ผลของการทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอล ต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และจุลชีววิทยาของมะขามกวน
Effect of Glycerol Substitution on the Physicochemical and Microbiological Properties of Tamarind Paste

ภัทราพร ยุธาชิต[1] จิติวัฒนา คำกลิ้ง[1] ปทุมพร โสตถิรัตนพันธุ์[1] จิราวรรณ อุ่นเมตตาอารี[1]*
ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน[1] สุธีรา เข็มทอง[1] สุกัญญา กล่อมจอหอ[1] จารุวรรณ กิตติเวทยานุสรณ์[1]
วันวิสาข์ จิตตบุตร[1] ธนพร พวงศรี[1] และมาริษา ฮอสูงเนิน[1]

Phattharaporn Yuthachit[1], Chitiwatthana Khamkling[1], Patumporn Sottirattanapan[1],*
Jirawan Oonmetta-aree[1], Porrarath suphamityotin[1], Suteera Khemthong[1],
Sukanya Klomjoho[1], Jaruwan Kittiwethayanuson[1], Wanwisa Jittabut[1],
Tanaporn Phungsri[1] and Marisa Horsungnern[1]

รับบทความ 22 สิงหาคม 2568/ ปรับแก้ไข 16 ธันวาคม 2568/ ตอบรับบทความ 27 ธันวาคม 2568
Received: August 22, 2025/ Revised: : December 16, 2025/ Accepted: December 27, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสด้วยกลีเซอรอลต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและจุลชีววิทยาของมะขามกวน โดยแปรอัตราส่วนน้ำตาลต่อกลีเซอรอล 4 ระดับ ได้แก่ 100:0 (สูตรควบคุม), 95:5, 90:10 และ 85:15 (โดยน้ำหนักของน้ำตาล) ผลการทดลองพบว่าการใช้กลีเซอรอลมีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสูตร 85:15 เป็นสูตรที่เหมาะสม มะขามกวนมีความเข้มของสีน้ำตาลลดลง ค่าความสว่าง L* สูงสุด (38.38) และเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น โดยมีค่าความแข็งต่ำสุด (524.87 กรัม) มีความชื้น 17.77% และปริมาณกรดทาร์ทาริก 1.72% ขณะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 82.57 °Brix และวอเตอร์แอคทิวิตี้ (aw) 0.507 และค่า pH 3.00 ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) นอกจากนี้ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา อยู่ในระดับน้อยกว่า 10 CFU/กรัม ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้กวน (มผช. 35/2558) ดังนั้นการทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลสามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านสีและเนื้อสัมผัสของมะขามกวน รวมถึงช่วยลดความเสี่ยงการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ กลีเซอรอลจึงมีศักยภาพนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผลไม้กวนเพื่อลดน้ำตาลได้

คำสำคัญ: มะขามกวน กลีเซอรอล คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา 340 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
[1]Food Technology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000
*Corresponding author E-mail; phattaraporn2@gmail.com

Abtract

This study aimed to investigate the effects of sugar substitution with glycerol on the physicochemical and microbiological properties of tamarind paste. Four sugar-to-glycerol ratios were formulated: 100:0 (control), 95:5, 90:10, and 85:15 (w/w). The results demonstrated that glycerol significantly influenced the product properties ($p \leq 0.05$), with the optimum formulation was 85:15. Tamarind paste at this ratio exhibited reduced browning intensity, with the highest lightness value ($L^* = 38.38$), and the lowest hardness (524.87 g). The moisture content (17.77%) and tartaric acid content (1.72%) were significantly higher than those of the control ($p \leq 0.05$). While the total soluble solids (82.57 °Brix), water activity ($a_w = 0.507$), pH 3 were significantly lower than control. In addition, total viable counts, yeast, and mold were all less than 10 CFU/g, which complied with the Thai Community Product Standard (TCPS 35/2015). Thus, sugar substitution with glycerol improved the color and textural properties of tamarind paste while reducing the risk of microbial spoilage, highlighting its potential for application in the development of reduced-sugar fruit paste products.

Keywords: Tamarind paste, Glycerol, Physicochemical properties, Water activity

บทนำ

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) เป็นพืชเขตร้อนมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกาแถบประเทศซูดาน มีการนำเข้ามาปลูกมากในประเทศไทยทางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะฝั่งแม่น้ำโขง เช่น จังหวัดแพร่ น่าน ลำปาง เพชรบูรณ์ หนองคาย เลย นครพนม และอุบลราชธานี เป็นต้น เนื้อในฝักมะขามที่แก่จัด เรียกว่า มะขามเปียก (บังอร เมฆะ และสุระพงษ์ เตชะ, 2551) ฝักมะขามสุกประกอบด้วยส่วนเนื้อมะขามร้อยละ 55 เมล็ดมะขามร้อยละ 33 ส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดและสาแหรกร้อยละ 12 เนื้อมะขามเปรี้ยวมีกลิ่นรสเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว เนื่องจากมีปริมาณกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) มากร้อยละ 10-20 (นาฏชนก ปรางปรุง, 2560) และพบกรดอินทรีย์อื่น เช่น กรดออกซาลิก กรดซัคซินิก กรดซิตริก และกรดควินิก พบกรดอะมิโนอิสระ ได้แก่ โพรลีน ซีรีน เบต้าอะลานีน ฟีนิลอะลานีน และลิวซีน เนื้อมะขามแห้งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงร้อยละ 25–45 ประกอบด้วยกลูโคสร้อยละ 70 และฟรุกโทสร้อยละ 30 แร่ธาตุที่พบมาก ได้แก่ แคลเซียม (81–466 มก./100 กรัม) โพแทสเซียม (62–570 มก./100 กรัม) ฟอสฟอรัส (86–190 มก./100 กรัม) แมกนีเซียม (25.6–30.2 มก./100 กรัม) โซเดียม (23.8–28.9 มก./100 กรัม) และเหล็ก (1.3–10.9 มก./100 กรัม) ขณะที่ทองแดง (0.8–1.2 มก./100 กรัม) และสังกะสี (0.8–0.9 มก./100 กรัม) มีปริมาณน้อย นอกจากนี้เนื้อมะขามยังมีไรโบฟลาวินสูง และเป็นแหล่งที่ดีของไทอามีนและไนอะซิน แต่มีวิตามินเอและวิตามินซีต่ำ (Rao & Mathew, 2012) เนื้อมะขามมีความเป็นกรดสูงจึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น น้ำมะขามเข้มข้น ผงเนื้อมะขาม กรดทาร์ทาริก เพคติน เกลือทาร์เทรต และแอลกอฮอล์ (Bhadoriya et al., 2011) นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปมะขามเพื่อเก็บไว้ได้นาน และเกิดผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น มะขามกวน มะขามแช่อิ่ม มะขามดอง มะขามอบไร้เมล็ด มะขามคลุก มะขามแผ่น และแยมมะขาม เป็นต้น

มะขามกวนเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปที่นำเนื้อมะขามเปียกมาผสมกับน้ำตาล และอาจมีการเติมส่วนผสมอื่น เช่น กะทิ เนื้อมะพร้าวบด แบะแซ และเกลือ จากนั้นใช้ความร้อนเคี่ยวกวนจนปริมาณน้ำลดน้อยลง และผสมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถเก็บได้นานเนื่องจากปริมาณน้ำตาลสูงประมาณร้อยละ 75 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ลักษณะของอาหารกวนที่ดีต้องเป็นเงา มีความวาว มีลักษณะอยู่ตัวแต่ไม่แข็งเกินไป มีความเหนียวตามธรรมชาติ และไม่เกิดการตกผลึกของน้ำตาลหรือการตกทราย (เนตรนภา อาตวงษ์, 2564) แม้ว่ามะขามกวนจะสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ระหว่างการเก็บรักษายังมีโอกาสเกิดการเสื่อมคุณภาพทางจุลินทรีย์ได้จากหลายสาเหตุ เช่น การปนเปื้อน *Escherichia coli* และเชื้อรา (ศิริพรรณ ราชรองเมือง และดาริวรรณ เศรษฐีธรรม, 2561) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเปลี่ยนสีคล้ำ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ลักษณะแห้ง แข็ง และร่วนของเนื้อผลิตภัณฑ์ซึ่งเกิดจากการสูญเสียความชื้น (เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และนพรัตน์ วงศ์หิรัญเดชา, 2551)

กลีเซอรอล (glycerol) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิออล (polyol) เป็นสารที่เป็นของเหลว ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาล ในโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ จึงทำให้ละลายน้ำได้ดี มีสมบัติในการดูดจับน้ำได้ดี (hydroscopic) การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์อาหาร ใช้เป็นสารเก็บความชื้น (humectant) ป้องกันไม่ให้อาหารแห้ง ช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ของอาหาร ใช้เป็นสารให้ความหวาน (sweetener) ใช้เป็นสารให้ความหนืด (thickening agent)

ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) (ศิโยน กรพิบูลย์ และวรภา คงเป็นสุข, 2563) เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสและรักษาความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์ จึงมีการนำกลีเซอรอลมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท โดยมีการใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น เค้กและคุกกี้ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์คงความชุ่มชื้นและมีเนื้อสัมผัสนุ่ม (คณิตตา พัฒนาภา, 2553) การใช้กลีเซอรอลร้อยละ 10 แทนน้ำตาลซูโครสในทุเรียนกวนสามารถลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ โดยไม่กระทบต่อปริมาณความชื้น (สุธาทิพย์ ภัทรกุลวณิชย์ และคณะ, 2549) ขณะที่การเติมกลีเซอรอลร้อยละ 15 ในผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 22 และค่า a_w อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ พร้อมทั้งให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มและเหมาะสม (วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล, 2561) การเติมกลีเซอรอลร้อยละ 2.5 ในส้มแขกแผ่นช่วยให้สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย เนื้อสัมผัสนุ่ม มีความชื้นร้อยละ 24.82 และค่า a_w เท่ากับ 0.68 (วิภาดา มุนินทร์นพมาศ และคณะ, 2565) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาปริมาณกลีเซอรอลทดแทนน้ำตาลที่เหมาะสมในมะขามกวน และศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และทางจุลินทรีย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

มะขามเปียกแบบฝักแกะเมล็ด (ตลาดอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา) เนื้อมะพร้าวแช่แข็ง (ห้างหุ้นส่วนจำกัด สุนิษา เบเกอรี่ ช็อป อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา) น้ำตาลทรายขาว (ยี่ห้อมิตรผล, ประเทศไทย) แบะแซ (ยี่ห้อปลาแฟนซีคาร์ฟ, ประเทศไทย) เกลือ (ยี่ห้อปรุงทิพย์, ประเทศไทย) และกลีเซอรอล (บริษัท เคเอสพี อีสาน จำกัด, ประเทศไทย)

2. การผลิตมะขามกวนสูตรพื้นฐาน

เตรียมเนื้อมะขามบด โดยใช้เนื้อมะขามผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยน้ำหนัก ปั่นให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่น เตรียมเนื้อมะพร้าวบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นโดยผสมกับน้ำในอัตราส่วนเนื้อมะพร้าวต่อน้ำ 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนักทำการผลิตผลิตภัณฑ์มะขามกวนโดยมีส่วนประกอบ ได้แก่ เนื้อมะขามบดร้อยละ 12.0 เนื้อมะพร้าวบดร้อยละ 43.9 น้ำตาลทรายขาวร้อยละ 28.0 แบะแซร้อยละ 16.0 และเกลือร้อยละ 0.1 กรรมวิธีการผลิตมะขามกวน (1 กิโลกรัม) นำเนื้อมะพร้าวบดผสมกับน้ำตาลทรายขาวกวนจนน้ำตาลทรายละลายหมด แล้วเติมแบะแซกวนผสมจนส่วนผสมเริ่มเหนียว และเติมเนื้อมะขามบดกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมเกลือทำการกวนผสมที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที (กวนจนมะขามกวนร่อนไม่ติดกระทะ) ยกออกจากเตา แล้ววางพักให้เย็นก่อนบรรจุในถุงพลาสติกใส โพลีโพรพิลีน (polypropylene)

3. ศึกษาการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยกลีเซอรอลในมะขามกวน

เตรียมมะขามกวนตามสูตรพื้นฐาน และมะขามกวนที่ใช้กลีเซอรอลทดแทนน้ำตาล 3 สูตร โดยใช้อัตราส่วนน้ำตาลทรายต่อกลีเซอรอล ดังนี้ 95:5 90:10 และ 85:15 ในแต่ละตัวอย่าง และตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและจุลชีววิทยาของมะขามกวนทั้ง 4 สูตร

4. วิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะขามกวน

4.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

4.1.1 ค่าสี โดยเครื่องวัดสีระบบฮันเตอร์ ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan EZ (ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในระบบ CIE (L* a* b*) ค่าพารามิเตอร์สี ได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่างมีค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง วัตถุมีค่าความสว่างสีดำ, 100 หมายถึง วัตถุมีค่าความสว่างสีขาว) a* (+ หมายถึง วัตถุออกสีแดง, - หมายถึง วัตถุมีสีออกเขียว) b* (+ หมายถึงวัตถุมีสีออกเหลือง, - หมายถึง วัตถุมีสีออกสีน้ำเงิน) วัดค่าตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

4.1.2 เนื้อสัมผัส โดยเครื่อง Texture analyzer (ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT plus บริษัท Stable Micro System ประเทศอังกฤษ) วิธีทดสอบแบบ TPA ด้วยหัววัด cylinder probe P/0.5 Mode: Compression Pre-test speed : 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที Test speed : 5 มิลลิเมตรต่อวินาที Post-speed : 5 มิลลิเมตรต่อวินาที Target mode: Distance 10 มิลลิเมตร และ Trigger force: 5 กรัม นำผลิตภัณฑ์มะขามกวนปั้นเป็นก้อนทรงกลมโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร ความสูง 20 มิลลิเมตร แต่ละก้อนมีน้ำหนัก 2.00 ± 0.05 กรัม วิเคราะห์ด้านความแข็ง (Hardness; g) ค่าการคืนตัว (Springiness; mm) ค่าความสามารถเกาะรวมตัว (Cohesiveness) และค่าความเหนียว (Gumminess; g) จำนวนตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

4.1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid; TSS) ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 100 กรัม (อัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำกลั่น 1:10) จากนั้นปั่นตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม 2 นาที และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 วัดปริมาณ TSS ด้วย Hand refractometer 0-33 %Brix (ยี่ห้อ ATAGO รุ่น MASTER-M ประเทศ

ญี่ปุ่น) คำนวณตัวอย่างโดยคูณค่า factor เท่ากับ 10 และรายงานเป็นองศาบริกซ์ (Brix) (สุนัน ปานสาคร และคณะ, 2564) วัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

4.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4.2.2 ค่าวอเตอร์แอคตีวิตี้ (water activity, a_w) โดยเครื่องวัดค่าวิอเตอร์แอคตีวิตี้ (ยี่ห้อ Aqualab รุ่น 4TE บริษัท Aqualab ประเทศสหรัฐอเมริกา) บรรจุตัวอย่างประมาณ 2 ใน 3 ของภาชนะ วัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4.2.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ Mettler รุ่น S20-K (ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) นำมะขามกวนเจือจางในน้ำกลั่นจนได้ระดับความเจือจางร้อยละ 10 และวัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4.2.4 ปริมาณกรด (Titratable acidity; TA) ตามวิธี AOAC (2000) โดยนำมะขามกวน 10 กรัม เจือจางในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร นำตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ถ่ายลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ (สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนความเข้มข้นร้อยละ 1) 2-3 หยด และไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล คำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดทาร์ทาริก ดังสมการด้านล่าง วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

$$\text{ปริมาณกรดทาร์ทาริก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{ปริมาตร NaOH x ความเข้มของ NaON x 0.075 x 100}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$$

4.2.5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar, %) ตามวิธีการของ Lane and Eynon (AOAC, 2000) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

4.3.1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM online, 2001) โดยชั่งตัวอย่างมะขามกวน 25 กรัม บดผสมกับ sterile peptone water 225 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง Stomacher Blender Mixer (ยี่ห้อ Interscience รุ่น BagMixer 400cc, ประเทศฝรั่งเศส) และเตรียมสารละลายเจือจางตัวอย่างด้วยการปิเปต 1 มิลลิลิตร ของตัวอย่างอาหารที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันลงใน sterile peptone water ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เป็นการเจือจาง 10^{-2} เท่า เจือจางจนถึง 10^{-3} เท่า ปิเปตแต่ละระดับความเจือจาง 1 มิลลิลิตร ถ่ายลงอาหารเลี้ยงเชื้อมาตรฐาน plate count agar ระดับความเจือจางละ 3 จานเพาะเชื้อ (duplicate) ทำการ pour plate จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง แล้วนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยเลือกนับจานที่มีโคโลนี 25-250 โคโลนี คูณด้วยแฟกเตอร์ในการเจือจางของจานที่นับโคโลนี รายงานผลเป็นโคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง

4.3.2 ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000) โดยการปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่างๆ ที่เตรียมจากข้อ 4.3.1 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ถ่ายลงอาหารเลี้ยงเชื้อมาตรฐาน Potato dextrose agar ระดับความเจือจางละ 3 จานเพาะเชื้อ ทำการ spread plate หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ทำการนับจำนวนโคโลนียีสต์และรา โดยเลือกนับจานที่มีโคโลนี 30-300 โคโลนี คูณด้วยแฟกเตอร์ในการเจือจางของจานที่นับโคโลนี รายงานผลจำนวนเชื้อเป็น CFU/g

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติทางกายภาพของมะขามกวน

1.1 ค่าสี

อัตราส่วนของกลีเซอรอลมีผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมะขามกวนที่ไม่เติมกลีเซอรอล (อัตราส่วน 100:0) มีค่าความสว่าง (L*) ต่ำที่สุด ขณะที่การเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลทำให้ค่าความสว่าง (L*) ของมะขามกวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าการเติมกลีเซอรอลช่วยเพิ่มความสว่างของผลิตภัณฑ์มะขามกวน ในทางตรงกันข้ามค่าความเป็นสีแดง (a*) พบว่าสูตรควบคุมที่ไม่เติมกลีเซอรอล (100:0) ให้ค่า a* สูงที่สุด (8.10±0.15) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากสูตรที่เติมกลีเซอรอล สะท้อนว่าการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลอาจลดความเข้มของโทนสีแดงในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจสัมพันธ์กับการลดความรุนแรงของปฏิกิริยาเมลลาร์ด และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) พบว่าสูตร 100:0

ให้ค่า b* สูงที่สุด (23.95±0.52) และลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการเติมกลีเซอรอล โดยเฉพาะสูตร 95:5 และ 90:10 ที่ให้ค่า b* ต่ำกว่าอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม สูตร 85:15 มีค่า b* เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตร 90:10 ซึ่งอาจเกิดจากผลของกลีเซอรอลต่อโครงสร้างเนื้อสัมผัสและการกระจายตัวของสารสีในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับของกลีเซอรอล แสดงในตารางที่ 1 โดยลักษณะปรากฏภายนอกดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่ามะขามกวนที่มีการเติมกลีเซอรอลในอัตราส่วนที่สูงขึ้นมีสีที่สม่ำเสมอและดูสว่างมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม สอดคล้องกับค่า L* ที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ค่าสีของมะขามกวนที่ทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลในอัตราส่วนต่างกัน

อัตราส่วนน้ำตาลต่อกลีเซอรอล	ค่าสี		
	L*	a*	b*
100:0	36.57±0.79^{b}	8.10±0.15^{a}	23.95±0.52^{a}
95:5	36.82±0.37^{b}	7.12±0.40^{b}	20.08±1.23^{c}
90:10	38.05±0.71^{a}	7.33±0.33^{b}	21.33±0.67^{b}
85:15	38.38±0.85^{a}	7.52±0.29^{b}	22.87±0.62^{b}

อักษร $^{a-c}$ ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 1 ลักษณะสีมะขามกวนที่ทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลในอัตราส่วนแตกต่าง

1.2 เนื้อสัมผัส

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกลีเซอรอลมีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของมะขามกวนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยค่าความแข็ง (Hardness) ของมะขามกวนลดลงอย่างชัดเจนเมื่อมีการแทนที่น้ำตาลด้วยกลีเซอรอล สูตรควบคุมที่ไม่เติมกลีเซอรอล (100:0) ให้ค่าความแข็งสูงที่สุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากสูตรที่เติมกลีเซอรอลทุกระดับ ขณะที่สูตร 95:5, 90:10 และ 85:15 ให้ค่าความแข็งลดลงอย่างมากและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สะท้อนให้เห็นว่ากลีเซอรอลมีบทบาทในการทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์นุ่มลง ค่าการคืนตัว (springiness) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทุกสูตร ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมกลีเซอรอลในช่วงอัตราส่วนที่ศึกษาไม่ส่งผลต่อความสามารถในการคืนรูปของมะขามกวนอย่างเด่นชัด ในส่วนของค่าความสามารถในการเกาะรวมตัว (cohesiveness) พบว่าสูตรควบคุม (100:0) ให้ค่าสูงที่สุด (0.793±0.07) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่เติมกลีเซอรอล ซึ่งมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.621–0.666 โดยไม่แตกต่างกันทางสถิติ การลดลงของค่าดังกล่าวอาจบ่งชี้ว่าการแทนที่น้ำตาลด้วยกลีเซอรอลส่งผลให้โครงสร้างภายในของมะขามกวนมีความแน่นลดลง เช่นเดียวกันกับค่าความเหนียว (chewiness) พบว่าสูตร 100:0 ให้ค่าสูงที่สุด (855.85±85.35 g) และลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการเติมกลีเซอรอล โดยสูตรที่เติมกลีเซอรอลทุกระดับให้ค่าความเหนียวต่ำกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มของค่าความแข็งและค่าความสามารถในการเกาะรวมตัว

ตารางที่ 2 คุณลักษณะเนื้อสัมผัสของมะขามกวนที่ทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลในอัตราส่วนต่างกัน

อัตราส่วนน้ำตาลต่อกลีเซอรอล	ความแข็ง (g)	การคืนตัว^{ns} (mm)	ความสามารถเกาะรวมตัว	ความเหนียว (g)
100:0	1081.20±76.67^{a}	0.965±0.09	0.793±0.07^{a}	855.85±85.35^{a}
95:5	557.65±52.83^{b}	0.858±0.14	0.666±0.07^{b}	368.42±25.20^{b}
90:10	524.89±49.71^{b}	0.845±0.08	0.621±0.04^{b}	318.04±26.72^{b}
85:15	524.87±45.40^{b}	0.830±0.21	0.643±0.15^{b}	330.22±73.97^{b}

อักษร a-b ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids; TSS)

มะขามกวนที่ทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลส่งผลให้มีค่า TSS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับมะขามกวนที่ไม่เติมกลีเซอรอล อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลไม่ทำให้ค่า TSS แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2) การลดลงของค่า TSS เมื่อแทนที่น้ำตาลด้วยกลีเซอรอลสามารถอธิบายได้จากการที่กลีเซอรอลไม่ถูกวัดเป็นของแข็งที่ละลายได้ในหน่วยองศาบริกซ์ (°Brix) ในลักษณะเดียวกับน้ำตาล ส่งผลให้ค่าที่อ่านได้จากรีแฟรกโตมิเตอร์ลดลง แม้ว่าปริมาณสารละลายโดยรวมยังคงอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน (Damodaran et al., 2017; BeMiller & Huber, 2019)

2. คุณสมบัติทางเคมี

2.1 ปริมาณความชื้น

การทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลในมะขามกวนทุกสูตร พบว่ามีปริมาณความชื้นสูงกว่าสูตรที่ไม่เติมกลีเซอรอลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตาม แสดงให้เห็นว่าการทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นของมะขามกวน

ตารางที่ 3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และคุณสมบัติทางเคมีของมะขามกวนที่ทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลในอัตราส่วนต่างกัน

อัตราส่วนน้ำตาลต่อกลีเซอรอล	TSS (°Brix)	ความชื้น (%)	a_w	pH^{ns}	ปริมาณกรดทาร์ทาริก (%)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)
100:0	85.05±0.37^{a}	14.946±0.37^{b}	0.598±0.00^{a}	2.97±0.01	1.63±0.01^{a}	25.94±0.10^{a}
95:5	82.38±0.44^{b}	17.61±0.43^{a}	0.586±0.00^{b}	3.00±0.02	1.57±0.01^{b}	25.67±0.11^{b}
90:10	82.24±0.17^{b}	17.75±0.17^{a}	0.534±0.01^{c}	2.98±0.02	1.55±0.02^{c}	23.97±0.11^{c}
85:15	82.54±0.49^{b}	17.77±0.35^{a}	0.507±0.00^{d}	3.00±0.02	1.58±0.01^{b}	23.80±0.05^{c}

อักษร a-b ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

2.2 ค่าวอเตอร์แอคตีวิตี้ (a_w)

ค่า a_w เป็นปริมาณน้ำอิสระที่สามารถถูกจุลินทรีย์ในอาหารสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ผลการทดลอง (ตารางที่ 3) พบว่าการทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลในทุกระดับมีผลให้ค่า a_w ของมะขามกวนลดต่ำกว่าสูตรที่ไม่เติมกลีเซอรอลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนของกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น

2.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

มะขามกวนทั้ง 4 สูตรมีค่า pH อยู่ในช่วง 2.97-3.00 (ตารางที่ 2) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลไม่ส่งผลต่อค่า pH

2.4 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละกรดทาร์ทาริก) ของผลิตภัณฑ์มะขามกวน การทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลมีผลให้ปริมาณกรดทาร์ทาริกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับมะขามกวนที่ไม่เติมกลีเซอรอล

2.5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่าการแทนที่น้ำตาลด้วยกลีเซอรอลทำให้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรควบคุมให้ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนของกลีเซอรอลที่ใช้เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3

3. คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

มะขามกวนทั้ง 4 สูตร มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g (ตารางที่ 4) โดยปริมาณจุลินทรีย์ที่ตรวจพบอยู่ในระดับต่ำกว่าข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้กวน (มผช. 35/2558)

ตารางที่ 4 ปริมาณจุลินทรีย์ในมะขามกวนที่ทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลในอัตราส่วนต่างกัน

อัตราส่วนน้ำตาลต่อกลีเซอรอล	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	ยีสต์ ราทั้งหมด (CFU/g)
100:0	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 10
95:5	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 10
90:10	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 10
85:15	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 10
มาตรฐาน มผช. 35/2558	น้อยกว่า $1x10^6$	น้อยกว่า $1x10^3$

อภิปรายผล

ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทของกลีเซอรอลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของมะขามกวน ทั้งในด้านสี เนื้อสัมผัส และ TSS เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้น้ำตาลเพียงอย่างเดียว พบว่าสูตรที่ไม่เติมกลีเซอรอลมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงกว่า ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของโปรตีนในมะขาม เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) และสร้างสารเมลานอยดิน (melanoidin) เมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้มะขามกวนที่ไม่เติมกลีเซอรอลมีโทนสีแดงเข้ม (สิริการ หนูสิงห์ และบุศราภา ลีละวัฒน์, 2559) ในทางตรงกันข้ามมะขามกวนที่เติมกลีเซอรอลมีผลในการเจือจางองค์ประกอบของส่วนผสมจากกลีเซอรอลเป็นของเหลวใสไม่มีสี ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนลงและมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2546) กลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการดูดซับและกักเก็บน้ำไว้ภายในโครงสร้าง จึงลดการสูญเสียน้ำระหว่างการกวนและเพิ่มการกระเจิงของแสง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนลงและมีลักษณะมันวาว (Sorapukdee et al.,2016) สอดคล้องกับรายงานของวิชมณี ยืนยงพุทธกาล และธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล (2561) ที่พบว่าผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 5–15 มีค่าความสว่างสูงกว่าผลิตภัณฑ์ควบคุม ในด้านเนื้อสัมผัส กลีเซอรอลจัดเป็นสาร polyhydroxy alcohol ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สุธาทิพย์ ภัทรกุลวณิชย์ และคณะ, 2549) การเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลจึงทำให้เกิดการจับน้ำในระบบมากขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียน้ำในระหว่างการกวนลดลง และทำให้เนื้อสัมผัสของมะขามกวนสูตรที่เติมกลีเซอรอลมีความอ่อนนุ่มกว่าสูตรที่ไม่เติมกลีเซอรอล สอดคล้องกับรายงานของวิชมณี ยืนยงพุทธกาล และธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล (2561) ที่พบว่าการเติมกลีเซอรอลร้อยละ 15 สามารถลดค่าความแข็งของผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ได้ และจากผลการวิจัยของวิภา ประพินอักษร และนันทา เป็งเนตร์ (2568) ยืนยันว่าการใช้กลีเซอรอลร่วมกับน้ำตาลสามารถช่วยคงความชื้นและเพิ่มความนุ่มของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งได้เช่นกัน สำหรับค่า TSS พบว่ามีแนวโน้มลดลงในสูตรที่ใช้กลีเซอรอล เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นสารฮิวเมกเตนท์ (ศิโยน กรพิบูลย์ และวรภา คงเป็นสุข, 2563) ที่สามารถจับกับโมเลกุลน้ำและลดการสูญเสียน้ำในระหว่างการกวน ขณะที่สูตรควบคุมที่ไม่เติมกลีเซอรอลมีการสูญเสียน้ำมากกว่า จึงทำให้ค่า TSS สูงกว่า อย่างไรก็ตาม ระหว่างมะขามกวนที่ใช้กลีเซอรอลในอัตราส่วนต่างๆ ไม่พบความแตกต่างของค่า TSS อย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากอุณหภูมิและระยะเวลาในการกวนที่ถูกควบคุมให้อยู่ในระดับเดียวกัน ทำให้การระเหยของน้ำใกล้เคียงกัน

คุณสมบัติทางเคมีของมะขามกวนที่เติมกลีเซอรอลมีค่าความชื้นสูงกว่าสูตรควบคุมอาจอธิบายได้จากกลีเซอรอลเป็น polyhydroxy alcohol สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำ ส่งผลให้ลดการระเหยของน้ำออกจากระบบในระหว่างกระบวนการกวนได้ อีกทั้งการกวนผสมระหว่างเนื้อมะพร้าวกับน้ำตาลสามารถช่วยให้เกิดการกระจายตัวของน้ำและการกักเก็บน้ำภายในโครงสร้างของมะขามกวนจนสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อน ส่งผลให้มะขามกวนที่เติมกลีเซอรอลมีค่าความชื้นสูงกว่าสูตรที่ไม่เติมกลีเซอรอล นอกจากนี้กลีเซอรอลยังทำหน้าที่เป็น humectant ที่ช่วยรักษาน้ำให้อยู่ในเมทริกซ์อาหารและลดการสูญเสียน้ำระหว่างการแปรรูปด้วยความร้อน (BeMiller & Huber, 2019) โมเลกุลของกลีเซอรอลสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำทำให้ปริมาณน้ำอิสระ (free water) ที่จุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ได้ลดลง (วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล, 2561; กรรณิการ์ อ่อนสำลี, 2564) ผลนี้ชี้ให้เห็นถึงบทบาทของกลีเซอรอลในการควบคุมสมดุลน้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อเสถียรภาพและความปลอดภัยของอาหาร ค่า a_w ที่ตรวจพบในมะขามกวนทุกสูตรต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 35/2558 ($a_w \leq 0.85$) และยังอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.60 ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถยับยั้งการเจริญยีสต์และรา และแบคทีเรียก่อโรค (ปิยะนุช รสเครือ และมลิวรรณ์ กิจชัยเจริญ, 2563) ค่า pH ของมะขามกวนไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเติมกลีเซอรอล เป็นผลจากค่า pH ของกลีเซอรอลซึ่งอยู่ในสภาวะเป็นกลาง (pH 7.0) (Quispe et al.,) จึงไม่กระทบต่อ pH ของมะขามกวนที่เติมกลีเซอรอลทั้ง 3 สูตร โดยผลิตภัณฑ์ยังคง pH 2.97–3.00 ซึ่งเป็นผลของกรดทาร์ทาริกในเนื้อมะขาม ค่า pH ในระดับนี้มีบทบาทสำคัญต่อความปลอดภัยด้านจุลชีววิทยา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.0 สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Jay, 2000) สำหรับปริมาณของกรดทาร์ทาริกของมะขามกวนที่เติมกลีเซอรอลลดลง อาจอธิบายได้จากการลดสัดส่วนของน้ำตาลซูโครสในสูตร โดยกลีเซอรอลไม่ก่อให้เกิดความเป็นกรด จึงทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ที่สามารถไททรตได้ต่อหน่วยน้ำหนักของมะขามกวนลดลง นอกจากนี้กลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการจับน้ำได้ดี ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น น้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในระบบจึงช่วยเจือจางกรดอินทรีย์ ส่งผลให้ค่าปริมาณกรดทาร์ทาริกที่วัดได้ลดลง (Labuza & Rahman, 2007; Rahman, 2007) ขณะเดียวกันการลดลงของค่า a_w จากการเติมกลีเซอรอลอาจเปลี่ยนสภาวะการทำงานของกรดอินทรีย์ในระบบอาหาร ทำให้ปริมาณกรดที่วัดได้เปลี่ยนแปลงโดยไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า pH (Rahman, 2007) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของมะขามกวนลดลงเมื่อแทนที่น้ำตาลซูโครสด้วยกลีเซอรอล การเพิ่มระดับกลีเซอรอลไม่ก่อให้เกิดน้ำตาล เนื่องจากกลีเซอรอลไม่จัดเป็นน้ำตาลและไม่ถูกนับรวมในการวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด ส่งผลให้ค่าที่ตรวจวัดลดลงตามสัดส่วนของน้ำตาลที่ถูกแทนที่ (BeMiller & Huber, 2019)

คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของมะขามกวนทุกสูตรมีความปลอดภัยต่อการบริโภค เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรามีค่าน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพความปลอดภัยดังกล่าวอาจเนื่องมาจาก มีค่า pH 2.97–3.00 และ a_w ต่ำกว่า 0.60 ซึ่งไม่เอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งนี้ Jay (2000) ระบุว่าการควบคุม pH ในอาหารให้ต่ำกว่า 4.5 และ a_w ต่ำกว่า 0.85 เป็นปัจจัยสำคัญในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารได้

สรุปผลการวิจัย

การทดแทนน้ำตาลซูโครสด้วยกลีเซอรอลส่งผลเชิงบวกอย่างชัดเจนต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์มะขามกวน โดยการเติมกลีเซอรอลช่วยลดความเข้มของสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและเพิ่มความสว่างของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้สีของมะขามกวนอ่อนลง ขณะเดียวกันค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสลดลง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มและคงความชุ่มชื้นมากขึ้น นอกจากนี้ การทดแทนน้ำตาลด้วยกลีเซอรอลทำให้ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่า TSS ต่ำกว่าสูตรควบคุม และสามารถลดค่า a_w ลงต่ำกว่า 0.60 ซึ่งเป็นระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และราได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีศักยภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ค่า pH ของมะขามกวนยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (2.97–3.00) ซึ่งช่วยเสริมความปลอดภัยด้านจุลชีววิทยา จากสูตรการทดลองทั้งหมด อัตราส่วนของน้ำตาลต่อกลีเซอรอลที่ 85:15 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่า a_w ต่ำที่สุด (0.507) และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และราอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้กวน (มผช. 35/2558) ดังนั้น การใช้กลีเซอรอลทดแทนน้ำตาลในการผลิตมะขามกวนไม่เพียงช่วยลดปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ แต่ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส ความปลอดภัย และเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมอาหาร

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการวิจัยในอนาคต ควรมีการประเมินคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของมะขามกวน เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อสี เนื้อสัมผัส และรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลีเซอรอลทดแทนน้ำตาล รวมถึงการศึกษาความคงตัวของคุณสมบัติต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างกัน (อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิต่ำ) นอกจากนี้ควรทดลองการผสมผสานกลีเซอรอลกับสารให้ความหวานหรือสารอุ้มน้ำชนิดอื่น เช่น ซอร์บิทอล หรือมอลทิทอล เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพสูงขึ้น ลดน้ำตาลได้มากขึ้น และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ควรมีการศึกษาต้นทุนการผลิต ประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบ และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยยืนยันความเป็นไปได้ในการนำกลีเซอรอลมาใช้จริงในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ อ่อนสำลี. (2564). การใช้สารฮิวเมกเตนท์ในผลิตภัณฑ์มัลเบอร์รีกวน. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 15*(1), น.14-25.

คณิตตา พัฒนาภา. (2553). *การพัฒนากระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง*. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์). https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14457/KU.the.2010.218

นาฏชนก ปรางปรุ. (2560). *การพัฒนากระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง.* (วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี). http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/handle/123456789/7520

เนตรนภา อาตวงษ์. (2564). *การส่งเสริมการแปรรูปมะขามของเกษตรกรในอำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์.* (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช). https://ir.stou.ac.th/handle/123456789/11335

บังอร เมฆะ และสุระพงษ์ เตชะ. (2551). มะขามเปรี้ยวให้อะไรมากกว่าที่คิด. *วารสารแม่โจ้ปริทัศน์,* (3), น.16-18.

ปิยะนุช รสเครือ และ มลิวรรณ์ กิจชัยเจริญ. (2563). ผลของปริมาณน้ำตาล กรดซิตริก และเพคติน ที่มีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์มัลเบอรี่แผ่น. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 14*(1), น.58-69.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล. (2561). *การสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลไม้ไทยโดยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปใหม่คล้ายของสดด้วยการเตรียมชั้นต้นวีออสโมซีสในสภาวะสุญญากาศ กรณีศึกษาน้อยหน่า ลองกอง และมังคุด* (รายงานวิจัย). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. (2546). คุณสมบัติและประโยชน์ของกลีเซอรอล. *วารสารอาหาร. 33*(2), น.87-89.

วิภา ประพินอักษร และนันทา เป็งเนตร์. (2568). ผลของกระบวนการแช่อิ่มต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง. *วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน, 6*(1), น.1-13.

วิภาดา มุนินทร์นพมาศ รอมลี เจะดอเลาะ และจีรวุธ มุนินทร์นพมาศ. (2565). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ส้มแขกแผ่น:ศึกษาผลของสารละลายออสโมซีสและสารฮิวแมกแตนท์* (รายงานวิจัย). ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

ศิโยน กรพิบูลย์พวษ์ และวรภา คงเป็นสุข. (2563). ผลของชนิดกรด น้ำตาล และสารขึ้นรูปฟิล์มต่อสมบัติของฟิล์มปรุงรส. *ในการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 4* (น.188-195). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา.

ศิริพรรณ ราชรองเมือง และดาริวรรณ เศรษฐีธรรม. (2561). การปนเปื้อนจุลินทรีย์ในผลไม้แปรรูปของผลติภัณฑ์ชุมชน จังหวัดหนองคาย. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 18*(3), น.104-111.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้กวน มผช. 35/2558.* https://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx

สิริการ หนูสิงห์ และบุศราภา ลีละวัฒน์. (2559). สมบัติทางรีโอโลยีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของถั่วขียว (*Vigna radiate* L.) กวน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 24*(2), น.277-287.

สุธาทิพย์ ภัทรกุลวณิชย์ จิรวัฒน์ กันต์เกรียงวงศ์ ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์ และวรพจน์ สุนทรสุข. (2549). การยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนกวนด้วยสารฮิวเมกแตนท์. *ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาวิทยาศาสตร์* (น.641-648). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน.

สุนัน ปานสาคร จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ ศุภณัฐ พริกบุญจันทร์ และอาทิพัฒน์ ศรีชุมพล. (2564). ผลของการดึงน้ำออกบางส่วนโดยวิธีออสโมซิสต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล่อนกึ่งแห้ง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 29*(2), น.714-727.

เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และนพรัตน์ วงศ์หิรัญเดชา. (2551). *การปรับปรุงคุณภาพและมาตรฐานผลไม้กวน* (รายงานวิจัย). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2000). *Official methods of analysis* (17th ed.). Gaithersburg, Maryland: AOAC International.

Bacteriological Analytical Manual. (2001). *Chapter 3, Aerobic plate count.* IN U.S. Food and Drug Administration (USFDA). http://www.cfsan.fda.gov

BeMiller, J. N., & Huber, K. C. (2019). Carbohydrates. In Damodaran, Parkin, K.L. & Fennema, O.R. (Eds.), *Fennema's food chemistry* (5th ed.). (pp.81-154). Boca Raton, FL: CRC Press.

Bhadoriya, S.S., Ganeshpurkar, A., Narwaria, J., Rai, G. & Jain, A.P. (2011). Tamarindus indica: Extent of explored potential. *Pharmacognosy Reviews*, *5*(9), pp.73-81.

Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2017). *Fennema's food chemistry* (5th ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Jay, J. M. (2000). *Modern food microbiology* (6th ed.). Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers.

Labuza, T. P., & Rahman, M. S. (2007). Water activity and food preservation. In Rahman, M.S. (Ed.), *Handbook of food preservation* (2nd ed.). (pp.447-452). Boca Raton, FL: CRC Press.

Quispe, C.A.G., Coronado, C. J.R. & Carvalho Jr, J.A. (2013). Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new Trends in combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27*, pp.475-493.

Rao, Y.S. & Mathew, K.M. (2012). Tamarind. In Peter, K.V. (Ed.) *Handbook of herbs and spices Volume 2* (2nd ed.). (pp.512-533). Cambridge, UK: Woodhead Publishers.

Rahman, M. S. (2007). Water activity and glass transition concept in food preservation. *Food Engineering Reviews*. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21184-0

Sorapukdee, S., Uesakulrungrueng, C. & Pilasombut, K. (2016). Effects of humectant and roasting on physicochemical and sensory properties of jerky made from spent hen meat. *Korean Society for Food Science of Animal Resources*, *36*(3), pp.326-334.