

การผลิตและการประเมินผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้พลังงานต่ำด้วยซูคราโลส

Production and Evaluation of Low-Calorie Aloe Vera (*Aloe vera* (L.) Burm.f.) Jam Products with Sucralose

จิตรวดี ตั้งหิรัญรัตน์¹, ขวัญจิต อิศระสุข², ปิยนุช พรหมมร², อรพิน โกมิตบาล¹,
จันทรัส จูฬสัตย์วงศ์กุล¹ และกัลยาภรณ์ จันตรี³
Jittarawadee Tanghiranrat^{1*}, Khwunjit Itsarasook², Piyanuch Prompamorn², Orapin Komutiban¹,
Jantharat Wutisatwongkul¹ and Kanlayaporn Chantree³

Received date: 23 ม.ค. 67 Revised date: 1 เม.ย. 67 Accepted date: 15 พ.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.05.28.009>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตและประเมินผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้พลังงานต่ำด้วยซูคราโลสจำนวน 4 สูตร ได้แก่ สูตรน้ำตาลร้อยละ 100 สูตรลดน้ำตาลร้อยละ 25, 50 และ 75 เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์พลังงานต่ำ ผลการทดลองพบว่าสูตรลดน้ำตาลร้อยละ 50 มีปริมาณฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวมสูงสุดเท่ากับ 15.86 ± 2.14 mg GAE/g sample และ 1.73 ± 1.15 mg QE/g sample ส่วนค่าความเข้มข้นการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC₅₀) มีค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ร้อยละ 27.65 ± 0.82 และค่า FRAP เท่ากับ 87.74 ± 3.77 mg TE/g sample อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยทั้งหมด และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 40.18 ± 0.10 , 0.12 ± 0.13 , 0.71 ± 0.11 , 0.12 ± 0.14 , 0.35 ± 0.12 และ 52.11 ± 0.11 g/100 g ตามลำดับ ค่า pH มีค่าลดลงเมื่อปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปของ Citric acid) ลดลง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าลดลง ค่าพลังงานและค่าพลังงานจากไขมันเท่ากับ 184.33 ± 0.09 และ 1.18 ± 0.10 kcal/100 g คิดเป็นร้อยละ 52.28 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ค่าพลังงานและค่าพลังงานจากไขมันเท่ากับ 352.61 ± 0.10 และ 1.89 ± 0.11 kcal/100 g) เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 121 พลังงานต้องไม่เกินร้อยละ 66 ของอาหารนั้น ส่วนค่าสี L* มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าสี b* ค่าสี a* มีค่าลดลงค่า Water activity มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยส่งผลให้ค่าความหนืด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง และการวิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ด้วยการทดสอบ Total Plate Count, Yeast & Mold, Coliform, *Salmonella* spp. และ *Staphylococcus aureus* พบว่าผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ <100 CFU/g ในการวิเคราะห์ Total Plate Count และ Yeast & Mold พบ Coliform <3.0 MPN/g ไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. และ *Staphylococcus aureus* <10 CFU/g เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ทั้งนี้พลังงานที่ลดลงเกิดขึ้นจากการใช้สารทดแทนความหวานซูคราโลสซึ่งให้พลังงานต่ำ สามารถเป็นตัวเลือกในการบริโภคและพัฒนาในระดับกิ่งอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ: ว่านหางจระเข้ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ แยมพลังงานต่ำ สารให้ความหวานแทนน้ำตาล

Abstract

This research aimed to study production and evaluation of low-calorie aloe vera jam products with sucralose of 4 formulas such as 100% sugar formula, 25, 50 and 75% reduced sugar formula, to develop low energy product. The results showed that 50% reduced sugar formula contained the highest total phenolic, and total flavonoid contents were 15.86 ± 2.14 mg GAE/g sample and 1.73 ± 1.15 mg QE/g sample. The ratio of IC₅₀ value of inhibited DPPH radicals was $27.65 \pm 0.82\%$, and FRAP value was 87.74 ± 3.77 mg TE/g sample, respectively ($p \leq 0.05$). The moisture, protein, ash, fat, total fiber and carbohydrates were 40.18 ± 0.10 , 0.12 ± 0.13 , 0.71 ± 0.11 , 0.12 ± 0.14 , 0.35 ± 0.12 and 52.11 ± 0.11 g/100 g, respectively. The pH decreased when the amount of total acid (in the form of citric acid) decreased and total sugar decreased. The energy value and energy from fat were 184.33 ± 0.09 and 1.18 ± 0.10 kcal/100 g accounting for 52.28% when compared to the control group (the energy

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จ.กรุงเทพมหานคร 10700

² หลักสูตรวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จ.กรุงเทพมหานคร 10700

³ หลักสูตรวิทยาศาสตร์เครื่องสำอางและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี จ.กาญจนบุรี 71190

¹ Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University, Bangkok 10700

² Department of Cosmetic Science, Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University, Bangkok 10700

³ Department of Cosmetic and Beauty Sciences, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University, Kanchanaburi 71190

*Corresponding author: jittarawadee.19@gmail.com

value and energy from fat were 352.61 ± 0.10 and 1.89 ± 0.11 kcal/100 g). These values were in accordance with the Notification of Ministry of Public Health No.121, which states that the energy must not exceed 66% of that food. The L^* and b^* color increased while a^* color decreased. The water activity increased slightly as a result the viscosity and total dissolved solids decreased. As for the microbial determination, it was found that aloe vera jam products detected less than 100 CFU/g. For Total Plate Count and Yeast & Mold, Coliform was found to be less than 3.0 MPN/g. *Salmonella* spp. was not detected and *Staphylococcus aureus* was less than 10 CFU/g. These values were in accordance with the Thai Community Product Standards.) The decreased energy was due to the used of sweetener substitute, sucralose, which provides low energy. It can be a consumption option and developed on a semi-industrial level.

Keywords: aloe vera, bioactive compound, low energy jam, sweetener

คำนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการอาหารที่มีผลดีต่อสุขภาพมากขึ้น เช่น ไม่ต้องการอาหารที่ใช้สารปรุงแต่งหรือสารกันเสีย ต้องการอาหารที่มีไขมันและคอเลสเตอรอลต่ำ และต้องการอาหารที่มีน้ำตาลและแคลอรีต่ำ เนื่องจากการบริโภคอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญในการขัดขวางสถานะสุขภาพทั่วโลก การบริโภคน้ำตาลมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากมีปริมาณแคลอรีสูง ส่งผลให้ระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งการรับประทานอาหารเหล่านี้เป็นประจำทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคหลอดเลือดและหัวใจโรคอ้วน ซึ่งอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลค่อนข้างสูง ได้แก่ แยมและผลิตภัณฑ์ มาร์มาเลด น้ำผลไม้ต่างๆ เป็นต้น การเลือกรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ หรืออาหารที่มีแคลอรีต่ำมีความสำคัญมากในการจัดการชีวิตที่มีสุขภาพที่ดีจึงส่งผลดีต่อสุขภาพในการลดปัจจัยเสี่ยงของการเกิดโรคดังกล่าว ทำให้การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (Functional foods) โดยนำวัสดุธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย นำมาเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิต การใช้วัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาลถือเป็นวัตถุดิบที่ให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย 300-600 เท่า และมีกลิ่นรสที่เหมือนกับน้ำตาลทรายแต่ไม่ให้พลังงาน จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมหรือลดปริมาณแคลอรี ถือเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภค (Alizadeh et al., 2014)

ว่านหางจระเข้ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Aloe vera* (L.) Burm.f. อยู่ในวงศ์ Asphodelaceae จัดอยู่ในประเภทพืชล้มลุก เนื้อภายในใบมีเมือกเหนียว ลักษณะเป็นวัชพืชสีเขียวอ่อน และมียางใสไม่มีสีเมื่อสัมผัสกับอากาศจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำตาล การศึกษาทางพิษวิทยาของว่านหางจระเข้พบสารสำคัญกว่า 200 ชนิด กลุ่มสารสำคัญที่เชื่อว่าก่อให้เกิดฤทธิ์ทางชีวภาพของว่านหางจระเข้คือ Polysaccharide และโปรตีนที่มีขนาดระหว่าง 14-70 กิโลดาลตัน (Tangjitjareonkun and Supabphol, 2015) คุณสมบัติของสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในว่านหางจระเข้โดยรวมมีทั้งหมด 75 ชนิด ได้แก่ กรดอะมิโนที่จำเป็น วิตามิน เอ็นไซม์ แอนทราควิโนน (Anthraquinone) เกลือแร่ ลิกนิน (Lignin) น้ำตาล กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid) กรดโฟลิก (Folic acid) สเตอรอล (Sterols) และกรดซาโปนิน (Saponin) รวมถึงวิตามินที่ละลายในน้ำและไขมัน แร่ธาตุ เอนไซม์ โพลีแซคคาไรด์ สารประกอบฟีนอลิก และกรดอินทรีย์ (Boudreau and Beland, 2006) ส่วนของว่านหางจระเข้ที่บริเวณเยื่อชั้นนอกข้างใต้จะมีน้ำยางซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกรวมทั้งแอนทราควิโนน ฟรีแอนทราควิโนน แอนโธรอน โครโมน คูมาริน ฟลาโวนอยด์ และไฟโรน นอกจากนี้ยังตรวจพบสารฟลาโวนอยด์หลายชนิดในพืชว่านหางจระเข้ที่สำคัญ ได้แก่ Naringenin, Apigenin, Isovitexin และ Dihydro-isorhamnetin สารฟลาโวนอยด์เหล่านี้มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง เนื่องจากพบว่ามีการยับยั้งการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันในการทดลองหลายครั้ง เนื่องจากมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของสารฟลาโวนอยด์จึงได้รับการรายงานว่าสามารถป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจได้ (Salehi et al., 2018; Egbuna and Tupas, 2020) โดยสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในทางบำบัดและรักษา ได้แก่ รักษาแผล ป้องกันการติดเชื้อ ปรับระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย ป้องกันการเกิดมะเร็ง รักษาแผลไฟ และกระเพาะอาหารอักเสบ ลดเบาหวาน (Maniyom et al., 2021) นอกจากนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ อาหาร เครื่องสำอาง เป็นต้น ดังเช่นการประยุกต์ใช้ว่านหางจระเข้ในการพัฒนาเป็น Functional food พบว่าว่านหางจระเข้ช่วยลดค่า LDL และเพิ่มค่า HDL รวมถึงลดน้ำตาลในเลือด และเมื่อผสมกับสารอาหารอื่น ๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพคุณค่าทางโภชนาการอาหาร เช่น เยลลี่ ของหวาน น้ำผลไม้ เป็นต้น (Chand et al., 2019)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีพลังงานต่ำ และน้ำตาลต่ำจึงได้รับความสนใจจากผู้บริโภคมากขึ้น (Ungkanavin et al., 2019) สารให้ความหวานแทนน้ำตาลเป็นหนึ่งในวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้แทนน้ำตาลเพื่อทดแทนความหวาน สารให้ความหวานแคลอรีต่ำ ได้แก่ แอสปาร์แตม อะซีซัลเฟมเค ซันทอสกร ซูคราโลส และสตีวียอลไกลโคไซด์ มีรสหวานใช้ทดแทนน้ำตาลในอาหาร

และเครื่องต้ม เมื่อใช้แทนส่วนผสมที่ให้พลังงานสูงอีกทั้งยังช่วยลดพลังงาน (Gibson et al., 2014) 1,6-Dichloro-1,6-dideoxy- β -D-Fructofuranosyl-4-chloro-4-deoxy- α -D-galactopyranoside เป็นชื่อเรียกทางเคมีของซูคราโลส ซึ่งเป็นสารให้ความหวานมากกว่าซูโครส 600 เท่า และมีความเสถียรมากในระดับอุณหภูมิที่สูง ซูคราโลสได้รับการรับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา พ.ศ. 2542 เพื่อใช้ในอาหาร เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์ยา อาหาร ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และวิตามิน ไม่ส่งผลกระทบต่อ การดูดซึมของกลูโคส เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถบริโภคได้และไม่กระตุ้นให้เกิดการหลั่งอินซูลิน หรือลดระดับน้ำตาลในเลือด ดังนั้นซูคราโลสจึงไม่เป็นกรดหรือ Cariogenic ตามรายงานทางคลินิก (Dyab et al., 2021) จาก งานวิจัยที่ผ่านมา มีการใช้ซูคราโลสและสารให้ความหวานแทนน้ำตาลชนิดอื่นในการทดแทนน้ำตาล โดยการทดแทนน้ำตาลบางส่วน ด้วยแคลอรีต่ำด้วยสารให้ความหวานซูคราโลสในลูกพีชเชื่อม 4 สูตร หลังจากกระบวนการผลิตและหลังจากการเก็บรักษา 30, 60 และ 90 วัน มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในด้านกายภาพและเคมี รวมถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และแคลอรีลดอยู่ระหว่าง 27.49% - 28.00% (Mendonca et al., 2001) งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาการทดแทนซูคราโลสด้วยรีโบติโอไซด์ เอ ในเครื่องดื่มแก้ว เหลืองรสสอุน และรสพีชที่มีความหวานระดับเดียวกัน โดยวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ การประเมินทางจุลชีววิทยา และการทดสอบ การยอมรับ ผลการวิจัยพบว่ารีโบติโอไซด์ เอ ที่มีอัตราความบริสุทธิ์สูง (ร้อยละ 97) ที่ได้จากหญ้าหวานสายพันธุ์ที่เลือก สามารถ ทดแทนซูคราโลสในเครื่องดื่มแก้วเหลืองรสสอุน และรสพีช (Nalesso-leao et al., 2020)

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นถึงคุณประโยชน์ และองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของว่านหางจระเข้ โดยการ พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีพลังงานต่ำซึ่งทดแทนน้ำตาลด้วยซูคราโลส ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการผลิต และการประเมินผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้พลังงานต่ำด้วยซูคราโลสต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ องค์ประกอบทางเคมีกายภาพและ การประเมินทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้ เป็นการเพิ่มทางเลือกและรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายให้แก่ ผู้บริโภค รวมถึงเป็นการพัฒนาและเสริมสร้างมูลค่าให้แก่สินค้าทางการเกษตร

วิธีการศึกษา

ศึกษาสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้

พัฒนาผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้โดยมีตัวแปรที่ต้องควบคุม ได้แก่ ปริมาณน้ำตาล และวัตถุดิบให้ความหวานแทนน้ำตาล ที่เหมาะสมโดยพัฒนาแยม 4 สูตร คือ สูตรควบคุม (สูตร 1) สูตรลดน้ำตาลร้อยละ 25 (สูตร 2) ร้อยละ 50 (สูตร 3) และร้อยละ 75 (สูตร 4) แสดงดัง Table 1 และขั้นตอนการผลิตแยมว่านหางจระเข้แสดงดัง Figure 1

Boil the aloe vera pulp with clean water at 70 °C for 40 minutes.



Take the aloe vera pulp that has been boiled until cooked and blend it until it is fine.

Then it was heated to 90 °C



Add sugar (Part 1), leaving 5 g. of sugar (Part 2) to mix with low-methoxyl pectin, sucralose, and concentrated fruit juice and stir until homogeneous.



Mix sugar (part 2) with low-methoxy pectin and pour into the aloe vera pulp followed by calcium chloride.



Mix all ingredients until melted and heated at 60-70 °C for 20-30 minutes until the mixture becomes viscous and has a soft gel texture.



Pour aloe vera jam into a tightly closed container and store at 25-30 °C.

Figure 1 Process of producing aloe vera jam.

Table 1 Ingredients and quantities of Aloe vera jam products

Ingredients (% w/w)	Formula (% w/w)			
	1	2	3	4
Finely blended Aloe vera pulp	65	65	65	65
Concentrated juice	1.0	1.0	1.0	1.0
Citric acid	0.6	0.6	0.6	0.6
Low Methoxyl Pectin (LMP)	0.1	0.1	0.1	0.1
Calcium chloride (CaCl ₂)	0.3	0.3	0.3	0.3
Sucralose : Sugar (ratios)	0 : 100 (0 : 33)	25 : 75 (8.25 : 24.75)	50 : 50 (16.5 : 16.5)	75 : 25 (24.75 : 8.25)

การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์แยมวุ้นทางจระเข้

การสกัดตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์หาค่าฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดัดแปลงตามวิธีของ Potisate and Wutthinithisanand (2021) โดยชั่งตัวอย่าง 1,000 mg เติมนีออนอล ปริมาตร 1,000 ml นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง ตกตะกอนความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 30 นาที กรองส่วนที่ใสด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยเก็บส่วนใสในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -18°C เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์แยมวุ้นทางจระเข้

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกกรวมโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu reagent (Noridayu et al., 2011) เตรียมตัวอย่างแล้วปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.1 ml และสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.1 ml ลงใน 96 well plate จากนั้นเติมน้ำกลั่นร้อยละ 7.5 Sodium carbonate ปริมาตร 1 ml บ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader ที่ความยาวคลื่น 765 nm คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกรวมในตัวอย่างเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (Calibration standard curve) ของ Gallic acid ในหน่วยคำนวณรูป mg GAE/g sample ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (Triplicate)

การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมในเนื้อวุ้นทางจระเข้โดยใช้วิธี Aluminum Chloride assay (Sulaiman et al., 2011) เตรียมตัวอย่างปริมาตร 25 µl ผสมกับเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 75 µl และ 10% Aluminium chloride ปริมาตร 10 µl และ 1.0 M Potassium acetate 10 µl และน้ำกลั่นปริมาตร 140 µl ใน 96 well plate บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 40 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader ที่ความยาวคลื่น 415 nm นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Quercetin ในรูปแบบ mg QE/100 g sample ทำการทดลอง 3 ครั้ง (Triplicate)

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) (Tananuwig and Tewaruth, 2010) โดยผสมสารละลาย Acetate buffer ความเข้มข้น 300 mM ปริมาตร 10 ml (pH 3.6 ปรับ pH โดยใช้ Acetic acid) สารละลาย ferric chloride hexahydrate ความเข้มข้น 20 mM ปริมาตร 1 ml สารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 mM ใน 40 mM HCl ผสมในอัตราส่วน 10:1:1 ปริมาตร 190 µl ผสมเข้ากับตัวอย่างปริมาตร 10 µl ใน 96 well plate บ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm โดยใช้ Trolox เป็นสารเปรียบเทียบมาตรฐานในรูปแบบ mg TE/100 g sample ทำการทดลอง 3 ครั้ง (Triplicate)

ด้วยวิธี DPPH radical Scavenging assay (Itsarasook et al., 2014) โดยใช้สารอนุมูลอิสระ DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วงเมื่อ DPPH ทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันที่ละลายด้วยเอทานอลจะทำให้สีม่วงจางลงเป็นสีเหลือง การเตรียมสารละลาย DPPH โดยชั่ง DPPH 0.00197 g ละลายในเอทานอล 25 ml ทำการทดสอบกับสารละลายตัวอย่าง โดยผสมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 75 µl กับสารละลาย DPPH ปริมาตร 150 µl ใน 96 well plate ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน ทำการทดลอง 3 ครั้ง (triplicate) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งจากสมการ

$$\% \text{ Free radical scavenging activity} = [(A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{blank}}] \times 100$$

เมื่อ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารผสมระหว่างสารละลาย DPPH กับสารตัวอย่าง และ A_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH กับเอทานอล

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์แยมวุ้นทางจระเข้

วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปของ Citric acid) และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี AOAC (2019)

วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยชั่งตัวอย่าง 5 g แล้วเติมน้ำกลั่น 50 ml โดยใช้เครื่อง pH meter ที่ผ่านการปรับด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4.0, 7.0 และ 10.0 (Tananuwong and Tewaruth, 2010)

วิเคราะห์ปริมาณพลังงาน พลังงานจากไขมัน และคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธี In house method TE-CH-169 based on method of analysis for nutrition labeling (Sullivan and Carpenter, 1993)

วัดค่าสี (Color) ด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น CR-400 ในระบบ L* a* b* ค่าวอเตอร์-แอกติวิตี วิเคราะห์ความหนืดด้วย (Viscometer model DV1 MLVT “Brookfield”) และวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand refractometer) (Tananuwong and Tewaruth, 2010)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านจุลินทรีย์

โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านจุลินทรีย์ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แยมวุ้นทางจระเข้มีดังนี้

การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์และราตามวิธีของ Maturin and Peeler (2001) โดยชั่งตัวอย่าง 25 g ใส่ในถุงพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วเติม Diluent (0.1% Peptone water) ลงไปปริมาตร 225 ml ผสมให้เข้ากัน เตรียม 0.1% Peptone water ลงในหลอดทดลองหลอดละ 9 ml ใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างที่มีค่าการเจือจาง 10^{-1} ปริมาตร 1 ml ทำการ Dilution จนถึง 10^{-5} จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่าง 0.1 ml และใช้เทคนิค Spread plate ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar และ Potato dextrose agar นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar เพื่อตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมด ส่วนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar ใช้ทดสอบเชื้อราและยีสต์บ่มที่อุณหภูมิ 28 – 32°C เป็นเวลา 3 – 5 วัน เมื่อครบกำหนดเวลานำมาทำการบันทึกผลนับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในงานเพราะเชื้อและคำนวณค่าจุลินทรีย์รายงานเป็น CFU/g

การวิเคราะห์หาค่า MPN Coliform ตามวิธีของ Feng et al. (2020) โดยชั่งตัวอย่าง 10 g ลงในขวดปลอดเชื้อ จากนั้นเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์จำนวน 90 ml แล้วปั่นด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 1 นาที นำไปตั้งทิ้งในตู้เย็น 30 นาที ทำการเจือจางให้เป็น 1:10, 1:100 และ 1:1000 ตามลำดับ โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ทำการตรวจสอบขั้นแรกโดยเตรียมหลอดทดลองพร้อมหลอดดักก๊าซวางคว่ำในหลอดทดลองแบบ 3 แถวดูดตัวอย่างอาหารในแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 1 ml ใส่ในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อแถว 1, 2, 3 ตามลำดับ โดยดูดตัวอย่างอาหารในแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 1 ml ใส่ในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ LST broth ที่มีหลอดดักก๊าซวางคว่ำในหลอดทดลอง เขย่าหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ตัวอย่างด้วย Vortex จากนั้นนำไปเข้าตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง จากนั้นอ่านผลตรวจดูความขุ่นและก๊าซจากหลอดดักก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละหลอดหลอดที่มีก๊าซผลเป็น (+) แล้วทำการตรวจสอบในขั้นยืนยัน การตรวจสอบขั้นยืนยันโดยนำหลอดทดลองที่ให้ผลบวกในการตรวจสอบขั้นแรกทุกหลอดมาทำการยืนยัน โดยเตรียมหลอดทดลองพร้อมหลอดดักก๊าซวางคว่ำในหลอดทดลองเพื่อบรรจุอาหารเหลว BGLB 2% ใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 9 ml ฆ่าเชื้อที่หม้อนึ่งไอน้ำ 121°C ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว นาน 15 นาที นำหลอดทดลองที่เกิดก๊าซจากการตรวจสอบขั้นแรกเขย่าเบา ๆ แล้วใช้ Wire loop และถ่ายจากหลอด LST broth ที่ให้ผลบวกปริมาตร 1 ml ใส่ในหลอด BGLB 2% โดยใส่หลอดต่อหลอด เขย่าหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ตัวอย่างด้วย Vortex จากนั้นนำไปเข้าตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง จากนั้นอ่านผลตรวจดูความขุ่นและก๊าซจากหลอดดักก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละหลอด หลอดที่มีก๊าซผลเป็น (+) บันทึกผลคำนวณค่า Coliform bacteria โดยนำตัวเลขที่ได้ไปเปิดตาราง MPN เพื่อหาค่า MPN ของ Coliform รายงานผลเป็น MPN/g

การวิเคราะห์หา *Salmonella* spp. ตามวิธีวิเคราะห์ ISO 6579 (2002) โดยชั่งตัวอย่าง 25 g ใส่ถุงพลาสติกปราศจากเชื้อ ตีปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันใส่ลงใน Buffer peptone water ปริมาตร 225 ml บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1 ml นำไปใส่ในหลอดอาหารเหลว Selenite cystine broth (SC) ปริมาตร 10 ml บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และใช้ปิเปตดูดสารตัวอย่างปริมาตร 0.1 ml นำไปใส่ในหลอดอาหารเหลว Rappaport-vassiliadis (RV) ปริมาตร 10 ml บ่มที่อุณหภูมิ 42°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใช้ Loop แตะอาหารที่เพาะเชื้อมา Streak ลงใน Xylose lysine deoxycholate agar (XLD) หรือ Bismuth sulfite agar หรือ *Salmonella*-*shigella* agar บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง Stab เชื้อในหลอดอาหาร MIL บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง Streak เชื้อลงบนส่วน Slant ของอาหาร Urea agar บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง รายงานผลพบ/ไม่พบ ต่อ 25 g ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ *Staphylococcus aureus* ดัดแปลงตามวิธีของ Maturin and Peeler (2001) โดยชั่งตัวอย่างมา 25 g เติมน้ำละลาย 1% Peptone water ปริมาตร 225 ml ตีปั่นอาหารโดยใช้ Stomacher เป็นเวลา 1 นาที ทำการเจือจางตัวอย่างให้ได้ 1:100 และ 1:1000 จากนั้นดูดตัวอย่างที่แต่ละความเข้มข้นปริมาณ 0.3, 0.3 และ 0.4 ml ลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร Baird-parker egg yolk-tellurite medium ทำการ Spread plate แล้วทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที นำไปบ่มที่อุณหภูมิ $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตลักษณะโคโลนีของ *S. aureus* บนอาหาร Baird-parker egg yolk-tellurite medium ซึ่งจะมีเทา ดำ หนูนกลม ขอบเรียบ มี Opaque zone แล้วล้อมรอบด้วย Clear zone 2 – 3 mm ทำการทดสอบ Coagulase test โดยนำโคโลนีที่สงสัยเลี้ยงในอาหาร BHI 0.2 ml บ่มที่อุณหภูมิ $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาเติม Coagulase plasma อีก 0.5 ml ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปบ่มต่ออีก 6 – 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาดูผลการแข็งตัวของ Coagulase plasma จากนั้นคำนวณ และรายงาน *S. aureus* ต่อกรัมของตัวอย่างอาหาร

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ดัดแปลงตามวิธีของ Tanghiranrat et al. (2021) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS version 24.0 โดยทำการทดสอบแบบ One way analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

พัฒนาผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้โดยมีตัวแปรที่ต้องควบคุม ได้แก่ ปริมาณน้ำตาล และวัตถุดิบให้ความหวานแทนน้ำตาลที่เหมาะสมโดยพัฒนาแยม 4 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม (สูตร 1) สูตรลดน้ำตาลร้อยละ 25 (สูตร 2) ร้อยละ 50 (สูตร 3) และร้อยละ 75 (สูตร 4) แสดงดัง Figure 2

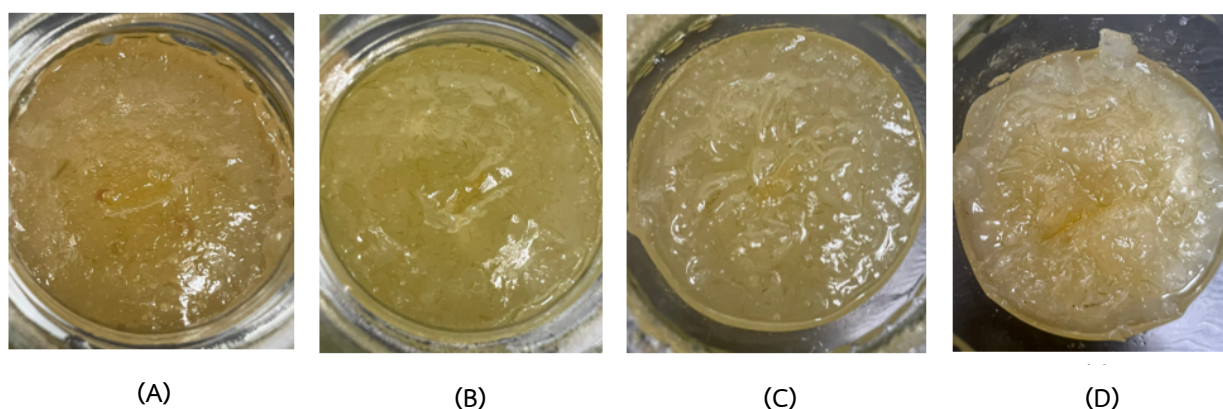


Figure 2 The appearance of Aloe vera jam products in 4 formulas with different sucralose :sugar ratios. (A) Formula 1 ratio 0 : 100, (B) Formula 2 ratio 25 : 75, (C) Formula 3 ratio 50 : 50, and (D) Formula 4 ratio 75 : 25.

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP และวิธี DPPH ของผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้ แสดงผลดัง Table 2

Table 2 Results of biological analysis and antioxidant activity of 4 formulas of Aloe vera jam products

Sucralose :Sugar (ratios)	Amount of important substances		Antioxidant activity	
	Total phenolics (mg GAE/g sample)	Total flavonoids (mg QE/g sample)	FRAP Value (mg TE/g sample)	DPPH (% Inhibition)
0 : 100	21.28 $\pm$ 1.83 ^a	3.26 $\pm$ 1.48 ^a	65.42 $\pm$ 2.18 ^c	28.41 $\pm$ 1.56 ^b
25 : 75	16.81 $\pm$ 5.54 ^{ab}	0.86 $\pm$ 0.29 ^b	76.82 $\pm$ 5.93 ^b	26.09 $\pm$ 0.30 ^c
50 : 50	15.86 $\pm$ 2.14 ^{ab}	1.73 $\pm$ 1.15 ^{ab}	87.74 $\pm$ 3.77 ^a	27.65 $\pm$ 0.82 ^b
75 : 25	12.16 $\pm$ 2.21 ^b	2.11 $\pm$ 1.44 ^{ab}	30.29 $\pm$ 4.35 ^d	14.13 $\pm$ 0.42 ^d
Trolox	-	-	-	89.25 $\pm$ 0.20 ^a

^{a-d} Different superscript letters within each column are significantly different ($p < 0.05$).

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP และวิธี DPPH ของผลิตภัณฑ์แยมวุ้นทางจระเข้ (Table 2) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมของผลิตภัณฑ์แยมวุ้นทางจระเข้สูตร 1 และสูตร 3 มีค่ามากที่สุด และแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP และวิธี DPPH ผลิตภัณฑ์แยมวุ้นทางจระเข้สูตร 3 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ดังเช่นงานวิจัย Potisate and Wutthinithisanand (2021) ศึกษาผลของชนิดและปริมาณน้ำตาลซูโครสในการผลิตแยมลูกหม่อน 5 สูตรต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แยมลูกหม่อน (สูตรที่ 5) มีค่า 73% และ 186.96 mg GAE/100g d.b. ตามลำดับ โดยมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อาจเป็นผลมาจากกระบวนการใช้ความร้อนทำลายผนังเซลล์ ของโครงสร้างพืช และมีส่วนผสมของเพกทินและน้ำตาลซูโครส ซึ่งจะถูกละลายด้วยความร้อนร่วมกับสภาวะความเป็นกรด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ซับซ้อนให้กลายเป็นโครงสร้างในรูปอนุพันธ์ต่าง ๆ หรือการรวมตัวเกิดโครงสร้างอนุพันธ์ของสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้มากขึ้น งานวิจัยของ Chatchavanthatri et al. (2019) ศึกษาผลของการทดแทนซูโครสด้วยมอลติทอลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของแยมกุหลาบแอปเปิ้ลพบว่า แยมสูตร T3 (Malitol 100%) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด และมีปริมาณฟีนอลิกสูงสุดแสดงให้เห็นว่าการแทนที่ซูโครสด้วยมอลติทอลเพียงเล็กน้อยสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบสารฟีนอลิกอาจมีส่วนช่วยในการกำจัดอนุมูลอิสระ งานวิจัยของ Benedek et al. (2020) ศึกษาผลของสารให้ความหวานและการเก็บรักษาต่อองค์ประกอบและประสาทสัมผัสคุณสมบัติของแยมแบล็คเบอร์รี่ โดยศึกษาปริมาณพอลิฟีนอลรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 เดือน ส่งผลให้ปริมาณพอลิฟีนอลรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแปรผกผันกับระยะเวลาการเก็บรักษา กล่าวคือเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณพอลิฟีนอลรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำซึ่งอาจเกิดจากกลไกหลายประการ เช่น การออกซิเดชัน และปฏิกิริยาเมลลาร์ด การย่อยสลายของฟีนอลิกที่มีมวลโมเลกุลสูงไปจนถึงโมเลกุลฟีนอลเล็กกลางที่มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระและสารต่างๆ ในทางกลับกันผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาบางชนิดที่เกิดขึ้นในระยะแรกของปฏิกิริยาเมลลาร์ด สามารถออกฤทธิ์ได้เป็นโปรออกซิแดนท์ ดังนั้นกระบวนการเมลลาร์ด ทั้งหมดจึงมีส่วนช่วยไปสู่การสลายตัวครั้งแรก และต่อมามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินและส่วนประกอบอื่นๆ ในระหว่างการเก็บรักษาทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและการสร้างสารใหม่ ดังนั้นโมเลกุลที่สามารถทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ Folin–Ciocalteu ได้เพิ่มปริมาณโพลีฟีนอลที่ชัดเจน นอกจากนี้งานวิจัยของ Dyab et al. (2021) ศึกษาการผลิตและประเมินน้ำทับทิมเคลอร์ต่ำด้วยซูโครโลสโดยศึกษาน้ำทับทิมเคลอร์ต่ำ 5 สูตรที่เติมน้ำตาลซูโครสและสารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูโครโลส) ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ตามลำดับ พบว่าปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์มีค่าเท่ากับ 50.41 - 185.40 mg/g as Gallic acid และ 7.20 - 28.81mg/g as catechol และแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 46.52, 9.45, 71.90, 100.87 และ 142.34 mg/g Cynidian-3-glycoside ของน้ำทับทิมเคลอร์ต่ำสูตร T1 ถึงสูตร T5 แสดงให้เห็นว่าค่าของปริมาณสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากสูตร T1 ถึงสูตร T5 ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูตร T5 มีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูงสุด เป็นไปได้ว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอาจมาจากสารทุติยภูมิที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ เช่น แคโรทีนอยด์และวิตามิน การทำงานร่วมกันระหว่างสารพอลิแซ็กคาไรด์และสตีวียอลไกลโคไซด์ในเครื่องดื่มอาหารที่ซับซ้อน เมื่อใช้วิธีการ Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการละลายหรือความเสถียรของสารประกอบต้านอนุมูลอิสระดีขึ้น

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แยมวุ้นทางจระเข้สูตรควบคุม และสูตรลดน้ำตาลร้อยละ 50 (Table 3) โดยศึกษาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยทั้งหมด และคาร์โบไฮเดรต ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปของ Citric acid) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าพลังงาน และค่าพลังงานจากไขมันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าสูตรควบคุมมีปริมาณความชื้นน้อยสุดซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าลดลงในสูตรลดน้ำตาลร้อยละ 50 กล่าวคือมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปของ Citric acid) ที่มีปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์แยมค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 2.8-3.5 โดยอาหารที่มีค่าความเป็นกรดต่ำกว่า 4.6 สามารถป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารจากจุลินทรีย์ได้ ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}\text{Brix}$) คือมีปริมาณที่ลดลงแต่ทั้งนี้ น้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตแยม ทำให้เกิดโครงสร้างเจลร่วมกับเพคตินซึ่งน้ำตาลส่งผลให้โครงสร้างของเจลแข็งแรงขึ้น (Tayeh et al., 2019) ส่วนค่าพลังงานและค่าพลังงานจากไขมันมีค่าที่ลดลงเท่ากับ 184.33 ± 0.09 และ 1.18 ± 0.10 kcal/100 g คิดเป็นร้อยละ 52.28 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 121 พลังงานต้องไม่เกินร้อยละ 66 ของอาหารนั้นแสดงให้เห็นว่าการแทนที่น้ำตาลด้วยซูโครโลสทำให้ค่าพลังงาน และพลังงานจากไขมันลดลง

Belovic et al. (2017) รายงานว่าบางส่วน (50%) แทนที่ซูโครสด้วยสารให้ความหวานจากธรรมชาติ (สตีวียอไซด์ และฟรุคโตส) ในผลิตภัณฑ์แยมมะเขือเทศสามารถลดค่าพลังงาน 45% ทั้งนี้พลังงานที่ลดลงเกิดจากการใช้สารทดแทนความหวานอย่างซูโครโลสซึ่งให้พลังงานต่ำแต่ไม่จัดเป็นสารอาหาร โดยซูโครโลสไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยน้ำย่อยของร่างกายจึงไม่มีการปล่อยพลังงานให้กับร่างกาย ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้นตามปริมาณพลังงานเช่นกัน (Tayeh et al., 2019)

Table 3 Results of chemical composition analysis of Aloe vera jam products, control formula and 50% reduced sugar formula

Chemical composition	Aloe vera jam products	
	Control formula	50% Reduced sugar formula
Moisture (g/100 g)	11.93±0.12 ^b	40.18±0.10 ^a
Protein (g/100 g)	0.21±0.10 ^a	0.12±0.13 ^b
Ash (g/100 g)	0.18±0.19 ^b	0.71±0.11 ^a
Lipid (g/100 g)	0.21±0.12 ^a	0.12±0.14 ^b
Total Dietary fiber (g/100 g)	0.22±0.08 ^b	0.35±0.12 ^a
Carbohydrate (g/100 g)	87.47±0.10 ^a	52.11±0.11 ^b
pH	3.18±0.13 ^a	2.45±0.14 ^b
Total acid (in the form of citric acid) (g/100 g)	1.52±0.11 ^b	1.76±0.18 ^a
Total sugar (g/100 g)	77.53±0.15 ^a	50.14±0.13 ^b
Energy (kcal/100 g)	352.61±0.10 ^a	184.33±0.09 ^b
Energy from fat (kcal/100 g)	1.89±0.11 ^a	1.18±0.10 ^b

^{a-b} Different superscript letters within each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 4 Physical composition analysis of control formula and 50% reduced sugar formula Aloe vera jam products

Physical composition	Aloe vera jam products	
	Control formula	50% Reduced sugar formula
L* color	23.93±1.15 ^b	35.12±1.10 ^a
a* color	0.16±1.16 ^a	0.10±1.13 ^b
b* color	3.39±1.23 ^b	3.82±1.11 ^a
Water activity (aw)	0.43±1.18 ^b	0.83±1.14 ^a
Viscosity (cPs)	32,105±1.11 ^a	12,372±1.12 ^b
Total soluble solids (°Brix)	75.60±1.12 ^a	45.80±1.11 ^b

^{a-b} Different superscript letters within each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้สูตรควบคุม และสูตรลดน้ำตาลร้อยละ 50 (Table 4) โดยศึกษาค่าสี L*, a*, และ b* จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าผลิตภัณฑ์แยมพลังงานต่ำจากว่านหางจระเข้มีค่าความสว่าง L* และค่า b* เพิ่มขึ้นจาก 23.93±1.15 ไปเป็น 35.12±1.10 ส่วนค่า a* เป็นค่าที่ให้สีเหลือง (+b*) ไปเป็นค่าที่ให้สีน้ำเงิน (-b*) โดยเพิ่มขึ้นจาก 3.39±1.23 ไปเป็น 3.82±1.11 ส่วนค่า a* มีค่าลดลงจาก 0.16±1.16 ไปเป็น 0.10±1.13 ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์แยมพลังงานต่ำจากว่านหางจระเข้มีปริมาณส่วนประกอบของน้ำตาลที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากความสัมพันธ์กับน้ำตาลและน้ำที่มีส่วนช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและ/หรือคาราเมล ส่งผลให้ค่า a* ลดลง (Abid et al., 2018; Monaco et al., 2018) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้ ปริมาณน้ำตาล และอุณหภูมิการผลิตมีผลต่อผลิตภัณฑ์แยมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าคอเออร์-แอกติวิตีมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกทดแทนด้วยซูโครโลสมากขึ้นจาก 0.43±1.18 ไปเป็น 0.83±1.14 ซึ่งส่งผลให้ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 32,105±1.11 ไปเป็น 12,372±1.12 cPs ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีปริมาณลดลงตามอัตราส่วนของซูโครโลส : น้ำตาล แสดงให้เห็นว่าปริมาณซูโครโลสที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลง

(Belovic et al., 2017) นอกจากนี้ งานวิจัยของ Tayeh et al. (2019) ได้กล่าวว่าผลิตภัณฑ์แยมจัดเป็นอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวซึ่งมีค่าวอเตอร์-แอกติวิตีระหว่าง 0.06-0.85 อีกทั้งผลิตภัณฑ์แยมจัดเป็นอาหารกรดสูงซึ่งกรดจะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย ส่วนของค่าความหนืดมีค่าลดลงเช่นกันซึ่งสัมพันธ์กับความชื้นและค่าวอเตอร์-แอกติวิตี รวมถึงชนิดและสัดส่วนของน้ำตาลมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของเจลในสูตรควบคุมมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 100 ทำให้แยมมีความหนืดและมีการยึดเกาะกันค่อนข้างสูง ในขณะที่การทดแทนซูคราโลสในส่วนผสมน้ำตาลทำให้ความหนืดของแยมลดลง และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix) อยู่ในช่วง 60-70 $^{\circ}$ Brix ซึ่งเป็นปริมาณของแข็งรวมที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของเจล

Table 5 Microbiological testing of control formula and 50% reduced sugar formula Aloe vera jam products during storage

Aloe vera jam products	Microbiological test	Product storage period (Day)		
		0	15	30
Control formula	Total Plate Count (CFU/g)	<100	<100	<100
	Yeast & Mold (CFU/g)	<100	<100	<100
	Coliform (MPN/g)	<3.0	<3.0	<3.0
	<i>Salmonella</i> spp. (per 25 g.)	ND	ND	ND
	<i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/g)	<10	<10	<10
50% Reduced sugar formula	Total Plate Count (CFU/g)	<100	<100	<100
	Yeast & Mold (CFU/g)	<100	<100	<100
	Coliform (MPN/g)	<3.0	<3.0	<3.0
	<i>Salmonella</i> spp. (per 25 g.)	ND	ND	ND
	<i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/g)	<10	<10	<10

ND means not detected.

การทดสอบทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้สูตรควบคุม และสูตรลดน้ำตาลร้อยละ 50 ในระหว่างการเก็บรักษาวันที่ 0, 15 และ 30 (Table 5) พบว่า จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนเชื้อยีสต์และรา <10 CFU/g มีจำนวน Coliform <3.0 MPN/g ไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. และมีเชื้อ *Staphylococcus aureus* <10 CFU/g ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (Thai Community Product Standards, 2018) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tayeh et al. (2019) ได้ทดสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์แยมส้มแขกแคลอรีต่ำ จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวนน้อยกว่า 30 โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม และไม่พบปริมาณเชื้อยีสต์และรา ดังนั้นผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้พลังงานต่ำจึงมีคุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

สรุปผลการศึกษา

การผลิตและการประเมินผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้พลังงานต่ำด้วยซูคราโลสจำนวน 4 สูตร พบว่าสูตรลดน้ำตาลร้อยละ 50 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวมมีค่าที่สูง และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีกายภาพมีปริมาณน้ำตาลแปรผันตรงกับค่าความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน เส้นใยทั้งหมด คาร์โบไฮเดรต ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปของ Citric acid) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าสี L^* , a^* และ b^* ค่าวอเตอร์-แอกติวิตี ค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix) ส่งผลต่อค่าพลังงานและค่าพลังงานจากไขมันมีค่าลดลง (184.33 ± 0.09 และ 1.18 ± 0.10 g/100 g) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ทั้งนี้พลังงานที่ลดลงเกิดขึ้นจากการใช้สารทดแทนความหวานซูคราโลสซึ่งให้พลังงานต่ำ แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและความปลอดภัยสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารพลังงานต่ำเพื่อเป็นตัวเลือกในการบริโภคและพัฒนาในระดับกิ่งอุตสาหกรรมได้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัยปีงบประมาณ 2565 ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา หอมจระพารม ศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมติฐาน: ขวัญจิต อิศระสุข, ปิยนุช พรหมภมร, อรพิน โกมุติบาล, จันทร์สัจ วุฒิสัตย์วงศ์กุล, กัลยาภรณ์ จันตรี. การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด และวิธีการเก็บข้อมูล: ขวัญจิต อิศระสุข, ปิยนุช พรหมภมร, อรพิน โกมุติบาล, จันทร์สัจ วุฒิสัตย์วงศ์กุล, กัลยาภรณ์ จันตรี. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแปลผล: ขวัญจิต อิศระสุข, ปิยนุช พรหมภมร, อรพิน โกมุติบาล, จันทร์สัจ วุฒิสัตย์วงศ์กุล, กัลยาภรณ์ จันตรี. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบข้อมูลหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: ขวัญจิต อิศระสุข, ปิยนุช พรหมภมร, อรพิน โกมุติบาล, จันทร์สัจ วุฒิสัตย์วงศ์กุล, กัลยาภรณ์ จันตรี. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: ขวัญจิต อิศระสุข, ปิยนุช พรหมภมร.

เอกสารอ้างอิง

- Abid, M., Yaich, H., Hidouri, H., Attia, H., & Ayadi, M. A. (2018). Effect of substituted gelling agents from pomegranate peel on colour, textural and sensory properties of pomegranate jam. **Food Chemistry**, 239(1), 1047-1054.
- Alizadeh, M., Azizi-lalabadi, M., Hojat-ansari, H., & Kheirouri, S. (2014). Effect of stevia as a substitute for sugar on physicochemical and sensory properties of fruit based milk shake. **Journal of Scientific Research and Reports**, 3(11), 1421-1429.
- AOAC. (2019). **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 21st Ed. Association of Official Analytical Chemists.
- Belovic, M., Torbica, A., Lijakovic, L. P., & Mastilovic, J. (2017). Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace. **Food Chemistry**, 237(1), 1226-1233.
- Benedek, C., Bodor, Z., Merrill, V. T., Kókai, Z., Gere, A., Kovacs, Z., Dalmadi, I., & Abranko, L. (2020). Effect of sweeteners and storage on compositional and sensory properties of blackberry jams. **European Food Research and Technology**, 246(11), 2187-2204.
- Boudreau, M. D., & Beland, F. A. (2006). An evaluation of the biological and toxicological properties of *Aloe Barbadensis* (Miller), aloe vera. **Journal of Environmental Science and Health Part C**, 24(1), 103-154.
- Chand, P., Pandey, N., Naik, B., Singh, A., & Kumar, V. (2019). Application of aloe vera for the development of functional foods. **The Pharma Innovation Journal**, 8(5), 621-625.
- Chatchavanthatri, N., Junyusen, T., Arjarn, W., Moolkaew, P., & Sornsomboonsuk, S. (2019). Effects of replacement of sucrose by maltitol on the physicochemical and sensorial properties of rose apple jam. **International Journal of Food Engineering**, 5(2), 136-140.
- Dyab, A. S., Bahlol, H. M., Ghazal, G. A., Mohamed, M. H., & Abolila, R. M. (2021). Production and evaluation of low calorie pomegranate juice with sucralose. **Egyptian Journal of Food Science**, 49(2), 239-248.
- Egbuna, C., & Tupas, G. D. (2020). **Functional Foods and Nutraceuticals: Bioactive Components, Formulations and Innovations**. Springer International Publishing AG.
- Feng, P., Weagant, S. D., Grant, M. A., & Burkhardt, W. (2020). **BMA Chapter 4: Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria**. Retrieved from: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fda.gov/media/182572/download?attachment
- Gibson, S., Drewnowski, A., Hill, J., Raben, A. B., Tuorila, H., & Widstrom, E. (2014). Consensus statement on benefits of low-calorie sweeteners. **Nutrition Bulletin**, 39(4), 386-389.
- International Organization for Standardization. (2002). **ISO 6579: Microbiology of food and animal feeding stuff-horizontal method for the detection of *Salmonella* spp.** 4th Ed. Switzerland.
- Itsarasook, K., Ingkaninan, K., & Viyoch, J. (2014). Artocarpin-enriched extract reverses collagen metabolism in UV-exposed fibroblasts. **Biologia**, 69(7), 943-951.

- Maniyom, S., Temeeya, W., Leksawasdi, N., & Pattanagul, P. (2021). Effects of hydroxypropyl methylcellulose content and drying time on qualities of *Aloe vera* powder by foam-mat drying. **Journal of Agriculture**, 37(1), 121 – 129. (in Thai).
- Maturin, L., & Peeler, J. T. (2001). **BAM Chapter 3: Aerobic Plate Count**. Retrieved from: chromeextension://efaidnbmnnpbpcjpcgclclefindmkaj/https://www.fda.gov/media/178943/download?attachment
- Mendonca, C. R., Zambiasi, R., & Granada, G. G. (2001). Partial substitution of sugars by the low-calorie sweetener sucralose in peach compote. **Journal of Food Science**, 66(8), 1195-1200.
- Monaco, R. D., Miele, N. A., Cabicidan, E. K., & Cavella, S. (2018). Strategies to reduce sugars in food. **Current Opinion in Food Science**, 19, 92-97.
- Nalesso-leao, C. C. F., Milani, P. G., Formigoni, M., Zorzenon, M. R. T., Dacome, A. S., Monteiro, A. R. G., & Costa, S. C. (2020). Substituting sucralose with rebaudioside A in soy foods: equivalent sweetness, physicochemical analysis, microbiological assessment and acceptance test. **Food Science and Technology (Campinas)**, 40(Suppl.2), 410-414.
- Noridayu, A. R., Hii, Y. F., Faridah, A., Khozirah, S., & Lajis, N. (2011). Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of *Pluchea indica* Less. **International Food Research Journal**, 18(3), 925-929.
- Potistrate, Y., & Wutthinithisanand, N. (2021). Type and sucrose content on antioxidant activity of mulberry jam. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 39(2), 165-171. (in Thai).
- Salehi, B., Albayrak, S., Antolak, H., Kregiel, D., Pawlikowska, E., Sharifi-Rad, M., Uprety, Y., Fokou, P. V. T., Yousef, Z., Zakaria, Z. A., Varoni, E. M., Sharopov, F., Martins, N., Iriti, M., & Sharifi-Rad, J. (2018). Aloe genus plants: from farm to food applications and phytopharmacotherapy. **International Journal of Molecular Sciences**, 19(9), 2843.
- Sulaiman, S. F., Yusoff, N. A. M., Eldeen, I. M., Seow, E. M., Sajak, A. B., & Ooi, K. L. (2011). Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian banana (*Musa* sp.). **Journal of Food Composition and Analysis**, 24(1), 1-10.
- Sullivan, D., & Carpenter, D. (1993). **Method of Analysis for Nutrition Labeling**. AOAC International, Arlington.
- Tananuwong, K., & Tewaruth, W. (2010). Extraction and application of antioxidants from black glutinous rice. **Food Science and Technology**, 43(3), 476-481.
- Tangjitjareonkun, J., & Supabphol, R. (2015). Application of aloe vera on wound healing. **Journal of Medicine and Health Sciences**, 22(3), 53-67. (in Thai).
- Tanghiranrat, J., Itsarasook, K., Prompamorn, P., Imsathian, N., Sriburin, N., Bangsiri, N., & Chantree, K. (2021). Antioxidant efficiency of black glutinous rice (*Oryza sativa* L. (indica)) extracts: application in lipid-based food products. **Burapha Science Journal**, 26(2), 1345-1363. (in Thai).
- Tayeh, N., Tuankaji, T., & Alee, H. (2019). Development of local halal food product: low calorie garcinia cambogia jam. **YRU Journal of Science and Technology**, 4(2), 54-65. (in Thai).
- Thai Community Product Standards. (2018). **Yam**. Community product standards Institute, Ministry of Industry. (in Thai).
- Ungkanavin, N., Techakriengkrai, T., & Limsuwan, T. (2019). Effects of stevia and maltitol on physico-chemical, sensory, nutritional, and antioxidant properties of mulberry sherbet. **Journal of Science and Technology**, 11(22), 78-90. (in Thai).