ผลของการใช้สารทดแทนน้ำตาลต่อคุณภาพของกัมมี่เยลลี่ดาหลา

Effect of Different Sweeteners on the Quality of Torch Ginger (*Etlingeraelatior* (Jack) R.M. Smith) Gummy Jelly

กมลทิพย์ กรรไพเราะ*

Kamontip Kanpairo*

หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

[1]*Science and Food Technology Program, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University*

Received : 8 March 2018

Accepted : 19 June 2018

Published online : 9 July 2018

บทคัดย่อ

กัมมี่เยลลี่เป็นขนมขบเคี้ยวที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ซึ่งอาจส่งผลเสียเชิงโภชนาการต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการใช้สารให้ความหวานซอร์บิทอล ไซลิทอล และซูคราโลส เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับผู้ที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่ลดพลังงานหรือหลีกเลี่ยงพลังงานจากน้ำตาลซูโครส โดยทำการทดแทนน้ำตาลซูโครสด้วยซอร์บิทอล ไซลิทอล และซูคราโลสที่ระดับร้อยละ 0, 25 และ 50 (w/w) พบว่า ชนิดและระดับสารทดแทนความหวานส่งผลคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ซึ่งการเติมสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลซูโครสมีแนวโน้มทำให้กัมมี่เยลลี่ดาหลามีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความหนืดมีแนวโน้มลดลง สามารถใช้ซูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ได้ในระดับร้อยละ 50 โดยได้รับคะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรทดแทนด้วยซูคราโลสร้อยละ 50 พบว่า มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 80.84 ^{o}brix ค่า a_w เท่ากับ 0.83 ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 19.16, 1.59, 0.02 และ 65.71 ให้พลังงาน 2,703.33 แคลอรี่ต่อกรัม จากนั้นศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานชุมชน (มผช.520/2547) ซึ่งระบุไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ CFU/g พบว่า สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ ดาหลาที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตชนิด OPP/ALU/LLDPE ไว้ได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) โดยที่ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมดใน 2 สัปดาห์แรก แต่หลังจาก 2 สัปดาห์พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10^4 CFU/g

คำสำคัญ : กัมมี่เยลลี่, สารทดแทนน้ำตาล, ดาหลา, การยอมรับ, คุณภาพผลิตภัณฑ์

***Corresponding author. E-mail** : koikamontip.k@gmail.com

Abstract

Gummy jelly is a high sugary snack, which negatively influences the health of some consumers. Recently, many consumers prefer low energy product and avoid taking high caloric food containing sucrose. This research was aimed to compare the usage of different sweeteners including sorbitol, xylitol, and sucralose in gummy jelly. The sucrose was replaced by these sweeteners at the percentage of 0, 25 and 50 (w/w). The result was shown that the different types and amount of substitutes was affected the physical and chemical properties and sensory acceptance. The addition of sucrose substitutes tended to increase the moisture and reduced the viscosity of the product. There was no significant difference ($p > 0.05$) in overall liking between replacement of 50 percent of the sucrose with sucralose and the control. The gummy jelly substituted by sucralose has total solid 80.84°brix, aw 0.83, and the percentage of moisture content, ash, lipid and total sugar were 19.16, 1.59, 0.02 and 65.71, respectively. The total calorie was 2,703.33 cal/ g. It was found that the gummy jelly kept in aluminum foil laminate (OPP/ALU/LLDPE) was extended the shelf life for up to 4 weeks at 30°C without detecting any microorganisms during first two weeks. However, after storing for more two weeks, the results found that the growth of total microorganism was still less than 10^4 CFU/g.

Keywords: gummy jelly, sweetener, torch ginger, acceptability, product quality

บทนำ

ดาหลาเป็นไม้ดอกมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Etlingeraelatior* (Jack) R.M. Smith อยู่ในวงศ์ขิง Zingiberales นิยมขายเป็นพืชตัดดอกซึ่งมีมูลค่าต่ำเมื่อเทียบกับประโยชน์ที่มีในดาหลา จากงานวิจัยพบว่าดาหลาเป็นพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์มากเนื่องจากมีสรรพคุณทางยาและยังมีสารต้านอนุมูลอิสระเช่น ฟีนอลิก462.51 มิลลิกรัม GAE/100กรัม, เบต้า– แคโรทีน 2.096 ไมโครกรัม/100 กรัม, วิตามินอี 62.031 ไมโครกรัม/100 กรัม, วิตามินซี 89.683 ไมโครกรัม/100 กรัมและมีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ได้เป็นอย่างดี (Soontornnon, 2008) ซึ่งการใช้ประโยชน์จากดอกดาหลาในท้องถิ่นพบว่ายังใช้ประโยชน์น้อย โดยส่วนใหญ่มักนำมาประกอบอาหารและเป็นส่วนประกอบในข้าวยำ ปัจจุบันมีการนำดอกดาหลามาใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ที่หลากหลายขึ้นเช่น น้ำสมุนไพรพร้อมดื่ม ชาสมุนไพรดาหลา ไอศกรีมสมุนไพรและนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แยม ดังนั้นเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับพืชท้องถิ่น จึงนำดาหลามาผลิตเป็นกัมมี่เยลลี่เพื่อสุขภาพ เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคโดยเฉพาะกลุ่มเด็กและวัยรุ่นนิยมรับประทานผลิตภัณฑ์พวกลูกกวาด ลูกอม และเยลลี่ โดยกัมมี่เยลลี่ที่วางขายทั่วไปตามท้องตลาดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากสารแต่งกลิ่น รสผลไม้สังเคราะห์ผสมกับสารให้ความหวานและสารก่อเจล เมื่อพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการพบว่า สารอาหารหลักของกัมมี่เยลลี่คือ คาร์โบไฮเดรตและน้ำตาล ทำให้ กัมมี่เยลลี่ที่วางขายตามท้องตลาดให้พลังงานเท่านั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ กลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการผลิตเป็นกัมมี่เยลลี่ดาหลาพลังงานต่ำ โดยใช้น้ำดาหลาและสารทดแทนความหวาน ซึ่งสารทดแทนความหวานที่นำมาใช้ต้องมีรสชาติใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครส แต่ให้แคลอรี่ที่น้อยกว่า นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติด้านอื่นๆ เช่น เป็นสารเพิ่มมวล ไม่ทำให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างเฉียบพลัน (Srisangwan., 2012) ทนความร้อนได้ดี ไม่มีสี กลิ่น ไม่มีรสขมติดลิ้น (Sanon., 2009) เมื่อเปรียบเทียบกับกัมมี่เยลลี่

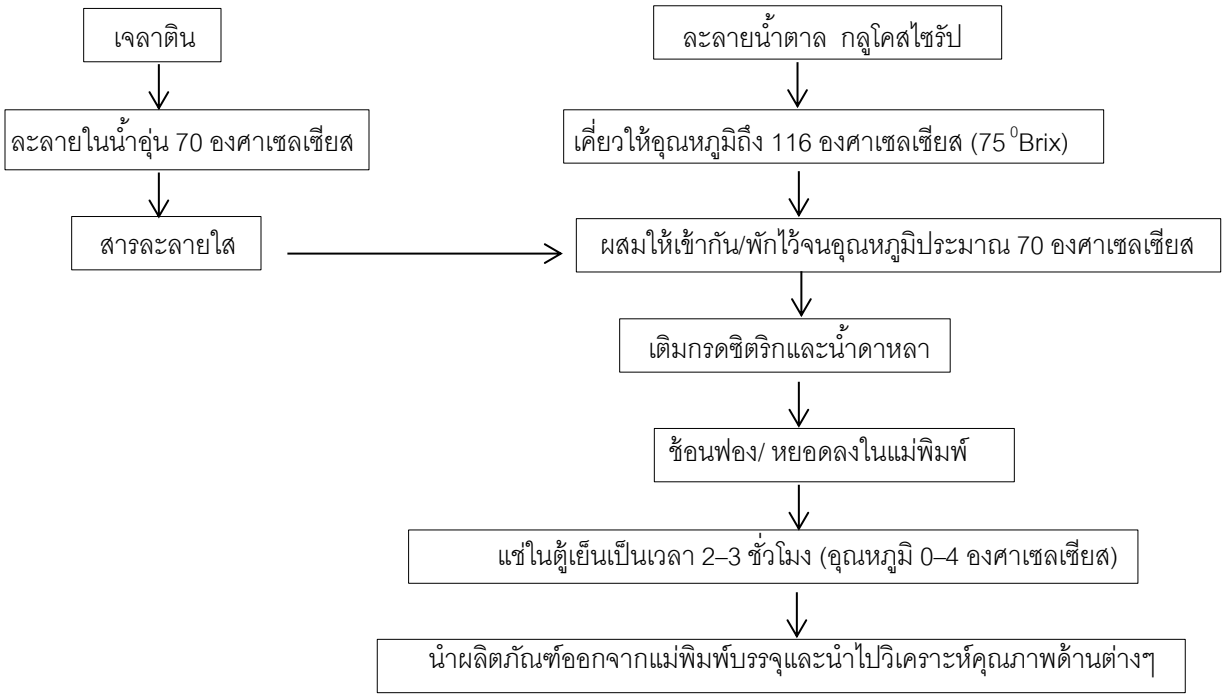
ที่วางขายตามท้องตลาดพบว่า กัมมี่เยลลี่ดาหลาพลังงานต่ำมีประโยชน์มากมายเนื่องจากไม่ใส่สารแต่งสี กลิ่นรส นอกจากนี้การใช้ดาหลาเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ยังก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ปลูกดาหลาในท้องถิ่น กล่าวคือ ผู้ปลูกสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับดาหลาโดยการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่เพื่อสุขภาพ โดยใช้สารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำ ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้จึงเหมาะทั้งกับผู้บริโภคทั่วไปและผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์นี้จึงนับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าและเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสูตร กระบวนการผลิตกัมมี่เยลลี่ดาหลาและชนิดของสารทดแทนความหวานที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลา

1.1 การเตรียมวัตถุดิบและกระบวนการผลิตกัมมี่เยลลี่ดาหลา

นำดอกดาหลาพันธุ์สีแดงอายุการเก็บเกี่ยว 2–3 เดือน มาล้าง แกะกลีบดอก จากนั้นนำกลีบดอก 2 ส่วนผสมกับน้ำ 1 ส่วน นำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม (กำลังไฟ 550 วัตต์) เป็นเวลา 2 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำมาผลิตเป็นกัมมี่เยลลี่ดาหลาตามสูตรและวิธีการผลิตของ Kanpairo & Srisuk (2016) โดยในสูตรประกอบด้วยน้ำดาหลา เจลาติน น้ำตาล กรดซิตริก น้ำ และกลูโคสไซรัปร้อยละ 13.69, 6.59, 35.50, 1.11, 11.16 และ 31.95 โดยน้ำหนัก วิธีการทำเยลลี่แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ละลายเจลาตินในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้มีลักษณะสารละลายใส ส่วนที่ 2 ละลายสารให้ความหวานและน้ำผสมกันจนใส เทผสมรวมกันกับส่วนที่ 1 นำออกมาพักจนอุณหภูมิลดลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส เติมกรดซิตริก และเติมน้ำดาหลา คนให้เข้ากัน หยอดลงในแม่พิมพ์ ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที นำไปแช่เย็นประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการทำกัมมี่เยลลี่

1.2. ศึกษาชนิดของสารทดแทนความหวานที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลา

ผลิตกัมมี่เยลลี่ดาหลาตามสูตรและวิธีในข้อ 1 ใช้สารทดแทนความหวาน 3 ชนิด คือ ซอร์บิทอล ไซลิทอล และซูคราโลส ที่ระดับร้อยละ 25 และ 50 (w/w) กำหนดให้ส่วนผสมอื่นๆ คงที่ ตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆดังนี้

- วิเคราะห์ค่าสี L* a* b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี Hunter lab รุ่น colorflex$^{@}$EZ
- ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-T+
- ค่าพีเอช โดยใช้เครื่องพีเอช มิเตอร์ Schott รุ่น G 0840
- วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content) (AOAC, 2000)
- ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบแบบ 9 - point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี ความยืดหยุ่น ความหวาน ความยากง่ายในการเคี้ยว และความชอบรวม (Deepanya, 2008) กับผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

การเตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส สำหรับการวัดค่าพีเอชและความหนืดใช้ตัวอย่างเป็นของเหลวหนืด เตรียมตัวอย่างโดยนำกัมมี่เยลลี่ดาหลามาให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาวัดความหนืดโดยใช้เข็มเบอร์ 1 และ ความเร็วรอบ 1.0 RPM ส่วนค่าสีและการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้ตัวอย่างที่เป็นของแข็งขนาด 6.5 กรัมต่อชิ้น

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD ในการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ เคมี และวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ข้อมูลทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) จากโปรแกรมสำเร็จรูป

2. ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ เคมี และคุณค่าทางโภชนาการ ของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพลังงานต่ำเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน

นำกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรที่มีคุณลักษณะดีที่สุดจากข้อ 2 มาเปรียบเทียบกับกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพื้นฐานโดยนำมาตรวจสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ ได้แก่

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ 1) เนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT plus (Surry, England) เข็มวัด: ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความเร็วของเข็มวัดขณะทดสอบ 5.0 mm/s ระยะทางกดร้อยละ 75 ของความหนา ระยะเวลาในการคืนตัว 3 วินาที (ขนาดชิ้นตัวอย่าง 6.5 กรัมต่อชิ้น) โดยวัดค่าแบบ TPA รายงานค่าเป็น ค่าความแข็ง (hardness) อัตราการคืนตัว/ยืดหยุ่น (springiness) และ ค่าการบดเคี้ยว (chewiness) 2) ค่าสี L* a* b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี Hunter lab รุ่น colorflex$^{@}$EZ 3) ปริมาณของแข็งทั้งหมดด้วยรีแฟรกโตมิเตอร์ โดยใช้เครื่อง Hand Refractometer รุ่น ATAGO 4) ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-T+ 5) ค่าวอเตอร์แวคทิวิตี้ โดยใช้เครื่อง Novasina AG รุ่น CH – 8853

2.2 คุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 2000) และพลังงานทั้งหมด ตามวิธี Gross heating value ด้วยเครื่อง Bomb Calories Meter

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพลังงานต่ำ

นำผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลามาบรรจุซองอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (OPP/ALU/LLDPE) ขนาด 7 x 9 นิ้ว ความหนา 14/7/60 ไมครอน มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate) น้อยกว่า 0.2 กรัม/ตาราง

เมตร/วัน ขนาดบรรจุ 6.5 กรัมต่อซอง ทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (29±2 องศาเซลเซียส) สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ทุกๆ 1 สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ดังนี้

- ค่าสี L* a* b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี Hunter lab รุ่น colorflex$^{@}$EZ
- ค่าวอเตอร์แอกติวิตี โดยใช้เครื่อง Novasina AG รุ่น CH – 8853
- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและรา (cfu/g) (BAM, 2001)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพื้นฐานและสูตรที่ใช้สารทดแทนความหวานที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลา

ผลิตกัมมี่เยลลี่ดาหลาโดยใช้สารทดแทนความหวาน 3 ชนิดคือ ซูคราโลส ซอร์บิทอลและไซลิทอล ที่ระดับร้อยละ 25 และ 50 (w/w) กำหนดให้ส่วนผสมอื่นๆ คงที่ เพื่อผลิตเป็นกัมมี่เยลลี่ดาหลาพลังงานต่ำ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ ได้ผลการทดลองดังนี้คือ

1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี

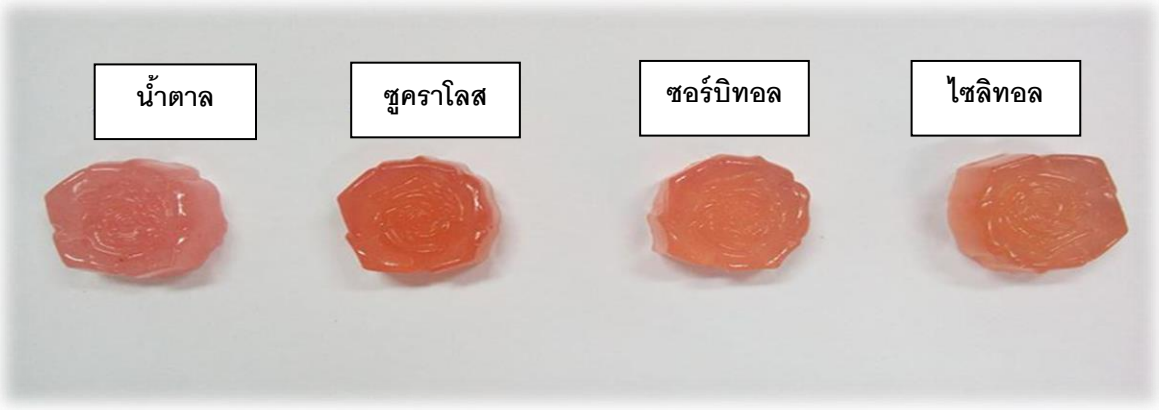
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ใช้สารทดแทนความหวานชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำตาล	คุณสมบัติ					
	ความหนืด (cP)	L*	a*	b*	pH	ความชื้น (%)
ซูโครส (ควบคุม)	1,097.4±116.87^{a}	21.80±0.31^{f}	11.59±0.16^{a}	9.39±0.01^{a}	3.43±0.01^{b}	17.91±0.66^{e}
ซูคราโลส ร้อยละ 25	484.2±32.72^{c}	28.08±0.23^{b}	9.49±0.09^{b}	8.66±0.14^{b}	3.47±0.01^{a}	26.70±0.52^{c}
ซูคราโลส ร้อยละ 50	341.53±2.66^{d}	31.09±0.07^{a}	10.04±0.25^{b}	7.82±0.08^{c}	3.31±0.01^{c}	27.94±0.89^{b}
ไซลิทอล ร้อยละ 25	947.7±47.68^{b}	25.69±0.19^{c}	6.12±0.11^{d}	5.67±0.03^{f}	3.21±0.01^{e}	21.88±0.33^{d}
ไซลิทอล ร้อยละ 50	909.00±9.76^{b}	27.21±1.02^{b}	6.66±0.08^{d}	4.72±0.08^{g}	3.24±0.01^{d}	22.86±0.30^{a}
ซอร์บิทอล ร้อยละ25	520.43±61.93^{c}	22.94±0.05^{e}	8.31±0.16^{c}	7.14±0.08^{d}	3.23±0.02^{de}	27.52±0.59^{bc}
ซอร์บิทอล ร้อยละ50	445.27±47.75^{c}	24..44±1.23^{d}	9.87±1.46^{b}	6.44±0.18^{e}	3.24±0.04^{de}	29.81±0.75^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษร (a-g) ที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- **ความหนืด** จากการวิเคราะห์ความหนืดในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ใช้สารให้ความหวานชนิดต่างๆ ทดแทนน้ำตาลซูโครสพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 1) โดยกัมมี่เยลลี่สูตรพื้นฐาน (ซูโครส) มีความหนืดมากสุดเนื่องจาก น้ำตาลซูโครสมีปริมาณของแข็งมากกว่าสารทดแทนความหวานชนิดอื่น สอดคล้องกับ Akesuwan (2009) ที่กล่าวว่า ชนิดของน้ำตาลและความเข้มข้นของน้ำตาลในส่วนผสม ส่งผลต่อความหนืดในผลิตภัณฑ์ น้ำตาลซูโครสมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับร้อยละ 100 ส่วนไซลิทอลและซอร์บิทอลจัดเป็นสารให้ความหวานในกลุ่มน้ำตาลแอลกอฮอล์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารให้เนื้อ (bulking agent) ส่วนซูคราโลสไม่มีคุณสมบัติในด้านการเป็นสารให้เนื้อและเพิ่มความหนืดแก่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีปริมาณของแข็งที่น้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่น (Tanthipiriya, 2006) ดังนั้นน้ำตาลต่างชนิดกันจึงส่งผลทำให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์ต่างกัน

- **ค่าสี** ผลการวัดค่าสีในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ทดแทนด้วยสารทดแทนความหวานชนิดต่างๆมีค่า L* อยู่ระหว่าง 21.80–31.09 a* อยู่ระหว่าง 6.12–11.59 และ b* อยู่ระหว่าง 4.72-9.39 (ตารางที่ 1)เมื่อพิจารณาพบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีค่าแตกต่างจากสูตรพื้นฐาน (ซูโครส) ทั้งนี้เนื่องมาจากสารให้ความหวานที่ใช้ทดแทนซูโครสได้แก่ ซอร์บิทอล ไซลิทอล และซูคราโลส โดยเฉพาะไซลิทอลจัดเป็นสารในกลุ่มของน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ได้ ซึ่งปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งมีหมู่ที่เป็นอัลดีไฮด์และคีโตนทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนโตรเจน เช่น เอมีน โปรตีน ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) ซึ่งสารทดแทนความหวานส่วนใหญ่ไม่มีหมู่ที่เป็นอัลดีไฮด์และคีโตนอยู่จึงไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ (Rozzi, 2007, Lin *et al*, 2003) นอกจากนี้น้ำตาลแอลกอฮอล์จะไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของผลึกน้ำตาลซูโครสที่มาจากกระบวนการ nucleation ของโมเลกุลน้ำตาลซูโครส โดยมีการจัดเรียงตัวเป็นกลุ่มและผลึก เมื่อผลึกของน้ำตาลซูโครสน้อยลง จะส่งผลทำให้เกิดการกระจายแสงลดลงด้วย (Laos *et al.*, 2007) ส่งผลให้ค่า L* ของกัมมี่เยลลี่สูตรพื้นฐาน (ซูโครส) มีค่าน้อยกว่าสูตรที่ทดแทนด้วยน้ำตาลชนิดอื่นๆ (ภาพที่ 2) ส่วนค่า a* และ b* ในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สูตรพื้นฐาน (ซูโครส) มีค่าสูงกว่าสูตรที่ทดแทนด้วยน้ำตาลชนิดอื่นแสดงว่าผลิตภัณฑ์คล้ำขึ้นและมีสีน้ำตาลมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction)ส่งผลทำให้กัมมี่เยลลี่สูตรพื้นฐาน (ซูโครส) มีค่า a* และ b* สูงกว่าสูตรที่ทดแทนด้วยน้ำตาลชนิดอื่น



ภาพที่ 2 กัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ทดแทนด้วยสารทดแทนความหวานชนิดต่างๆ

- **พีเอช** ค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรที่ทดแทนด้วยสารทดแทนความหวานชนิดต่างๆ อยู่ระหว่าง 3.21-3.47 (ตารางที่ 1) ค่าที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมฉบับที่ 263-2521 ที่ระบุว่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของเยลลี่อยู่ระหว่าง 2.8-3.5 ส่วนพีเอชที่เหมาะสมที่สุด คือ 3.2 โดยค่าพีเอชจะมีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทลูกกวาด โดยในกระบวนการผลิตต้องมีการควบคุมพีเอช ซึ่งจะมีผลในการป้องกันการเกิดอินเวอร์ชั่นของน้ำตาลและป้องกันการเกิดไฮโดรไลซิสของเจลาตินซึ่งจะมีผลให้ความแข็งแรงของเจลในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ลดลง (Woo, 1998)

- **ความชื้น** จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ใช้สารให้ความหวานชนิดต่างๆ ทดแทนน้ำตาลซูโครสพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยกัมมี่เยลลี่สูตรพื้นฐาน (ซูโครส) มีความชื้นในผลิตภัณฑ์ร้อยละ 17.91 ส่วนกัมมี่เยลลี่ที่ใช้ซอร์บิทอล ไซลิทอล และซูคราโลสเป็นสารทดแทนความหวานมีความชื้นในผลิตภัณฑ์ร้อยละ 26.70-27.94, 21.88-22.86 และ 27.52-29.81 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาสารให้ความหวานแต่ละชนิดพบว่า ซอร์บิทอลส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่มีความชื้นสูงสุด เนื่องจากซอร์บิทอลมีคุณสมบัติเป็นสารคงความชื้น (humectant) โดยซอร์บิทอลผลิตจากกลูโคสที่ผ่านกระบวนการไฮโรจีเนชัน ทำให้จับกับโมเลกุลของน้ำได้ดี จึงช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์อาหาร (Marinovich *et al.,* 2013; Rodeo *et al*., 2009) รองลงมาคือซูคราโลสเนื่องจากซูคราโลสไม่มีคุณสมบัติในการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Tanthipiriya, 2006) เมื่อใช้ซูคราโลสทดแทนซูโครส ทำให้ปริมาณของแข็งที่สามารถจับกับน้ำลดลง ส่งผลให้ความชื้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของซูโครส ส่วนการใช้ไซลิทอลทำให้กัมมี่เยลลี่มีปริมาณความชื้นต่ำเนื่องจากไซลิทอลไม่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์อาหารที่ใช้ไซลิทอลเป็นส่วนประกอบจะไม่เสื่อมเสียง่ายและเก็บไว้ได้นาน (Sakloetsakun *et al*., 2015) กัมมี่เยลลี่สูตรที่ใช้น้ำตาลซูโครสพบว่า มีความชื้นต่ำ สอดคล้องกับ Huayhongtong (2011) ที่กล่าวว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครส มีแนวโน้มทำให้ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระลดลง เนื่องจากปริมาณซูโครสที่เพิ่มขึ้นเพิ่มความสามารถในการจับกับน้ำในอาหาร ส่งผลให้ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย นอกจากนี้ปริมาณความชื้นยังขึ้นอยู่กับสารก่อเจล สอดคล้องกับการทดลองของ Suwanna (2000) ที่รายงานว่า ปริมาณความชื้นของกัมมี่เยลลี่ได้มีส่วนผสมของเพกตินจะมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 20-25 ส่วนของกัมมี่เยลลี่ได้มีส่วนผสมของเจลาตินจะมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 16-22

1.2 คุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ใช้สารทดแทนความหวานแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับซูโครส พบว่า ลักษณะปรากฏ สี ความยืดหยุ่น ความยากง่ายในการเคี้ยว ความหวาน และความชอบรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาคุณลักษณะแต่ละด้านพบว่า การใช้ซูคราโลสเป็นสารทดแทนความหวาน ผู้บริโภคให้คะแนนลักษณะปรากฏ สี ความยืดหยุ่น ความยากง่ายในการเคี้ยว ความหวาน และความชอบรวมใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐาน (ซูโครส) เนื่องจากซูคราโลสเป็นสารให้ความหวานที่มีคุณสมบัติเหมือนน้ำตาล ไม่มีรสขมติดลิ้นเหมือนกับสารให้ความหวานชนิดอื่นๆ (Liu *et al*., 2010 ; Nadeem *et al*., 2011; Khamwachiraphitak *et al*., 2016) ผู้ทดสอบชิมจึงให้คะแนนใกล้เคียงกับกัมมี่เยลลี่สูตรพื้นฐาน (ซูโครส) ส่วนการใช้ซอร์บิทอลและไซลิทอลเป็นสารทดแทนความหวานในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนทุกคุณลักษณะแตกต่างกับสูตรพื้นฐาน (ซูโครส) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กัมมี่เยลลี่ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นสารทดแทนความหวานพบว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะเยิ้ม (ภาพที่ 2) เนื่องจากซอร์บิทอลมีคุณสมบัติเป็นสารคงความชื้น (humectant) โดยซอร์บิทอลผลิตจากกลูโคสที่ผ่านกระบวนการไฮโรจีเนชัน ทำให้จับกับโมเลกุลของน้ำได้ดี ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ซอร์บิทอลยังมีคุณสมบัติเป็นสารดูดความชื้น (hygroscopic) สามารถดูดความชื้นในอากาศได้ดี (Srisangwan, 2012) ดังนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาที่เท่ากัน ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ที่ใช้ซอร์บิทอลมีลักษณะเยิ้มและเหนียวติดมือ ซึ่งคุณลักษณะ

ดังกล่าวไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ส่วนการใช้ไซลิทอลพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแห้ง เนื่องจากไซลิทอลไม่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น แต่ไซลิทอลมีคุณสมบัติให้ความรู้สึกเย็นในปากขณะรับประทาน (cooling effect) (Kontongeen *et al*., 2012) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ใช้ไซลิทอลเป็นสารให้ความหวานมีรสชาติเย็น ซ่า ซึ่งจากการทดสอบชิมผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ชอบผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารทดแทนความหวานจากไซลิทอล

เมื่อพิจารณาปัจจัยทางกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ใช้สารให้ความหวานชนิดต่างๆพบว่า กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรที่ทดแทนด้วยซูคราโลสร้อยละ 50 มีคุณสมบัติและผู้บริโภคให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับเยลลี่กัมมี่สูตรพื้นฐาน (ซูโครส) มากที่สุด ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรดังกล่าวไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 2 ผลทางประสาทสัมผัสของกัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ทดแทนด้วยสารให้ความหวาน

ชนิดของน้ำตาล	คุณลักษณะ					
	ลักษณะปรากฏ	สี	ความยืดหยุ่น	ความยากง่ายในการเคี้ยว	ความหวาน	ความชอบรวม
ซูโครส (ควบคุม)	7.90±1.1^{a}	7.90±1.0^{a}	7.40±1.6^{a}	7.20±1.3^{a}	7.90±0.9^{a}	7.93±1.1^{a}
ซูคราโลสร้อยละ 25	7.57±1.6a^{b}	7.00±0.9^{b}	7.43±1.0^{a}	6.80±1.6^{a}	7.20±1.2^{b}	7.73±1.3^{a}
ซูคราโลสร้อยละ 50	8.10±0.8^{a}	7.03±1.0^{b}	7.53±1.3^{a}	6.93±1.2^{a}	7.87±0.9^{a}	8.10±0.8^{a}
ไซลิทอลร้อยละ 25	4.87±0.9^{e}	4.67±0.9^{c}	4.97±1.2^{d}	5.30±1.5^{b}	5.43±1.8^{c}	5.13±1.3^{d}
ไซลิทอลร้อยละ 50	7.10±0.9^{bc}	6.70±1.0^{b}	6.37±1.5^{b}	5.27±1.6^{b}	6.03±1.6^{c}	6.73±1.3^{b}
ซอร์บิทอลร้อยละ 25	6.57±1.2^{cd}	5.07±1.4^{c}	5.73±1.6^{bc}	5.33±1.4^{b}	5.60±1.2^{c}	6.03±1.7^{bc}
ซอร์บิทอลร้อยละ 50	6.33±1.0^{d}	6.47±1.1^{b}	5.60±1.2^{cd}	5.303±1.4^{b}	5.40±1.0^{c}	5.43±2.0^{cd}

หมายเหตุ: ตัวอักษร (a-e) ที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

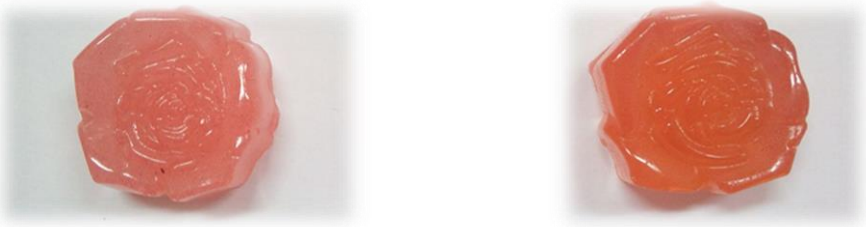
2. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ เคมีและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพลังงานต่ำเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพัฒนาเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม แสดงผลตามลำดับ ดังนี้

- เนื้อสัมผัส ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT plus (Surry, England) เข็มวัด: ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความเร็วของเข็มวัดขณะทดสอบ 5.0 mm/s ระยะทางกดร้อยละ 75 ของความหนา ระยะเวลาในการคืนตัว 3 วินาที พบว่า ค่าความแข็ง (hardness) อัตราการคืนตัว/ยืดหยุ่น (springiness) และค่าการบดเคี้ยว (chewiness) ของกัมมี่เยลลี่ดาหลาที่ใช้ซูคราโลสเป็นสารทดแทนความหวานร้อยละ 50 เทียบกับสูตรมาตรฐาน (ซูโครส) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากสูตรมาตรฐานประกอบด้วยน้ำตาลซูโครสร้อยละ 100 ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าซูคราโลส ดังนั้นการลดปริมาณน้ำตาลซูโครส ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลง ส่งผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของกัมมี่เยลลี่ ซึ่งซูโครสช่วยสร้าง

พันธะไฮโดรเจนภายในเจล ทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติ มีผลทำให้โครงสร้างของเจลแข็งแรง (Evageliou, *et al*., 2010) ดังนั้นกัมมี่เยลลี่ที่ใช้ซูคราโลสเป็นสารทดแทนความหวานจึงมีความแข็งแรงของเจลลดลงเมื่อเทียบกับกัมมี่เยลลี่ที่ใช้ซูโครสเป็นสารทดแทนความหวาน เมื่อความแข็งแรงของเจลลดลง แรงที่ใช้ในการเคี้ยวผลิตภัณฑ์ก็น้อยลง ส่งผลให้ค่าการบดเคี้ยวลดลงด้วย

- **ค่าสี** ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาพบว่า กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพื้นฐานมีค่า L* 31.90 a* เท่ากับ 11.59 และ b* เท่ากับ 9.39 ตามลำดับ ส่วนกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรทดแทนความหวานจากซูคราโลสมีค่า L* 28.08 a* เท่ากับ 9.56 และ b* เท่ากับ 8.66 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากซูคราโลสมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส ถึงแม้ว่าน้ำตาลซูโรสจะเป็นสารที่ไม่มีหมู่รีดิวซิ่ง (non reducing group) แต่ซูโครสเป็นไดแซคคาไรด์ที่สามารถแตกตัวเป็นกลูโครส และฟรุกโตส ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ (maillard reaction) ส่วนสารให้ความหวานพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์จะไม่มีหมู่รีดิวซิ่ง (non reducing group) จึงไม่มีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดหรือเกิดได้น้อยมาก (Rozzi, 2007; Lin *et al.*, 2003) นอกจากนี้โครงสร้างของซูคราโลสประกอบด้วยหมู่คลอรีน ซึ่งมีคุณสมบัติในการฟอกสีผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะใส (Tanthipiriya, 2006) ซึ่งการที่ซูคราโลสไม่มีหมู่รีดิวซิ่ง จึงไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่งผลทำให้ค่า L* สูงขึ้นหรือผลิตภัณฑ์มีความสว่างมากขึ้น (ภาพที่ 3) ดังนั้นการทดแทนด้วยน้ำตาลต่างชนิดกันในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ จึงส่งผลทำให้ค่า L*a*และ b* ของผลิตภัณฑ์ต่างกันด้วย



(A) (B)

ภาพที่ 3 กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพื้นฐาน (ซูโครส) (A) และเยลลี่กัมมี่ดาหลาสูตรพลังงานต่ำ (ซูคราโลสร้อยละ 50) (B)

- **ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณของแข็งทั้งหมด** จากการทดลองพบว่า กัมมี่เยลลี่สูตรพื้นฐานและสูตรซูคราโลสร้อยละ 50 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดขณะหยอดลงในพิมพ์ประมาณร้อยละ 71.3-74.3 องศาบริกซ์ และหลังจากเซ็ทตัวแล้วจะมีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 80.84-87.78 (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับ Jackson (2000) ที่กล่าวว่าผลิตภัณฑ์ประเภทลูกกวาดต้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75 จึงสามารถป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

- **ค่าพีเอช** สำหรับผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพื้นฐานและสูตรที่ทดแทนความหวานด้วยซูคราโลสร้อยละ 50 มีค่าอยู่ในช่วง 3.31-3.43 (ตารางที่ 3) ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่อยู่ในมาตรฐานอุตสาหกรรมฉบับที่ 263-2521 ระบุว่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของเยลลี่อยู่ระหว่าง pH 2.8-3.5

- **ค่าวอเตอร์แอกติวิตี** (a_w) กัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรทดแทนความหวานด้วยซูคราโลสร้อยละ 50 มีค่าa_w เท่ากับ 0.83 (ตารางที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน (ซูโครส) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาพบว่าค่า a_w ที่พบว่ามีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งกัมมี่เยลลี่จัดอยู่ในอาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food; IMF) ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเยิ้มและเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้หากเก็บรักษาที่ไม่ถูกวิธี ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลามีค่าพีเอชในช่วง 3.31 – 3.43 จัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (pH < 4.3) รวมทั้งมีการบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ สอดคล้องกับ Kongbangkerd (2003) ที่กล่าวว่าอาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food; IMF) ที่มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65 – 0.85 มักเสื่อมเสียจาก osmophilic yeast และ xerophilic mold ดังนั้นควรบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันออกซิเจนเข้าออกได้ ส่วนการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์สามารถป้องกันได้โดยควบคุมพีเอชให้มีค่าน้อยกว่า 5 และ a_w ต่ำกว่า 0.85 ซึ่งผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่มีค่าพีเอชในช่วง 3.31 – 3.43 ค่า a_w เท่ากับ 0.85 และมีการบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ จากปัจจัยดังกล่าวจะช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ให้เก็บได้นานขึ้น

- **คุณค่าทางโภชนาการ** พิจารณาการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลาใช้สารทดแทนความหวานซูคราโลสที่ระดับร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเปรียบเทียบกับกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพื้นฐานพบว่ากัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพลังงานต่ำมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากซูคราโลสมีปริมาณของแข็งน้อยมาก เมื่อลดปริมาณซูโครสทำให้ปริมาณของแข็งลดลง ส่งผลให้ของแข็งไปจับกับน้ำลดลง ความชื้นจึงเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณสัดส่วนที่เปลี่ยนไป ปริมาณเถ้าในผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำตาลและสารทดแทนความหวานมีความแตกต่างกัน ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและพลังงานทั้งหมดลดลง เนื่องจากซูคราโลสเป็นสารทดแทนความหวานที่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำตาลแต่ไม่ให้พลังงาน (Aurora, 2005; Rodeo *et al.,* 2009) ซูคราโลสจึงเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสำหรับอาหารบางชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น แยม ลูกกวาด เป็นต้น (Kanpairo & Srisuk., 2016) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณซูคราโลสส่งผลทำให้ค่าดังกล่าวลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพื้นฐาน ดังนั้นการรับประทานเยลลี่กัมมี่ดาหลา ผู้บริโภคจะได้รับคุณค่าโภชนาการเมื่อเทียบกับเยลลี่ที่วางขายตามท้องตลาดซึ่งจะได้รับปริมาณน้ำตาลและพลังงานน้อยกว่า จึงนับเป็นจุดเด่นของผลิตภัณฑ์นี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และคุณค่าทางโภชนาการของกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรที่พัฒนาเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน

คุณลักษณะทางกายภาพ	ค่าที่ได้	
	สูตรพื้นฐาน	สูตรพลังงานต่ำ
เนื้อสัมผัส		
ค่าความแข็ง (กรัม)	43,515.97[a]	16,164.13[b]
อัตราการคืนตัว/ยืดหยุ่น	0.72[b]	0.95[a]
ค่าการบดเคี้ยว	22,608.00[a]	13,187.24[b]
ค่าสี		
L*	31.09±0.07[a]	28.08±0.23[b]
a*	11.59±0.17[a]	9.56±0.04[b]
b*	9.39±0.01[a]	8.66±0.14[b]
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) หลังเซ็ทตัว	87.78 ±0.38[a]	80.84±0.158[b]
ค่าพีเอช	3.43±0.01[a]	3.31±0.01[b]
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้	0.76±0.01[b]	0.83±0.02[a]
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	13.01±0.36[b]	18.29±0.09[a]
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	7.36±0.24[a]	1.62±0.03[b]
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	7.47±0.23[b]	9.26±0.32[a]
ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	0.02±0.01[ns]	0.02±0.01[ns]
ปริมาณเยื่อใย (ร้อยละ)	ไม่พบ	ไม่พบ
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต(ร้อยละ)	75.56±0.37[a]	65.87±0.10[b]
น้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	74.96±0.11[a]	65.78±0.12[b]
พลังงานทั้งหมด (แคลอรี่/กรัม)	2,934.33±9.24[a]	2,709.33±9.24[b]

หมายเหตุ : ตัวอักษร (a-b) ที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร (ns) หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สูตรพลังงานต่ำ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพลังงานต่ำที่บรรจุซองอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (OPP/ALU/LLDPE) ขนาด 7 x 9 นิ้ว ความหนา 14/7/60 ไมครอน มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapour transmission rate) น้อยกว่า 0.2 กรัม/ตารางเมตร/วัน ขนาดบรรจุ 6.5 กรัมต่อซอง ทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ทุกๆ 1 สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ แสดงผลการทดลองดังนี้

- **ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และค่าสี** เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ค่า a_w มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) เนื่องจากไอน้ำจากภายนอกสามารถซึมผ่านเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้จะใช้บรรจุภัณฑ์อลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตชนิด OPP/ALU/ALDPE ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านก๊าซ ไอน้ำ และออกซิเจน (Huayhongtong, 2011) แต่ด้วยระยะเวลาและสภาวะในการเก็บก็อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นค่า L* และ b* ลดลง ส่วนค่าสีแดง (a*)เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) แสดงว่าผลิตภัณฑ์คล้ำขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) สอดคล้องกับ Rattanapanon (2008) ที่กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (maillard reaction) เกิดขึ้นเมื่อมีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เยลลี่กัมมี่ที่อุณหภูมิห้อง และทำให้ปฏิกิริยายังคงเกิดขึ้นต่อเนื่อง ซึ่งปริมาณน้ำอิสระเป็นปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพและเคมี ดังนั้นการที่มีปริมาณน้ำเพียงเล็กน้อย ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก็สามารถเกิดได้ทันที ดังนั้นการเก็บในสภาวะอุณหภูมิต่ำ จะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ได้ ซึ่งชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก บรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และออกซิเจนได้ดี จะช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ จากการทดลองจะเห็นว่าบรรจุภัณฑ์อลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตชนิด OPP/ALU/ALDPE มีคุณสมบัติในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Huayhongtong, 2011) จึงส่งผลให้ในระยะเวลา 1 เดือน ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สูตรพัฒนามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

- **จุลินทรีย์ทั้งหมดและรา** ผลการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและราในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สูตรพลังงานต่ำพบว่า ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและราใน 2 สัปดาห์แรก ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 พบเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งค่าที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน–เยลลี่แห้ง (2547) ที่จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัมและราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง ดังนั้นผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สูตรพลังงานต่ำจึงเป็นไปตามที่มาตรฐานที่กำหนดไว้

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของพีเอช ค่าสี (L* a* b*) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและรา

สัปดาห์	คุณสมบัติ					
	L*	a*	b*	a_w	จุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	รา (cfu/g)
0	28.084±0.09^a	9.55±0.23^d	8.62±0.37^a	0.820±0.02^b	ไม่พบ	ไม่พบ
1	27.02±0.09^b	10.05±0.27^c	8.24±0.06^{ab}	0.834±0.01^{ab}	ไม่พบ	ไม่พบ
2	25.77±0.31^c	10.70±0.26^b	7.84±0.07^b	0.847±0.01^{ab}	ไม่พบ	ไม่พบ
3	23.40±0.44^d	11.18±0.18^a	6.53±0.35^c	0.83±0.01^a	1.6 x 10	0.2 x 10
4	22.95±0.23^d	11.11±0.08^a	6.18±0.08^c	0.86±0.03^a	2.6 x 10	0.4 x 10

หมายเหตุ: ตัวอักษร (a-d) ที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาชนิดของสารทดแทนความหวานไซลิทอล ซอร์บิทอล และซูคราโลสเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดาหลา พบว่าการใช้ซูคราโลสร้อยละ 50 เป็นสารทดแทนความหวานในผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกับสูตรพื้นฐาน(ซูโครส) คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีพบว่า ผลิตภัณฑ์มีความหนืด 341.53 เซนติพอยส์ มีค่า L* a* b* เท่ากับ 31.09, 10.04 และ 7.82 ส่วนค่าพีเอชและความชื้นมีค่าเท่ากับ 3.31 และร้อยละ 27.94 ตามลำดับ เมื่อนำมาศึกษาคุณค่าทางโภชนาการเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน (ซูโครส) พบว่า การใช้ซูคราโลสเป็นสารทดแทนความหวานในผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี โดยผลิตภัณฑ์มีความแข็ง อัตราการคืนตัว และค่าการบดเคี้ยวเท่ากับ 16,164.13 กรัม, 0.95 และ 13,187.24 ตามลำดับ มีปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 1.62, 9.26, 0.02 และ 65.87 มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 65.78 กรัม/100กรัม ให้พลังงาน 2,709 แคลลอรี่/กรัม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลทั้งหมดและให้พลังงานต่ำกว่ากัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรพื้นฐาน ส่วนผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในถุงอลูมิเนียมฟอยส์ตลอด 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง (29±2 องศาเซลเซียส) พบว่า ค่า a_w ค่า L* a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและราใน 2 สัปดาห์แรก ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 พบเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งไม่เกินค่าที่กำหนดตามมาตรฐานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลิตภัณฑ์ประเภทเยลลี่แห้ง

เอกสารอ้างอิง

Akesuwan, A. (2009). Quality of Reduced-Fat Chiffon Cakes Prepared with Erythritol- Sucralose as Replacement for Sugar. *Pakistan Journal of Nutrition, 8*(9), 1383-1386.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis.17th ed. Association of official analytical chemists. Gaithersburg: Md.

Aurora, A. S. 2005. Sugars and Sweeteners in Foods. *Food Safety and Technology FST. ,16*, 1-7.

BAM. (2001). Bacteriological Analytical Manual. 8th ed. Association of official Analytical Chemists Gaithersburg: Md.

Deepanya, W. (2008). Development of Gummy Jelly Tamarind Product. Phetchabun: Phetchabun Rajabhat University. (in Thai)

Evageliou, V., Mazioti, M., Mandala, I. & Komaitis, M. (2010). Compression of gellan gels. Part II: Effect of sugars. *Food Hydrocolloids, 24*(4), 392- 397.

Huayhongtong, M. (2011). Effect of Gelatin Sugar and Glucose Syrup content on Qualities of Cashew Apple Gummy Jelly. Master's Thesis. Department of Science in Food Catering Technology. King Mokut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)

Jackson,B. (2000). Fundamentals of sugar confectionary. *The Manufacturing Confectioner*, *80*, 35 – 41.

Kanpairo, K., & Srisuk, S (2016). Development of Low Calories in Torch ginger *(Etlingeraelatior (Jack) R.M. Smith)* Gummy jelly with Sucralose.In *Proceedings of the 14th Naresuan Research Conference*. (pp. 309-315). (in Thai)

Khamwachiraphitak, M., Rodlek, P., Kitjao, M., Singthong, S., Punnataku, K., Autchaliyapota, B., maruekarajtinplaeng, S. & Brurawat, B. (2016). Influence of Fructose Syrup and Sucralose on Some Characteristic of Mixed Fruits Jams. VRU Research & Development Journal Science & Technology, *11*(2), 15-23. (in Thai)

Kongbangkerd, T. (2003). *Food Microbiology*. Phitsanulok: Naresuan University. (in Thai)

Kontongeen, M., Punglikit, W., Suriyaphan, O., & Hongvaleerat, C. (2012). Extending Shelf-life of Luk-chup by Hurdle Technology. *Agricultural Science. Journal, 43*(2), 189-192. (in Thai).

Laos, K. A., Kirs, E.B., Kikkas, A., C & Paalme, T.D. (2007). Crystallization of the super saturated sucrose solutions in the presence of fructose, glucose and corn syrup. In *European Congress of Chemical Engineering*. (pp. 16-20)

Lin, S.D., Hwang, C.F. & Yeh, C.H. (2003). Physical and sensory characteristics of chiffon cake prepared with erythritol as replacement for sucrose, *Journal of Food Science*, *68*(6), 2107-2110.

Liu, F., Cao, X., Wang, H. & Liao, X. (2010). Changes of tomato powder qualities during storange. *Powder Technology*, *204*(1), 159-166.

Marinovich, M., Galli, L. C., Bosetti, C., Galli, s. & vecchia, L. C. (2013). Aspartame, low-calorie sweeteners and disease: Regulatory safety and epidemiological. *Food & Chemical Toxicology, 60*, 109-115

Nadeem, H.S., Torun, M. & Ozdemir, F. (2011). Spray drying of the mountain tea (Sideritis stricta) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT - Food science and technology*. *44*(7), 1626-1635.

Rattanapanon, N. (2008*). Food Chemistry*. Bangkok: Odean Store. (in Thai)

Rodeo, B. A., Rodeo, S. A. & Azoobel, R. (2009). Toxicity of sucralose in humenn. *International journal of Mophology, 27*(1), 239 -244.

Rozzi, N. L., (2007). *Sweet Facts about Maltitol*. Retrieved July 28, 2016, from http://nfscfaculty.tamu.edu/talcott/courses/FSTC605/Food%20Product%20Design/Maltitol.pdf.

Sakloetsakun, D., Chanpho, K. & Daodee, S. (2015). Effects of gelling and sweetening agents on characteristics of Maprang crude extract's *(Bouea macrophylla Griff)* jelly product. *Isan Journal of Pharmaceutical Science. 11*(1), 290-295. (in Thai)

Sanon, W. (2009). Development of Reduced Calorie Thai Styled Egg Custard and Fatty acid Proportion Improvement with Sucralose and Cereal Cream. Master's Thesis. Department of Home Economics. Kasetsart University. (in Thai)

Soontornnon, P. (2008). Antioxidants in *Etlingera elatior* (Jack) R.M. Smith. Master's Thesis. Department of Biochemistry. Prince of Songkla University. (in Thai)

Srisangwan, N. (2012). Nutritional Improvement of A-Lua and Foi-Thong Desserts by Using Nonsugar Sweetener. Master's Thesis. Department of Food Technology . Silpakorn University. (in Thai)

Suwanna, M (2000). Chocolate & confectionery Technology. Bangkok: Chulalongkorn University.

Tanthipiriya, J 2006. (2006). Partial Substitution of Sugars by Sweeteners "Sucralose" in Pomelo Jam Product. Nakhonpathom: Nakhonpathom Rajabhat University. (in Thai)

Woo, A. (1998). Use of organic acids in confectionery. *The Manufacturing Confectioner*, *78* (8), 63-70.