JSSE Journal of Science & Science Education วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา
https://so04.tci-thaijo.org/index.php/JSSE
ปีที่ 5 เล่มที่ 2 (ก.ค. – ธ.ค. 2565) | xx

บทความวิจัย

ผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

พรทิพย์ ธนรติกุล*
สาขาวิชาอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี กรุงเทพฯ
**Email: porntip.t@dru.ac.th*

รับบทความ: 8 มีนาคม 2565 แก้ไขบทความ: 28 เมษายน 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารคาราจีแนน 5 ระดับ (0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8%) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก ผลการวิจัยพบว่าปริมาณสารคาราจีแนน มีผลต่อลักษณะเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 3 (คาราจีแนน 0.6%) มีคะแนนการยอมรับด้านความนุ่ม (คะแนน 7.13) และความชอบโดยรวม (คะแนน 6.90) สูงที่สุด มีค่าการแยกตัวของน้ำร้อยละ 6.00 ค่าความแข็ง 709.00 g force ค่าการยึดติด 71.32 g force·sec และค่าความเหนียว 589.50 g force ค่าสี L* 73.03 ค่า a* -1.05 ค่า b* 6.28 องค์ประกอบทางเคมีของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีปริมาณความชื้น 90.97%. เถ้า 0.41% ไขมัน 2.23% โปรตีน 4.06% กากใย 1.28% และคาร์โบไฮเดรต 2.33% มีค่าพลังงาน 45.68 kcal มีสารประกอบฟีนอลิก 1.84 mg GAE/g และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 9.14 μmol trolox equivalents/g

คำสำคัญ: คาราจีแนน คุณภาพทางเคมี คุณภาพทางประสาทสัมผัส เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก ลักษณะเนื้อสัมผัส

Online-First Version

ลิขสิทธิ์โดย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Research Article

Effect of Carrageenan on Quality of Germinated Soybean Jelly

Porntip Thanaratikul*

Food Industry Program, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University, Bangkok.

**Email: porntip.t@dru.ac.th*

Received <8 March 2022>; Revised <28 April 2022>; Accepted <29 May 2022>

Abstract

The purpose of this research was to investigate the effect of carrageenan 5 scale (0.4, 0.5, 0.6, 0.7 and 0.8%) on quality of germinated soybean jelly. Results showed that level of carrageenan had a significant effect on the qualities of germinated soybean jelly. Jelly formulas 3 (carrageenan 0.6%) had the highest score of softness (score 7.13) and overall acceptance (score 6.90). The physical qualities including syneresis, hardness, adhesiveness, gumminess, L*, a* and b* were 6.00, 709.00 g force, 71.32 g force·sec, 589.50 g force, 73.03, -1.05 and 6.28, respectively. The chemical composition of germinated soybean jelly contained moisture 90.97%, ash 0.41%, crude fat 2.23%, crude protein 4.06%, crude fiber 1.28% and carbohydrate 2.33% energy 45.68 kcal, total phenolic content 1.84 mg GAE/g and antioxidant activity 9.14 µmol trolox equivalents/g.

Keywords: Carrageenan, chemical quality, sensory quality, germinated soybean jelly, texture

Online-First Version

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทนำ

ถั่วเหลืองมีสารอาหารประเภทโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 35-40 ซึ่งเป็นโปรตีนจากพืชที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน จึงนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในการประกอบอาหารที่ทดแทนเนื้อสัตว์ได้ โดยเฉพาะอาหารสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุและผู้รักสุขภาพ (Tanjor, Chitisankuland and Watanasuchat, 2016) โดยกระบวนการเพาะงอก (Germination) จะทำให้ได้ปริมาณสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น (Sangronis *et al*., 2006; Chumsri *et al*., 2019) เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกึ่งแข็ง เนื้อสัมผัสนุ่ม (Thai Industrial Standards Institute, 2004) เยลลี่ที่มีคุณภาพดีควรมีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียน อ่อนนุ่มและลื่น มีความคงตัวดี เมื่อแกะออกจากภาชนะ สามารถตัดด้วยช้อนหรือมีดได้ง่าย โดยไม่เหนียวติดช้อนหรือมีด (Kaewruksa and Lungmann, 2018) เยลลี่เป็นอาหารเจลที่มีโครงสร้างระบบไฮโดรคอลลอยด์ ประกอบด้วยของเหลวและของแข็ง โดยของเหลวจะเป็นตัวกลางและของแข็งอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห การเกิดโครงสร้างเจลจะขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมที่ใช้ ทำให้เกิดสมดุลของแรงดึงดูดกับแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลวซึ่งมีผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ (Hongsprabhas, 2002) ปัจจุบันมีการพัฒนาเยลลี่เพื่อสุขภาพ รวมถึงเป็นอาหารเพื่อช่วยผู้ที่มีปัญหาในการเคี้ยวและการกลืน (Halee, Navech and Voraaroon 2018; Ruangvicha and Panomai, 2020) เช่น เยลลี่ธัญพืช เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผัก เป็นต้น (Saehor *et al*., 2011; Tasiri *et al*., 2015; Tinakorn Na Ayutthaya and Putduang, 2016; Yuenyongputtakal *et al*., 2017) โดยมีการศึกษาการใช้สารทำให้เกิดเจลในการผลิตเยลลี่หลายชนิด เช่น คาราจีแนน วุ้น เพกติน กัม กลูโคแมนแนน โลคัสบีนกัม เจลาติน และบุก เป็นต้น แม้ว่างานวิจัยก่อนหน้านี้จะพบว่า การใช้คาราจีแนนเป็นสารทำให้เกิดเจลที่มีลักษณะไม่คงตัวและเปราะ แต่จากงานวิจัยของ Yuenyongputtakal, Wichienchot and Sukatta (2017) พบว่าการใช้คาราจีแนนในเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี มีความแข็งไม่น้อยหรือมากจนเกินไป และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมและคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและการกลืนมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าคาราจีแนนเป็นสารทำให้เกิดเจลที่ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับการเคี้ยวและกลืน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก โดยศึกษาผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกให้มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มและรสชาติที่เป็นที่ยอมรับ เพื่อเป็นทางเลือกการพัฒนาเยลลี่ที่สามารถเคี้ยวและกลืนได้ง่ายต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองเพาะงอก โดยใช้เมล็ดถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช จังหวัดพิษณุโลก) นำมาคัดแยกสิ่งปนเปื้อนและล้างทำความสะอาด จากนั้นนำเมล็ดถั่วเหลืองแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วทำการเพาะงอกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอกมาล้างทำความสะอาด และสะเด็ดน้ำให้แห้ง ก่อนนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

การศึกษาผลของการใช้สารคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก โดยดัดแปลงสูตรเยลลี่ของ Tinakorn Na Ayutthaya and Putduan (2016) ทำการแปรปริมาณสารคาราจีแนน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สูตรเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
ถั่วเหลืองเพาะงอก	22	22	22	22	22
น้ำตาล	2	2	2	2	2
น้ำมันรำข้าว	1	1	1	1	1
คาราจีแนน	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
น้ำ	74.6	74.5	74.4	74.3	74.2

การผลิตเยลลี่ นำเมล็ดถั่วเหลืองเพาะงอกและน้ำ ปั่นผสมให้ละเอียด กรองด้วยผ้าขาวบาง ผสมน้ำมันรำข้าว (ยี่ห้อหยก) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70±5 องศาเซลเซียส เติมน้ำตาลทราย (ยี่ห้อลิน) และคาราจีแนน (บริษัท ทีซี

Online-First Version

เอส แปซิฟิค จำกัด) คนผสมให้ละลายเข้ากัน ให้ความร้อนนาน 15 นาที บรรจุในถ้วยพลาสติกโพลิโพรพิลีนขนาด 2 ออนซ์ ตั้งทิ้งไว้ให้ตัวอย่างเกิดเจลที่อุณหภูมิห้อง นานประมาณ 30 นาที ปิดฝาถ้วย แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

คุณภาพด้านกายภาพ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ด้วยการประเมินลักษณะทั่วไป สี และลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยสายตา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน (Thai Industrial Standards Institute, 2004) การแยกตัวของน้ำดัดแปลงจากวิธีของ Khouryieh *et al.* (2005) โดยชั่งน้ำหนักเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกจำนวน 20 กรัม วางบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่วางบนตะแกรง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คำนวณหาค่าการแยกตัวของน้ำจากน้ำหนักตัวอย่างที่แยกออกมาจากการทดสอบ รายงานค่าในหน่วยร้อยละ ลักษณะเนื้อสัมผัส ทดสอบด้วยวิธี texture profile analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Texture analyzer (Stable Micro System Ltd., U.K.) หัววัดชนิด P/100 ค่า pre-test speed 1 mm/s ค่า Test speed 1 mm/s ค่า Post-test speed 1 mm/s ค่า strain 25% ทดสอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส รายงานผลเป็นค่า hardness adhesiveness และ gumminess การยอมรับต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รส ความนุ่ม ความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-points hedonic scale โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 40 คน ทำการคัดเลือกสูตรต้นแบบ จากสูตรที่มีคะแนนการยอมรับต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสมากที่สุด จากนั้นนำวิเคราะห์โดยวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ใน ระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (ยี่ห้อ Shimadzu) วัดค่าความเป็นกรดด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (ยี่ห้อ OHAUS) และองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน กากใย เถ้า ตามวิธีของ AOAC (2005) และคาร์โบไฮเดรต คำนวณโดยวิธีอาศัยผลต่าง ค่าพลังงานโดยวิธีการคำนวณ รายงานค่าในหน่วยกิโลแคลอรี (Kcal) ค่าปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยวิธีการสกัดสารสำคัญดัดแปลงจากวิธีของ Kim and Lee (2002) และ Rodriguez-Saona and Wrolstad (2001) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents) ใช้วิธี Folin Ciocalteu reagent method โดยดัดแปลงจากวิธีของ Maizura *et al.* (2011) การวิเคราะห์คุณสมบัติต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ใช้วิธีของ Du *et al.* (2009) การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ หาปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ปริมาณสแตปฟิโลค็อกคัส (*Staphylococcus aureus*) ตามวิธีของ BAM (2001) ปริมาณเอสเชอริเชีย อีโคไล (*E.coli*) ตามวิธีของ BAM (2002)

การวิเคราะห์ทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล คุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และจุลินทรีย์ โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การยอมรับต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส ใช้การวางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของการใช้สารคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

1.1 ลักษณะปรากฏของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

การประเมินลักษณะปรากฏของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกด้วยสายตา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน (Thai Industrial Standards Institute, 2004) พบว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกแต่ละสูตรมีลักษณะปรากฏแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 1 เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 1 มีลักษณะเยลลี่ เป็นวุ้น แต่ไม่คงรูปเมื่อเทออกจากภาชนะ ขณะที่สูตรที่ 2 3 และ 4 เยลลี่มีลักษณะเป็นวุ้นอ่อน คงรูปเมื่อเทออกจากภาชนะ เช่นเดียวกับสูตรที่ 5 ที่มีลักษณะเยลลี่คงรูปเมื่อเทออกจากภาชนะ แต่มีลักษณะของวุ้นที่แข็ง ลักษณะปรากฏด้านสีของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกมีสีครีมในทุกสูตร ลักษณะปรากฏด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 1 2 3 และ 4 มีลักษณะนุ่มหยุ่นตัว ขณะที่เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 5 มีลักษณะแข็ง ไม่หยุ่นตัว ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อนกำหนดไว้ว่าเยลลี่อ่อนต้องมีลักษณะเป็นก้อนวุ้น คงรูปเมื่อเทออกจากภาชนะ มีสีดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้และสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ไม่มีกลิ่นแอลกอฮอล์ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต้องนุ่ม หยุ่นตัว ไม่แข็งกระด้าง ซึ่งจะพบว่าเยลลี่สูตรที่ 1 และ 5 ไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ดังกล่าว

Online-First Version

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

(ก) สูตร 1 (ข) สูตร 2 (ค) สูตร 3 (ง) สูตร 4 (จ) สูตร 5

ภาพที่ 1 ลักษณะปรากฏของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต่าง ๆ

1.2 การแยกตัวของน้ำของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

การศึกษาการแยกตัวของน้ำของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก พบว่า เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต่าง ๆ มีค่าการแยกตัวของน้ำแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 2) โดยเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 1 2 3 4 และ 5 มีค่าการแยกตัวของน้ำ อยู่ในช่วงร้อยละ 4.48-7.06 ผลการศึกษาการแยกตัวของน้ำของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก พบว่า ค่าการแยกตัวของน้ำของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกแปรผกผันกับปริมาณการใช้คาราจีแนน โดยเมื่อปริมาณของคาราจีแนนเพิ่มขึ้น ค่าการแยกตัวของน้ำจะน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากสารคาราจีแนนจะเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับเยลลี่ ทำให้การหดตัวของเยลลี่ลดลง การไหลซึมแยกตัวออกของน้ำจากเยลลี่จึงลดลง (Ako, 2015) ทั้งนี้สูตรที่ 4 และ 5 มีค่าการแยกตัวของน้ำน้อย เนื่องจากปริมาณคาราจีแนนที่มากขึ้นทำให้เจลมีความแข็งแรงสูง โดยเจลที่เกิดขึ้นในระบบจากการรวมตัวกันระหว่างพันธะคู่ (double helices) ของคาราจีแนน ส่งผลให้โครงร่างตาข่ายของเจลมีความคงตัวมากขึ้น จึงทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในเจลได้ดี ค่าการแยกตัวของน้ำลดลง (Rattanapanone, 2002; Tinakorn Na Ayutthaya and Putduang, 2016) ส่งผลทำให้ลักษณะปรากฏของเยลลี่ที่ได้มีลักษณะการคงรูปที่ดีกว่า

1.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก แต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 2) ค่า hardness ของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีค่าอยู่ในช่วง 523-1,603 g force แสดงให้เห็นว่าค่า hardness ของเยลลี่แปรผันตามกับปริมาณการใช้คาราจีแนน (Domínguez-Courtney *et al.,* 2015; Kaya *et al.,* 2015) โดยเมื่อปริมาณคาราจีแนนน้อย ทำให้เนื้อสัมผัสไม่แข็งตัว (Esuwan *et al.*, 2012) hardness จะมีค่าน้อย เยลลี่จึงมีลักษณะนุ่มมากกว่าเยลลี่ที่มีปริมาณคาราจีแนนสูง เนื่องมาจากเมื่อปริมาณของคาราจีแนนสูงขึ้น ทำให้จำนวน junction zone เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นเจลที่มีโครงสร้างแข็งแรงขึ้น (Esuwan *et al.,* 2012; Rattanapanone, 2002) จึงต้องใช้แรงกดในการทำให้เยลลี่เสียรูปมากขึ้น (Thanomwong, 2009) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณคาราจีแนน จะทำให้ค่า hardness มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นสูตรที่ 3 ซึ่งมีค่า hardness ต่ำกว่าสูตรที่ 2 ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากสูตรที่ 3 อาจมีความเป็นของไหลมากกว่า ทำให้เจลมีความหนาแน่นของโครงสร้างกิ่งก้านในระดับปานกลาง (Pereira *et al*., 2013; Kreungngern and Chaikham, 2016) หรือคาราจีแนนอาจมีความเจือจางทำให้เกิดเจลได้ไม่ดี (วิชมณี สันทัต และอุดมลักษณ์, 2560) เจลจึงมีค่าความแข็งน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าค่า hardness สูตรที่ 5 มีค่าลดลง อาจเกิดเนื่องจากโครงสร้างของคาราจีแนนที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุลบ (anionic polysaccharide) และมีหมู่ซัลเฟตอยู่ภายในโมเลกุล (Apirattananusorn, Rueangwatcharin and Maicaurkaew, 2020) เมื่อปริมาณคาราจีแนนเพิ่มขึ้น ปริมาณซัลเฟตที่มีมากขึ้นทำให้เกิดส่วนหักงอในสายพอลิแซ็กคาไรด์ส่งผลให้ไปขัดขวางการสร้าง double helices ของเจลคาราจีแนน ทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงลดลง (Stanley, 1990) หรืออาจเกิดการผลักกันของประจุลบของคาราจีแนนในระบบทำให้การเจลมีลักษณะนิ่มและเปราะมากขึ้น (Treeinthong Raksakulthai and Runglerdkria, 2016) ค่า gumminess ของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีค่าอยู่ในช่วง 407.50-1,200.50 g force ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า hardness โดยค่า gumminess ยิ่งมาก แสดงถึงเจลมีความเหนียวมาก จึงต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวมากเพื่อในการเคี้ยวเพื่อให้เนื้อเยลลี่แตกตัวออก และสามารถกลืนได้ (Kreungngern and Chaikham, 2016) ค่า adhesiveness ของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีค่าอยู่ในช่วง 49.01-171.54 g force·sec จะพบว่าค่า adhesiveness มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณของคาราจีแนนเพิ่มขึ้น เนื่องจากคาราจีแนนทำให้การยึดติดกันของโครงร่างเจลมากขึ้น เยลลี่มีการยึดเกาะติดกันมากขึ้น ดังนั้นงานที่ต้องใช้การดึงหัววัดออกจากตัวอย่าง จึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (Kreungngern and Chaikham, 2016) ยกเว้นสูตรที่ 3 ซึ่งอาจเกิดจากเจลมีการสร้างร่างแหไม่สมบูรณ์ (Navasearttavisootr, Suwonsichon and Ritthiruangdej, 2002) เมื่อดึงหัววัดออกจากตัวอย่างจึงมีค่างานที่ต้องใช้น้อย ค่า adhesiveness จึงน้อยกว่า

Online-First Version

ตารางที่ 2 ค่าการแยกตัวของน้ำและลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

สูตร	ค่าการแยกตัวของน้ำ (ร้อยละ)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
		Hardness (g force)	Gumminess (g force)	Adhesiveness (g force·sec)
1	7.06±0.66^{a}	523.50±3.54^{e}	407.50±3.54^{e}	49.01±0.37^{e}
2	6.62±0.88^{a}	1,000.00±4.24^{c}	747.50±3.54^{c}	79.86±0.02^{c}
3	6.00±0.99^{ab}	709.00±5.66^{d}	589.50±4.95^{d}	71.32±3.75^{d}
4	5.23±0.41^{bc}	1,603.00±16.97^{a}	1,200.50±10.61^{a}	137.47±1.88^{b}
5	4.48±0.24^{c}	1,383.50±13.44^{b}	1,060.50±0.71^{b}	171.54±3.44^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษร $^{(a-e)}$ ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก พบว่า สูตรที่ 1 เป็นวุ้นอ่อนมีค่าความนุ่มมาก แต่มีลักษณะปรากฏของเยลลี่ที่เยิ้มน้ำเนื่องจากมีค่าการแยกตัวของน้ำจากเยลลี่มาก วุ้นจึงไม่คงรูป ขณะที่เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 5 วุ้นมีลักษณะค่อนข้างแข็งไม่หยุ่นตัว ดังนั้น เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 1 และ 5 จึงไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสูตรต้นแบบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือกสูตรที่ 2, 3 และ 4 นำไปประเมินความชอบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสต่อไป

1.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก

คะแนนประเมินความชอบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 3) โดยทุกสูตรจะมีคะแนนการยอมรับด้านสีมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีสีขาวครีม ดูน่ารับประทาน โดยสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านสีมากกว่าสูตรที่ 2 และ 4 แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ 4 ขณะที่คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่ความนุ่มสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านความนุ่มสูงสุด ขณะที่คะแนนความชอบโดยรวม พบว่าสูตรที่ 4 มีความชอบโดยรวมสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ 3 เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ การแยกตัวของน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าสูตรที่ 3 มีลักษณะเจลที่ดี คงรูป มีความหยุ่นตัว ไม่นิ่มเละ และมีความนุ่มอยู่ในระดับที่ได้รับการยอมรับสูงสุด งานวิจัยนี้จึงคัดเลือกสูตรที่ 3 เป็นต้นแบบของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก และนำไปวิเคราะห์คุณภาพของสูตรต้นแบบต่อไป

ตารางที่ 3 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสเฉลี่ยของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต่าง ๆ

สูตร	ปริมาณคาราจีแนน (ร้อยละ)	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสเฉลี่ย			
		สี	กลิ่นรส^{ns}	ความนุ่ม	ความชอบโดยรวม
2	0.5	7.43±0.93^{b}	6.60±0.90	5.90±1.03^{c}	6.38±0.90^{b}
3	0.6	7.90±0.81^{a}	6.68±0.92	7.13±0.82^{a}	6.90±0.84^{a}
4	0.7	7.80±1.04^{ab}	6.78±0.77	6.55±0.96^{b}	6.95±0.71^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษร $^{(a-c)}$ ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns} ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Online-First Version

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

2. คุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกต้นแบบ

นำผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต้นแบบ มาวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและจุลินทรีย์ (ตารางที่ 4) พบว่า ค่าสีของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 73.03, -1.05 และ 6.28 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดด่าง 8.76 มีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 90.97 เถ้าร้อยละ 0.41 ไขมันร้อยละ 2.23 โปรตีนร้อยละ 4.06 กากใยร้อยละ 1.28 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 2.33 มีค่าพลังงาน 45.68 กิโลแคลอรี เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต้นแบบมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 1.84 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 9.14 ไมโครโมลสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัม มีคุณภาพจุลินทรีย์ ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด $1.0x10^2$ CFU/g ปริมาณยีสต์ รา น้อยกว่า 10 CFU/g ปริมาณเอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli*) น้อยกว่า 3 MPN/g และตรวจไม่พบปริมาณสแต็ปฟิโลคอคคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกต้นแบบมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน (Thai Industrial Standards Institute, 2004)

ตารางที่ 4 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรต้นแบบ

คุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก	ผลการทดลอง
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าสี	
L*	73.03±0.20
a*	-1.05±0.02
b*	6.28±0.06
ความเป็นกรดด่าง	8.76±0.04
องค์ประกอบทางเคมี	
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	90.97±0.13
เถ้า (ร้อยละ)	0.41±0.05
ไขมัน (ร้อยละ)	2.23±0.26
โปรตีน (ร้อยละ)	4.06±0.21
กากใย (ร้อยละ)	1.28±0.29
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	2.33±0.04
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	45.68±1.78
สารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม)	1.84
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ไมโครโมลสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัม)	9.14
คุณภาพทางจุลินทรีย์	
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	$1.0x10^2$
ยีสต์และรา (CFU/g)	น้อยกว่า 10
เอสเชอริเชีย โคไล (MPN/g)	น้อยกว่า 3
สแต็ปฟิโลคอคคัส ออเรียส	ตรวจไม่พบ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 0.6 เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก เนื่องจากให้ลักษณะเนื้อเยลลี่ที่อ่อนนุ่มและรสชาติที่ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกต้นแบบดังกล่าวมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเยลลี่อ่อน

Online-First Version

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิจัยระหว่างปี 2560-2561 ซึ่งขณะนั้นไม่ได้มีการดำเนินการยื่นขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

เอกสารอ้างอิง

Ako, K. (2015). Influence of elasticity on the syneresis properties of k-carrageenan gels. **Carbohydrate Polymers**, 115, 408-414.

AOAC. (2005). **Official methods of analysis of AOAC international**. Maryland: AOAC international.

Apirattananusorn, S., Rueangwatcharin, U. and Maicaurkaew, S. (2020). Effects of carrageenan on properties of egg white powder from by-product salted egg. **Journal of Agriculture,** 36(2), 269-278.

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001a). Chapter 3: Aerobic plate count. Retrieved 20 Nov 2017, from **FDA**: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-aerobic-plate-count

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001b). Chapter 12*: Staphylococcus aureus*. Retrieved 20 Nov 2017, from **FDA**: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-staphylococcus-aureus

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001c). Chapter 18: Yeast, molds and mycotoxins. Retrieved 20 Nov 2017, from **FDA**: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-yeasts-molds-and-mycotoxins

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2002). Chapter 4A: Diarrheagenic *Escherichia coli*. Retrieved 20 Nov 2017, from **FDA**: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-diarrheagenic-escherichia-coli

Chumsri, N., Aroonrungsawasdi, S., Sareebot, T. and Karnchaisri, K. (2019). The development of mix-germinated legumes drink. **Christian University Journal**, 25(3), 89-98.

Domínguez-Courtney M.F., López-Malo, A., Palou, E. and Jiménez-Munguía, M.T. (2015). Optimization of mechanical properties of carboxymethyl cellulose, carrageenan and/or xanthan gum gels as alternatives of gelatin softgels capsules. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology**, 2(11), 3132-3140.

Du, G., Li, M., Ma, F. and Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. **Food Chemistry**, 113(2), 557-562.

Esuwan, Y., Lambangchan, P., Suthiruk, J. and Lichanporn, I. (2012). Effect of caragenan on quality of longkong jelly (in Thai). **Agricultural Science Journal**, 43(2)(Suppl.), 485-488.

Halee, A., Navech, N. and Voraaroon, S. (2018). Development of broken rice berry jelly fortified with *Stevia rebaudiana* Bertoni. **The Science Journal of Phetchaburi Rajabhat University**, 15(2), 26-33.

Hongsprabhas, P. (2002). **Physicochemistry of foods: colloids, emulsions and gels**. Bangkok: Chulalongkorn University Press

Kaewruksa, C.K. and Lungmann, P. (2018). Product development of jelly from longkong falling grade. (Lansium domesticum, Corr.). **Burapha Science Journal**, 23(2), 767-778.

Online First Version

Kaya, A.O.W., Suryani, A., Santoso, J. and Rusli, M.S. (2015). The effect of gelling agent concentration on the characteristic of gel produced from the mixture of semi-refined carrageenan and glukomannan. **International Journal of Sciences: Basic and Applied Research,** 20(1), 313-324.

Khouryieh, H.A., Aramouuni, F.M. and Herald, T.J. (2005). Physical, chemical and sensory properties of sugar-free jelly. **Journal of Food Quality**, 28(2), 179-190.

Kim, D-O. and Lee, C.Y. (2002). Extraction and isolation of polyphenolics. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry,** 6(1), I1.2.1-I1.2.12.

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.

Maizura, M., Aminah, A. and Wan Aida, W.M. (2011). Total phenolic content and antioxidant activity of kesum (*Polygonum minus*), ginger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) extract. **International Food Research Journal**, 18, 529-534.

Navasearttavisootr, N., Suwonsichon, T. and Ritthiruangdej, P. (2002). Effect of cassava flour on cassava dessert gel. **Proceedings of the 40th Kasetsart University Annual Conference** (pp. 479-486). Bangkok: Kasetsart University.

Pereira, P.A.P., Souza, V.R., Teixeira, T.R., Queiroz, F., Borges, S.V. and Carneiro, J.D.S. (2013). Rheological behavior of functional sugar free guava preserves: Effect of the addition of salts. **Food Hydrocolloids**, 31, 404-412.

Rattanapanone, N. (2002). **Food Chemistry** (in Thai). Bangkok: Odeon Store Publisher.

Rodriguez-Saona L.E. and Wrolstad R.E. (2001). Extraction, isolation, and purification of anthocyanins. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry** (pp. 1-11). New York: John Wiley and sons.

Ruangvicha, T. and Panomai, N. (2020). Development of jelly appetizer recipe for the head and neck cancer patients with dysphagia. **Royal Thai Navy Medical Journal**, 47(2), 340-358.

Sangronis, E., Rodríguez, M., Cava, R. and Torres, A. (2006). Protein quality of germinated *Phaseolus vulgaris*. **European Food Research and Technology**, 222, 144–148.

Saehor, S., Vattanakrisda, N., Taiyanto, P. and Thumthanaruk, B. (2011). Development of vegetable carrageenan jellies. **Agricultural Science Journal**, 49(2)(Suppl.), 509-512.

Stanley, N.F. (1990). Carrageenans. **Food gels** (pp. 79-119). New York: Elsevier Applied Science

Tanjor,S., Chitisankuland, W.T. Watanasuchat, N. (2016). Effect of germination on in vitro iron bioaccessibility and protein digestibility of soybean. **Thai Science and Technology Journal**, 24(4), 573-586.

Tasiri, P., Suttisansanee, U., Hudthagosol, C. and Somboonpanyakul, P. (2015). Development of riceberry rice vegan jelly contains high protein and high energy for the elderly with dysphagia. **Agricultural Science Journal**, 46(3)(Suppl.), 369-372.

Thai Industrial Standards Institute. (2004). Thai community product standard of soft jelly (in Thai). Retrieved 23 June 2017, from **Thai Industrial Standards Institute**: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps519_47.pdf.

Thanomwong, C. (2009). Effect of gelatin and citric acid on sensory quality of lemongrass flavored gummy jelly (in Thai). **KKU Science Journal**, 37(3), 325-332.

Tinakorn Na Ayutthaya, K. and Putduang, N. (2016). The product development of healthy cereal jelly (in Thai). **Journal of Food Technology Siam University**, 11(1), 13-20.

Treeinthong, J., Raksakulthai, N. and Runglerdkria, J. (2016). Influence of carrageenan extracted from Solieria robusta on gel properties of freshwater fish gel. **Rajamangala University of Technololy Tawan-ok Research Journal**, 9(2), 1-12.

Current First Version

Yuenyongputtakal, W., Wichienchot, S., Sukatta, U. (2017). **Development of healthy gel food product for elderly from prebiotic Thai fruit using riceberry rice jelly as prototype product** (Research report). Chonburi: Burapha University.

Online-First Version

Copyright by Faculty of Science, Ubon Ratchathani University