมบูรณ์ (วิลโลว์ รังสาดทอง, 2552) ส่วนกัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจลไม่ได้ผ่านขั้นตอนการลดความชื้นด้วยวิธีการอบเนื่องจากเจลาตินมีอุณหภูมิการหลอมเหลว (melting point) ที่ต่ำประมาณ 30-55 องศาเซลเซียส (Dranca and

Vyazovkin, 2009) หากนำกัมมีจากเจลาตินเข้าอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว จะทำให้ผลิตภัณฑ์ละลาย จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีปริมาณความชื้นสูงและค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity) สูงกว่า 0.6 ซึ่งอาจส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 3 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณความชื้นของกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลปริมาณแตกต่างกัน

Texture Profile Analysis	ระดับของสารก่อเจล (%)			
	Control (gelatin)	Carrageenan 2.43%	Carrageenan 3.21%	Carrageenan 3.99%
Hardness (g)	3076.84 ± 397.24 ^c	11262.73 ± 732.55 ^b	17299.05 ± 1602.30 ^a	10790.73 ± 644.72 ^b
Adhesiveness (g)	-22.36 ± 7.34 ^a	-129.52 ± 34.83 ^b	-128.83 ± 15.18 ^b	-136.50 ± 6.34 ^b
Cohesiveness	0.89 ± 0.05 ^a	0.42 ± 0.03 ^c	0.59 ± 0.08 ^b	0.34 ± 0.01 ^d
Springiness	0.98 ± 0.01 ^a	0.71 ± 0.13 ^b	0.80 ± 0.02 ^b	0.54 ± 0.04 ^c
Gumminess	2748.04 ± 467.44 ^c	4733.03 ± 605.08 ^b	10394.65 ± 2141.68 ^a	3717.17 ± 246.08 ^{bc}
Chewiness	2685.46 ± 478.31 ^b	3409.82 ± 896.26 ^b	8388.71 ± 1894.09 ^a	1999.93 ± 197.13 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากัมมีที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า Hardness Gumminess และ Chewiness สูงกว่าตัวอย่างกัมมีสูตรควบคุม ในขณะที่มีค่า Adhesiveness และ Cohesiveness ต่ำกว่ากัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล กลไกการเกิดเจลของแคปปาคาราจีแนนเกิดจากเกลียวของโมเลกุลคาราจีแนนเดี่ยวจะต้องเข้ามาใกล้กับเกลียวคาราจีแนนเดี่ยวที่เหมือนกันตัวที่สองจึงจะเกิดเป็นเกลียวคู่ เกลียวคู่จะต้องรวมเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเครือข่ายสามมิติและเก็บกักน้ำได้ในโครงสร้างเจลสามมิติ ทำให้เจลที่ได้มีลักษณะคงรูปได้ แต่เปราะแตกได้ง่ายเมื่อมีแรงกด (Popescu et al., 2007) เมื่อคาราจีแนนเกิดเจลขึ้นเจลที่ได้มักเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ซึ่งเจลมีการจัดเรียงตัวโครงสร้างใหม่และการบีบน้ำออกอย่างช้าๆ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของเจลโดยจะมีการแยกตัวของน้ำน้อยลงเมื่อมีปริมาณของคาราจีแนนมากขึ้น (Rinaudo, 2007) ซึ่งการเกิด syneresis ลดลงเมื่อปริมาณของคาราจีแนนเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าในโครงสร้างเจลเก็บกักน้ำไว้ได้มากซึ่งอาจส่งผลให้เจลมีความแข็งแรงลดลงจะเห็นได้จากเมื่อกัมมีที่ใช้คาราจีแนนร้อยละ 3.99 มีค่า Hardness ต่ำกว่ากัมมีที่ใช้คาราจีแนนร้อยละ 2.43 และ 3.21 นอกจากนี้ น้ำที่เกิดจากกระบวนการ syneresis ทำให้ต้องทำการอบไล่ความชื้นจากผิวของกัมมีที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจล ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง หดตัวและเกิดเปลือกแข็ง ส่งผลให้กัมมีมีค่า Hardness สูงกว่ากัมมีสูตรควบคุม อีกทั้งการเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) อาจทำให้บริเวณผิวของกัมมีจากคาราจีแนนมีความเหนียวติดกับห้ววดได้มากกว่ากัมมีจากเจลาตินส่งผลให้ค่า Adhesiveness ตีลบมากแสดงว่าตัวอย่างมีการติดติดรั้งห้ววดด้วยแรงที่มากกว่า และทำให้ค่า Gumminess และ Chewiness สูงกว่ากัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล

ตารางที่ 4 ค่าสีของกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลปริมาณแตกต่างกัน

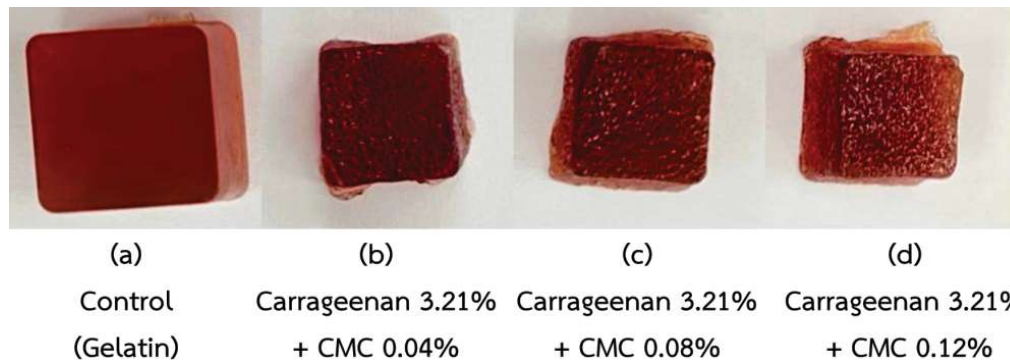
ค่าสี	ปริมาณของสารก่อเจล (%)			
	สูตรควบคุม (เจลาติน)	คาราจีแนน 2.43%	คาราจีแนน 3.21%	คาราจีแนน 3.99%
L*	30.76 ± 0.59 ^b	32.97 ± 0.48 ^a	30.82 ± 0.57 ^b	31.17 ± 0.21 ^b
a*	22.72 ± 1.16 ^c	30.99 ± 3.15 ^a	25.02 ± 1.33 ^{bc}	26.26 ± 1.21 ^b
b*	11.63 ± 0.76 ^{bc}	15.27 ± 2.29 ^a	10.28 ± 0.74 ^c	13.34 ± 0.82 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการใช้คาราจีแนนเจี๊ยนเป็นสารก่อเจลส่งผลให้กัมมีค่าสีของผลิตภัณฑ์ในตารางที่ 4 โดยความสว่าง (L*) ของกัมมีที่ใช้คาราจีแนนร้อยละ 2.43 มีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่น ในขณะที่กัมมีที่ใช้คาราจีแนนร้อยละ 3.21 และ 3.98 มีค่าความสว่างไม่แตกต่างจากกัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล ส่วนค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) สูงกว่ากัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล อาจเป็นเพราะน้ำที่ระเหยออกไปจากกัมมีขณะอบแห้งในตู้อบลมร้อนทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ซึ่งรวมถึงสารสีหรือรงควัตถุมีความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลค่าสีแดงและค่าสีเหลืองสูงกว่ากัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล การเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) พบได้ในอาหารอบแห้งกลุ่มผักผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล กล้วย แครอท เป็นต้น ซึ่งอาจเกิดจากการกำจัดน้ำออกจากอาหาร การเปลี่ยนโครงสร้าง การเปลี่ยนลักษณะเนื้อสัมผัสบริเวณผิวของอาหาร และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร เป็นต้น (Zielinska et al., 2012) นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการอบกัมมีจากคาราจีแนนอาจทำให้แอนโทไซนินที่เป็นรงควัตถุสีแดงในมะม่วงหาวมะนาวโห่สลายตัวเป็นสารประกอบที่ออกซิไดซ์สีน้ำตาลเกิดขึ้นได้ (Mattioli et al., 2020) จึงอาจส่งผลให้ค่าสีแดงเพิ่มสูงกว่าตัวอย่างกัมมีสูตรควบคุม จากผลการทดสอบค่า aw ปริมาณความชื้น ลักษณะเนื้อสัมผัส และค่าสี พบว่ากัมมีสูตรที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลที่ร้อยละ 3.21 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกับกัมมีจากเจลาตินมากที่สุด โดยมีค่า a_w Adhesiveness Cohesiveness Springiness ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด จึงเป็นปริมาณของคาราจีแนนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2. ผลการศึกษาปริมาณคาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่เหมาะสมในการผลิตกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่

ผลการใช้ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ในการผลิตกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ความเข้มข้นต่างกับ 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.04, 0.08 และ 0.12 แสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ต่างกันทำให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าสี กัมมีจากคาราจีแนนแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ได้แสดงผลในตารางที่ 5 6 และ 7 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนร่วมกับ CMC เป็นสารก่อเจลปริมาณแตกต่างกัน
a) Control (gelatin) b) Carrageenan 3.21%+CMC 0.04% c) Carrageenan 3.21%+CMC 0.04%
d) Carrageenan 3.21%+CMC 0.04%

ผลิตภัณฑ์กัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนจะมีขนาดของผลิตภัณฑ์ที่เล็กกว่ากัมมีที่ใช้เจลาติน เป็นสารก่อเจล เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวหลังอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง อีกทั้งผิวด้านนอกของกัมมีที่ใช้ CMC ทั้ง 3 ระดับ มีลักษณะที่ไม่เรียบวาวและมีสีของผลิตภัณฑ์ที่แดงเข้มกว่า กัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล (ภาพที่ 2)

ตารางที่ 5 ค่า Water activity (a_w) และปริมาณความชื้นของกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนร่วมกับ CMC เป็นสารก่อเจลปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณสารก่อเจล (%)	a_w	ปริมาณความชื้น (%)
สูตรมาตรฐานเจลาติน	0.8211 ± 0.0014^a	21.04 ± 2.92^a
คาราจีแนน 3.21%+CMC 0.04%	0.5171 ± 0.0141^c	2.52 ± 0.24^b
คาราจีแนน 3.21%+CMC 0.08%	0.5333 ± 0.0707^b	2.48 ± 0.15^b
คาราจีแนน 3.21%+CMC 0.12%	0.5343 ± 0.0036^b	2.42 ± 0.35^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 5 พบว่าการใช้ความเข้มข้นของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารก่อเจลในกัมมีจากคาราจีแนนในระดับที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กัมมีมีค่า a_w และปริมาณชื้นที่ต่ำกว่ากัมมีสูตรควบคุมที่ใช้เจลาติน เนื่องจากตัวอย่างกัมมีที่ใช้คาราจีแนนร่วมกับ CMC ต้องทำการอบไล่ความชื้นที่เกิดจากการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ทำให้น้ำในโครงสร้างเจลระเหยออกไปส่งผลให้ค่า a_w และปริมาณความชื้นต่ำลง นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณ CMC ในสูตรการผลิตกัมมีเพิ่มขึ้นส่งผลให้ส่งผลให้ค่า a_w และที่ค่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปคาราจีแนนมีการรวมตัวกันของเกลียวคู่ในระดับสูงทำให้เกิดมีเจลที่มีความแข็งแรงซึ่งเป็นข้อดีของการใช้คาราจีแนนในการผลิตอาหาร อย่างไรก็ตามข้อเสียของคาราจีแนน เช่น เจลหลอมกลับเป็นของไหลได้ด้วยความร้อน และแนวโน้มที่จะเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) จากโครงสร้างเจล (Tunieva et al., 2021)

การใช้โพลีแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงร่วมกันสามารถนำไปสู่การเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารก่อเจลได้ เช่น Dunstan et al., (2001) ได้อธิบายการทำงานร่วมกันของแคปตา-คาราจีแนนและโลคัสปินกัมเพิ่มความต้านการแตกของเจล (rupture stress) เมื่อเติมโลคัสปินกัมร้อยละ 30-40 และยังช่วยลดอุณหภูมิการก่อตัวของเจล Wu et al., (2020) ได้ประเมินผลของระดับการลดการเกิดอะซิไลเซชันของผงบุกที่มีกลูโคแมนแนนต่อคุณสมบัติของเจลบุกและแคปตา-คาราจีแนน พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับการลดการเกิดอะซิไลเซชันทำให้การผลิตเจลจากผงบุกร่วมกับคาราจีแนนมีความแข็งแรงขึ้น และลดการแยกตัวของน้ำจากเจลที่ได้นี้ จากผลการใช้คาราจีแนนร่วมกับคาร์ซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารก่อเจลในการผลิตกัมมีสอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้นเนื่องจากค่า aw และปริมาณความชื้นของกัมมีเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ CMC ที่อาจเป็นผลจากการลดลงของการแยกตัวของน้ำจากเจลที่ลดลงทำให้น้ำยังคงถูกเก็บกักในเจลได้มากขึ้น

การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีจากคาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในตารางที่ 6 มีค่า Hardness Gumminess และ Chewiness สูงกว่ากัมมีสูตรควบคุมในขณะที่ค่า Adhesiveness Cohesiveness และ Springiness ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม อาจเป็นผลจากคุณสมบัติของสารก่อเจลซึ่งคาราจีแนนมีเจลที่คงรูปแต่เปราะในขณะที่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสช่วยให้โครงสร้างของกัมมีจากคาราจีแนนแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ขั้นตอนการอบไล่ความชื้นอาจทำให้กัมมีจากคาราจีแนนร่วมกับ CMC หดตัวและเกิดเปลือกแข็ง ทำผลให้ค่า Hardness สูงกว่ากัมมีสูตรเจลาติน แต่การเพิ่มปริมาณ CMC ในผลิตกัมมีส่งผลค่า Hardness ลดลงอาจเป็นเจลของ CMC ที่เป็นเซลลูโลสที่มีประจุลบสามารถจับกับน้ำได้ดีทำให้กัมมีเก็บกักในโครงสร้างเจลได้มากขึ้น ทำให้เจลขยายตัวและกลายเป็นเจลที่เปราะ (Takigami et al., 2007) ซึ่งปริมาณน้ำที่เก็บกักในโครงสร้างเจลของกัมมีที่ใช้ CMC เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Adhesiveness ตีลบมากขึ้นแสดงให้เห็นว่ากัมมีมีความเหนียวหรือมีผิวเปื่อยจึงติดและดึงรั้งหัวด้วยแรงที่มากขึ้น ค่า Cohesiveness ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ CMC ทำให้การเกาะตัวกันเองของโครงสร้างเจลกัมมีไม่แข็งแรงเกิดเจลที่เปราะอาจเป็นเพราะคุณสมบัติการเก็บกักน้ำและการพองตัวของ CMC ส่วนค่า Chewiness และ Gumminess ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ CMC แสดงให้เห็นว่ากัมมีมีความต้านทานต่อการเคี้ยวลดลง

ตารางที่ 6 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนร่วมกับ CMC เป็นสารก่อเจล ปริมาณแตกต่างกัน

Texture Profile Analysis	ปริมาณสารก่อเจล (%)			
	สูตรควบคุม (เจลาติน)	คาราจีแนน 3.21% +CMC 0.04%	คาราจีแนน 3.21% +CMC 0.08%	คาราจีแนน 3.21% +CMC 0.12%
Hardness (g)	3076.84 ± 397.24 ^c	30688.68 ± 4606.00 ^a	24852.89 ± 922.96 ^b	26028.87 ± 2849.62 ^b
Adhesiveness (g)	-22.36 ± 7.34 ^a	-501.53 ± 241.40 ^b	-972.05 ± 404.39 ^c	-1055.56 ± 246.31 ^c
Cohesiveness	0.89 ± 0.05 ^a	0.67 ± 0.06 ^b	0.55 ± 0.02 ^c	0.56 ± 0.02 ^c
Springiness	0.98 ± 0.01 ^a	0.78 ± 0.14 ^b	0.95 ± 0.04 ^a	0.97 ± 0.01 ^a
Gumminess	2748.04 ± 467.44 ^c	20703.99 ± 3756.24 ^a	14558.35 ± 717.19 ^b	13740.34 ± 2005.86 ^b
Chewiness	2685.46 ± 478.31 ^b	16256.82 ± 5256.82 ^a	14062.68 ± 331.69 ^a	12985.86 ± 1999.20 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลค่าสีของการใช้คาราจีแนนจีแนนที่ร้อยละ 3.21 ร่วมกับ CMC ที่ร้อยละ 0.04, 0.08 และ 0.12 เป็นสารก่อเจล (ตารางที่ 7) พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ไม่แตกต่างจากกัมมีสูตรที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ต่ำกว่ากัมมีที่ใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล อาจเป็นเพราะคุณสมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่เป็นสารประกอบโพลีเมอร์ประจุลบที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นผงเส้นใยหรือสีขาวมีลักษณะไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และดูดความชื้นได้ดี อีกทั้ง CMC สามารถกระจายตัวในน้ำ เพื่อสร้างสารละลายคอลลอยด์หรือเจลที่โปร่งใส (transparent) (Zhang et al., 2022) อีกทั้ง CMC อาจเจือจางความเข้มข้นของสารสีหรือรงควัตถุในกัมมีจากการาจีแนนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ค่าสีแดง (a^*) และ (b^*) ต่ำกว่ากัมมีสูตรที่ใช้เจลาติน เป็นสารก่อเจล

ตารางที่ 7 ค่าสีของกัมมีมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้คาราจีแนนร่วมกับ CMC เป็นสารก่อเจลปริมาณแตกต่างกัน

ค่าสี	ปริมาณสารก่อเจล (%)			
	สูตรควบคุม (เจลาติน)	คาราจีแนน 3.21% +CMC 0.04%	คาราจีแนน 3.21% +CMC 0.08%	คาราจีแนน 3.21% +CMC 0.12%
L^*	30.76 ± 0.59^{ab}	29.84 ± 1.39^{ab}	31.06 ± 1.11^a	29.35 ± 0.74^b
a^*	22.72 ± 1.16^a	18.45 ± 2.21^b	14.32 ± 1.70^c	14.58 ± 0.81^c
b^*	11.63 ± 0.76^a	6.10 ± 1.46^b	4.70 ± 1.03^b	6.17 ± 1.17^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดสอบค่า a_w ปริมาณความชื้น ลักษณะเนื้อสัมผัส และค่าสี พบว่ากัมมีสูตรที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลที่ร้อยละ 3.21 ร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.04 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกับกัมมีจากเจลาตินมากที่สุด โดยมีค่า ปริมาณความชื้น Adhesiveness Cohesiveness Springiness Chewiness ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และ ค่าสีเหลือง (b^*) ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด จึงเป็นปริมาณของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการผลิตกัมมีปราศจากเจลาตินที่ใช้คาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าชนิดของสารก่อเจลมีผลต่อโครงสร้างเจลที่ทำให้คุณภาพของกัมมีแตกต่างกัน อีกทั้งทำให้กระบวนการผลิตกัมมีมีความแตกต่างกัน จากการทดสอบคุณภาพของกัมมีที่ผลิตจากคาราจีแนน พบว่าค่า a_w ปริมาณความชื้น ลักษณะเนื้อสัมผัส และค่าสี ของกัมมีสูตรที่ใช้คาราจีแนนร้อยละ 3.21 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกับกัมมีจากเจลาตินมากที่สุด โดยมีค่า a_w Adhesiveness Cohesiveness Springiness ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และ ค่าสีเหลือง (b^*) ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด จึงเป็นปริมาณของคาราจีแนนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป ส่วนผลการทดสอบคุณภาพของกัมมีปราศจากเจลาตินที่ใช้คาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่ากัมมีสูตรที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารก่อเจลที่ร้อยละ 3.21 ร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.04 ทำให้ผลิตภัณฑ์มี

คุณภาพใกล้เคียงกับกัมมีจากเจลาตินมากที่สุด โดยมีค่าปริมาณความชื้น Adhesiveness Cohesiveness Springiness Chewiness ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และ ค่าสีเหลือง (b^*) ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด จึงเป็นปริมาณของคาร์บอกเซลลูโลสที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการผลิตกัมมีปราศจากเจลาตินที่ใช้คาราจีแนนร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในการพัฒนาคุณภาพของกัมมีปราศจากเจลาตินสามารถใช้สารก่อเจลหรือสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นได้ และการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการหรือคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาในขนมเคี้ยวสำหรับเด็กอาจเป็นแนวทางในการต่อยอดผลิตภัณฑ์กัมมีต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ได้แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีปราศจากเจลาตินโดยใช้คาราจีแนนและคาร์บอกซีเซลลูโลส
2. สามารถใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ มาเป็นสารก่อเจลหรือปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์กัมมีปราศจากเจลาตินเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีขึ้น
3. ควรทำการเปรียบเทียบวิธีการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์กัมมีด้วยการใช้ลมร้อนกับวิธีอื่นๆ เช่น การลดความชื้นด้วยแป้ง หรือการเคลือบตัวสารป้องกันความชื้นอื่นๆ เป็นต้น
4. ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นต่ำ เช่น การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ในการเก็บรักษา การเก็บในสภาวะที่มี Water activity, อุณหภูมิ หรือบรรยากาศแตกต่างกัน โดยอาจทำการตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ร่วมด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากจากกองทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปี 2566 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้สนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

References

- กรมวิชาการเกษตร. 2543. เยลลี่มะม่วง. วารสารสถาบันอาหาร. 3(14): 41-42.
- นราธิป ปุณเกษม. 2556. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีสมุนไพรไทยแคลลอรี่ต่ำ: ชิง. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต, กรุงเทพฯ.
- ภาสุรี ฤทธิเลิศ และกมลวรรณ วารินทร์. 2562. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่มะม่วงหาวมะนาวโห่. Thai Journal of Science and Technology. 9(2). 354-352.
- มธุรส รัตนวงศ์สนธิ. 2562. การพัฒนาผลิตภัณฑ์การแปรรูปผลไม้มะม่วงหาวมะนาวโห่ (Carissa carandas) ในระยะผลถึงสุกและระยะผลสุก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.

- มัทนา แสนจินดาวงษ์, วันชัย วรวัฒนเมธีกุล, วรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. 2552. การผลิตเจลาตินจากเศษเหลือของกระบวนการผลิตซูริมิ. ใน: นิทรรศการงานวิจัย บนเส้นทางงานวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในงานวันเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2552.
- ยุวดี ขุนภักดี, วรินทร์ กาวี, นพดล โพชกำเหนิด และณรงค์ สุนทรอภีรักษ์. 2555. เยลลี่คาราจีแนนผสมเนื้อลูกจากเพื่อชุมชน. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 15(3)(พิเศษ): 230-231.
- วชิราภรณ์ ผิวล่อง, สุรศักดิ์ สัจจบุต, ศิริลักษณ์ สิงห์เพชร และจารุรัตน์ เอี่ยมศิริ. 2556. อิทธิพลของระยะเวลาสุกต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของมะนาวโห่. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 44: 337-340.
- วิไล รังสาดทอง. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล, 2552.
- สุวรรณา สุภิमारส. เทคโนโลยีการผลิตลูกกวาดและช็อกโกแลต. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.
- Ako, K. 2015. Influence of elasticity on the syneresis properties of K-carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*. 115: 408-414.
- Dranca, I., & Vyazovkin, S. (2009). Thermal stability of gelatin gels: Effect of preparation conditions on the activation energy barrier to melting. *Polymer*, 50(20), 4859-4867.
- Dunstan, D. E., Chen, Y., Liao, M. L., Salvatore, R., Boger, D. V., & Prica, M. (2001). Structure and rheology of the K-carrageenan/locust bean gum gels. *Food hydrocolloids*, 15(4-6), 475-484.
- Kreungngern, D. and Chaikham, P. (2016). Rheological physical and sensory attributes of Chao Kuay jelly added with gelling agents. *International Food Research Journal*. 23(4), 1474-1478.
- Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(17), 3809.
- Popescu, C., Iordan, M., & Cristian, B. (2007). Structure and properties of carragenan. *The Annals Valahia University of Tărgoviște*, 27-32.
- Rinaudo, M. (2007). Comprehensive Glycoscience. In *Seaweed Polysaccharides*. 2, 691-735.
- Sinurat, E., Murdinah, and Utomo, B.S.B. (2006). Functional properties of mixed formula of Kappa and Lota carrageenan with other gums. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 1(1), 1-8.
- Soedirga and Marchellin. (2022). Physicochemical Properties of Jelly Candy Made with Pectin from Red Dragon Fruit Peel in Combination with Carrageenan. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 37(1), 1-14.
- Subaryono and Utomo, B,S,B. (2006). The use of carrageenan-conjac in jelly candy production. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 1(1), 19-26.

- Tunieva, E. K., Spiridonov, K. I., & Nasonova, V. V. (2021). A study on the synergetic interaction of kappa-carrageenan with konjac gum. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 640, No. 5, p. 052012). IOP Publishing.
- Utomo, B. S. B., Darmawan, M., Hakim, A. R., & 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 and Fisheries Postharvest and Biotechnology, 9(1), 25-34
- Wu, D., Yu, S., Liang, H., He, C., Li, J., & Li, B. (2020). The influence of deacetylation degree of konjac glucomannan on rheological and gel properties of konjac glucomannan/K-carrageenan mixed system. Food Hydrocolloids, 101, 105523.
- Zhang, W., Liu, Y., Xuan, Y., & Zhang, S. (2022). Synthesis and applications of carboxymethyl cellulose hydrogels. Gels, 8(9), 529.
- Zielinska, M., & Markowski, M. (2012). Color characteristics of carrots: effect of drying and rehydration. International Journal of Food Properties, 15(2), 450-466.

คณะผู้เขียน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศันสนีย์ ทิมทอง

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร
168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวรชัยยบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
e-mail: sansanee.th@rmutp.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณนนต์ แดงสังวาลย์

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร
168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวรชัยยบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
e-mail: nanoln.d@rmutp.ac.th

นายธนทัต มีโหมต

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร
168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวรชัยยบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
e-mail: thanathat-m @rmutp.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภักษร มาแสวง

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร
168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวรชัยยบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
e-mail: supuksorn.m@rmutp.ac.th