

การใช้ดี-อัลลูลอสเป็นสารทดแทนน้ำตาลในซอสมะขามพร้อมใช้

Using of D-Allulose as sugar substitute in ready-to-use
Tamarind Sauce



ปาจริย์ แก้วผณีรังษี

PAJAREE KAEWPHANUEKRUNGSI

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริการอาหารและการจัดการ

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2568

KMITL-2025-FI-M-0055-502

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USING OF D-ALLULOSE AS SUGAR SUBSTITUTE IN READY-TO-USE

TAMARIND SAUCE



PAJAREE KAEWPHANUEKRUNGS

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOODSERVICE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

SCHOOL OF FOOD INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2025

KMITL-2025-FI-M-0055-502

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2025

SCHOOL OF FOOD INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	การใช้ดี-อัลลูโลสเป็นสารทดแทนน้ำตาลในซอสมะขามพร้อมใช้
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ปาจริย์ แก้วฉวีกรังษี
รหัสประจำตัว	64608041
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
หลักสูตร	เทคโนโลยีการบริการอาหารและการจัดการ
ปีการศึกษา	2568
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาจริย์ อิงคะสุภัทร

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ ครอบคลุมค่าพิกัดสีในระบบ CIE L*a*b*, ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}$ Brix) และค่าความหนืด การเปรียบเทียบคุณภาพของซอสมะขามในท้องตลาดชี้ให้เห็นถึงความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับสูตร วัตถุดิบ และกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสมะขามให้มีคุณภาพที่เหมาะสม จากนั้นทำการพัฒนาสูตรซอสมะขามโดยการทดแทนน้ำตาลมะพร้าวด้วยดี-อัลลูโลสในระดับร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของซอสทั้ง 4 สูตรทดลอง พบว่าการใช้ดี-อัลลูโลสสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยค่าความหนืด ค่า pH และค่า $^{\circ}$ Brix ลดลงเมื่อสัดส่วนของดี-อัลลูโลสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีมากขึ้นตามสัดส่วนของดี-อัลลูโลสที่ ลดลง ตัวอย่างซอสมะขามทั้ง 4 สูตรถูกนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทั้งแบบเรียงลำดับความชอบ (Ranking test) และแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) เพื่อประเมินคุณลักษณะด้านรูปลักษณะ สี รสชาติ กลิ่น เนื้อสัมผัส ความรู้สึกหลังกลืน และความชอบโดยรวม ผลการทดสอบพบว่าสูตรที่ใช้ดี-อัลลูโลสในระดับร้อยละ 50 ได้รับความชอบจากผู้บริโภคมากที่สุด โดยมีคะแนนเฉลี่ยในแต่ละลักษณะไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และสามารถรักษาเอกลักษณ์ของซอสมะขามได้ดี อายุการเก็บรักษาของสูตรซอสมะขามที่คัดเลือกได้ (ดี-อัลลูโลสในระดับร้อยละ 50) โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความหวานและความหนืดมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีเกิดการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับการเกิดปฏิกิริยา Maillard

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ส่วนบุคคลสำหรับการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ตามธรรมชาติในซอส รวมถึงการใช้วิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) เพื่อวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นทางประสาทสัมผัส คำนวณอายุการเก็บของซอสมะขามจากการใช้ข้อมูลจากสัปดาห์สุดท้ายที่ยังสามารถยอมรับได้ในแต่ละอุณหภูมิเร่ง (อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส) ด้วยสมการ Q_{10} ผลการคำนวณพบว่า ซอสมะขามที่พัฒนาได้มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 59 วัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา เชื้อ *Salmonella spp.* และเชื้อ *Staphylococcus aureus* ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานในทุกตัวอย่าง

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ดี-อัลลูลอสเป็นสารให้ความหวานที่เหมาะสมสำหรับใช้ทดแทนน้ำตาลในซอสมะขาม เนื่องจากสามารถลดพลังงานของผลิตภัณฑ์ได้โดยไม่กระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และยังคงคุณภาพในการเก็บรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่ตอบโจทย์ผู้บริโภคใหม่ที่ใส่ใจสุขภาพ

คำสำคัญ: คุณภาพทางเคมีกายภาพ, ซอสมะขามพร้อมใช้, ดี-อัลลูลอส, น้ำตาลทดแทน, อายุการเก็บ

Independent Study Title	Using D-allulose use as sugar substitute on ready-to-use tamarind sauce.
Name	Pajaree Kaewphanuekrungsi
Student ID.	64608041
Degree	Master of science
Program	Foodservice technology and management.
Year	2025
Adviser	Asst. Prof. Dr. Pajaree Ingkasupart

Abstract

This study aimed to evaluate the physicochemical properties of ready-to-use tamarind sauce available in the market. The analysis focused on CIE Lab* color coordinates, pH, total soluble solids (°Brix), and viscosity. Market comparisons revealed variations in product quality associated with differences in formulations, raw materials, and processing methods. These findings provided a foundation for developing tamarind sauce with improved quality. Formulations were developed by replacing coconut sugar with D-allulose at substitution levels of 25%, 50%, 75%, and 100%. The results showed that increasing D-allulose content led to reductions in viscosity, pH, and °Brix, while color intensity increased as D-allulose levels decreased. All formulations were subjected to sensory evaluation using ranking tests and the 9-point hedonic scale, assessing appearance, color, flavor, aroma, texture, aftertaste, and overall acceptance. The formulation with 50% D-allulose received the highest consumer preference, with mean scores not significantly different from the control ($p \leq 0.05$), and retained the distinct characteristics of tamarind sauce. Shelf-life analysis of the selected 50% D-allulose formulation was conducted under storage conditions at room temperature, 40°C, and 50°C for six weeks. Sweetness and viscosity showed a decreasing trend over time and with increasing temperature, while color changes were consistent with Maillard reactions and natural shifts in organic acids. Quantitative Descriptive Analysis (QDA) was used to monitor changes in sensory intensity, and the Q_{10} model was applied to estimate shelf life based on the last acceptable week under accelerated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

storage. The estimated shelf life was approximately 59 days at 35°C. Microbiological analysis confirmed that total viable count, yeasts and molds, *Salmonella* spp., and *Staphylococcus aureus* in all samples remained within acceptable limits.

Overall, D-allulose was found to be a suitable alternative sweetener for tamarind sauce, effectively lowering caloric content without compromising sensory quality or shelf stability. This suggests promising potential for commercial development targeted at health-conscious consumers.

Keywords: D-allulose, physicochemical properties, ready-to-use tamarind sauce, shelf life, sugar substitute



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาจริย์ อิงคะสุภัทร อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดระยะเวลาการดำเนินงานค้นคว้าอิสระนี้ จนทำให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงคณะกรรมการพิจารณาค้นคว้าอิสระทุกท่าน ที่กรุณาสละเวลาให้ข้อเสนอแนะ คำวิจารณ์ และแนวทางปรับปรุง ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยให้งานค้นคว้าอิสระนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณอัฐมา พจน์พงศ์สรรค์ รองผู้อำนวยการฝ่ายศาสตร์ประกอบอาหารและครัวกลาง บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด หัวหน้างาน ผู้เป็นแรงผลักดันสำคัญ ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสเริ่มต้นเส้นทางการศึกษานี้ ตลอดจนเป็นผู้ที่คอยสนับสนุนและส่งเสริมเป็นอย่างดี และให้กำลังใจตลอดระยะเวลาการศึกษา พร้อมทั้งเข้าใจในภารกิจทางวิชาการของข้าพเจ้าอย่างยิ่ง รวมถึงขอขอบคุณ น้อง ๆ และเพื่อนร่วมงาน แผนกครัวกลาง สำหรับความช่วยเหลือ ความเข้าใจ และความเอื้อเฟื้อในการแบ่งเบาภาระงานในช่วงเวลาที่ข้าพเจ้าต้องทุ่มเทให้กับการศึกษาและการค้นคว้าอิสระ

ข้าพเจ้าขอขอบใจถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพ. เกรียงไกร แก้วฉวีกรังษี คุณอาของข้าพเจ้า ผู้เป็นแรงบันดาลใจสำคัญในการศึกษา แม้ท่านจะไม่ได้อยู่ร่วมรับรู้ความสำเร็จในครั้งนี้ แต่คำสอนและความห่วงใยของท่านยังคงเป็นพลังสำคัญที่ขับเคลื่อนข้าพเจ้ามาโดยตลอด และขอขอบคุณครอบครัวแก้วฉวีกรังษี ที่อยู่เคียงข้าง สนับสนุนและเป็นกำลังใจสำคัญในทุกช่วงเวลา

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมรุ่นปี 64 และ 65 ทุกท่าน สำหรับมิตรภาพ ความร่วมมือ และการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการ ซึ่งเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้การศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษานี้เป็นไปอย่างราบรื่น ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีได้เอื้อนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยมิตรไมตรีตลอดระยะเวลาของการศึกษา ข้าพเจ้าขออ้อมสำนึกในพระคุณ และขอกราบขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้อย่างสุดซึ้ง

ปาจริย์ แก้วฉวีกรังษี

มิถุนายน พ.ศ. 2568

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตและงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำตาลอัลลูลูส หรือดี-อัลลูลูส.....	4
2.2 น้ำตาลทดแทน ชนิดต่าง ๆ	6
2.2.1 ชนิดของน้ำตาล และข้อมูลสำหรับการใช้งาน.....	7
2.2.2 อาหารและเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลทดแทน.....	9
2.3 ส่วนประกอบของซอสมะขาม	11
2.3.1 มะขาม.....	11
2.3.2 น้ำตาลมะพร้าว	14
2.3.3 น้ำปลา.....	15
2.3.4 ดอกเกลือ	17
2.4 การพาสเจอร์ไรส์และการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซอส.....	18
2.5 กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ซอส	19
2.6 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์.....	20
2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ซอสสำเร็จรูป.....	20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	26
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	26
3.1.1 วัตถุดิบ	26
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำซอสมะขาม	26
3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์เคมีกายภาพ	27
3.1.4 วัสดุอุปกรณ์ในการเพาะเชื้อจุลินทรีย์	27
3.1.5 อุปกรณ์ในการทดสอบประสาทสัมผัส	29
3.2 วิธีการทดลอง	30
3.2.1 การสำรวจและตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพของซอสมะขามพร้อมใช้ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	30
3.2.2 การพัฒนาสูตรซอสมะขาม โดยใช้ดี-อัลลูโลสทดแทน ในสูตรที่ใช้น้ำตาลปกติ	31
3.2.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนาได้	32
3.2.4 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	37
4.1 ผลการสำรวจและตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ ที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาด	37
4.1.1 การวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	37
4.1.2 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	39
4.1.3 ประโยชน์ของการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น และการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจผลิตภัณฑ์ซอสมะขามในท้องตลาด	43
4.2 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่แตกต่างกัน	44
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี	45
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity)	46
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน ($^{\circ}$ Brix)	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	48
4.2.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสมะขามพร้อมใช้	
สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 สูตร.....	50
4.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพ เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของซอสมะขามพร้อมใช้	
ที่พัฒนาได้ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	52
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี.....	53
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity).....	55
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน ($^{\circ}$ Brix).....	56
4.3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH).....	57
4.3.5 ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์.....	59
4.3.6 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการศึกษอายุการเก็บรักษา.....	60
4.3.7 การคำนวณอายุการเก็บด้วยวิธี Q_{10}	63
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการศึกษาคูณภาพทางเคมีกายภาพของซอสมะขามพร้อมใช้เชิงพาณิชย์	65
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพของซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่	
แตกต่างกัน.....	66
5.3 สรุปผลการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของซอสมะขามพร้อมใช้	
ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	68
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	69
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก.	
ขั้นตอนการผลิตซอสมะขามพร้อมใช้	79
การพลาสเจอไรซ์ซอสมะขามพร้อมใช้	80
วิธีเตรียมการทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	80

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ข.

แบบทดสอบประสาทสัมผัส 9 ระดับ และเรียงลำดับความชอบ.....	81
แบบทดสอบประสาทสัมผัส QDA (Quantitative Descriptive Analysis).....	82
ประวัติผู้วิจัย.....	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบค่าพลังงาน/กรัม และค่าดัชนีน้ำตาลของสารทดแทนน้ำตาล 16 ชนิด	9
2.2 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมะขามเปียก	13
3.1 ขอสมะขามพร้อมใช้สูตรทดแทนน้ำตาลด้วยดี-อัลลูลอสในสัดส่วนที่ต่างกัน	31
4.1 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	38
4.2 ลักษณะปรากฏบนฉลากของขอสมะขามที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	39
4.3 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ขอสมะขาม 5 ยี่ห้อ	41
4.4 ค่าความหนืด (Viscosity) ของผลิตภัณฑ์ขอสมะขาม 5 ยี่ห้อ	41
4.5 ค่าปริมาณความหวาน (°Brix) ของผลิตภัณฑ์ขอสมะขาม 5 ยี่ห้อ	42
4.6 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของผลิตภัณฑ์ขอสมะขาม 5 ยี่ห้อ	43
4.7 ค่าสีของขอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูลอส	46
4.8 ค่าความหนืดของขอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูลอส	47
4.9 ค่าปริมาณความหวาน (°Brix) ของขอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูลอส	48
4.10 ค่าความเป็นกรด-ด่างของขอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูลอส	49
4.11 คะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขอสมะขามแต่ละสูตร	51
4.12 คะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบการเรียงลำดับความชอบ	51
4.13 ค่าสี ของขอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่ต่างกัน	54
4.14 ค่าความหนืด (Viscosity) ของขอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่ต่างกัน	56
4.15 ค่าความหวาน (°Brix) ของขอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่ต่างกัน	57
4.16 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของขอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่ต่างกัน	58
4.17 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของขอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บในอุณหภูมิที่ต่างกัน	59
4.18 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ QDA ในอุณหภูมิห้อง	61
4.19 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ QDA ในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	62
4.20 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ QDA ในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.1 ผลิตภัณฑ์ขอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด.....	37
4.2 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ขอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	40
4.3 เปรียบเทียบขอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูลอสในปริมาณที่ต่างกัน.....	45
4.4 ขอสมะขามพร้อมใช้ในช่องบรรจุภัณฑ์ สำหรับใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองอายุการเก็บรักษา. 52	
4.5 เปรียบเทียบขอสมะขามพร้อมใช้ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่ต่างกัน 6 สัปดาห์.....	53
4.6 กราฟเปรียบเทียบแนวโน้มค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสแต่ละด้านของขอสมะขาม ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่ต่างกันตลอดระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เครื่องปรุงรส หรือ ซอส ถือเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้อาหารไทยเป็นที่ติดปากของคนทั่วโลก จากเอกลักษณ์เฉพาะตัวทั้ง สี กลิ่น รส ที่เสริมให้อาหารไทยมีรสชาติกลมกล่อมไม่เหมือนใคร อุตสาหกรรมเครื่องปรุงรสของไทยมีแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากความแข็งแกร่งของกลุ่มผู้บริโภครายในประเทศก่อนขยายตลาดส่งออกไปทั่วโลก ประกอบกับการขยายตัวของร้านอาหารในต่างประเทศมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้อุตสาหกรรมเครื่องปรุงรสของไทยเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในประเทศและต่างประเทศ จากการวิเคราะห์ของ อังคณา สิทธิการ (2568) จาก Krungthai COMPASS ประเมินว่า การเติบโตของอุตสาหกรรมธุรกิจผลิตเครื่องปรุงรสในปี 2567-2568 รายได้จะเติบโตเฉลี่ย 10.8% และ 8.1% ตามลำดับ และคาดการณ์ว่าในปี 2569 จะขยายตัว 5.7%YoY อีกทั้งอาหาร ยังเป็น 1 ใน 11 อุตสาหกรรมเป้าหมาย ที่รัฐบาลจะใช้ในการขับเคลื่อนนโยบาย Soft Power และในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยเข้าสู่ระยะสังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ (Complete-aged society) ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับเทรนด์รักสุขภาพที่ยังคงมาแรงและถูกปรับเปลี่ยนรูปแบบผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับกระแสการรักสุขภาพของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจึงเป็นส่วนสำคัญในการดูแลสุขภาพและลดการเกิดโรคจึงมีความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ลดความหวานจากการใช้ซูโครส (มนัญญา คำวชิระพิทักษ์, 2566)

ตั้งแต่ช่วงที่มีการแพร่ระบาดใหญ่ของโควิด-19 ส่งผลให้วิถีการดำเนินชีวิตและพฤติกรรมการรับประทานอาหารของคนไทยที่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน จากค่านิยมการทำอาหารรับประทานเองที่บ้าน ทำให้ซอสที่ใช้จานสะดวก และนำไปใช้ได้หลากหลายเมนูเป็นที่ต้องการของตลาด (วริษา เยี่ยมสมณะ, 2563) แม้ร้านอาหารหลายแห่งจะปิดตัวลงชั่วคราวในขณะนั้นแต่ก็ไม่ได้ทำให้ตลาดเครื่องปรุงรสลดตัวลงแต่อย่างใด เพราะการต้องลุกขึ้นมาเข้าครัวด้วยตัวเองในบ้านได้กลายเป็นแรงหนุนให้ตลาดเครื่องปรุงรสสำเร็จรูปยังคงไปได้ โดยคนไทยให้ความสำคัญกับอาหารมากขึ้นทั้งในเรื่องของความสะอาด แหล่งที่มาของวัตถุดิบ และคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงยังนิยมอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้นเพื่อดูแลสุขภาพ แม้บ้านรุ่นใหม่จึงต่างต้องการเครื่องปรุงรสที่ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน ลดขั้นตอนในการปรุงอาหารที่ยุ่งยาก และตอบสนองกระแสของการรักษาสุขภาพ โดยตลาดเครื่องปรุงรสหลายยี่ห้อต่างให้ความสนใจในเรื่องการออกผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่อยอดจากซอสสูตรดั้งเดิมที่ผลิตอยู่แล้ว เช่น น้ำจิ้มไก่ พัฒนาเป็นสูตรน้ำตาลจากหญ้าหวาน (กรุงเทพธุรกิจ, 2566)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอสมะขามสามารถทำได้โดยการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าว ผสมน้ำมะขามเปียก และน้ำปลาเป็นซอสที่มีรสชาติเปรี้ยวหวานนำ มีความหอมและความเค็มของน้ำปลา โดยการนำไปราดของทอดเป็นเมนูต่างๆที่เป็นที่รู้จักและเป็นที่นิยมอย่างมากของทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ เช่น เมนูกุ้งทอดซอสมะขาม เมนูปลาทอดซอสมะขาม เมนูไข่ลูกเขย ซึ่งซอสมะขามนี้ จัดว่าเป็นซอสเอนกประสงค์ที่สามารถนำไปดัดแปลงต่อยอด เป็นเมนูอาหารไทยต่างๆได้หลากหลายเมนู เช่น เต็มพริกป่นและข้าวคั่ว เป็นน้ำจิ้มแจ่วมะขาม, เต็มพริกป่น และหอมแดงผัดเป็นน้ำซอสผัดไทย, เป็นซอสปรุงรสต้มยำไทย, เป็นซอสปรุงรสแกงส้ม, เต็มพริกแห้งคั่วเป็นน้ำจิ้มลูกชิ้น หรือเต็มพริกและถั่วลิสงเป็นน้ำจิ้มเต้าหู้ทอด

ความก้าวหน้าในนวัตกรรมทางเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ลดน้ำตาล นักวิจัยและในอุตสาหกรรมจึงพยายามลดหรือทดแทนน้ำตาลในอาหารโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการประเมินทางประสาทสัมผัส การทดแทนน้ำตาลด้วยสารให้ความหวานเป็นทางเลือกหนึ่ง นอกเหนือจากการลดการใช้ จนถึงขณะนี้สารให้ความหวานหลายชนิดได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย (Zhang et al., 2022) โดยในปัจจุบันผู้คนที่หันมาใส่ใจดูแลสุขภาพมากยิ่งขึ้น โดยที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภค งด ลดการบริโภคน้ำตาลทำให้ผู้ประกอบการมีการปรับตัวโดยการพัฒนาสูตรเครื่องปรุงต่างๆที่ไม่มีน้ำตาล, ลดน้ำตาลลงจากสูตรปกติ หรือใช้น้ำตาลทดแทนเพื่อเป็นทางเลือกแก่ผู้บริโภค โดยซอสและเครื่องปรุงรสหลายชนิดที่คนไทยนิยมบริโภค มีอัตราส่วนปริมาณของน้ำตาลแฝงอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ผู้บริโภคได้รับน้ำตาลโดยไม่รู้ตัวจากซอสและเครื่องปรุงที่บริโภค ซึ่งในซอสมะขาม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ถึงประมาณร้อยละ 50 ของน้ำตาลในสูตร (Chunlakan et al., 2021)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสมะขามเอนกประสงค์พร้อมใช้ ที่ลดน้ำตาลซูโครส และทดแทนด้วยน้ำตาลอัลลูลอส โดยที่ยังสามารถคงรสชาติเดิมได้มากที่สุด โดยมีการวิจัยว่าการเติม ดี-อัลลูลอส ในผลิตภัณฑ์อาหารช่วยปรับโครงสร้างและรสชาติของเจล รวมทั้งเพิ่มคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีดี-อัลลูลอสรักษาระดับการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาการจัดเก็บได้ดี โดยจะชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยอัตโนมัติ และยืดระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารได้ (Sun et al., 2006), (Sun et al., 2008) และจะให้ความหวานที่เหมาะสม เนื้อเนียน สัมผัสรับประทาน และคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารได้ดี

แม้ว่าการใช้น้ำตาลอัลลูลอสจะเป็นที่รู้จักไม่แพร่หลาย โดยในการสำรวจผู้บริโภคของ IFIC ในปี 2021 ผู้บริโภคเพียง 15% เท่านั้นที่รู้จักเกี่ยวกับน้ำตาลที่เรียกว่าอัลลูลอส (Food insight, 2021) เนื่องจากน้ำตาลอัลลูลอสเป็นน้ำตาลที่ยังใหม่มาสำหรับตลาดน้ำตาลทดแทน และยังไม่ได้รับการ

รับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.), ประเทศไทย แต่ด้วยคุณสมบัติของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดี-อัลลูโลสที่สืบค้นได้จากงานวิจัยที่มีมากมาย ผู้วิจัยเชื่อว่าน้ำตาลชนิดนี้จะได้รับการพัฒนาคุณภาพ และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในอนาคต ดังนั้น ผู้วิจัยจึงศึกษา ผลของ ดี-อัลลูโลสซึ่งใช้เป็นสารทดแทนน้ำตาลในซอสมะขามพร้อมใช้ เพื่อหาปริมาณทดแทนน้ำตาลซูโครสในสูตร

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสำรวจและตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพเบื้องต้นของซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
2. เพื่อพัฒนาสูตรซอสมะขามพร้อมใช้ โดยใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนในสูตร
3. เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนาได้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการศึกษาการนำน้ำตาลดี-อัลลูโลส เพื่อมาใช้ทดแทนน้ำตาลปกติในซอสมะขามพร้อมใช้ โดยศึกษาและทดลองปริมาณสัดส่วนในการใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาลมะพร้าว ผสมน้ำตาลอ้อยในสูตรปกติ รวมถึงการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีในท้องตลาดและค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่ทดแทนน้ำตาลด้วยดี-อัลลูโลส หลังจากการพัฒนาสูตรแล้ว

โดยผู้วิจัยมุ่งหวังในการที่จะนำผลิตภัณฑ์ไปต่อยอดเชิงพาณิชย์ และการนำไปใช้ในงานเสิร์ฟอาหารสำหรับผู้รักษาสุขภาพ และผู้สูงอายุ

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำตาลอัลลูลอส หรือดี-อัลลูลอส (D-Allulose) หรือ ดี-ไซโคส (D-Psicose)

น้ำตาลอัลลูลอสถูกพบครั้งแรกในใบข้าวสาลีในปี 1940 และตั้งแต่นั้นมาพบในปริมาณเล็กน้อยในผลไม้บางชนิด เช่น มะเดื่อ และลูกเกด เช่นเดียวกับในน้ำเชื่อมเมเปิ้ล โดยผลิตจากข้าวโพดในเชิงพาณิชย์ จัดอยู่ในกลุ่มสารให้ความหวานตัวใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพโดยน้ำตาลอัลลูลอส จะมีรูปร่าง และ รสชาติคล้ายกับ น้ำตาลทราย เพียงแต่มีระดับความหวานเพียง 70 % ของน้ำตาลทรายปกติ น้ำตาลอัลลูลอส จัดอยู่ในกลุ่ม **น้ำตาลหายาก (Rare sugar)** เพราะมีอยู่ตามธรรมชาติในอาหารเพียงไม่กี่ชนิด และพบได้ในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากดี-อัลลูลอสหายากและมีจำนวนน้อยในธรรมชาติ ทำให้มีราคาที่ค่อนข้างสูงมาก ด้วยเหตุนี้การผลิตทางชีวภาพของดี-อัลลูลอสโดยใช้ คีโตส 3-เอพิเมอเรส (Ketose 3-epimerase (KEase)) จึงกลายเป็นที่สนใจในการวิจัย (Zhang et al., 2023) การศึกษาปฏิกิริยาเอพิเมอไรเซชัน (Epimerization) ของน้ำตาลที่มีอยู่ซึ่งส่งผลให้การผลิตดี-อัลลูลอสถูกเร่งโดยเอนไซม์ของกลุ่มเอพิเมอเรส (Epimerase) การกำหนดกลไกที่แน่นอน คีโตส-3-เอพิเมอเรสจึงจะช่วยให้การปรับปรุงการทำงานของเอนไซม์และความเสถียรเพื่อให้การผลิต ดี-อัลลูลอสมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Ivanova et al., 2023) และเนื่องจากดี-อัลลูลอสน้ำตาลหายาก เนื่องจากมีปริมาณที่พบน้อย และ มีราคาแพง จึงมีการวิจัยการสกัดดี-อัลลูลอสจากข้าวโพดที่มีราคาถูก โดยได้ดี-อัลลูลอส หลังจากทำการ Freeze-Dry ที่มีความบริสุทธิ์ ถึง 99.4% (Xin & Ran, 2024)

น้ำตาลอัลลูลอส (Allulose) ดี-อัลลูลอส เป็นเอพิเมอร์ C-3 (C-3 epimer) ของ ดี-ฟรุคโตส (D-fructose) ดี-อัลลูลอสเป็นโมโนแซ็กคาไรด์ (Monosaccharide) ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ดังนั้นในทางเทคนิคแล้วจึงไม่มีการย่อยเกิดขึ้นหลังจากบริโภค แต่อัลลูลอสจะถูกร่างกายดูดซึมอย่างรวดเร็ว และถูกขับออกมา เป็นน้ำตาลที่มีโครงสร้างคล้ายกับน้ำตาลซูโครส แต่มีลักษณะทางเคมีที่แตกต่างออกไป น้ำตาลอัลลูลอสมีคุณสมบัติทางเคมีที่ทำให้เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม โดยเฉพาะในการผลิตอาหารและเครื่องดื่มที่ต้องการความหวานแต่ต้องการลดพลังงานและไม่ส่งผลกระทบบต่อระดับน้ำตาลในเลือด โดยมีลักษณะดังนี้:

โครงสร้าง: ดี-อัลลูลอสมีสูตรเคมี $C_6H_{12}O_6$ เหมือนกับน้ำตาลฟรุคโตส และน้ำตาลกลูโคส แต่มีโครงสร้างโมเลกุลต่างกัน โดยมีโครงสร้างเป็นอยู่ในรูปของฮีดรอกซี (Hexose) ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของน้ำตาล ต่างกันเพียงการจัดเรียงหมู่ไฮดรอกซีในสูตรโครงสร้าง ซึ่งความแตกต่างส่วนนี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้เพื่อเผาผลาญเป็นพลังงานได้ โดยอัลลูลอส 1 กรัม ให้พลังงานเพียง 0.4 Kcal/กรัม หรือให้พลังงานเพียง 1 ใน 10 ของแคลอรีที่ได้จากน้ำตาลทราย และน้ำตาลฟรุคโตส ต่างจากน้ำตาลทั่วไป (ซูโครส) ตรงที่ไม่มีผลกระทบต่อระดับน้ำตาลในเลือดหรือระดับอินซูลิน ทำให้เป็นทางเลือกที่ดี สำหรับผู้ที่เป็นหรือมีความเสี่ยงต่อโรคเบาหวานประเภท 2 (Wang et al., 2024)

ความหวาน: ดี-อัลลูลอสมีความหวานประมาณ 70-80% ของความหวานของน้ำตาลซูโครส (ซึ่งมีระดับความหวานประมาณ 100%) และไม่มีรสชาติที่ผิดปกติ หรือรสขม ทำให้เมื่อนำมาใช้ทดแทนน้ำตาลจะได้คุณลักษณะรสชาติที่ดีในผลิตภัณฑ์

พลังงาน: ดี-อัลลูลอสมีพลังงานประมาณ 0.2-0.4 กิโลแคลอรีต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส ถึง 10 เท่า (ซูโครส 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม)

ความละเอียด: ดี-อัลลูลอสมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก โดยมีขนาดอนุภาคประมาณ 1/10 ของขนาดของน้ำตาลประเภทอื่นๆ เช่น น้ำตาลไทยหรือน้ำตาลทราย ซึ่งทำให้น้ำตาลอัลลูลอสมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไป

คุณสมบัติทางเคมี: ดี-อัลลูลอสมีสมบัติทางเคมีที่ช่วยให้มีรสชาติหวานและลักษณะเคมีที่ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการเผาผลาญของร่างกาย เมื่อมีการบริโภคในปริมาณที่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีดี-อัลลูลอสรักษาระดับการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาการจัดเก็บได้ดี โดยจะชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยอัตโนมัติ และยืดระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารได้ (Sun et al., 2007) ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index: GI) ดี-อัลลูลอส มีค่า GI เป็น 0 ในขณะที่น้ำตาลซูโครส มีค่า GI อยู่ที่ 60 และน้ำตาลฟรุคโตส มีค่า GI อยู่ที่ 19-23 (Wee et al., 2018)

คุณสมบัติทางกายภาพ : ช่วยปรับโครงสร้างและรสชาติของเจล ให้ความหวานที่เหมาะสม เนื้อเนียน สัมผัสรับประทาน และคงตัวได้ดีในผลิตภัณฑ์อาหาร (Sun et al., 2006)

ข้อจำกัดทางด้านปริมาณ : จากการวิจัยแนะนำปริมาณที่เหมาะสมของการรับประทาน น้ำตาลอัลลูลอส ครั้งละไม่เกิน 0.4 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม/ครั้ง และปริมาณสูงสุดต่อวันรวมที่ 0.9 กรัม/ น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม / วัน (Han et al., 2010)

เอกสารรับรอง : ตั้งแต่ปี 2012 - ปัจจุบัน ดี-อัลลูลอส ได้รับการอนุมัติจากสำนักงาน คณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (the U.S. Food and Drug Administration (FDA).)

จัดให้น้ำตาลอัลลูลอสเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัย หรือ Generally recognized as safe (GRAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Food insight, 2021) นอกจากนี้ยังได้รับการอนุมัติในญี่ปุ่น เม็กซิโก สิงคโปร์ และเกาหลีใต้อีกด้วย (Healthline, 2022) โดยใบรับรองล่าสุดออกให้ในเดือน มกราคม 2024 (GRAS Notice No. GRN 001057, 2024)

ในปี 2019 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (the U.S. Food and Drug Administration (FDA).) ประกาศยกเว้นการนับปริมาณคาร์โบไฮเดรตของอัลลูลอส และได้รับการยกเว้นจากการติดฉลากเป็นน้ำตาล (Sugar) และไม่ถือเป็นน้ำตาลที่เติมแต่ง (Added Sugar) เพียงแต่ให้หน่วยพลังงานเพิ่ม 0.4 กิโลแคลอรีต่อกรัม ของปริมาณน้ำตาลอัลลูลอสที่ใส่ บนฉลากโภชนาการ (Tate & Lyle, 2021)

โดยอัลลูลอสมีคุณสมบัติเป็นที่นิยมน้อยกว่าแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากไม่กระตุ้นอินซูลิน ให้พลังงานร่างกายที่ต่ำมาก และไม่ทำให้ท้องอืดเหมือนน้ำตาล แอลกอฮอล์อย่างอิริทริทอล เพราะไม่ถูกย่อยด้วยกระบวนการหมักจากแบคทีเรียในลำไส้ นอกจากนี้ยังมีการวิจัยว่าปลอดภัยสำหรับการบริโภคในเด็ก (Risso et al., 2024) อัลลูลอสมีรสชาติและพื้นผิวคล้ายกับน้ำตาลทรายเกล็ดเล็กๆ แต่มีแคลอรีและคาร์โบไฮเดรตต่ำ เนื่องจากมีปริมาณแคลอรีต่ำและมีผลกระทบต่อระดับน้ำตาลในเลือดน้อยที่สุด จึงใช้อัลลูลอสแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มต่างๆ ให้ความหวานโดยไม่มีข้อเสียเหมือนน้ำตาลทราย ทำให้เป็นตัวเลือกยอดนิยมสำหรับผู้ที่ต้องการลดปริมาณน้ำตาล จึงนิยมที่จะใช้แทนน้ำตาลปกติในผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น เครื่องดื่ม, บาร์ของว่าง, น้ำสลัด, ลูกอม, พุดดิ้ง, ซอสและน้ำเชื่อม (กรุงเทพเคมิคัลส์) เพื่อเป็นทางเลือกใหม่และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่รักสุขภาพ กลุ่มคนที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่2 และกลุ่มผู้สูงอายุ ที่ยังชอบรสชาติอาหารที่มีรสหวาน

แม้ว่าน้ำตาลอัลลูลอส ประมาณ 70 - 80 % ของปริมาณที่บริโภคจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด แต่จะถูกขับออกทางปัสสาวะ โดยไม่ได้นำมาเผาผลาญเป็นพลังงาน ด้วยเหตุนี้ จึงไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือด หรือ อินซูลิน มีระดับที่เพิ่มขึ้นทำให้อัลลูลอสเป็นอีกหนึ่งทางเลือก ของสารให้ความหวานที่เหมาะสมกับ อาหารเพื่อสุขภาพ เช่น คีโตเจนิค ไดเอท และ โลว์-คาร์บ ไดเอท หรือผู้ที่กำลังมองหาสารให้ความหวานที่มีผลกระทบต่อระดับน้ำตาลในเลือดน้อยที่สุด (Tate & Lyle, 2021)

2.2 น้ำตาลทดแทน ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่ทราบกันว่าการบริโภคน้ำตาลมีความเกี่ยวข้องกับผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพหลายประการ รวมถึงภาวะน้ำหนักเกินและโรคเบาหวานประเภทที่ 2 ในปี ค.ศ.2015 องค์การอนามัยโลก (World Health Organization (WHO)) ได้ออกแนวปฏิบัติแนะนำให้ลดการบริโภคน้ำตาล สารให้ความหวานทางเลือกได้รับความสนใจในฐานะสารทดแทนน้ำตาลโดยไม่สูญเสียรสชาติหวานไป ได้มีการวิจัยมากมายซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ภาพรวมของวรรณกรรมทางวิทยาศาสตร์ และสร้างเครื่องมืออ้างอิงสำหรับสารให้ความหวาน โดยเน้นที่การเผาผลาญของสารเหล่านี้ โดยเฉพาะผลกระทบ สารให้ความหวานทางเลือกประกอบด้วยกลุ่มที่หลากหลาย ในปัจจุบันการลดหรือทดแทนน้ำตาลซูโครสโดยที่ยังคงรักษาความหวานในอาหารไว้นั้นเป็นเรื่องที่ท้าทาย (Teyssiere et al., 2024) มีสารให้ความหวานมากมายที่มีองค์ประกอบทางกายภาพและแคลอรีที่หลากหลายให้เลือก สารให้ความหวานสามารถปรับให้เข้ากับเป้าหมายในการใช้งานได้ ไม่ว่าจะเป็นการลดแคลอรี ลดระดับน้ำตาลในเลือด หรือการเลือกแหล่งที่มาของน้ำตาลได้

2.2.1 ชนิดของน้ำตาล และข้อมูลสำหรับการใช้งาน

ซูโครส (Sucrose) เป็นน้ำตาล ที่เรียกกันทั่วไปว่าน้ำตาลทราย เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) 2 ชนิด คือน้ำตาลฟรุกโทส และน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ น้ำตาลซูโครส เป็น non reduction sugar เพราะไม่มีหมู่ฟังก์ชันเหลืออยู่ในโมเลกุล

กลูโคส (Glucose) ให้ความหวาน 60% ของซูโครส ดูดซึมเร็ว เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) มีคาร์บอน 6 อะตอม (hexose) ชนิดแอลโดส (aldose) ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) น้ำตาลกลูโคสอาจเรียกว่า dextrose (หมายถึง D-glucose)

ฟรุกโทส (Fructose) มีความหวานมากกว่าซูโครสถึง 1.4 เท่า เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) มีคาร์บอน 6 อะตอม (hexose) เป็นน้ำตาลคีโทส (ketose) และเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar)

เดกซ์โทรส (Dextrose) คือน้ำตาลกลูโคส (glucose) ที่มีรูปแบบทางเคมีเป็น D-glucose ทางกายภาพยังนำมาใช้รักษาภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ ภาวะโพแทสเซียมในเลือดสูง ภาวะขาดน้ำ ใช้สำหรับ ผลิตเป็นเครื่องดื่มเกลือแร่ชนิดผงและชนิดน้ำ หวานน้อยกว่าซูโครส 20%

พาลาทีโนส หรือ ไอโซมอลทูโลส (Platinose or Isomaltulose) ผลิตจากซูโครสที่ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ส่งผลให้พันธะระหว่างโมเลกุลของกลูโคสและฟรุกโทสแข็งแรงมากขึ้น จากโครงสร้างนี้ทำให้ถูกย่อยและดูดซึมได้ช้า

กว่าซูโครสถึง 4 เท่า และมีรสชาติหวานน้อยกว่าซูโครส 50% มักใช้ใน Energy Gel สำหรับนักกีฬา เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลจากธรรมชาติ

หญ้าหวาน (รีโบดิโอไซด์ A) stevia (Rebaudioside A), สารให้ความหวานที่สกัดจากใบของพืช *Stevia rebaudiana* มีความหวานมากกว่าซูโครสถึง 10-15 เท่า และสารสตีวิโอไซด์ (Stevioside) ที่สกัดได้จากหญ้าหวาน มีความหวานมากกว่าซูโครสถึง 200-300 เท่า และไม่มีแคลอรี

สารสกัดจากหล่อฮังก้วย Monk Fruit Extract: หรือที่รู้จักกันในชื่อ หล่อฮังก้วย (โมโกรไซด์ V) Luo han guo (Mogroside V) สารให้ความหวานนี้ได้มาจากผลหล่อฮังก้วย ให้ความหวานมากกว่าซูโครสถึง 250 เท่า

น้ำหวานอากาเว Agave Nectar: น้ำเชื่อมหวานที่ทำจากน้ำยางของต้นอากาเว มีความหวานมากกว่าซูโครส 1.4-1.6 เท่า และมักใช้เป็นทางเลือกจากธรรมชาติ นิยมใช้กับเครื่องดื่มเย็น

อัลลูลูโลส หรือ ดี-ไซโคส (Allulose or D-psicose): เป็นน้ำตาลหายาก (Rare Sugar) เนื่องจากได้จำนวนน้อยมากจากพืช และมีราคาค่อนข้างสูง ให้ความหวาน 70% ของซูโครส

น้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol)

เอริทริทอล (Erythritol) ให้ความหวาน 60-70% ของซูโครส มีพลังงานประมาณ 0.2 กิโลแคลอรีต่อกรัม เป็นสารให้ความหวานที่เกิดจากกระบวนการหมักกลูโคสด้วยยีสต์ โดยมีรสชาติใกล้เคียงน้ำตาลทรายที่สุด ใช้เป็นยาขยายหลอดเลือดและรักษาคนที่ เป็นโรคความดันโลหิตสูง

แมนนิทอล (Mannitol) มีความหวานประมาณ 40-60% ของซูโครส มีพลังงานประมาณ 1.6 กิโลแคลอรีต่อกรัม การดูดซึมต่ำและไม่สามารถย่อยได้โดยเร็ว นิยมใช้ส่วนประกอบหลักของเม็ดอมและหมากฝรั่ง เพราะไม่ทำให้ฟันผุ ร่วมกับไซลิทอล

ไซลิทอล (Xylitol) ความหวานประมาณเท่ากับซูโครส แต่มีปริมาณแคลอรีประมาณ 2.4 กิโลแคลอรีต่อกรัม มีคุณสมบัติในการลดการเกิดฟัน มักถูกใช้เป็นสารหวานทดแทนในอาหารและเครื่องดื่มต่างๆ เช่น ขนม น้ำเชื่อม หรือผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

ซอร์บิทอล (Sorbitol) มีหวานประมาณ 60% ของซูโครส ควรระวังการบริโภคในปริมาณมาก เนื่องจากอาจทำให้เกิดผลข้างเคียง และมีผลกระทบต่อระบบขับถ่าย หรือเกิดอาการท้องผูกได้

มอลติทอล (Maltitol) สารให้ความหวานแคลอรีต่ำ มีหวานประมาณ 75-90% ของซูโครส คุณสมบัติของการรักษาความชื้นซึ่งช่วยให้อาหารเหนียนุ่ม ช่วยในการป้องกันการตกผลึก ไม่เกิดสีน้ำตาลและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

น้ำตาลสังเคราะห์

ซันทสกร (Saccharin) หนึ่งในสารให้ความหวานเทียมที่เก่าแก่ที่สุด ซันทสกรมีความหวานมากกว่าน้ำตาลประมาณ 300-400 เท่า มักใช้ในเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอสปาร์แตม (Aspartame) สารให้ความหวานแคลอรีต่ำ ให้ความหวานมากกว่าซูโครสประมาณ 200 เท่า มักใช้ในโซดาไดเอตและขนมหวานปราศจากน้ำตาล

อะซีซัลเฟม-K (Acesulfame-K) สารให้ความหวานที่ไม่มีแคลอรี ให้ความหวานมากกว่าซูโครสประมาณ 120 เท่า และมีความสามารถในการละลายน้ำสูง มีความเสถียรต่อความร้อน จึงสามารถใช้ในการปรุงอาหารและการอบได้ อาจมีรสขมหลังรับประทานเมื่อใช้เพียงอย่างเดียว โดยมักผสมกับสารให้ความหวานอื่นๆ (โดยปกติคือซูคราโลสหรือแอสปาร์แตม)

ซูคราโลส (Sucralose) สารให้ความหวานที่ไม่มีแคลอรี สกัดจากซูโครส ให้ความหวานมากกว่าซูโครสประมาณ 600 เท่า มีความคงตัวทางความร้อน จึงเหมาะสำหรับประกอบอาหารและการอบขนม (Chattopadhyay et al., 2014) (Ali et al., 2021) (Zhang et al., 2022)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าพลังงาน/กรัม และค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index (GI)) ของสารทดแทนน้ำตาล 16 ชนิด

Sweetener	Kcal (kcal/g)	Glycaemic Index	Provides Bulk	High Potency	Natural
Acesulfame-K	0.0	0		✓	
Allulose	0.2	0	✓		✓
Aspartame	4.0	0		✓	
Dextrose	3.4	100	✓		✓
Erythritol	0.2	0	✓		✓
Fructose	3.7	19-23	✓		✓
Luo han guo	0.0	0		✓	✓
Maltitol	2.7	36	✓		
Mannitol	1.5	0	✓		
Mixture ‡	2.1	-	✓		✓
Palatinose	4.0	32	✓		✓
Sorbitol	2.5	9	✓		
Stevia (RebA)	0.0	0		✓	✓
Sucralose	0.0	0			
Sucrose	4.0	60	✓		✓
Xylitol	2.5	13	✓		

‡ 1:1 sucrose – allulose mixture (weight basis). A ✓ indicates that the sweetener belongs to the respective category.

ที่มา : A comparison of psychophysical dose-response behavior across 16 sweeteners (Wee et al., 2018)

2.2.2 อาหารและเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลทดแทน

2.2.2.1 ประเภทของสินค้าปราศจากน้ำตาล สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. **อาหาร** อาหาร ของหวาน ของขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์นมและเบเกอรี่ที่ปราศจากน้ำตาล
2. **เครื่องดื่ม** รวมถึงโซดาไร้น้ำตาล น้ำผลไม้ ชา และกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารให้ความหวาน สารให้ความหวานจากธรรมชาติและสารให้ความหวานเทียมที่ปราศจากน้ำตาล โดยแบ่งสารให้ความหวานเป็น 2 ประเภท

สารให้ความหวานสังเคราะห์ ได้แก่ แบรินด์ Aspartame: 42.1% Sucralose: 38.7% Acesulfame-K: 19.2% (Grand View Research, 2023)

สารให้ความหวานจากธรรมชาติ ได้แก่ แบรินด์ Stevia: 62.5% Monk Fruit: 27.3% Allulose: 10.2% (Business Research Insights, 2023)

2.2.2.2 เทรนด์อาหารและเครื่องดื่มปราศจากน้ำตาลในสหรัฐฯ อเมริกาเหนือเป็นตลาดจำหน่ายสินค้าในกลุ่มปราศจากน้ำตาล (Sugar Free) ที่ใหญ่ที่สุดของโลก โดยข้อมูลจาก Mordor intelligence ระบุว่าปี 2566 สหรัฐฯ มีจำหน่ายสินค้าอาหารและเครื่องดื่มปราศจากน้ำตาล ประมาณ 19,170 ล้านเหรียญสหรัฐ อย่างไรก็ตามในปี 2571 สหรัฐฯ น่าจะมีมูลค่าการจำหน่ายสินค้าอาหารและเครื่องดื่มปราศจากน้ำตาลถึง 23,300 ล้านเหรียญสหรัฐ โดยในช่วงระหว่างปี 2566-2571 น่าจะมีการเติบโตเฉลี่ย 3.98%/ปี (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2024)

2.2.2.3 ปัจจัยส่งเสริมการขายตัวของตลาดอาหารและเครื่องดื่มปราศจากน้ำตาลในสหรัฐฯ มีดังนี้

- ความกังวลในเรื่องสุขภาพทำให้ผู้บริโภคตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพของน้ำตาลต่อสุขภาพมากขึ้น และทำให้ผู้บริโภคมองหาสินค้าทางเลือกที่ปราศจากน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น
- รายได้ที่เพิ่มขึ้นทำให้ผู้บริโภคมีความยินดีที่จะใช้จ่ายกับผลิตภัณฑ์ระดับพรีเมียมที่ดีต่อสุขภาพ
- นวัตกรรมที่มีการพัฒนาให้รสชาติอาหารดีขึ้นช่วยทำให้สินค้าที่ปราศจากน้ำตาลมีรสชาติดีขึ้นและเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกจากนี้สารให้ความหวานจากธรรมชาติ เช่น หญ้าหวานและสารสกัดจากผลไม้ ทำให้ผู้บริโภคเริ่มเปิดใจ และหันมาทดลองสินค้าปราศจากน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น
- เทรนด์การลดน้ำหนักและการออกกำลังกายที่กำลังเป็นที่นิยม ทำให้ชาวอเมริกันพยายามที่จะควบคุมน้ำหนักและรักษาสุขภาพ โดยหันมาบริโภคสินค้าที่มีแคลอรีต่ำและปราศจากน้ำตาล ซึ่งสารทดแทนน้ำตาลเป็นอีกหนึ่งวิธีในการลดปริมาณแคลอรีในร่างกายและสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองความต้องการความหวานได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวทำให้เกิดความสมดุลในไลฟ์สไตล์ของการควบคุมน้ำหนัก

- กลุ่มผู้บริโภคเฉพาะมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น เช่น ผู้ป่วยโรคเบาหวานหรือผู้ที่มีความไวต่อกลูเตน ดังนั้น สินค้าที่ปราศจากน้ำตาลจึงเป็นสินค้าทางเลือกที่เหมาะสมกับกลุ่มเฉพาะดังกล่าว
- หน่วยงานที่กำกับดูแลที่เกี่ยวข้องกับอาหารของสหรัฐฯ ได้ตระหนักถึงบทบาทของสารทดแทนน้ำตาล และได้มีการกำหนดกฎระเบียบที่ช่วยสนับสนุนการเติบโตของอุปทานในตลาด โดยมีกรอบการทำงานที่ชัดเจนสำหรับการใช้สารทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งหลักเกณฑ์ของ FDA ระบุไว้อย่างชัดเจนว่าอาหารที่จะ ‘ปราศจากน้ำตาล’ สามารถมีน้ำตาลที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเป็นส่วนประกอบหรือเติมน้อยกว่า 0.5 กรัม/มื้อ ซึ่งช่วยให้สินค้าปราศจากน้ำตาลที่มีน้ำตาลในปริมาณที่ต่ำมากสามารถเข้ามาสร้างโอกาสในตลาดสหรัฐฯ ได้

2.3 ส่วนประกอบของซอสมะขาม

2.3.1 มะขาม ชื่อวิทยาศาสตร์ *Tamarindus indica* L. ที่เรียกกันทั่วไปว่าต้นมะขามเป็นพืชตระกูลถั่วที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง เป็นไม้เขตร้อน มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกาแถบประเทศมาดากัสการ์, ประเทศซูดาน, ประเทศแคเมอรูน, ประเทศไนจีเรีย, ประเทศเคนยา, ประเทศแซมเบีย, และประเทศแทนซาเนีย ต่อมามีการนำเข้ามาในแถบประเทศเขตร้อนของเอเชียและประเทศแถบลาตินอเมริกา และในปัจจุบันมีมากในประเทศเม็กซิโก (Rivers & Mark, 2017) ส่วนที่มีคุณค่าและใช้กันมากที่สุดคือผล เนื้อผลของมะขามประกอบด้วยผลสุก 30–50 % เปลือกและเส้นใยคิดเป็น 11–30 % และเมล็ดพืชประมาณ 25–40 % มะขามมักใช้เป็นยารักษาสุขภาพทั่วเอเชีย แอฟริกา และอเมริกา ผลิตภัณฑ์จากมะขาม ใบไม้ ผลไม้ และเมล็ดพืช ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการแพทย์อายุรเวทของอินเดียและยาแผนโบราณของแอฟริกา (Glicksman, 2020)

มะขามในภาษาอังกฤษใช้คำว่า tamarind ซึ่งมาจากภาษาอาหรับ: تمر هندي (tamr hindi) แปลว่า Indian date ชื่อมะขามในภาคต่าง ๆ เรียก มะขามไทย ภาคกลาง ขาม ภาคใต้ ตะลุม โคราช ม่วงโคล้ง (กะเหรี่ยง-กาญจนบุรี) อำเปยล เขมร จังหวัด สุรินทร์

มะขามเป็นพันธุ์ไม้มงคลพระราชทานและต้นไม้ประจำจังหวัดเพชรบูรณ์ มะขามในไทยมีสองชนิดคือมะขามเปรี้ยวและมะขามหวาน โดยมะขามหวานมีหลายพันธุ์เช่น พันธุ์น้ำผึ้ง อินทผลัม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมื่นจง สีทอง ในบางครั้งจะเรียกมะขามตามลักษณะของฝัก เช่น มะขามขี้แมว คือมะขามฝักกลม มะขามกระดาน คือมะขามฝักแบน มะขามข้อเดียวคือมะขามที่ฝักมีข้อเดียวออกกลมป้อม

มะขามเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่แตกกิ่งก้านสาขามากไม่มีหนาม เปลือกต้น ขรุขระและหนา สีน้ำตาลอ่อน ใบ เป็นใบประกอบ ใบเล็กออกตามกิ่งก้านใบเป็นคู่ ใบย่อยเป็นรูปขอบขนาน ปลายใบและโคนใบมน ประกอบ ด้วยใบย่อย 10–15 คู่ แต่ละใบย่อยมีขนาดเล็ก กว้าง 2–5 มม. ยาว 1–2 ซม. ออกรวมกันเป็นช่อยาว 2–16 ซม. ดอก ออกตามปลายกิ่ง ดอกมีขนาดเล็ก กลีบดอกสีเหลืองและมีจุดประสีแดง/ม่วงแดงอยู่กลางดอก ผลเป็นฝักยาว รูปร่างยาวหรือโค้ง ยาว 3–20 ซม. ฝักอ่อนมีเปลือกสีเขียวอมเทา สีน้ำตาลเกรียม เนื้อในติดกับเปลือก เมื่อแก่ฝัก เปลี่ยนเป็นเปลือกแข็งกรอบหักง่าย สีน้ำตาล เนื้อในกลายเป็นสีน้ำตาลหุ้มเมล็ด เนื้อมีรสเปรี้ยว และ/หรือหวาน ซึ่งฝักหนึ่ง ๆ จะมี/หุ้มเมล็ด 3–12 เมล็ด เมล็ดแก่จะแบนเป็นมัน และมีสีน้ำตาล ใบของ มะขามเป็นใบประกอบแบบขนนก (pinnately compound leaves) ใบย่อยแต่ละใบแยกออกจาก ก้าน 2 ข้างของแกนกลาง คล้ายขนนก

มะขามใช้ทำอาหารได้หลายส่วน ทั้งใบอ่อน ฝักอ่อน ฝักแก่ และเมล็ดนำมาคั่วรับประทานได้ และยังใช้ทำขนมได้อีกหลายชนิด ยอดและใบมะขามอ่อนนำไปยำหรือใส่ในต้มเพื่อเพิ่มรสเปรี้ยว

มีการใช้สารสกัดจากเมล็ดมะขามบริสุทธิ์ในญี่ปุ่นมาตั้งแต่ปี 1964 เพื่อเป็นสารเพิ่มความข้น (thickener), สารก่อเจล (gelling agent) และสารทำให้คงตัวในอาหารแปรรูปประเภทต่างๆ เนื่องจากพบว่าผงเมล็ดมะขาม มีคุณสมบัติเหมือน กัวร์กัม (Guar gum), กัมจากถั่วโลคัส (Locust bean gum), และกัมจากถั่วชนิดอื่นๆ (Glicksman, 2020)

มะขามเปียก ทำจากมะขามฝักแก่เป็นเครื่องปรุงรสเปรี้ยวที่สำคัญในอาหารไทย ทั้งแกงส้ม ต้มส้ม ไข่ลูกเขย น้ำปลาหวาน มะขามเปียกอุดมด้วยกรดอินทรีย์ อาทิ กรดซิตริก (Citric Acid) กรด ทาร์ทาริก (Tartaric Acid) หรือกรดมาลิก (Malic Acid) เป็นต้น

งานวิจัยพบว่ามะขามเปียกมีสารต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต้านเบาหวาน ภาวะไขมันในเลือดต่ำ และต้านแบคทีเรีย (Lim et al., 2013)

สรรพคุณของมะขามเปียก

ขับเสมหะ ลดอาการไอ มะขามมีวิตามินซีสูง และมีกรดทาร์ทาริกจึงมีส่วนช่วยในการบรรเทา อาการไอ กระตุ้นต่อมน้ำลายให้ผลิตน้ำลายมากขึ้น และช่วยขับเสมหะ หากมีอาการไอไม่มากก็ผสมน้ำ มะขามกับน้ำอุ่น เติมน้ำผึ้ง เพื่อจิบแก้ไอก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับถ่าย มะขามเปียกมีรสชาติเปรี้ยว มีฤทธิ์ช่วยในการขับถ่าย เพราะฉะนั้นหากบริโภคมากเกินไปก็อาจเป็นยาระบายอ่อนๆ ได้ ดังนั้นไม่ควรใช้มะขามแทนยา หากมีอาการท้องผูก แล้วต้องการใช้เป็นยา ควรปรึกษาแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

ขับปัสสาวะ เนื่องจากมะขามมีฤทธิ์ช่วยให้การขับถ่าย และมีสารที่ช่วยขับฟลูออไรด์ในปัสสาวะ ก็ช่วยเรื่องนี้ได้ ช่วยลดการเกิดนิ่วในไต แต่ก็ไม่สามารถใช้เป็นยารักษาได้

ผลัดเซลล์ผิว สาร AHA ที่ช่วยผลัดเซลล์ผิวนี้นพบในมะขามสูงมาก คนสมัยก่อนจึงนิยมนำมะขามมาขัดผิว โดยในปัจจุบันก็ยังใช้อยู่ด้วยการผสมกับสมุนไพรต่าง ๆ

ตาราง 2.2 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของ น้ำมะขามเปียก กระทรวงสาธารณสุข, 2018

ที่มา : กลุ่มวิจัยอาหารเพื่อโภชนาการ สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข		
มะขามเปียก (Tamarind, pods)		
กลุ่มอาหาร (Food Group) : ผักและผลิตภัณฑ์ (Vegetables and their products)		
กลุ่มอาหารย่อย : ไม่ระบุ		
ปริมาณ (portion) : 100 g		
สารอาหาร (Nutrient)	หน่วย/Unit	ปริมาณ
Main nutrients		
energy(Energy)	kcal	317.6
water	g	19
protein	g	2
fat	g	0.8
carbohydrate, available (Carbohydrate, total)	g	75.6
DietaryFibre (Crude fibre)	g	0
Ash	g	2.6
Minerals		
calcium	mg	314
phosphorus	mg	-
magnesium	mg	-
sodium	mg	-
potassium	mg	-
iron	mg	-
copper	mg	-
zinc	mg	-
iodine	ug	-
Vitamins		
betacarotene	ug	0
retinol	ug	-
total vitamin A (RAE)	ug	0
thiamin	mg	0.34
riboflavin	mg	-
niacin	mg	2.6
vitamin C	mg	13
vitamin E	mg	-
Other		
sugar	g	-
cholesterol	mg	-

หมายเหตุ

"-" หมายถึง ไม่พบสารอาหารจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

ที่มา: กลุ่มวิจัยอาหารเพื่อโภชนาการ กรมอนามัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 น้ำตาลมะพร้าว

2.3.2.1 ประวัติความเป็นมาของน้ำตาลมะพร้าว

การทำน้ำตาลมะพร้าว เป็นอาชีพดั้งเดิมอยู่คู่จังหวัดสมุทรสงครามมาช้านานกว่า 200 ปี ซึ่งบริเวณใกล้ปากอ่าวลุ่มน้ำแม่กลองเต็มไปด้วยพื้นที่สวนปลูกมะพร้าวและมีการทำน้ำตาลมะพร้าวในบริเวณบางนางจันและบางขันแตกกันเป็นส่วนมาก (ปัจจุบัน เป็นตำบลท้ายหาด และตำบลบางขันแตก อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม)

การทำน้ำตาลมะพร้าว เป็นการนำน้ำตาลสดที่ได้จากช่อดอกมะพร้าว ที่เรียกว่า “จั่น” มาเคี่ยวด้วยความร้อนให้ระเหยจนเหลือแต่น้ำเหนียวข้นและเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งเมื่อเย็นตัว เรียกว่า น้ำตาลปึก และน้ำตาลปีบ ขั้นตอนการทำน้ำตาลมะพร้าวเริ่มตั้งแต่ปลูกมะพร้าว การลงตาลหรือการโน้มจั่น การปาดตาล การเก็บน้ำตาลสด การเคี่ยวตาล การหยอดน้ำตาลปึกและการเทใส่ปีบ (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2022)

2.3.2.2 น้ำตาลมะพร้าว ผสมน้ำตาลอ้อย

มีการผลิตน้ำตาลมะพร้าวแนวทางใหม่ รู้จักกันดีว่า “เตาหลอม” ส่วนประกอบหลักเป็นน้ำตาลทราย ผสมแะแซ แล้วเติมน้ำหวานจากวงมะพร้าวเข้าไปไม่มากนัก สนนราคาขายอาจจะไม่สูง สาเหตุที่มีเตาหลอมเพราะต้องการลดต้นทุนการผลิต อีกเหตุผลหนึ่ง ต้องการขนให้ได้ไกลๆ อยู่นานๆ เนื่องจากน้ำตาลมะพร้าวแท้ ไม่แข็งเหมือนน้ำตาลมะพร้าวหลอม การเก็บรักษาน้ำตาลมะพร้าวแท้ ต้องอยู่ในที่เย็น จึงจะอยู่ได้นานๆ

การทำน้ำตาลมะพร้าวผสมน้ำตาลอ้อย หรือน้ำตาลมะพร้าวผสมน้ำตาลทรายมีการทำกันมาก ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลขนาดใหญ่ เพราะต้นทุนการผลิตต่ำ มีการใส่น้ำตาลทราย ใส่แะแซ ใส่แป้งมันสำปะหลัง เพราะวัตถุดิบเหล่านี้มีราคาถูกกว่ามาก และเหตุผลที่ต้องใส่ก็เพราะต้องการให้น้ำตาลมีความแข็งไม่แตกหักง่ายระหว่างการเดินทาง ซึ่งเป็นน้ำตาลที่ต้องส่งไปในระยะทางไกล ๆ

โดยในการอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลขนาดใหญ่ น้ำตาลมะพร้าวมีการแต่งกลิ่น และมีปริมาณน้ำตาลซูโครสที่สูงมาก โดยการสังเกตน้ำตาลมะพร้าวผสมน้ำตาลทราย คือ มีรสหวานแหลม, เวลาบิดู น้ำตาลจะติดนิ้ว ซึ่งเป็นผลมาจากการใส่แะแซทำให้เหนียวติดนิ้วมือ โดยถ้าผสมน้ำตาลทรายมากก็จะแข็งมาก หักหรือบิออกยาก เมื่อนำไปละลายทำซอส ซอสจะใส ไม่หอม และใช้เวลาเคี่ยวนานกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทส. ให้ความสำคัญสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 น้ำปลา

น้ำปลา (fish sauce) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นเครื่องปรุงรส (condiment) เป็นของเหลวมีรสเค็ม ใช้ปรุงแต่งกลิ่นรสของอาหารไทยเป็นเครื่องปรุงรสที่ได้จากการหมักปลา กับเกลือให้มีรสเค็ม และกลิ่นชวนรับประทาน เป็นส่วนผสมสำคัญของแกงและน้ำจิ้มหลายชนิด น้ำปลาเป็นส่วนผสมสำคัญของอาหารในประเทศเวียดนาม ไทย ลาว กัมพูชา และฟิลิปปินส์ และใช้อีกหลายประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ น้ำปลายังใช้เป็นน้ำจิ้มในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ปลา กุ้ง หมู และไก่ ส่วนทางตอนใต้ของจีน จะใช้น้ำปลาเป็นส่วนผสมของน้ำซุปรวมอาหารตุ๋น

น้ำปลาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักปลากับเกลือซึ่งเป็นกรรมวิธีการแปรรูป ที่เป็นที่รู้จักกันทั่วไปในเอเชีย อาเซียน โดยเฉพาะประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศที่ผลิตน้ำปลามากที่สุดประเทศหนึ่ง ซึ่งน้ำปลาในแต่ละประเทศจะมีชื่อเรียกต่างๆ กันไป เช่น ภาษาฟิลิปปินส์ เรียกว่า ปาติส (Patis), ภาษาเวียดนามเรียกว่า เนื้อม้าม (Nuoc mām) ส่วนชาวแต้จิ๋วเรียกว่า หื้อโฮล่ว (魚露) เป็นเคล็ดลับทำให้อาหารอร่อย เป็นหนึ่งใน "สามรัตนของอาหารแต้จิ๋ว" (อันประกอบด้วยน้ำปลา หัวไชโป้ว และเกี๊ยมไฉ่) เป็นต้น

2.3.3.1 ประเภทของน้ำปลา สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ตามลักษณะของกรรมวิธีการผลิต ได้ดังนี้

น้ำปลาแท้ คือ น้ำปลาที่ได้จากการหมัก หรือย่อยปลา หรือส่วนของปลา หรือกากของปลาที่เหลือจากการหมักตามกรรมวิธีการผลิตน้ำปลา

น้ำปลาผสม คือ น้ำปลาแท้ หรือน้ำปลาที่ทำจากสัตว์อื่น ที่มีสิ่งอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเจือปน หรือมีการปรุงแต่งกลิ่นรส

น้ำปลาที่ทำมาจากสัตว์อื่น คือ น้ำปลาที่ได้จากการหมัก หรือย่อยสัตว์อื่นที่ไม่ใช่ปลา หรือส่วนของสัตว์อื่น หรือกากของสัตว์อื่นที่เหลือจากการหมักตามกรรมวิธีการผลิตน้ำปลา และให้หมายความรวมถึงน้ำปลาที่ทำจากสัตว์อื่นที่มีน้ำปลาแท้ผสมอยู่

2.3.3.2 กรรมวิธีการผลิตน้ำปลาแท้

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำปลา คือ ปลาสด การผลิตเพื่อให้ได้น้ำปลาคุณภาพดี นิยมใช้ ได้แก่ ปลากระตักใหญ่ หรือ เรียกว่า ปลาไส้ตัน ขั้นตอนที่สำคัญคือ การนำปลาไปผสมกับเกลือ และใส่ถังหมักให้เร็วที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตน้ำปลา เป็นการถนอมอาหาร (food preservation) ด้วยวิธีการหมักเกลือ (salt curing) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักน้ำปลา คือ การใช้เกลือในการควบคุม จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ เช่น จุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) ที่จะติดมากับปลา น้ำทะเล และเกลือ รวมทั้งควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ที่จะก่อให้เกิดการเน่าเสีย (microbial spoilage) ของปลา และ ป้องกันการเกิดสารฮีสตามีน (histamine)

จุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้และมีบทบาทสำคัญในการหมักน้ำปลาเป็นแบคทีเรียที่ชอบเกลือ (Halophilic bacteria) ซึ่งสร้างเอนไซม์โปรตีเอส (protease) ขึ้นมา ร่วมกับเอนไซม์โปรตีเอสที่มาจากในระบบทางเดินอาหารของปลา จะย่อยสลายโปรตีนในเนื้อปลา เนื้อปลาที่ใช้หมักน้ำปลาใช้ได้ทั้งปลาน้ำจืด หรือปลาทะเล เพราะเป็นโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ การหมักทิ้งไว้นานๆ เนื้อปลาจะถูกย่อยได้หมดเป็นกรดอะมิโน ที่ละลายอยู่ในของเหลวที่ออสโมซิส (Osmosis) ออกมาจากตัวปลา ทำให้น้ำปลามีสารอาหารที่เป็นประโยชน์และง่ายต่อการนำไปใช้งานของร่างกาย ทั้งทำให้เกิดกลิ่นหอม และเกิดรสอูมามิ ให้ได้รสชาติที่อร่อย ระยะเวลาในการหมักอาจต่างกันไปบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของปลา ปลาที่ใช้มักใช้ปลาขนาดเล็ก เพราะปลาตัวโตการย่อยจะช้าลง

น้ำปลาที่ผ่านการหมักจะเกิดสีน้ำตาลทอง จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ (Non enzymatic browning reaction) เรียกว่า Maillard reaction ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโนกับน้ำตาลชนิดต่างๆ สีของน้ำปลาจะเข้มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงและมีออกซิเจน

2.3.3.3 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำปลา

น้ำปลาประกอบด้วยเกลือ 27-28 กรัม สารอินทรีย์ไนโตรเจน 0.6-2 กรัม แอมโมเนียม ไนโตรเจน 0.2-0.7 กรัม ใน 100 มิลลิลิตรของน้ำปลา ซึ่งจะให้ไนโตรเจนแก่ร่างกาย 7.5% จากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ร่างกายได้รับเข้าไป 40 กรัมต่อคนต่อวัน

น้ำปลาเป็นแหล่งใหญ่ของแร่ธาตุ และกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) โดยเฉพาะ "ไลซีน" (LYSINE) ซึ่งมีปริมาณสูงพอที่จะทดแทนการขาดไลซีนในคนที่รับประทานข้าวเป็นอาหารหลักได้อย่างเพียงพอ และน้ำปลายังมีวิตามินบี 12 (Vitamin B12) ซึ่งพบน้อยมากในอาหารชนิดอื่น

2.3.3.4 มาตรฐานคุณภาพของน้ำปลา

คุณภาพของน้ำปลาแท้ (สถาบันมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย ม.อ.ก.) ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้:

- จะต้องมีกลิ่นและรสชาติของน้ำปลาแท้ ต้องใส สะอาด ไม่มีวัตถุอื่นเจือปน ยกเว้น วัตถุที่ได้มาจากการบวนการหมักทางธรรมชาติเท่านั้น (ต้องไม่เกิน 0.1 กรัมต่อ 1 ลิตร)

- มีส่วนผสมของเกลือ (เกลือโซเดียมคลอไรด์) ไม่ต่ำกว่า 200 กรัมต่อ 1 ลิตร

- ต้องมีปริมาณของโปรตีนไม่ต่ำกว่า 9 กรัมต่อ 1 ลิตร

- มีกรดแอมิโนไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 40- 60% ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

- มีกรดกลูตามิก (Glutamic acid) ประกอบของไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.4-0.8

- ไม่เจือสีใดๆ ยกเว้นสีที่ได้จากน้ำตาลคาราเมล

- ไม่ใส่สารให้รสหวาน (sweetener) ใดๆ ยกเว้นน้ำตาล

2.3.3.5 อายุการเก็บรักษาของน้ำปลา

น้ำปลามีอายุการเก็บรักษาได้ประมาณ 3 ปี ขณะที่ยังไม่ได้เปิดใช้ และหลังจากเปิด น้ำปลาใช้แล้ว ควรปิดฝาให้สนิทเสมอ

2.3.4 ดอกเกลือ

ดอกเกลือ (Fleur de sel, flower of salt) คือ เกลือที่ได้จากการทำนาเกลือ เหมือนกับเกลือทะเล แต่ต่างจากเกลือทะเลธรรมดา คือ เกลือทะเลจะรอให้น้ำระเหยออกไปจนหมดแล้วตกผลึกเป็นเกลือ ส่วนดอกเกลือจะเป็นเกลือชุดแรกที่ลอยตัวขึ้นมาเกาะตัวเป็นแพบนผิวน้ำ จากนั้นชามานาเกลือก็นำเอาดอกเกลือเหล่านี้มาเก็บไว้ก่อนที่จะจมลงไปใต้น้ำ ดอกเกลือจึงมีความบริสุทธิ์กว่าเกลือทะเลธรรมดา

ดอกเกลือบริสุทธิ์ เป็นผลผลิตเริ่มแรกในการทำนาเกลือ จะมีจำนวนไม่มาก เมื่อเทียบกับปริมาณเกลือเม็ดที่ได้ มีความเค็มน้อยกว่าเกลือเม็ดปกติ ดอกเกลือบริสุทธิ์ได้ถูกช้อนขึ้นมาจากเหนือนาเกลือทะเล ไม่สัมผัสพื้นดิน ไม่ตากฝุ่นตากลม ทำให้ดอกเกลือมีความบริสุทธิ์สะอาด ไม่ต้องผ่านกระบวนการล้าง โม่ หรือขัดสี เหมือนเกลือเม็ดทั่วไป ดอกเกลือบริสุทธิ์จะมีคุณภาพสูงและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุดมไปด้วยแร่ธาตุหลายชนิดที่สำคัญต่อร่างกาย อาทิเช่น มีไอโอดีนสูง โปรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส คลอไรด์ และแมงกานีส มีประจุบวกหรือลบของแร่ธาตุ (ion) คลอไรด์ ซัลเฟต ไบคาร์บอนเนต ฯลฯ ตลอดจนสารอาหารขนาดเล็ก (micronutrients) และที่สำคัญมีโซเดียมต่ำกว่าเกลือแกงทั่วไป อีกทั้งดอกเกลือ มีค่าความชื้นสูงกว่าเกลือธรรมดา ประมาณ 5 เท่า จึงสามารถนำพาแร่ธาตุซึมซับเข้าสู่ เซลล์ของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าเกลือทั่วไป จึงมีการนำดอกเกลือมาทำผลิตภัณฑ์สปา อบผิว รักษาโรคผิวหนัง และผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ซึ่งเป็นที่นิยมมากในชนชั้นสูงของชาวฝรั่งเศส

Fleur de Sel (Fleur=Flower, des=of, Sel=Salt) หรือ “Flower of salt” ที่มาจากฝรั่งเศสและมีราคาแพงมาก ซึ่งชาวนาเกลือในประเทศไทยก็ได้ผลิตดอกเกลือมานานนับร้อยปีมาแล้ว โดยเฉพาะที่บ้านบางตะปูน ตำบลลาดใหญ่ อำเภอมืองจังหวัดสมุทรสงคราม หรือที่ตำบลบางแก้ว อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ดอกเกลือเป็นผงเล็กๆ มีสีสีขาวเป็นประกายแวววาว ลอยจับตัวกันเป็นแพอยู่เหนือน้ำผิวนาเกลือ ชาวนาเกลือจะต้องตื่นแต่เช้าตรู่ เพื่อรีบซื้อดอกเกลือ ก่อนที่แสงแดดและสายลมจะทำให้ดอกเกลือจมลงด้านล่าง ดอกเกลือที่เก็บได้ในเวลาเช้าตรู่มีไอโอดีนสูงเป็นดอกเกลือที่สะอาด เพิ่งเกิดใหม่ๆ ไม่ได้สัมผัสกับพื้นดิน หรือตากลม มีแร่ธาตุหลายชนิดที่สำคัญต่อร่างกายสูงมาก จึงมีคุณภาพสูง อีกทั้งเพราะมีปริมาณน้อย ราคาจึงแพง ดอกเกลือกับเกลือที่รับประทานมาจากน้ำทะเลเหมือนกัน มีแร่ธาตุโซเดียม และคลอไรด์เป็นหลักเหมือนกัน แต่มีความต่าง โดยเกลือที่ใช้รับประทานเป็นเกลือที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์โดยเติม สารฟอกสีให้ขาว มีค่าความชื้นต่ำ

2.4 การพาสเจอร์ไรซ์และการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซอส

กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) เป็นเทคนิคในการถนอมอาหารที่ใช้ความร้อนในระดับที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารมากนัก (Fellows, 2017) ซึ่งนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเหลว เช่น นม น้ำผลไม้ และซอส เนื่องจากสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มความปลอดภัยในการบริโภค

ในกรณีของซอส โดยเฉพาะซอสที่มีความเป็นกรดสูง เช่น ซอสมะขาม (pH ต่ำกว่า 4.6) กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์มีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและช่วยควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Holdsworth & Simpson, 2007) กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ที่เหมาะสมอาจใช้

รูปแบบ อุณหภูมิต่ำ-เวลานาน (Low Temperature Long Time: LTLT) โดยให้ความร้อนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 63–70°C เป็นเวลานานพอสมควร (เช่น 30 นาที) เพื่อให้แน่ใจว่าการฆ่าเชื้อมีประสิทธิภาพ โดยยังรักษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไว้ (Jay, Loessner, & Golden, 2005) กระบวนการ LTLT เป็นวิธีการถนอมอาหารด้วยความร้อนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ จากข้อมูลของ Center for Research on Ingredient Safety (CRIS) ระบุว่า วิธี LTLT นี้มักใช้ในกระบวนการผลิตขนาดเล็ก เช่น ซอสและเครื่องปรุงรสต่าง ๆ เนื่องจากสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากนัก นอกจากการควบคุมทางความร้อนแล้ว การนำกระบวนการ LTLT มาใช้ในผลิตภัณฑ์ซอสมะขาม ซึ่งมีค่า pH ต่ำ สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษา การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการควบคุมคุณภาพทางจุลชีววิทยา และคุณลักษณะทางกายภาพเคมี เช่น ค่า pH, ค่าความหนืด, สี และความสม่ำเสมอของเนื้อผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเลือกใช้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่เหมาะสมและการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด จึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสที่ปลอดภัยและมีคุณภาพสำหรับผู้บริโภค

2.5 กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ซอส

เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ซอสที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพและความปลอดภัยต่อผู้บริโภคตามหลักเกณฑ์ของหน่วยงานกำกับดูแล ผู้วิจัยได้นำแนวทางจาก ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563 (กระทรวงสาธารณสุข, 2563) เรื่อง “อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท” มาใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ซอสมะขามในงานวิจัยฉบับนี้ตามข้อ 26.1 ของประกาศดังกล่าวได้กำหนดว่า ซอสที่เก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (เช่น ถุงออลูมิเนียมฟอยล์หรือขวดแก้ว) และสามารถเก็บรักษาได้ในอุณหภูมิห้อง ต้องผ่านกระบวนการทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่อาจก่อให้เกิดอันตราย โดยมีข้อกำหนดด้านจุลชีววิทยาที่สำคัญ ดังนี้

- เชื้อแซลโมเนลลา (*Salmonella spp.*) ต้องไม่พบในผลิตภัณฑ์ปริมาณ 25 กรัม
- เชื้อสแตฟิโลค็อกคัส (*Staphylococcus aureus*) ต้องไม่พบในผลิตภัณฑ์ปริมาณ 0.1 กรัม
- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ต้องไม่เกิน 10^4 cfu/g
- ยีสต์และรา (Yeasts and Molds) ต้องไม่เกิน 100 cfu/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา และสามารถบริโภคได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำแนวทางดังกล่าวมาใช้เป็นเกณฑ์สำหรับประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ซอสมะขามในงานวิจัยนี้

2.6 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ซอสสำเร็จรูป

อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ซอสสำเร็จรูป (shelf life) หมายถึงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์ยังคงสภาพคุณภาพที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อการบริโภค ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บของซอสสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายด้าน ดังนี้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH): ซอสที่มีค่า pH ต่ำ (< 4.5) มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์ต่ำ ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

Water activity (a_w) ที่ต่ำ (< 0.85) ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้ผลิตภัณฑ์คงคุณภาพได้นาน (Yun et al., 2007)

องค์ประกอบของสูตร: การใช้ส่วนผสมที่มีคุณสมบัติต้านจุลชีพ เช่น เกลือ น้ำตาล หรือน้ำส้มสายชู ช่วยชะลอการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ (Kumar & Singh, 2023)

กระบวนการผลิต: การใช้ความร้อน เช่น พาสเจอร์ไรซ์หรือรีทอร์ทสเตอริไลซ์ ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บของซอสได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Nicosia et al., 2021)

บรรจุภัณฑ์: บรรจุภัณฑ์ชนิดที่ป้องกันอากาศ ความชื้น และแสง เช่น ซองอลูมิเนียมฟอยล์ มีบทบาทสำคัญในการรักษาคุณภาพของซอสระหว่างการเก็บ

สภาพแวดล้อมการเก็บ: การเก็บในที่เย็น แห้ง และหลีกเลี่ยงแสงแดด ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองทำซอสมะขามในรูปแบบพร้อมใช้งาน ศึกษาผลของปริมาณสัดส่วนของน้ำตาลอัลลูโลส ในการทดแทนน้ำตาลมะพร้าวในสูตรมาตรฐานและวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพ คุณภาพทางประสาทสัมผัส รวมถึงการหาอายุการเก็บของซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนาได้

จากการสืบค้นงานวิจัย พบว่ามีการนำดี-อัลลูโลสมาใช้ในการทดแทนน้ำตาลในการทำผลิตภัณฑ์สุขภาพ และมีการนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างในด้านคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ดี-อัลลูโลสกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ ในภาพรวมนั้นการศึกษาผลของดี-อัลลูโลส เพื่อใช้ทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ต่างๆ พบว่ามีผลลัพธ์ที่ช่วยลดภาวะต่างๆที่เกิดจากน้ำตาลซูโครสได้ดี

Sun et al. (2006, 2008) รายงานว่าการเติม ดี-อัลลูโลส ในผลิตภัณฑ์อาหารช่วยปรับโครงสร้างและรสชาติของเจล รวมทั้งเพิ่มคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีดี-อัลลูโลสรักษาระดับการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาการจัดเก็บได้ดี โดยจะชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ และยืดระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารได้ ซึ่งจะให้ความหวานที่เหมาะสม เนื้อเนียน สัมผัสรับประทาน และคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารได้ดี

Sun et al. (2007) ได้ทดลองเติม D-psicose ลงในวัตถุดิบของพุดดิ้งคัสตาร์ด (Psi-CP) เพื่อใช้ทดแทนซูโครสในสูตร ในการพัฒนาของหวานที่มีประโยชน์ชนิดใหม่ ทำการวัดการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งคัสตาร์ดที่ปรุงสุกรวมถึงการประเมินโดยวิธีการต่างๆ ผลการวิจัยพบว่าสารสกัดเอธานอลจาก Psi-CP มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระอย่างมากและลดพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากผลิตภัณฑ์พุดดิ้งคัสตาร์ด ที่มีน้ำตาลในสูตรปกติ (ซูโครสและดี-ฟรุคโตส) การประเมินเชิงปริมาณของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยพิจารณาจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่า Trolox (TEAC) ได้ดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบ Psi-CP กับผลิตภัณฑ์พุดดิ้งเชิงพาณิชย์ ในบรรดาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่ทดสอบทั้งหมด Psi-CP มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ข้อมูลเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า Psi-CP มีสารต้านอนุมูลอิสระจำนวนมากที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา Maillard ในระหว่างกระบวนการทำ ดังนั้นจึงพบว่า พุดดิ้งคัสตาร์ดที่ใช้น้ำตาล D-psicose เป็นของหวานที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันโรคบางชนิดที่เกี่ยวข้องกับภาวะ Oxidative stress

Chung et al. (2012) ทำการวิจัยทางคลินิกและในสัตว์ทดลองแสดงให้เห็นว่า D-Psicose ซึ่งเป็นโมโนแซ็กคาไรด์ที่ไม่เป็นพิษ ซึ่งช่วยลดการเพิ่มระดับน้ำตาลหลังการบริโภคคาร์โบไฮเดรต ทำให้

ภาวะไขมันในเลือดต่ำ และต้านอนุมูลอิสระ และได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีส่วนช่วยลดการเกิดไขมันเอกสารถีนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอกตับ และรักษาระดับอินซูลินที่เหมาะสม ทำให้ป้องกันโรคเบาหวาน และลดภาวะแทรกซ้อนของโรค ทำให้เป็นตัวเลือกที่ดี สำหรับโรคเบาหวาน ประเภท 2 ซึ่งบ่งบอกถึงประโยชน์ที่เป็นไปได้ของการทดแทนน้ำตาลซูโครสด้วย D-Psicose

Hadipernata et al. (2016) ทำการทดลองโดยใช้ดี-อัลลูโลส (Alu) แทนซูโครส(Suc) ในการทำไส้กรอกอกไก่ โดยอัตราส่วน (w/w) ของ Alu ต่อ Suc ที่เติมลงในเนื้อไส้กรอกคือ 0/1 (A0S1), 3/7 (A3S7), 7/3 (A7S3) และ 1/0 (A1S0) ต่อปริมาณซูโครสที่ใช้ โดยปริมาณซูโครสที่ใช้ทั้งหมดคือ 2.5% ของน้ำหนักเนื้ออกไก่สับ พบว่าการแทนที่ซูโครสด้วยดี-อัลลูโลสไม่ส่งผลต่อการสูญเสียปริมาณน้ำจากการปรุง และไม่ส่งผลต่อความยืดหยุ่นของไส้กรอกอกไก่ แต่การแทนที่ด้วยดี-อัลลูโลส 100% ทำให้ความหนืดลดลง 10% และน้ำลดลง 31% ความแตกต่างที่มีนัยสำคัญปรากฏในคุณสมบัติทางรีโอโลยี (the rheological properties) ของความยืดหยุ่น ความหนืด และความสามารถในการกักเก็บน้ำของไส้กรอกอกไก่ที่แช่แข็งไว้ (-20°C) เป็นเวลา 90 วัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความยืดหยุ่นของไส้กรอกอกไก่ A1S0 นั้นสูงกว่าไส้กรอกอกไก่ A0S1 กลุ่มควบคุมถึง 19% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดี-อัลลูโลสลดการเสื่อมสภาพของความยืดหยุ่นที่เกิดจากการเก็บไส้กรอกแช่แข็งในระยะยาวได้อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพของไส้กรอกอกไก่แช่แข็งนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้และประโยชน์ของการใช้ดี-อัลลูโลสกับอาหารแช่แข็ง

Hossain et al. (2018) ได้ศึกษาถึงบทบาทของ ดี-อัลลูโลส และการติดตามประโยชน์ในการรักษาโรคอ้วนและเบาหวานประเภทที่ 2 (Type 2 diabetes mellitus (T2DM)) ความเชื่อมโยงน้ำตาลในเลือดสูงไปจนถึง T2DM ซึ่งมักจะเริ่มต้นจากโรคอ้วน ซึ่งมีต้นกำเนิดโรคจากการบริโภคน้ำตาลและอาหารที่มีไขมันสูงมากเกินไป แม้ว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้ยา แต่ก็สามารถจัดการหรือป้องกันเบาหวาน ได้ด้วยการบริโภคอาหารแคลอรีต่ำและการรักษาน้ำหนักตัว การวิจัยนี้ได้ค้นพบข้อดีของน้ำตาลดี-อัลลูโลส ซึ่งมีฤทธิ์ต้านไขมันในเลือดสูงและต้านน้ำตาลในเลือดสูง การศึกษาพบว่าหลังจากให้ดี-อัลลูโลสในหนู ดี-อัลลูโลสจะเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็วและถูกกำจัดออกทางปัสสาวะภายใน 24 ชั่วโมง นอกจากผลกระทบในระยะสั้นของ ดี-อัลลูโลสแล้ว ผลกระทบระยะยาวยังมุ่งเน้นไปที่การป้องกันการเริ่มต้นและการลุกลามของ T2DM ในหนูที่เป็นเบาหวาน การทดลองในมนุษย์แสดงให้เห็นว่า ดี-อัลลูโลสช่วยลดระดับกลูโคสภายหลังอาหารในอาสาสมัครที่มีสุขภาพดีและในผู้ป่วยเบาหวานที่ค่าน้ำตาลสูงเกินเกณฑ์ ฤทธิ์ต้านไขมันในเลือดสูงของดี-อัลลูโลส รวมกับฤทธิ์ต้านการอักเสบในเซลล์ไขมัน มีประโยชน์ในการป้องกันทั้งโรคอ้วนและหลอดเลือด

Han et al. (2018) ได้ทำการทดสอบความทนทานต่อระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Tolerance) สำหรับ ดี-อัลลูโลส เพื่อสร้างระดับการบริโภคที่ยอมรับได้ในแต่ละเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้ง และระดับการบริโภคที่ยอมรับได้ในแต่ละวัน การทดสอบโดยค่อยๆเพิ่มขนาดของดี-อัลลูโลสเป็นขั้นละ 0.1 กรัม/กก./น้ำหนักตัว เพื่อหาปริมาณสูงสุดในการรับประทานดี-อัลลูโลสต่อ1ครั้ง พบว่าเริ่มมีอาการทางระบบทางเดินอาหารเมื่อได้รับดี-อัลลูโลส 0.4 กรัม/ครั้ง/น้ำหนักตัว และมีอาการท้องร่วงที่ขนาด 0.5 กรัม/กก./น้ำหนักตัว โดยการวิเคราะห์การทดสอบความทนทานต่อระบบทางเดินอาหารของดี-อัลลูโลสและน้ำตาล เผยให้เห็นความถี่ของอาการท้องร่วงที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.004$) อาการแน่นท้อง ($p = 0.039$) และอาการปวดท้อง ($p = 0.031$) หลังจากรับประทาน ดี-อัลลูโลส และการทดสอบระดับการบริโภคที่ยอมรับได้ในแต่ละวัน โดยการเพิ่มปริมาณดี-อัลลูโลส ทั้งหมดใน1วัน ค่อยๆ เป็น 1.0 กรัม/กก./น้ำหนักตัว ส่งผลให้เกิดอาการคลื่นไส้อย่างรุนแรง ปวดท้อง ปวดศีรษะ อาการเบื่ออาหาร และอาการท้องร่วง จากผลลัพธ์เหล่านี้ การวิจัยแนะนำให้รับประทาน ดี-อัลลูโลส ครั้งละสูงสุด0.4 กรัม/กก./น้ำหนักตัว และปริมาณสูงสุดต่อวันรวมที่ 0.9 กรัม/กก./น้ำหนักตัว

Tanaka et al. (2020) ทำการทดลองในมนุษย์ด้วยการออกแบบการทดสอบแบบ Blind cross over ในหญิงสาวชาวญี่ปุ่นที่มีสุขภาพดี 8 คน เพื่อประเมินประโยชน์ของ ดี-อัลลูโลส ในฐานะสารให้ความหวานที่มีแคลอรีต่ำและมีประโยชน์ โดยใช้ช็อกโกแลตเป็นอาหารทดสอบ ผู้เข้าร่วมการทดลองให้รับประทานช็อกโกแลต 50 กรัมที่ไม่มีดี-อัลลูโลส และช็อกโกแลตที่มี ดี-อัลลูโลส 1.8 กรัม, 3.6 กรัม และ 12.5 กรัม และเก็บตัวอย่างเลือดที่ 0, 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงหลังรับประทาน ระดับของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น และระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลินลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับช็อกโกแลตที่ไม่มีดี-อัลลูโลส การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ อาจเกี่ยวข้องกับการหลั่ง GLP-1 หรือ Glucagon Like Peptide-1 ซึ่งเป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่งในระบบทางเดินอาหารของเรา ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ มีฤทธิ์ในการส่งสัญญาณไปที่สมองของเรา เพิ่มประสิทธิภาพในการกระตุ้นการหลั่งอินซูลิน และปรับระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งการหลั่ง GLP-1 สังเกตได้หลังจากการรับประทาน ดี-อัลลูโลส การทดลองชี้ให้เห็นว่า ดี-อัลลูโลสสามารถเป็นทางเลือกสารให้ความหวานแคลอรีต่ำที่ดีต่อสุขภาพสำหรับใช้ในขนมหวาน

Lee et al. (2020) ทำการทดลองโดยใช้ดี-อัลลูโลสในเค้ก โดยเค้กปอนด์ถูกเตรียมด้วยดี-อัลลูโลสในสัดส่วนทดแทนน้ำตาลซูโครสที่แตกต่างกัน 4 สูตร (25%, 50%, 75% และ 100%, เค้กที่กำหนด AL25-AL100 ตามลำดับ โดยมีการใช้ซูโครสแทนสำหรับเค้กสูตรมาตรฐาน (CON) เค้กมีการประเมินคุณสมบัติของการขึ้นฟูด้วยอากาศ เนื้อสัมผัส และรสสัมผัส โดยดัชนีการเกิดสีน้ำตาลสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของดี-อัลลูโลสที่เติมเข้าไป ความสามารถในการกักเก็บตัวทำละลายมีค่าสูงสุดใน CON และลดลงในเค้กที่มีสัดส่วนดี-อัลลูโลสเพิ่มขึ้น ความชื้นของด้านในของเค้กลดลงจาก CON เป็น AL100 ในขณะที่ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในด้านปัจจัยในการปรุงอาหาร ความชื้นของแป้ง ผลผลิตของแป้ง และการสูญเสียการอบ ความแข็งของด้านในเค้กมีค่าสูงสุดสำหรับ CON และ

ต่ำสุดสำหรับ AL25 นอกเหนือจาก CON แล้ว เค้ก AL25, AL50 และ AL75 ยังมีคะแนนรูปลักษณะเอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และรสชาติที่สูง และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในคะแนนเนื้อสัมผัส ผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าเค้กปอนด์สามารถยอมรับได้ว่าเป็นเค้กแคลอรีต่ำและน้ำตาลต่ำที่น่ารับประทาน เมื่อเติมอัลลูโลส 25%

Bolger et al. (2021) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการเติมดี-อัลลูโลสในเค้ก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส และ ดี-ฟรุคโตส โดยการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเค้กที่อบเป็นเวลา 12, 16 และ 20 นาที การสุกของแป้งที่ผสมด้วยดี-อัลลูโลสใช้เวลาอบนานขึ้นกว่าแป้งซูโครส โดยเค้กดี-อัลลูโลส มีค่า water activity ต่ำกว่าตลอดเวลาที่อบ คุณสมบัติของเนื้อสัมผัสที่เปรียบเทียบกันได้จากเค้กดี-อัลลูโลสและซูโครสในเวลาอบนานที่สุด (20 นาที) เค้กดี-อัลลูโลสมีสีน้ำตาลและความเข้มข้นของอะคริลไมด์ (Acrylamide) น้อยกว่าเค้กซูโครส โดยเค้กที่เติมดี-อัลลูโลสและดี-ฟรุคโตส มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เทียบเคียงได้ ใกล้เคียงกัน สรุปได้ว่าดี-อัลลูโลสมีศักยภาพสูงในการใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ หรือในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องการปริมาณความชื้นต่ำและปริมาณคงตัว โดยใช้กระบวนการอบที่ยาวนานขึ้น

Chuenlakan et al. (2021) ได้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนากระบวนการผลิตซอสมะขามเข้มข้นสำเร็จรูปลดโซเดียมและน้ำตาล โดยมีเป้าหมายเพื่อยกระดับวัตถุดิบท้องถิ่นให้สามารถต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้อย่างยั่งยืน ในขั้นต้นของการวิจัย มีการสำรวจลักษณะของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามสำเร็จรูปที่วางจำหน่ายในตลาด โดยพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพ กลิ่น สี รสชาติ ความหนืด และรูปแบบบรรจุภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสูตรต้นแบบให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค การศึกษานี้พบว่า ซอสมะขามในท้องตลาดส่วนใหญ่มีรสหวานนำ เค็มตาม และมีความหนืดปานกลาง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการกำหนดคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ทั้งในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสและความเหมาะสมของรูปแบบบรรจุภัณฑ์

Sa et al. (2022) ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินว่า ดี-อัลลูโลส มีผลต่อการก่อมะเร็งในหนูหรือไม่ การทดสอบความเป็นพิษต่อพัฒนาการก่อนคลอดในหนูทดลองหนูทดลอง พันธุ์ Sprague Dawley (SD) โดยหนูตัวเมียตั้งครรภ์จะได้รับ ดี-อัลลูโลส ในขนาด 1250, 2500 หรือ 5,000 มก./กก. ของน้ำหนักตัวซ้ำๆ ในการตั้งครรภ์วันที่ 6-15 โดยในวันตั้งครรภ์วันที่ 20 หรือหนึ่งวันก่อนวันที่คาดว่าจะคลอด หนูที่ตั้งครรภ์จะได้รับการดมยาสลบ, ชั่งน้ำหนัก และทำการผ่าตัดช่องท้องเพื่อเอามดลูกและชิ้นส่วนในนั้นออก ทารกในครรภ์ได้รับการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่ออ่อนและโครงกระดูก ตัวชี้วัดการประเมินประกอบด้วย การสังเกตสัญญาณทั่วไป น้ำหนักตัว, การดูดซึมอาหาร, เนื้อเยื่อในรังไข่, จำนวนการตายของตัวอ่อน และจำนวนตัวอ่อนในครรภ์ที่มีชีวิต รวมถึงอัตราการดูดซึมอาหารของตัวอ่อนในครรภ์ ตลอดจนเพศ และน้ำหนักตัว และการเปลี่ยนแปลงของโครงกระดูกและเนื้อเยื่ออ่อนของตัวอ่อนในครรภ์ ซึ่งไม่พบความผิดปกติที่มีผลกระทบที่ทำให้ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่อนอวัยวะพิการและไม่พบความเป็นพิษต่อพัฒนาการก่อนคลอดและความผิดปกติของทารกในครรภ์ ซึ่งบ่งชี้ว่า ดี-อัลลูโลส ไม่มีผลทำให้อวัยวะพิการในหนูและตัวอ่อนในครรภ์ช่วงตั้งครรภ์ จากผลการศึกษาความเป็นพิษต่อพัฒนาการก่อนคลอดนี้ ประเมินค่าสูงสุดของปริมาณที่ใช้ในการทดลองของดี-อัลลูโลสอยู่ที่ 5,000 มก./กก./วัน ในหนูทดลอง ที่ตั้งครรภ์

Au-Yeung et al. (2023) มีการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลินหลังรับประทานอาหาร เมื่อบริโภคอัลลูโลสเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับการบริโภคอัลลูโลสผสมกับซูโครส ระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหารที่เมื่อบริโภคพร้อมกับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรต อัตราส่วนอัลลูโลสต่อคาร์โบไฮเดรตที่สูงขึ้นจะยับยั้งการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลินต่อไปหรือไม่ ในการศึกษาแบบการแบ่งโดยการสุ่มตัวอย่าง และทั้งผู้วิจัยวัดผลและกลุ่มศึกษาไม่ทราบว่าตัวอย่างอยู่ในกลุ่มใด (Randomized double blind trial (RCT)) ศึกษาผู้ป่วย 14 รายที่ไม่มีโรคเบาหวาน (อายุ: 51 ± 15 ปี ค่าดัชนีมวลกาย: 27.2 ± 4.1 กิโลกรัม/ตารางเมตร) เป็นเวลามากกว่า 120 นาที ใน 3 ครั้งแยกกันหลังจากดื่มเครื่องดื่มที่มี อัลลูโลส 15 กรัม, อัลลูโลส 15 กรัม + ซูโครส 30 กรัม หรือซูโครส 30 กรัม หลังจากเครื่องดื่มอัลลูโลส, อัลลูโลส + ซูโครส และซูโครส ตามลำดับ กลูโคส, iAUC (หมายถึง $\pm$ SEM; 0.6 ± 0.2 , 86.0 ± 9.5 และ 118.1 ± 11.3 มิลลิโมล $\times$ นาที/ลิตร) และการเพิ่มขึ้นของจุดสูงสุด (0.05 ± 0.02 , 1.69 ± 0.13 และ 3.15 ± 0.23 มิลลิโมล/ลิตร) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในทำนองเดียวกัน อินซูลิน blood glucose curve iAUC และการเพิ่มขึ้นของจุดสูงสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเครื่องดื่มทั้งหมด การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเติมอัลลูโลสลงในซูโครสจะลดทั้งระดับน้ำตาลหลังทานอาหารและการตอบสนองของอินซูลิน ดังนั้นการทดแทนซูโครสด้วยอัลลูโลสในอาหารอาจเป็นข้อดี แต่จำเป็นต้องมีการศึกษาระยะยาวเพื่อยืนยันประโยชน์ในระยะยาวต่อไป

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

- 3.1.1.1 น้ำตาลอัลลุโลส ประเทศจีน ยี่ห้อ Kenko
- 3.1.1.2 น้ำตาลมะพร้าว ยี่ห้อลิน (TRR Group)
- 3.1.1.3 น้ำมันมะพร้าวเย็นเข้มข้น ยี่ห้อไรท์พิทช์ (บริษัท ไร่ธัญญา จำกัด)
- 3.1.1.4 ดอกเกลือ จังหวัดฉะเชิงเทรา ยี่ห้อทองเกลือ
- 3.1.1.5 น้ำปลา ยี่ห้อคนแบกกุ้ง (บริษัท อุตสาหกรรมน้ำปลาระยอง จำกัด)
- 3.1.1.6 น้ำกรอง จากระบบ RO

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำซอสมะขาม

- 3.1.2.1 เตา Induction ยี่ห้อ Electrolux รุ่น ETD29KC กำลังไฟ 2000 Watt
- 3.1.2.2 เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sunford รุ่น TGS600s
- 3.1.2.3 หม้อสแตนเลส ก้น 2 ชั้น ยี่ห้อ De Buyer ขนาด 20 cm.
- 3.1.2.4 ที่วัดอุณหภูมิดิจิตอล Dual Probe Meat/Grill ยี่ห้อ Oria
- 3.1.2.5 เครื่องให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Sirman รุ่น Soft cooker Y09
- 3.1.2.6 เครื่องซีลสุญญากาศ ยี่ห้อ Vac-star รุ่น S215 DBV
- 3.1.2.7 ขงอลูมิเนียมฟอยด์ ขนาดบรรจุ 100 มิลลิเมตร
- 3.1.2.8 พายยางทนความร้อน
- 3.1.2.9 ตะกร้อสำหรับคนซอส
- 3.1.2.10 อ่างสแตนเลส
- 3.1.2.10 น้ำแข็ง
- 3.1.2.11 สติกเกอร์ สำหรับเขียนวันที่
- 3.1.2.12 ปากกามาร์คเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์เคมีกายภาพ

3.1.3.1 เครื่องวัดค่าสี	(Hunter lab Spectrophotometer & Colormeter รุ่น ColorQuest XE, สหรัฐอเมริกา)
3.1.3.2 เครื่องวัดความหนืด	(Brook field Viscometer รุ่น DVNext, สหรัฐอเมริกา)
3.1.3.3 เครื่องวัดความหวาน	(Brix refractometer, Atago, ญี่ปุ่น)
3.1.3.4 เครื่องวัดความหวาน	(Brix Digital refractometer, Bellingham+Stanley, สหราชอาณาจักร)
3.1.3.4 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง	(pH meter, Mattler Toledo SevenEasy, สวิสเซอร์แลนด์)
3.1.3.5 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ	(Incubator i250, Accuplus, ไทย)
3.1.3.6 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ	(Incubator BE200, Memmert, เยอรมัน)
3.1.3.7 เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง	(Sunford รุ่น TGS600s, จีน)
3.1.3.8 ขวดพลาสติกบรรจุตัวอย่าง ขนาด 40 มิลลิลิตร สำหรับเครื่องวัดสี Hunter lab	
3.1.3.9 ปีกเกอร์แก้ว ขนาด 50 มิลลิลิตร	
3.1.3.10 แ่งแก้วสำหรับคน	
3.1.3.11 ตัวอย่างซอสมะขามพร้อมใช้	

3.1.4 วัสดุอุปกรณ์ในการเพาะเชื้อจุลินทรีย์

3.1.4.1. อุปกรณ์และเครื่องมือ

- Autoclave	(Tomy Stream รุ่น Ss245, ญี่ปุ่น)
- Vortex	(Vortex Mixer Xh-D, จีน)
- ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar flow hood)	(Haier, รุ่น HR30-IIA2, จีน)
- ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)	(Binder, เยอรมัน)
- Hot air oven	(Binder, เยอรมัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (Sunford รุ่น TGS600s, จีน)
- Pipettes ขนาด 1, 5, 10 มิลลิลิตร (Eppendorf, สหรัฐอเมริกา)
- ขวดแก้วทึบร้อน ขนาด 250, 500 มิลลิลิตร (Duran, เยอรมนี)
- Autopipettes ขนาด 200, 1000 ไมโครลิตร (Gilson, ฝรั่งเศส)
- Pipettes Tip ขนาด 200, 1000 ไมโครลิตร (Eppendorf, สหรัฐอเมริกา)
- จานเพาะเชื้อ (Sterile Petri dish)
- บีกเกอร์ขนาด 600 และ 1000 มิลลิลิตร
- กระบอกตวง 500 และ 1000 มิลลิลิตร
- หลอดไมโครเซนติฟิวขนาด 1.5 มิลลิลิตร
- แท่งแก้วสามเหลี่ยม
- ถังพลาสติก Polypropylene ขนาด 9x14 cm.
- ข้อนตักสาร
- ตะเกียงแอลกอฮอล์
- จานเพาะเชื้อ
- ตู้เย็น

3.1.4.2. อาหารเลี้ยงเชื้อ

- Plate count agar (PCA) (PCA Himedia, อินเดีย)
- Potato dextrose agar (PDA) (PDA Himedia, อินเดีย)
- Buffered Peptone Water (BPW Himedia, อินเดีย)
- Lysine Indole Motility Medium(LIM) (LIM Himedia, อินเดีย)
- Urea Agar Base (Himedia, อินเดีย)
- Hektoen enteric agar (HE) (HE Himedia, อินเดีย)
- Xylose lysine desoxyscholate (XLD) (XLD Himedia, อินเดีย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Baird-Parker medium (Himedia, อินเดีย)
- Trypticase (trptic) soy (Himedia, อินเดีย)
- Coagulase plasma (rabbit) with EDTA (Mllipore, เยอรมัน)
- Triple sugar iron Broth (RVS) (RVS Himedia, อินเดีย)
- Muller-Kauffmann Tetrathionate/novobiocin (Mllipore, เยอรมัน)
- Rappaport-Vassiliadis Soya Broth (RVS) (RVS Himedia, อินเดีย)
- Brain heart infusion Broth (BHI) (Himedia, อินเดีย)

3.1.4.3. สารเคมี

- แอลกอฮอล์ Ethanol 95% (Lab-San, ไอร์แลนด์)
- Peptone water 0.1% (Difco, สหรัฐอเมริกา)
- Polymyxin B (Difco, สหรัฐอเมริกา)
- Egg yolk (CP, ประเทศไทย)
- Agar (Himedia, อินเดีย)
- Potassium iodide (Merck, เยอรมัน)
- Iodide, resublimed (KemAus, ออสเตรเลีย)
- โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (Merck, เยอรมัน)
- น้ำกลั่น

3.1.5 อุปกรณ์ในการทดสอบประสาทสัมผัส

3.1.5.1 แบบทดสอบประสาทสัมผัสแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) และแบบทดสอบการเรียงลำดับคะแนนความชอบ (Ranking test)

3.1.5.2 แบบทดสอบประสาทสัมผัสแบบ QDA (Quantitative Descriptive Analysis)

3.1.5.3 อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบประสาทสัมผัส

3.1.5.4 ผลิตภัณฑ์ขอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนน้ำตาลด้วยอัลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การสำรวจและตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพเบื้องต้นของซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

3.2.1.1 การเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

ผลิตภัณฑ์ซอสมะขามที่วางจำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 5 ยี่ห้อตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะปรากฏ เช่น สี, กลิ่นรส, รสชาติ, เนื้อสัมผัส, บรรจุภัณฑ์, วันหมดอายุ, ขนาดบรรจุ และสารกันเสียบนฉลาก สำหรับเป็นแนวทางเพื่อประกอบการวิเคราะห์ในการพัฒนาสูตรซอสมะขามพร้อมใช้ต้นแบบในงานวิจัยนี้

3.2.1.2 การวิเคราะห์ค่าคุณภาพของซอสมะขามพร้อมใช้ที่ได้จากการสำรวจ

3.2.1.2.1 การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Color Meter) Hunter lab Spectrophotometer & Colometer รุ่น ColorQuest XE บรรจุซอสในปริมาณที่เท่ากันทุกยี่ห้อลงในภาชนะที่ใช้สำหรับการวัดค่าด้วยเครื่อง Hunter Lab เพื่อวัดค่าสี ขนาดบรรจุของเหลวปริมาณ 40 มิลลิลิตร โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำต่อยี่ห้อ

3.2.1.2.2 การวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) Brook field Viscometer รุ่น DVNext ใช้ชุดหัววัด Small sample ในการวัดค่า บรรจุซอสในปริมาณ 15 กรัมเท่ากันทุกตัวอย่าง มีอุณหภูมิของตัวอย่างขณะวัดคือ 25 ± 1 องศาเซลเซียส

3.2.1.2.3 การวิเคราะห์ค่าความหวาน (Brix) ด้วยเครื่องวัดค่าความหวาน (Hand Digital Refractometer) ในการวัด ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำต่อยี่ห้อ

3.2.1.2.4 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) Mattler Toledo SevenEasy pH meter ในการวัด โดยการนำตัวอย่างซอสแต่ละยี่ห้อมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร โดยใช้ตัวอย่างซอสมะขามปริมาณ 20 กรัม ในการวัด และปริมาณเท่ากันของแต่ละยี่ห้อ โดยจุ่ม pH probe ลงในตัวอย่างแล้วจึงวัดค่า pH ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำต่อยี่ห้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การพัฒนาสูตรขอสมะขามพร้อมใช้ โดยใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนในสูตรที่ใช้น้ำตาลปกติ

3.2.2.1 ศึกษาการเติมดี-อัลลูโลสเพื่อทดแทนน้ำตาลปกติในสูตรการทำขอสมะขาม

เตรียมขอสมะขามพร้อมใช้ โดยมีการใส่สัดส่วนของดี-อัลลูโลส ในขอสมะขามสูตรมาตรฐาน จำนวน 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งได้แก่ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ของปริมาณน้ำตาลในสูตร (กำหนดให้ขอสมะขามระดับอัลลูโลส ร้อยละ 0 ให้เป็นสูตรควบคุม) ตัวอย่างขอสมะขามที่เตรียมได้จากการเติมดี-อัลลูโลสในสัดส่วนที่แตกต่างกันถูกนำไปวัดค่าคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ค่าสี, ค่าความหนืด, ค่าความหวานและค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังแสดงวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.2.1-3.2.1.2.4 รวมถึงถูกนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังรายละเอียดในข้อ 3.2.1.2.1 ดัดแปลงตามวิธีของ Chunlakan et al. (2019)

ตารางที่ 3.1 ขอสมะขามพร้อมใช้สูตรทดแทนน้ำตาลด้วย ดี-อัลลูโลสในสัดส่วนที่ต่างกัน

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสมในสูตร									
	D-Allulose ร้อยละ 0 ของปริมาณน้ำตาลในสูตร		D-Allulose ร้อยละ 25 ของปริมาณน้ำตาลในสูตร		D-Allulose ร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำตาลในสูตร		D-Allulose ร้อยละ 75 ของปริมาณน้ำตาลในสูตร		D-Allulose ร้อยละ 100% ของปริมาณน้ำตาลในสูตร	
	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
น้ำตาลมะพร้าว ผสมน้ำตาลอ้อย	500	47.17	375	35.38	250	23.58	125	11.79	0	0
ดี-อัลลูโลส	0	0	125	11.79	250	23.59	375	35.38	500	47.17
น้ำมะขามเปียก	300	28.30	300	28.30	300	28.30	300	28.30	300	28.30
น้ำปลา	100	9.43	100	9.43	100	9.43	100	9.43	100	9.43
ดอกเกลือ	10	0.94	10	0.94	10	0.94	10	0.94	10	0.94
น้ำ	150	14.16	150	14.16	150	14.16	150	14.16	150	14.16

ดัดแปลงสูตรจากหนังสือ ไทยจานโปรด สำนักพิมพ์แสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างซอสมะขามพร้อมใช้

ซอสมะขามที่ใช้ในการศึกษา สามารถทำได้โดยชั่งน้ำหนักของแต่ละส่วนผสมในปริมาณดังตารางที่ 3.2.2.1 ใส่ลงในหม้อ จากนั้นคนด้วยตะกร้อคนซอสจนน้ำตาลละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นำขึ้นตั้งบนเตา Induction โดยตั้งกำลังไฟที่ 800 วัตต์ เวลา 15 นาที วัดอุณหภูมิขณะที่ซอสเดือดให้อยู่ที่ 105 ± 2 องศาเซลเซียส และใช้ตะกร้อคนทุก 1 นาที เมื่อครบเวลานำซอสกรองด้วยกระชอนและใส่ถุงของอลูมิเนียมฟอยล์ ขณะที่ซอสยังร้อน ปริมาณถุงละ 100 กรัม แล้วจึงนำไปแช่ด้วยเครื่องซีลสุญญากาศ

การพาสเจอร์ไรซ์ซอสทำได้โดยเตรียมหม้อควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แล้วนำซอสที่แพคใส่ถุงเรียบร้อยแล้วลงในหม้อควบคุมความร้อนจับเวลานาน 15 นาที เตรียมน้ำแข็งผสมน้ำในอ่างสแตนเลส แล้วนำถุงซอสที่ทำการพาสเจอร์ไรซ์แล้วลงจุ่ม ประมาณ 10 นาที จากนั้นนำมาจัดเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

3.2.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสมะขามที่แตกต่างกัน

ทั้งหมด 4 สูตร ตัวอย่างซอสมะขามถูกนำไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้เชี่ยวชาญ ด้านอาหารไทย และผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอส จำนวน 15 คน โดยการเตรียมซอสในปริมาณ 15 มิลลิลิตร ต่อ 1 เสิร์ฟ อุณหภูมิเสิร์ฟประมาณ 25 ± 5 องศาเซลเซียส ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นหอมของมะขาม กลิ่นหอมของคาราเมล ความหวาน ความเปรี้ยว เนื้อสัมผัส ความรู้สึกหลงเหลือหลังกลืน (Aftertaste) และความชอบโดยรวม ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส แบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) (1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) และการเรียงลำดับความชอบ (Ranking Test) เพื่อเรียงลำดับความชอบของแต่ละสูตร (1 หมายถึง ชอบน้อยที่สุด และ 4 หมายถึงชอบมากที่สุด) โดยใช้ตัวเลขสุ่มแทนแต่ละสูตรในแบบทดสอบ เพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสมจำนวน 1 สูตร สำหรับนำไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และศึกษาอายุการเก็บรักษา

3.2.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนาได้

ซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนาได้และมีปริมาณดี-อัลทูลอสที่เหมาะสมที่ได้จากการคัดเลือกจาก

ข้อ 3.2.2.2 ถูกนำมาศึกษาอายุการเก็บในสภาวะเร่ง โดยมีวิธีการทำซอสมะขามตามรายละเอียดดัง

ข้อ 3.2.2.1 ซึ่งตัวอย่างซอสมะขามพร้อมใช้ถูกบรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์ ปริมาณตัวอย่างของละเอียดยกนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 กรัม โดยมีการเก็บตัวอย่างซอสมะขามพร้อมใช้ที่ 3 อุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส), อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator i250, Accuplus) และ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator BE200, Memmert) ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างซอสมะขามพร้อมใช้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ทุก ๆ 1 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ คือ การวิเคราะห์ค่าสี และ ค่าความหนืด ดังรายละเอียดในข้อ 3.2.1.2.1- 3.2.1.2.2 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี คือ การวิเคราะห์ค่าความหวาน และค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังรายละเอียดในข้อ 3.2.1.2.3 - 3.2.1.2.4 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ ดังรายละเอียดในข้อ 3.2.3.1 และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังรายละเอียดในข้อ 3.2.3.2 นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้ในการคำนวณอายุการเก็บของซอสมะขามพร้อมใช้ด้วยวิธี Q_{10}

3.2.3.1 การวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์ของซอสมะขามพร้อมใช้ในระหว่างการศึกษาอายุการเก็บรักษา

นำตัวอย่างซอสมะขามพร้อมใช้มาวิเคราะห์ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) และยีสต์, รา ในสัปดาห์ที่ 0, สัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 6 รวมถึงมีการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ แซลโมเนลลา (*Salmonella spp.*) และ สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ในสัปดาห์ที่ 0 และสัปดาห์ที่ 6

1. การเตรียมตัวอย่างในการตรวจสอบคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของซอสมะขามพร้อมใช้เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ โดยทำการเจือจางตัวอย่างด้วย Peptone water ร้อยละ 0.1 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ให้ได้ระดับการเจือจางที่ 10^{-1} – 10^{-2} ตามลำดับ จากนั้น นำไปทำการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

2. การตรวจปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001)

ซอสมะขามพร้อมใช้ถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count (TPC)) โดยใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างจาก ข้อ 1 (ตามหัวข้อย่อยของ 3.2.3.1) ในแต่ละระดับการเจือจางมาปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ลงบนจานเลี้ยงเชื้อ (Plate Count Agar (PCA)) ใช้สามเหลี่ยมแท่งแก้วจุ่มแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95 ลนไฟ รอให้แห้ง แล้วเกลี่ยตัวอย่างเลี้ยงเชื้อด้วยวิธีการ Spread plated นำไปบ่มที่ตู้บ่มเชื้อ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาบ่มเชื้อ บันทึกผลจำนวนโคโลนีที่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตรวจยีสต์และรา (BAM, 2001)

ซอสมะขามพร้อมใช้นำมาวิเคราะห์ยีสต์และรา (Yeast & Mold) โดยใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างจากข้อ 1 (ตามหัวข้อย่อยของ 3.2.3.1) ในแต่ละระดับการเจือจางมา 0.1 มิลลิลิตร ลงบนจานเลี้ยงเชื้อ (Plate Count Agar (PCA)) ใช้สามเหลี่ยมแท่งแก้วจุ่มแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95 ลนไฟ รอให้แห้ง แล้วเกลี่ยตัวอย่างบนอาหารให้แห้ง นำจานเลี้ยงเชื้อใส่ถุงพลาสติก มัดปากถุงด้วยหนังยาง แล้วนำจานเลี้ยงเชื้อที่ใช้อาหาร PDA นำไปบ่มที่ตู้บ่มเชื้อรา 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบเวลาบ่มเชื้อ บันทึกผลจำนวนโคโลนีที่พบ

4. วิเคราะห์เชื้อสแตฟิโลค็อกคัส *Staphylococcus aureus* (BAM, 2001)

ซอสมะขามพร้อมใช้นำมาวิเคราะห์เชื้อ *Staphylococcus aureus* โดยใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างจากข้อ 1 (ตามหัวข้อย่อยของ 3.2.3.1) ในแต่ละระดับการเจือจางมา 0.1 มิลลิลิตร ลงบนจานเลี้ยงเชื้อ Baird-Parker medium ใช้สามเหลี่ยมแท่งแก้วจุ่มแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95 ลนไฟ รอให้แห้งแล้วเกลี่ยตัวอย่างเลี้ยงเชื้อด้วยวิธีการ Spread plated นำไปบ่มที่ตู้บ่มเชื้อ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นทำการนับโคโลนีที่มีลักษณะกลม นูน สีเทาถึงดำ มีโซนรอบๆ โคโลนี อาจมีโซนใสชั้นนอกและสุมเล็กโคโลนีที่มีลักษณะดังกล่าวมาทำการทดสอบยืนยันเชื้อ โดยถ่ายเชื้อลงในอาหาร Brain Heart Infusion (BHI) broth ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร และเติม rabbit plasma ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร บ่มเชื้อในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง เพื่อดูการสร้างเอนไซม์โคแอกกูเลส (coagulase) ทำการอ่านผลโดยดูการแบ่งตัวของ plasma เนื่องจากเอนไซม์ coagulase ที่เชื้อ *S. aureus* สร้างขึ้น ซึ่งถ้าผลการทดสอบเกิดการแข็งตัว ถือว่า coagulase positive ถ้าไม่เกิดการแข็งตัวถือว่าไม่ใช่ coagulase positive

5. การวิเคราะห์เชื้อแซลโมเนลลา *Salmonella spp.* (ISO 6579:2002)

นำซอสมะขามพร้อมใช้นำมาวิเคราะห์เชื้อแซลโมเนลลา *Salmonella spp.* โดยชั่งตัวอย่างซอสมะขามพร้อมใช้ปริมาณ 25 กรัม ลงในถุงปลอดเชื้อ (Stomacher bag) แล้วเติม Buffered peptone water (BPW) ปริมาณ 225 มิลลิลิตร ที่ฆ่าเชื้อแล้ว แล้วเติมน้ำยา Buffered Peptone Water (BPW) ปริมาณ 225 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากันและบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นให้เชื้อที่อาจอยู่ในภาวะพักฟื้นกลับมาเจริญเติบโต จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากขั้นตอนแรก 1 มิลลิลิตรไปเติมในอาหารเลี้ยงเชื้อ Rappaport-Vassiliadis Soya (RVS) broth และบ่มที่อุณหภูมิ 42 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มจำนวนเชื้อ *Salmonella spp.* ที่อาจมี

อยู่ในตัวอย่างให้สามารถตรวจพบได้ และปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดอาหาร Muller-kauffman tetrathionate brilliant green (MKTTn) broth บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำหลอดอาหาร RVS broth และ MKTTn broth มาทำการ steak plate ลงบนอาหาร Xylose Lysine Deoxycholate (XLD agar) และ Hektoen Enteric Agar (HE agar) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คัดเลือกโคโลนีที่สงสัยว่าเป็น เชื้อ *Salmonella spp.* คือพบโคโลนีสีชมพูหรือมีสีดำตรงกลางหรือมีสีดำทั้งโคโลนีเนื่องจากการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์บนเพลทอาหาร XLD agar และลักษณะโคโลนี กลมสีฟ้า หรือฟ้ามืดเขียว หรือสีดำ บนเพลทอาหาร HE agar จากนั้นทำการเลือกโคโลนีที่มีลักษณะดังกล่าว เก็บเชื้อลงในหลอดอาหาร TSA agar เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีต่อไป

3.2.3.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการศึกษาอายุการเก็บรักษา

ตัวอย่างซอสมะขามพร้อมใช้ถูกนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้เชี่ยวชาญ ด้านอาหารไทย และผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอส จำนวน 7 คน ทำการเตรียมตัวอย่างซอสในปริมาณ 15 มิลลิลิตร ต่อ 1 เสิร์ฟ อุณหภูมิเสิร์ฟประมาณ 25 ± 5 องศาเซลเซียส โดยทำการทดสอบประสาทสัมผัสแบบเชิงพรรณนาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis (QDA)) โดยใช้สเกลคะแนน 0-15 เพื่อประเมินและวัดความเข้ม ของแต่ละคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีรายละเอียดของแบบฟอร์มในภาคผนวก ข

3.2.3.3 การคำนวณอายุการเก็บด้วยวิธี Q_{10}

การประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้โดยใช้วิธี Q_{10} ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้คาดการณ์ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยสมมติฐานว่า อัตราการเสื่อมจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส ตามค่าคงที่ Q_{10} ซึ่งมักอยู่ในช่วง 2-3 สำหรับผลิตภัณฑ์อาหาร (Kirk & Sawyer, 1991) โดยมีสมการดังนี้

$$\text{Shelf life}_{T_1} = \text{Shelf life}_{T_2} \times Q_{10}^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

T_1 คือ อุณหภูมิที่ต้องการประมาณอายุการเก็บ

T_2 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบเร่งอายุ

และ Q_{10} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

3.2.4.1 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติในการศึกษาคุณภาพด้านกายภาพ และเคมี

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ และเคมี โดยเปรียบเทียบค่าความแปรปรวน ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ของตัวอย่างซอสมะขาม แบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ประเมินผลหาความแตกต่างโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้ (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

3.2.4.2 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของตัวอย่างซอสมะขาม แบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) โดยให้ผู้ทดสอบเป็น Block รายงานผลการทดลองในรูปแบบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ประเมินผลหาความแตกต่างโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้ (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS ดัดแปลงตามวิธีของ Chunlakan et al. (2021)

3.2.4.3 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติในการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบเชิงพรรณนาเชิงปริมาณ QDA (Quantitative Descriptive Analysis)

โดยให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มข้นของลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ให้คะแนนความเข้มข้นของแต่ละลักษณะในช่วงคะแนน 1-15 (1 หมายถึงความเข้มข้นต่ำที่สุด และ 15 หมายถึงความเข้มข้นสูงที่สุด) ผลการประเมินนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยในแต่ละลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสัปดาห์ หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จะทำการวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการสำรวจและตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้เชิงพาณิชย์ที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาด

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ทั้งช่องทาง Online และช่องทาง Offline จากการสำรวจพบว่ามีจำนวนซอสมะขามพร้อมใช้ทั้งหมด 7 ยี่ห้อ ซึ่งเบื้องต้นทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบชิมและสังเกตลักษณะปรากฏ พบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้จำนวน 2 ยี่ห้อ มีคุณลักษณะไม่ตรงตามที่ต้องการศึกษา ดังนั้นผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่นำมาตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพเบื้องต้นจึงมีทั้งหมดจำนวน 5 ยี่ห้อ ได้แก่ ซอสมะขามเปียก Brand A, B, C, D, E แสดงดังภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด



4.1.1 การวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

จากการวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 5 ยี่ห้อ พบว่า ลักษณะปรากฏด้านสีของซอสมะขาม มีความแตกต่างกันไปตามแต่ละยี่ห้อ โดยพบมีสีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลแดงไหม้ จนถึงน้ำตาลเข้มดังแสดงในภาพที่ 4.2 ด้านกลิ่นรส ในภาพรวมของซอสมะขามทั้ง 5 ยี่ห้อ พบกลิ่นรสของมะขามค่อนข้างโดดเด่น โดยในบางยี่ห้อมีความหอมที่เกิดจากการเสริมด้วยหอมแดง ด้านรสชาติ พบว่ามีรสชาติที่ค่อนข้างหลากหลาย โดยมีทั้งรสเปรี้ยวหวาน เปรี้ยว เค็ม และหวานเค็ม สำหรับด้านเนื้อสัมผัสของซอสมะขามทั้ง 5 ยี่ห้อ นั้น มีความข้นหนืดหลายระดับ ในบางยี่ห้อมีความข้นหนืดปานกลาง แต่มีลักษณะปรากฏคล้ายไซรัป (Brand E) ในขณะที่บางยี่ห้อดูเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความข้นหนืดที่มาจากเนื้อมะขาม (Brand B) ซึ่งระดับความข้นหนืดของซอสมะขามในบางยี่ห้อที่แตกต่างกันนั้น เกิดจากการใช้สารเพิ่มความข้นหนืดที่แตกต่างกัน เช่น Xanthan gum หรือ Guar gum สอดคล้องกับงานวิจัย (Saha & Bhattacharya, 2010) ที่ศึกษาเรื่องการใช้สารเพิ่มความข้นหนืดชนิดต่างๆ ในซอสมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงความข้นหนืดและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยสารเพิ่มความข้นหนืดประเภท Gum ที่นิยมใช้ในซอสแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น Xanthan gum ให้ความหนืดสูงและคงที่ในช่วง pH และอุณหภูมิที่หลากหลาย ขณะที่ Guar gum ให้ความข้นหนืดที่นุ่มนวลและเหมาะสำหรับซอสที่ต้องการเนื้อสัมผัสลื่น, เบา Locust bean gum มีคุณสมบัติในการเพิ่มความข้นหนืดในซอสที่มีน้ำมากและยังช่วยเสริมเนื้อสัมผัสให้เป็นเนียนเรียบ ด้านลักษณะภายนอก พบว่าซอสมะขามส่วนมากมีส่วนผสมของเนื้อมะขามหรือเครื่องเทศ เช่น หอมแดง บด, พริกบดผสมอยู่ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

Characteristic of commercial ready-to-use Tamarind sauce.					
Brand	Color	Flavor	Taste	Texture	Appearance
A	Dark brown	Tamarind flavor	Very Sour	Smooth texture, thicken from Xanthan gum	Dense sauce
B	Dark Brown	Tamarind flavor	Sour	Thicken from tamarind puree	Dense sauce with tamarind. Need to stir well before use
C	Dark Brown	Chili and Fish sauce flavor, a bit of Tamarind flavor	Spicy and salty	Thicken from Guar gum.	Glossy with ground dried chili in sauce
D	Caramel red brown	Caramel from palm sugar flavor, a bit of Tamarind flavor	Sweet and sour	Smooth texture not thick.	Glossy like dark caramel
E	Light brown	Shallot oil flavor	Sweet	Thicken like syrup	Gelling appearance with oil and chunk of shallot in sauce

ในด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ วันหมดอายุ ขนาดบรรจุ และสารกันเสียบนฉลาก ของซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จำนวน 5 ยี่ห้อ พบว่ามีการใช้บรรจุภัณฑ์ที่หลากหลาย ทั้งขวดพลาสติก เอกสารเป็นเอกสารทั้งสองวิธีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้บริโภคนำไปใช้ประโยชน์ในการรับประทาน ไม่ว่าจะเป็นการรับประทาน หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดก็ตาม ผู้บริโภคควรอ่านฉลากอย่างละเอียด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฝาบีบง่าย และขวดแก้วแบบฝาขว้าง ซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในขวดแก้วพบมีการเติมสารกันเสีย เช่น โซเดียมเบนโซเอต หรือโพแทสเซียมซอร์เบต และซอสมะขามยี่ห้อยที่ผลิตจากโรงงานที่มีมาตรฐานการผลิต GMP พบว่าสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 1.5–2 ปี รวมถึงมีการแสดงรายละเอียดฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน ในขณะที่บางยี่ห้อเป็นการผลิตแบบ Homemade จึงไม่พบการใช้สารกันเสียและบรรจุในขวดพลาสติกซึ่งมีอายุการเก็บเพียง 1–2 เดือนเท่านั้น นอกจากนี้ยังไม่มีฉลากโภชนาการแสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้พบว่าขนาดบรรจุของซอสมะขามพร้อมใช้นั้น มีความหลากหลายอยู่ในช่วง 150–485 มิลลิลิตร สะท้อนให้เห็นถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันตามความต้องการของผู้บริโภค ดังแสดงในตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะปรากฏบนฉลากของซอสมะขามที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

Characteristic on label of commercial ready-to-use Tamarind sauce				
Brand	Shelf life	Packaging	Packing size	Preservative
A	1.5 years	Plastic bottles with very easy squeeze lid	485 ml.	Sodium Benzoate
B	2 years	Glass bottles with wide lid	250 ml.	None
C	6 months	Glass bottles	150 ml.	Potassium sorbate
D	2 months	Plastic bottles	300 ml.	None
E	1 month	Plastic bottles	400 ml.	None

4.1.2 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

4.1.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

ค่าสีของผลิตภัณฑ์ซอสมะขาม ที่แสดงค่าสีเป็นค่า L^* (ความสว่าง), a^* (สีแดง) และ b^* (สีเหลือง) ดังตารางที่ 4.3 จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์สีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ของผลิตภัณฑ์ซอสมะขาม 5 ยี่ห้อ พบว่าแต่ละยี่ห้อ มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมีความแตกต่างทางสถิติในทุกค่าพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

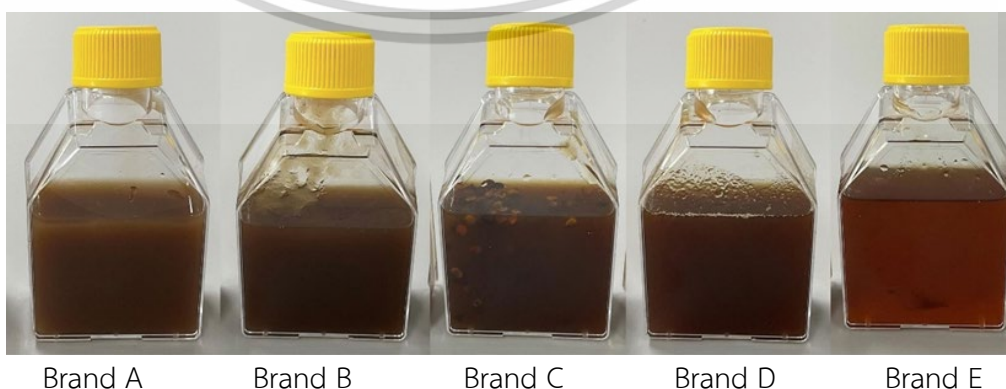
ค่า L^* (ค่าความสว่าง) แสดงถึงความเข้มของสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยพบว่า Brand E มีค่าความสว่างสูงสุด (22.58 ± 0.02) ขณะที่ Brand A และ Brand B มีค่าความสว่างน้อยที่สุด (0.43 และ 0.44 ตามลำดับ)

ค่า a^* (ค่าความเป็นสีแดง) พบว่า Brand E มีค่า a^* สูงที่สุด (33.53 ± 0.05) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ Brand A และ Brand B มีค่าต่ำที่สุด (1.93 และ 2.07 ตามลำดับ) โดยทั้ง 5 ยี่ห้ออยู่ในกลุ่มที่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่า b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ของ Brand E สูงที่สุด (38.50 ± 0.04) และ Brand A ต่ำที่สุด (0.59 ± 0.04)

ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ค่าสีของซอสมะขามยี่ห้อยี่ห้อ E มีค่า L^* , a^* , และ b^* สูงที่สุด ซึ่งหมายความว่าสีที่สว่างและมีสีแดง มากกว่ายี่ห้ออื่นๆ ในขณะที่ยี่ห้อ A, B, C, และ D มีค่าที่ต่ำลงตามลำดับ โดยค่าที่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างยี่ห้อซอสทั้งหมดในทุกมิติของสี (L^* , a^* , b^*) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังภาพที่ 4.3

ผลิตภัณฑ์ Brand E มีค่าสีทั้ง L^* , a^* , และ b^* สูงที่สุดในกลุ่ม สะท้อนถึงลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความสว่างและมีค่าความเป็นสีแดง-เหลืองเด่นชัด ซึ่งอาจมาจากการใช้วัตถุดิบที่เข้มข้นกว่า หรือสูตรที่เติมน้ำตาลและเครื่องปรุงเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มสี ในทางตรงกันข้าม Brand A และ Brand B มีค่าพารามิเตอร์สีทั้งสามต่ำที่สุด แสดงให้เห็นถึงลักษณะของซอสที่เข้ม อมดำ และความสว่างต่ำ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการใช้เนื้อมะขามเข้มข้นแบบดั้งเดิมโดยไม่เติมสารแต่งสี ซึ่งสีของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามมีความสัมพันธ์กับชนิดของมะขาม ระดับการปรุง และสูตรการผลิต จึงส่งผลให้มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคในเชิงคุณภาพ (Chunlakan et al., 2021)



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ผู้อื่นใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ซอสมะขาม 5 ยี่ห้อ

Brand	L*	a*	b*
A	0.43 ± 0.02^d	1.93 ± 0.06^e	0.59 ± 0.05^d
B	0.44 ± 0.02^d	2.07 ± 0.02^d	0.61 ± 0.05^d
C	1.84 ± 0.02^c	9.16 ± 0.03^c	2.92 ± 0.03^c
D	2.44 ± 0.05^b	11.31 ± 0.05^b	4.80 ± 0.07^b
E	22.58 ± 0.02^a	33.53 ± 0.05^a	38.50 ± 0.04^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$)

4.1.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity)

จากการวัดค่าความหนืดของซอสมะขามทั้ง 5 ยี่ห้อ ด้วยหัววัดเบอร์ SC4-34 ในการวัดความหนืดของซอส พบว่าค่าความหนืดของแต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 4.1.2.4 ยี่ห้อ A มีค่าความหนืดสูงสุดที่ 2846.00 ± 21.28 cP ซึ่งมีความหนืดสูงกว่ายี่ห้ออื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับยี่ห้อ B, C, D และ E โดยยี่ห้อ D มีค่าความหนืดต่ำที่สุดที่ 347.13 ± 0.53 cP ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในลักษณะเนื้อสัมผัสของซอสมะขามแต่ละยี่ห้อ (Panyoyai, 2023)

ในส่วนของการเปรียบเทียบระหว่างยี่ห้ออื่น ๆ พบว่า ยี่ห้อ B (1063.00 ± 24.06 cP) และยี่ห้อ E (1162.33 ± 24.19 cP) มีค่าความหนืดที่ใกล้เคียงกัน แต่ยังคงแตกต่างจากยี่ห้อ A และ D อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืด (Viscosity) ของผลิตภัณฑ์ซอสมะขาม 5 ยี่ห้อ

Brand	Viscosity
A	2846.00 ± 21.28^a
B	1063.00 ± 24.06^c
C	973.00 ± 0.49^d
D	347.13 ± 0.53^e
E	1162.33 ± 24.19^b

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d, e ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ

เชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน ($^{\circ}\text{Brix}$)

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน ($^{\circ}\text{Brix}$) ของผลิตภัณฑ์ซอสมะขาม 5 ยี่ห้อ ดังภาพที่ 4.5 พบว่าค่าเฉลี่ย $^{\circ}\text{Brix}$ อยู่ในช่วงระหว่าง 23.00 ± 0.10 ถึง 74.00 ± 0.80 โดยตัวอย่างที่มีค่า $^{\circ}\text{Brix}$ ต่ำที่สุดคือ Brand A (23.00 ± 0.10) และสูงที่สุดคือ Brand E (74.00 ± 0.80) ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

การวัดค่าปริมาณ $^{\circ}\text{Brix}$ ของซอสมะขามในแต่ละยี่ห้อแสดงถึงความหวานหรือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาล ค่าที่ได้อาจแตกต่างกันจากปัจจัยหลายประการ เช่น สูตรการผลิตที่ใช้ส่วนผสมและสารทดแทนน้ำตาลที่มีความหวานแตกต่างกัน, กระบวนการผลิตเช่นการเคี่ยวหรือการสกัดที่มีผลต่อความเข้มข้น, ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลต่อค่า $^{\circ}\text{Brix}$, การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีความหวานหรือความเข้มข้นต่างกัน, และวิธีการวัดที่อาจมีความคลาดเคลื่อนตามลักษณะของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.5 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}\text{Brix}$) ของผลิตภัณฑ์ซอสมะขาม 5 ยี่ห้อ

Brand	$^{\circ}\text{Brix}$
A	23.00 ± 0.10^e
B	41.80 ± 0.00^d
C	47.57 ± 0.49^c
D	63.40 ± 0.53^b
E	74.00 ± 0.80^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d, e ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

4.1.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ซอสมะขาม 5 ยี่ห้อ พบว่า Brand C มีค่า pH สูงที่สุด (2.830 ± 0.020) ขณะที่ Brand B มีค่า pH ต่ำที่สุด (1.817 ± 0.021) ดังภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า pH ของทั้ง 5 ยี่ห้อ ถือว่าเป็นซอสที่มี pH ต่ำ ซึ่งเป็นค่าสำหรับซอสที่มีรสเปรี้ยวชัดเจน ซึ่งในการผลิตภัณท์ซอสที่มีค่าความเป็นกรด (pH) สูง เช่น ซอสมะขามหรือซอสที่มีรสเปรี้ยวจะอยู่ในช่วงประมาณ 2.5 ถึง 3.5 ซึ่งความแตกต่างของค่า pH ในแต่ละยี่ห้อเกิดจากสูตร การผลิตและส่วนผสมที่แตกต่างกันของแต่ละยี่ห้อ การควบคุมค่า pH มีผลต่อรสชาติและการเก็บรักษาของผลิตภัณท์ โดยค่า pH ที่ต่ำกว่าจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการในผลิตภัณท์ซอสได้ดี (Hlebová & Božik, 2023)

ตารางที่ 4.6 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของผลิตภัณท์ซอสมะขาม 5 ยี่ห้อ

Brand	pH
A	1.97 ± 0.01^c
B	1.82 ± 0.02^e
C	2.83 ± 0.02^a
D	2.30 ± 0.02^b
E	1.88 ± 0.01^d

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d, e ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$)

4.1.3 ประโยชน์ของการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น และการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจผลิตภัณท์ซอสมะขามในท้องตลาด เพื่อนำไปพัฒนาผลิตภัณท์ซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลส

การสำรวจผลิตภัณท์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดชี้ให้เห็นถึงความหลากหลายในด้านลักษณะปรากฏ คุณสมบัติทางกายภาพ และรูปแบบบรรจุภัณท์ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสูตรผลิตภัณท์ใหม่ สะท้อนแนวโน้มความต้องการซอสที่มีสี กลิ่น รส และความหนืดที่สมดุล พร้อมชี้ให้เห็นช่องว่างของผลิตภัณท์สูตรหวานน้อยและใช้สารให้ความหวานทางเลือก จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาสูตรซอสมะขามที่ใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาลให้ใกล้เคียงกับรสชาติที่ผู้บริโภคยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านลักษณะปรากฏ พบว่าหลายยี่ห้อเลือกใช้เนื้อมะขามแท้ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสเข้มข้นตามธรรมชาติ สอดคล้องกับแนวโน้มการผลิตแบบ clean label ที่เน้นวัตถุดิบธรรมชาติและลดการใช้สารเติมแต่ง ซึ่งตอบโจทย์ผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น สี ความหนืด ความหวาน และความเป็นกรด แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างแบรนด์ในตลาด ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการปรับสูตรของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ดี-อัลลูโลส โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสี ความหนืด และรสชาติ เพื่อให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ ดี-อัลลูโลสมีความหวานประมาณ 70% ของน้ำตาลซูโครส และให้ค่า °Brix ต่ำกว่าน้ำตาลทั่วไป ดังนั้นควรหาส่วนผสมที่ให้ความหวานพอเหมาะ โดยไม่ทำให้ pH หรือความหนืดเปลี่ยนแปลงมากจนผิดจากพฤติกรรมผู้บริโภค รวมทั้งดี-อัลลูโลสไม่ทำให้สีเข้มขึ้นจากการaramel ได้ดีเท่าน้ำตาลมะพร้าว ส่งผลให้ข้ออาจดูสีซีดหรือใสเกินไป จึงอาจใช้การเคี้ยวเนื้อมะขามที่เป็นวัตถุดิบธรรมชาติเพิ่มสีและความหนืด

ในส่วนของบริษัทผู้ผลิตและการเก็บรักษา พบว่ามีความหลากหลายตามระดับการผลิต ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาเลือกใช้วิธีถนอมอาหารที่ปลอดภัยและเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์สุขภาพที่สามารถเก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง เช่น การพาสเจอร์ไรส์หรือการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ทึบแสง และการ Vacuum sealing ที่ช่วยยืดอายุโดยไม่ต้องพึ่งพาสารกันเสีย

โดยรวม การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นนี้ช่วยให้สามารถกำหนดทิศทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสมะขามสูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งในด้านสูตร ส่วนผสม การควบคุมคุณภาพ และกลยุทธ์การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับแนวโน้มตลาดสุขภาพ เช่น กลุ่มผลิตภัณฑ์ low sugar, no preservative และ clean label

4.2 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่แตกต่างกัน

ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนน้ำตาลมะพร้าวผสมน้ำตาลอ้อยด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการเตรียมซอสมะขามพร้อมใช้ โดยใช้น้ำตาลดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาลมะพร้าวในสูตร จำนวน 5 ระดับ ได้แก่ CT (น้ำตาลมะพร้าว 100%) กำหนดให้เป็นสูตรควบคุม, A25 (ดี-อัลลูโลส 25%), A50 (ดี-อัลลูโลส 50%), A75 (สูตรดี-อัลลูโลส

75%) และ A100 (สูตรดี-อัลลูโลส 100%) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่ถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพเบื้องต้นจึงมีทั้งหมดจำนวน 5 สูตร

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

ค่าสีของของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนน้ำตาลมะพร้าวผสมน้ำตาลอ้อย ด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่ต่างกัน ผลการวิเคราะห์ที่แสดงค่าสีเป็นค่า L^* , a^* และ b^* ดังตารางที่ 4.7 พบว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ (L^* , a^* , b^*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สูตร CT มีค่า L^* (ค่าความสว่าง), a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ต่ำที่สุด ขณะที่สูตร A100 (ดี-อัลลูโลส 100%) มีค่าทั้งสามพารามิเตอร์สูงที่สุด สะท้อนถึงสีของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดงและเหลืองชัดเจนมากขึ้นตามลำดับสัดส่วนของดี-อัลลูโลสที่เพิ่มขึ้นในสูตร

ซอสมะขามสูตรที่มีน้ำตาลมะพร้าวในปริมาณที่มากกว่า ส่งผลให้ซอสมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากน้ำตาลมะพร้าวสามารถทำปฏิกิริยา Maillard และ Caramelization ได้ดี ซึ่งเป็นผลจากที่มีสารประกอบฟีนอลิกและแร่ธาตุที่ช่วยเพิ่มสีให้เข้มขึ้นเมื่อสัมผัสกับความร้อน (Saraiva et al., 2023) ส่วนดี-อัลลูโลสเป็นน้ำตาลที่ทำปฏิกิริยา Maillard และ Caramelization ได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำตาลทั่วไป (Ertugrul et al., 2021) จึงทำให้สีของซอสสูตรที่ใช้ดี-อัลลูโลสในปริมาณที่มากกว่ามีความสว่างและไม่เข้มเหมือนสีของซอสสูตรที่มีน้ำตาลมะพร้าวในปริมาณมาก



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าสีของซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่ต่างกัน

สูตร	Color		
	L*	a*	b*
CT	4.83±0.06 ^e	19.73±0.09 ^e	8.09±0.17 ^e
A25	6.74±0.11 ^d	23.72±0.10 ^d	11.67±0.26 ^d
A50	8.20±0.02 ^c	24.97±0.09 ^c	13.92±0.13 ^c
A75	10.14±0.04 ^b	26.02±0.08 ^b	17.21±0.10 ^b
A100	11.34±0.25 ^a	26.23±0.34 ^a	19.36±0.41 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d, e ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$)

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity)

ค่าความหนืดของซอสมะขามที่ทดแทนน้ำตาลด้วยดี-อัลลูโลส ในปริมาณที่ต่างกัน จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าความหนืดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งยืนยันได้ว่าการเพิ่มดี-อัลลูโลสส่งผลต่อความหนืดของซอสอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าเมื่อเพิ่มดี-อัลลูโลส ความหนืดของซอสมีแนวโน้มลดลงจากสูตรที่ใช้น้ำตาลมะพร้าว 100% (CT) โดยสูตรที่ใช้ดี-อัลลูโลส 100% (A100) มีค่าความหนืดต่ำที่สุด (494.17 ± 5.20 cP) เมื่อเทียบกับสูตรที่ใช้น้ำตาลมะพร้าวผสมน้ำตาลอ้อย ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำตาลซูโครส (1276.67 ± 20.40 cP) อย่างไรก็ตาม ค่าจากการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มดี-อัลลูโลสเพียง 25% (A25) กลับทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น (1970.67 ± 30.29 cP) แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณดี-อัลลูโลสในสูตรที่มากกว่า 25% กลับพบการลดลงของค่าความหนืด

สูตร A25 (ดี-อัลลูโลส 25%) ที่มีค่าความหนืดสูงที่สุด การเพิ่มดี-อัลลูโลสในสัดส่วนต่ำอาจกระตุ้นให้เกิดการรวมตัวหรือจับกลุ่มของโพลีแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในสูตรซอส ส่งผลให้โครงสร้างเนื้อซอสมีความหนืดมากขึ้นกว่าปกติ โดยงานวิจัยของ Ghebremedhin (2024) รายงานว่าการเติมน้ำตาลที่มีโครงสร้างแตกต่างกันในปริมาณเล็กน้อย อาจทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลใหม่ (molecular restructuring) ซึ่งเพิ่มความหนืดได้ในบางกรณี

สูตร CT (น้ำตาลมะพร้าว 100%) มีความหนืดระดับปานกลาง น้ำตาลมะพร้าวมีองค์ประกอบของ Oligosaccharide และ Caramelization ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจมีส่วนทำให้เกิดความหนืดในระดับที่เหมาะสม โดยทำหน้าที่คล้ายสารให้เนื้อสัมผัส (texture enhancer) (Saraiva et al., 2023)

สูตร A50, A75 และ A100 (ดี-อัลลูโลส 50%, 75% และ 100%) มีค่าความหนืดลดลงตามลำดับ เนื่องจากดี-อัลลูโลส มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ทำให้โครงสร้างของซอสที่มีน้ำมากเกินไปลดความหนืดลง กล่าวคือ การใช้ดี-อัลลูโลสในสัดส่วนสูงทำให้ปริมาณน้ำที่สามารถละลายเข้าไปในระบบมากขึ้น เนื่องจากดี-อัลลูโลสมี high water solubility และไม่สามารถสร้างโครงสร้างเนื้อซอสได้ดีเท่ากับน้ำตาลที่มีโมเลกุลใหญ่หรือมีความสามารถในการสร้างพันธะไฮโดรเจนได้สูง (Wang & Hartel, 2020) การเจือจางโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ ในสูตรที่มีน้ำมากเกินไป ส่งผลให้ซอสมีความหนืดลดลงอย่างชัดเจน

การศึกษานี้สามารถขยายผลไปยังการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของดี-อัลลูโลส หรือปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิการผลิตและการเพิ่มสารเชื่อมประสานเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของซอสที่มีความหนืดตามที่ต้องการ (Wang & Hartel, 2020)

ตารางที่ 4.8 ค่าความหนืดของซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่ต่างกัน

สูตร	Viscosity
CT	1276.67 $\pm$ 20.40 ^b
A25	1970.67 $\pm$ 30.29 ^a
A50	972.33 $\pm$ 11.59 ^c
A75	645.43 $\pm$ 6.34 ^d
A100	494.17 $\pm$ 5.20 ^e

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d, e ที่แตกต่างกันในแนวดังแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$)

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน ($^{\circ}$ Brix)

จากการวิเคราะห์ค่าความหวานของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามที่ใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาลในสัดส่วนที่ต่างกัน จากตารางที่ 4.9 พบว่า ค่า $^{\circ}$ Brix มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของดี-อัลลูโลสที่เพิ่มขึ้นในสูตร โดยสูตรควบคุม (CT) ซึ่งใช้น้ำตาลมะพร้าว 100% มีค่า $^{\circ}$ Brix สูงที่สุดที่ 68.93 ± 0.15 รองลงมาคือสูตร A25, A50, A75 และ A100 ซึ่งมีค่า $^{\circ}$ Brix เท่ากับ 68.50 ± 0.20 , เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

68.20 ± 0.36 , 67.93 ± 0.73 และ 67.60 ± 0.30 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า ค่าความหวานของสูตรต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$ โดยสามารถจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยออกเป็น 3 กลุ่มย่อย ซึ่งแสดงถึงผลของการใช้ดี-อัลลูโลสที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ลดลง

ในเชิงวิทยาศาสตร์ ค่า °Brix คือค่าที่สะท้อนถึงความเข้มข้นของน้ำตาลที่ละลายอยู่ในสารละลาย ซึ่งจะสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการหักเหของแสงในสารละลายนั้น โดยทั่วไปน้ำตาลซูโครสจะมีค่า °Brix สูงกว่าสารให้ความหวานที่มีพลังงานต่ำ เช่น ดี-อัลลูโลส เนื่องจากความสามารถในการหักเหแสงต่ำกว่า แม้ว่าจะมีรสหวานคล้ายคลึงกัน (Xie et al., 2024)

ดังนั้น ผลการศึกษานี้ยืนยันว่า การใช้ดี-อัลลูโลสแทนน้ำตาลมะพร้าวซึ่งเป็นน้ำตาลซูโครสในซอสมะขามพร้อมใช้มีผลทำให้ค่าความหวานตาม °Brix ลดลง โดยค่าที่ลดลงนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติทางเคมีของดี-อัลลูโลส รวมถึงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการละลายน้ำตาลและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายในระหว่างการผลิต เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลในสูตรต่างๆ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในความเข้มข้นของสารละลายและการหักเหแสงจากน้ำตาล

ตารางที่ 4.9 ค่าปริมาณ °Brix ของซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่แตกต่างกัน

สูตร	°Brix
CT	68.93 ± 0.15^a
A25	68.50 ± 0.20^{ab}
A50	68.20 ± 0.36^{abc}
A75	67.93 ± 0.73^{bc}
A100	67.60 ± 0.30^c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$)

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากผลการวิเคราะห์ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามที่มีการใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาล ส่งผลให้ค่า pH ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มสัดส่วนของดี-อัลลูโลส โดยสูตรควบคุม (CT) ซึ่งใช้น้ำตาลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าว 100% มีค่า pH สูงที่สุด (2.44 ± 0.02) ขณะที่สูตรที่ใช้ดี-อัลลูลอส 100% (A100) มีค่า pH ต่ำที่สุด (2.26 ± 0.01) ซึ่งแสดงถึงความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ โดยผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าค่าความแตกต่างเหล่านี้มีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามระดับของการทดแทนน้ำตาล

ผลที่ได้อาจอธิบายได้จากคุณสมบัติของ ดี-อัลลูลอส (D-allulose) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายฟรุกโตส และมักจะมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนกว่าน้ำตาลซูโครสหรือกลูโคส ส่งผลต่อสภาพสมดุลกรด-เบสในระบบ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่มีสภาวะกรดเด่น เช่น ซอสมะขาม นอกจากนี้ น้ำตาลมะพร้าวในสูตรควบคุมมีแร่ธาตุบางชนิด เช่น โพแทสเซียม และฟอสเฟต ซึ่งอาจมีฤทธิ์เป็น buffer (สารรักษาสมดุลกรด-เบส) ทำให้สูตรที่มีน้ำตาลมะพร้าวมีค่า pH สูงกว่าสูตรที่ใช้ดี-อัลลูลอสล้วน (A100) (Chattopadhyay et al., 2014)

ในแง่ของคุณภาพผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงของ pH มีความสำคัญอย่างมากต่อเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยค่า pH ที่ต่ำกว่า 4.6 ถือว่าอยู่ในช่วงปลอดภัยสำหรับการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้น แม้ค่า pH ของสูตรที่ใช้ดี-อัลลูลอสจะลดลง แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทซอสเปรี้ยว

ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li et al. (2022) ที่พบว่า สามารถใช้ดี-อัลลูลอสในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่าความเป็นกรดได้ดี และมีแนวโน้มทำให้ค่า pH ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างดี-อัลลูลอสกับกรดอินทรีย์ภายในระบบ

ตารางที่ 4.10 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูลอสในปริมาณที่ต่างกัน

สูตร	pH
CT	2.44 ± 0.02^a
A25	2.33 ± 0.01^b
A50	2.29 ± 0.02^c
A75	2.27 ± 0.01^{cd}
A100	2.26 ± 0.01^d

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูโลสในปริมาณที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 สูตร

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของซอสมะขามพร้อมใช้ทั้ง 4 สูตร (A25, A50, A75 และ A100) เพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสมในการนำมาพัฒนาต่อ โดยใช้แบบประเมิน 9-point hedonic scale

การวิเคราะห์ผลแต่ละคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่นหอมของมะขาม, กลิ่นหอมของคาราเมล, ความหวาน, ความเปรี้ยว ทุกสูตรมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p > 0.05$ อาจหมายความว่า ผู้บริโภคไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของคุณลักษณะเหล่านี้ได้อย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรต่างๆ แสดงให้เห็นว่าการทดแทนด้วยดี-อัลลูโลส ในระดับต่างๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อรับรู้ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคกลุ่มตัวอย่างในคุณลักษณะเรื่องรส, กลิ่น, สี และลักษณะปรากฏอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ในขณะที่หากพิจารณาแต่ละด้านการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่า คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส สูตร A50 (7.40 ± 1.06) มีคะแนนความชอบสูงกว่า A100 (6.20 ± 1.70) ความรู้สึกหลงเหลือหลังกลืน (Aftertaste) สูตร A50 (7.00 ± 0.93) มีคะแนนสูงกว่าสูตร A100 (5.80 ± 2.15) และความชอบโดยรวม พบว่า สูตร A50 (7.47 ± 1.06) สูงที่สุด และแตกต่างจากสูตร A25 (6.93) และสูตร A100 (5.93) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สรุปได้ว่า สูตร A50 หรือสูตร ที่ใช้ดี-อัลลูโลสทดแทน 50 เปอร์เซ็นต์ ได้คะแนนความพึงพอใจด้านเนื้อสัมผัสสูงสุด, ความรู้สึกหลงเหลือหลังกลืน (Aftertaste) และความชอบโดยรวมสูงที่สุด

การประเมินแบบการเรียงลำดับความชอบ (Ranking Test) พบว่าสูตรที่ผู้บริโภคชอบมากที่สุดตามลำดับคือ สูตร A50 และ A25 โดยมีคะแนน Ranking เฉลี่ย 3.00 ± 0.93 และ 2.87 ± 1.46 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่สูตร A100 ได้คะแนนต่ำที่สุด (1.87 ± 0.74) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากสูตร A25 และ A50 ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ผลการประเมินนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาลในระดับ 25–50 เปอร์เซ็นต์ ยังสามารถรักษาคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ดี โดยเฉพาะด้านความชอบโดยรวมและความชอบในภาพรวมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจมีผลต่อความกลมกล่อมและรสชาติที่คุ้นเคยของผู้บริโภคดี-อัลลูโลส มีรายงานวิจัยที่ระบุว่าดี-อัลลูโลสให้ระดับความหวานใกล้เคียงกับน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้ในสูตร แต่ให้พลังงานต่ำและมีความรู้สึกหลงเหลือหลังกลืน (Aftertaste) ที่บางกลุ่มผู้บริโภคอาจรับรู้ได้ชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อใช้ในปริมาณเปอร์เซ็นต์สูง (Gosciny et al., 2020) นอกจากนี้การนำดี-อัลลูโลสมาใช้ในซอส พบว่าสามารถให้รสสัมผัสใกล้เคียงซอสดั้งเดิม โดยมีแนวโน้มในการคงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไว้ได้ หากใช้ในระดับที่ไม่สูงเกินไป (Mora et al., 2020)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 คะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของซอสมะขามแต่ละสูตร

คุณลักษณะ	9-point hedonic scale			
	สูตร A25	สูตร A50	สูตร A75	สูตร A100
Appearance ^{ns}	6.47±1.89	7.13±1.19	6.60±1.24	6.53±1.13
Color ^{ns}	6.93±1.71	6.93±1.10	6.87±1.36	7.00±1.25
Scent of tamarind ^{ns}	7.27±1.44	7.27±1.16	6.73±0.96	7.00±1.13
Scent of caramel ^{ns}	6.53±1.41	6.80±0.86	6.67±1.18	6.47±1.30
Sweetness ^{ns}	6.67±1.72	6.87±1.06	6.93±1.87	6.47±1.64
Sourness ^{ns}	6.53±1.81	7.13±1.4	6.73±1.58	6.33±1.54
Texture	6.73±2.25 ^{ab}	7.40±1.06 ^a	7.07±1.22 ^{ab}	6.20±1.70 ^b
Aftertaste	6.67±1.76 ^{ab}	7.00±0.93 ^a	6.53±1.41 ^{ab}	5.80±2.15 ^b
Overall liking	6.93±1.98 ^a	7.47±1.06 ^a	6.60±1.64 ^{ab}	5.93±2.02 ^b

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$) ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการจำนวนผู้ทำแบบทดสอบ ($n=15$)

ตารางที่ 4.12 คะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบการเรียงลำดับความชอบ

Hedonic Ranking Test	
สูตร	Ranking score
A25	2.87 ± 1.46 ^a
A50	3.00 ± 0.93 ^a
A75	2.27 ± 0.96 ^{ab}
A100	1.87 ± 0.74 ^b

หมายเหตุ: ค่าที่มีตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการจำนวนผู้ทำแบบทดสอบ ($n=15$)

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่า สูตร A50 ซึ่งมีการใช้ดี-อัลลูโลสในสัดส่วนร้อยละ 50 แสดงคุณภาพที่เหมาะสมทั้งในด้านคุณภาพทางเคมีกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยมีลักษณะทางกายภาพที่สมดุล กล่าวคือ ค่าสี (L^* , a^* , b^*) อยู่ในระดับกลาง แสดงถึงสีที่ไม่จางหรือเข้มจนเกินไป ค่าความหนืด (972.33 ± 11.59 cP) อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นซอสปรุงรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ขึ้นหรือเหลวจนเกินไป ขณะที่ค่า °Brix (68.20 ± 0.36) ยังคงให้ความหวานใกล้เคียงผลิตภัณฑ์ซอสทั่วไป และค่า pH (2.29 ± 0.02) อยู่ในช่วงที่ปลอดภัยและเสถียรสำหรับผลิตภัณฑ์กรดต่ำ

นอกจากนี้ ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าสูตร A50 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด (7.47 ± 1.06) โดยมีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสและความรู้สึกหลังกลืน (Aftertaste) สูงที่สุดเช่นกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าการใช้ดี-อัลลูโลสในสัดส่วนดังกล่าวยังไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในทางลบ การจัดอันดับความชอบ (Ranking Test) ยังสนับสนุนผลดังกล่าว โดยสูตร A50 ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุด (3.00 ± 0.93) ร่วมกับสูตร A25 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความแตกต่างจากสูตร A100 อย่างชัดเจน

ด้วยเหตุนี้ สูตร A50 จึงถือเป็นสูตรที่แสดงถึง สมดุลที่เหมาะสมระหว่างคุณภาพของผลิตภัณฑ์และแนวทางเพื่อสุขภาพ เนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำตาลได้ถึงร้อยละ 50 โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการยอมรับของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ จึงเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในขั้นตอนต่อไป

4.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพ เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนาได้ ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของซอสมะขามพร้อมใช้ ที่ใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาลในระดับ 50% ซึ่งแบ่งเป็นตัวอย่างทั้งหมด 3 อุณหภูมิที่เก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส), 40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส โดยทำการตรวจสอบตัวอย่างซอสมะขามทุก ๆ 1 สัปดาห์เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ และอุณหภูมิของซอสในการตรวจสอบคุณภาพ ควบคุมที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียสในทุกตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์และการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่แม่นยำ



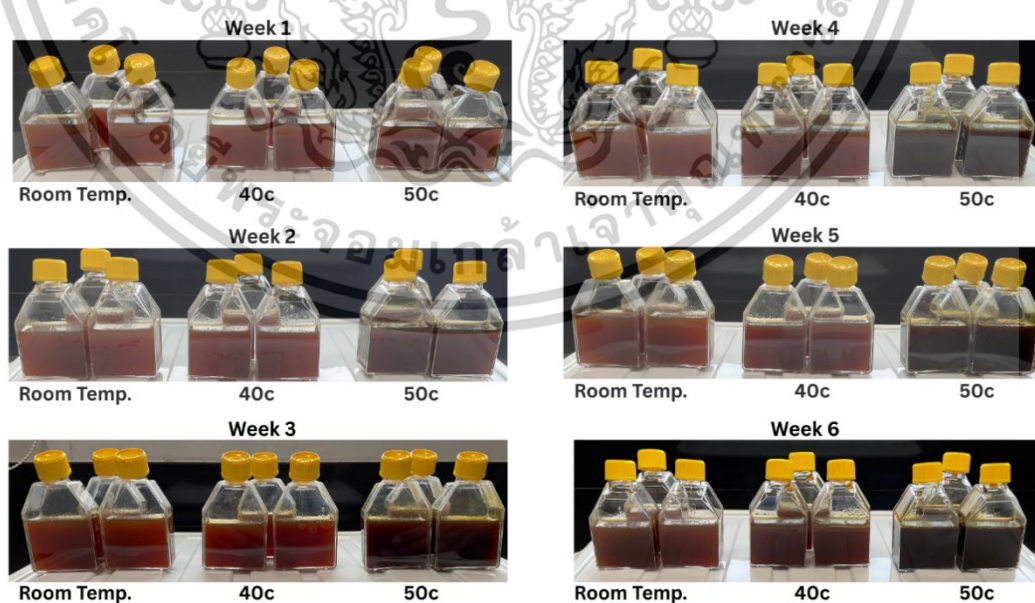
ภาพที่ 4.4 ซอสมะขามพร้อมใช้ในซองบรรจุภัณฑ์ สำหรับใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองอายุการเก็บรักษาในแต่ละสัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

การวิเคราะห์ค่าสีของซอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบต่อค่าสีของซอสมะขามเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า $L^*a^*b^*$ ของซอสมะขาม จากตารางที่ 4.13 ค่าความเข้มของสี (L^*) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกอุณหภูมิ ซึ่งบ่งชี้ถึงความเข้มของสีที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะตัวอย่างที่เก็บที่ 50 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างลดลงอย่างรวดเร็วจาก 11.59 ± 0.33 ในสัปดาห์ที่ 0 เหลือเพียง 0.07 ± 0.02 ในสัปดาห์ที่ 6 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบแนวโน้มการลดลงเช่นกัน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส) ซึ่งลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 เป็นต้นไป

นอกจากนี้ ค่าทางสถิติในทุกสัปดาห์ของแต่ละอุณหภูมิยืนยันว่า ความแตกต่างของค่าที่วัดในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละอุณหภูมิต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงถึงผลของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่ให้สี เช่น การสลายของกรดอินทรีย์หรือปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction และ Caramelization) ซึ่งมีความไวต่อความร้อนและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีซอสอย่างชัดเจนระหว่างการเก็บรักษาซอสหรือผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลและความเป็นกรดสูง (Wibowo et al., 2015 ; Maskan, 2006)



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบลักษณะภายนอกของซอสมะขามพร้อมใช้ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ค่าสีของซอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

สัปดาห์ที่	Color								
	Room Temp.			Keep 40°C			Keep 50°C		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0 ^{ns}	11.59±0.33 ^a	26.33±0.32 ^a	19.81±0.54 ^a	11.59±0.33 ^a	26.33±0.32 ^a	19.81±0.54 ^a	11.59±0.33 ^a	26.33±0.32 ^a	19.81±0.54 ^a
1	11.45±0.31 ^{aA}	26.16±0.63 ^{aA}	19.57±0.55 ^{aA}	10.39±0.25 ^{bB}	26.29±0.28 ^{aA}	17.76±0.42 ^{bB}	6.14±0.06 ^{bC}	24.10±0.56 ^{bB}	10.44±0.12 ^{bC}
2	10.25±0.09 ^{bA}	26.10±0.11 ^{aA}	17.42±0.18 ^{bA}	8.05±0.35 ^{cB}	25.44±0.35 ^{bB}	13.65±0.72 ^{cB}	2.11±0.11 ^{cC}	10.81±0.70 ^{cC}	3.45±0.22 ^{cC}
3	9.32±0.56 ^{cA}	25.58±0.73 ^{bA}	15.96±0.95 ^{cA}	6.89±0.08 ^{dB}	24.69±0.12 ^{cB}	11.72±0.13 ^{dB}	0.70±0.11 ^{dC}	3.61±0.05 ^{dC}	1.11±0.19 ^{dC}
4	8.81±0.20 ^{dA}	25.56±0.27 ^{bA}	14.98±0.30 ^{dA}	5.51±0.41 ^{eB}	22.59±1.15 ^{dB}	9.35±0.70 ^{eB}	0.19±0.02 ^{eC}	0.71±0.14 ^{eC}	0.12±0.08 ^{eC}
5	8.10±0.07 ^{eA}	25.18±0.21 ^{bA}	13.70±0.22 ^{eA}	4.31±0.19 ^{fB}	19.73±0.74 ^{eB}	7.26±0.30 ^{fB}	0.12±0.03 ^{eC}	0.36±0.13 ^{efC}	0.05±0.05 ^{eC}
6	6.68±0.04 ^{fA}	26.33±0.12 ^{cA}	11.34±0.11 ^{fA}	3.33±0.18 ^{gB}	16.09±0.62 ^{fB}	5.57±0.33 ^{gB}	0.07±0.02 ^{eC}	0.10±0.56 ^{fC}	0.00±0.08 ^{eC}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d, e, f, g ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร ns ในแนวนอน ที่สัปดาห์ที่ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร A-C ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละอุณหภูมิการเก็บของแต่ละสัปดาห์ และเปรียบเทียบแต่ละพารามิเตอร์สี (L*, a*, b*) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง (n=3)

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity)

การวิเคราะห์ค่าความหนืดเพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างซอสมะขามแก่รักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกันในแต่ละสัปดาห์ ใช้หัววัดเบอร์ SC4-34 ตั้งค่าความเร็วคงที่ 50 รอบต่อนาที (RPM) อุณหภูมิของซอสควบคุมที่ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ในการวัดค่าความหนืดของทุก ๆ ตัวอย่าง

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของซอส จากตารางที่ 4.14 พบว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 ค่าความหนืดของซอสแต่ละสัปดาห์ที่ทุกอุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าในช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นมีความสม่ำเสมอในด้านความหนืด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในแต่ละอุณหภูมิ พบแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดแตกต่างกัน ดังนี้:

เก็บที่อุณหภูมิห้อง: ค่าความหนืดมีการผันผวนเล็กน้อย โดยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 (1174.00 ± 6.08) และลดลงใน Week 6 (1109.00 ± 6.00) อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับช่วงก่อนหน้า ($p \leq 0.05$) สะท้อนถึงความเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมีหรือเอนไซม์ (Hlaváč et al., 2019)

เก็บที่อุณหภูมิห้อง 40 องศาเซลเซียส: มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะใน สัปดาห์ที่ 5 และ สัปดาห์ที่ 6 ซึ่งให้ค่าสูงสุด (1230.33 ± 64.53 และ 1222.67 ± 26.58 ตามลำดับ) และแตกต่างจากช่วงต้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเป็นผลจากการระเหยของน้ำในอัตราเร่ง หรือการสร้างพันธะของสารละลายเข้มข้นขึ้น (Francisquini et al., 2019)

เก็บที่อุณหภูมิห้อง 50 องศาเซลเซียส: ค่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนใน สัปดาห์ที่ 4 (1030.33 ± 14.19) และแม้ว่าใน สัปดาห์ที่ 5 จะเพิ่มขึ้น (1118.33 ± 14.05) แต่ลดลงอีกครั้งใน สัปดาห์ที่ 6 (1076.33 ± 9.29) ค่าความหนืดของซอสมะขามเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดมีแนวโน้มแปรปรวนขึ้น-ลง ไม่สม่ำเสมอ สามารถอธิบายได้จากปัจจัยหลายประการ ดังนี้:

ความร้อนสูงกระตุ้นทั้งการระเหยและการเสื่อมสลาย ในช่วงต้นของการเก็บที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อาจทำให้น้ำบางส่วนระเหยออก ส่งผลให้ของแข็งในซอสเข้มข้นขึ้น ความหนืดจึงเพิ่มขึ้นชั่วคราว แต่เมื่อเก็บต่อเนื่องความร้อนสูงและความเป็นกรดของซอส อาจส่งผลต่อการแตกสลายของโครงสร้างเนื้อซอส จะเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของพอลิเมอร์ เช่น เพกติน หรือกัมที่ช่วยเพิ่มความหนืด ทำให้โครงสร้างอุ้มน้ำพังทลาย ทำให้ความหนืดลดลงอีกครั้ง (Morris et al., 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยา Maillard และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างน้ำตาล อุณหภูมิที่สูงขึ้นสามารถกระตุ้นการเกิด ปฏิกิริยา Maillard หรือ Caramelization บางส่วน โดยเฉพาะในสูตรที่ใช้น้ำตาลธรรมชาติหรือ ดี-อัลลูโลส ซึ่งไวต่อความร้อน ปฏิกิริยาเหล่านี้อาจก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์เชิงซ้อนที่เปลี่ยนลักษณะเนื้อสัมผัสของซอส ส่งผลให้ความหนืดเปลี่ยนแปลงแบบไม่สม่ำเสมอ (Bolger et al., 2021)

สรุปได้ว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความหนืดของซอสมะขามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิห้อง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าความหนืดสูงขึ้นชัดเจน ขณะที่อุณหภูมิห้อง 50 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น อันอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเชิงเคมีในสภาพความร้อนสูง (Liu et al., 2021)

ตารางที่ 4.14 ค่าความหนืด (Viscosity) ของซอสมะขามพร้อมใช้ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

สัปดาห์ที่	Viscosity		
	Room Temp.	Keep 40c°	Keep 50c°
0	1068.33±14.50 ^d	1068.33±14.50 ^c	1068.33±14.50 ^b
1 ^{ns}	1143.00±54.62 ^{abc}	1147.33±13.65 ^b	1148.00±14.73 ^a
2 ^{ns}	1162.67±33.55 ^{ab}	1164.33±19.86 ^b	1144.00±38.16 ^a
3	1122.00±11.36 ^{bcB}	1179.00±9.54 ^{abA}	1078.67±12.86 ^{bc}
4	1174.00±6.08 ^{aA}	1089.00±3.61 ^{cB}	1030.33±14.19 ^{cC}
5	1155.00±9.85 ^{abcAB}	1230.33±64.53 ^{aA}	1118.33±14.05 ^{aB}
6	1109.00±6.00 ^{cdB}	1222.67±26.58 ^{aA}	1076.33±9.29 ^{bB}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร ns ในแนวนอน ที่สัปดาห์ที่ 1-2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร A-C ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละอุณหภูมิการเก็บของแต่ละสัปดาห์ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$)

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน (°Brix)

การเปลี่ยนแปลงค่าความหวาน (°Brix) ของซอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 4.15 แสดงค่าความหวาน (°Brix) ซึ่งเก็บรักษาใน 3 อุณหภูมิ พบว่าค่าความหวานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการเก็บ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งค่า °Brix เพิ่มขึ้น 66.53 ± 0.67 ในสัปดาห์ที่ 0 เป็น 70.60 ± 0.17 ในสัปดาห์ที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวอย่างซอสมะขามที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แม้ค่า °Brix จะมีการเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่มีความแปรปรวนสูงในบางช่วง เช่น สัปดาห์ที่ 4–6 อาจเกิดจากการระเหยของน้ำและการตกผลึกบางส่วนของสารละลายในสูตร ขณะที่ตัวอย่างซอสมะขามที่เก็บที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่า °Brix เพิ่มขึ้นช่วงต้นและคงตัวในช่วงปลาย โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 68 °Brix ตลอดระยะเวลาการเก็บ

การเพิ่มขึ้นของค่า °Brix อาจมีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำในระดับต่ำจากบรรจุภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำตาล เช่น การรวมตัว (Aggregation) ของดี-อัลลูโลส หรือปฏิกิริยา Maillard เบื้องต้น ซึ่งยังไม่ส่งผลกระทบต่อสีมากนัก (Chattopadhyay et al., 2014)

ตารางที่ 4.15 ค่าความหวาน (°Brix) ของซอสมะขามพร้อมใช้ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

สัปดาห์ที่	°Brix		
	Room Temp.	Keep 40c°	Keep 50c°
0 ^{ns}	66.53±0.67 ^d	66.53±0.67 ^d	66.53±0.67 ^b
1 ^{ns}	67.60±1.15 ^{cd}	67.20±0.26 ^{cd}	67.77±0.64 ^a
2	67.50±0.20 ^{cdB}	68.63±0.23 ^{bA}	68.60±0.56 ^{aA}
3 ^{ns}	68.53±0.59 ^{bc}	67.87±0.06 ^{bc}	68.20±0.10 ^a
4	69.07±0.60 ^{bA}	67.33±1.11 ^{cdB}	68.13±0.12 ^{aAB}
5	69.60±0.46 ^{abB}	69.97±0.50 ^{aB}	68.60±0.10 ^{aA}
6	70.60±0.17 ^{aA}	68.63±0.23 ^{bB}	68.10±0.46 ^{aB}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร ns ในแนวนอน ที่สัปดาห์ที่ 0, 1 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร A, B ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละอุณหภูมิการเก็บของแต่ละสัปดาห์ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$)

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของซอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.16 พบว่า ค่า pH ของซอสมะขามในทุกสภาวะการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลา ในช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา (สัปดาห์ที่ 0–1) ค่า pH อยู่ในช่วง 2.28–2.31 ซึ่งถือว่าเป็นกรดจัดตามลักษณะของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอสที่มีรสเปรี้ยว โดยเฉพาะจากเนื้อมะขามที่มีกรดอินทรีย์สูง อย่างไรก็ตาม เมื่อเข้าสู่ช่วงกลางของการเก็บรักษา (สัปดาห์ที่ 3-4) พบว่าค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวของกรดอินทรีย์หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีบางประการที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานี้ (Nkhata & Ayua 2018) หลังจากสัปดาห์ที่ 4 ค่า pH มีแนวโน้มลดลงอีกครั้งในทุกอุณหภูมิ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง (50°C) ซึ่งในสัปดาห์ที่ 6 ค่า pH ลดลงมาอยู่ที่ 2.48 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าตอนต้นของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ค่า pH ยังอยู่ในช่วงที่เป็นกรดและอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้สำหรับผลิตภัณฑ์ซอสที่มีความเป็นกรดสูง ซึ่งสามารถช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lee, Martinez & Chen, 2023)

โดยรวมแล้ว ค่า pH ของซอสมะขามพร้อมใช้มีแนวโน้มผันแปรตลอดช่วงการเก็บรักษา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอุณหภูมิและระยะเวลาที่เก็บรักษา โดยอุณหภูมิสูงมีแนวโน้มเร่งการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ได้เร็วกว่าการเก็บในอุณหภูมิห้อง ซึ่งข้อมูลนี้สามารถนำมาใช้พิจารณาในการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสม

ตารางที่ 4.16 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของซอสมะขามพร้อมใช้ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

สัปดาห์ที่	pH		
	Keep Room Temp.	Keep 40c°	Keep 50c°
0 ^{ns}	2.31 ± 0.01 ^d	2.31 ± 0.01 ^e	2.31 ± 0.01 ^d
1	2.28 ± 0.00 ^{eB}	2.29 ± 0.01 ^{eA}	2.29 ± 0.00 ^{dA}
2	2.22 ± 0.01 ^{fB}	2.19 ± 0.02 ^{fB}	2.41 ± 0.02 ^{cA}
3 ^{ns}	2.57 ± 0.02 ^b	2.58 ± 0.01 ^b	2.57 ± 0.03 ^a
4	2.60 ± 0.01 ^{aA}	2.60 ± 0.02 ^{aA}	2.55 ± 0.01 ^{aB}
5	2.54 ± 0.01 ^{cA}	2.49 ± 0.00 ^{dB}	2.46 ± 0.02 ^{bB}
6	2.53 ± 0.01 ^{cA}	2.52 ± 0.01 ^{cA}	2.48 ± 0.00 ^{bB}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d, f ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร ns ในแนวนอน ที่สัปดาห์ที่ 0 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร A, B ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละอุณหภูมิการเก็บของแต่ละสัปดาห์ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ($n=3$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์

ระหว่างการศึกษาอายุการเก็บรักษาซอสมะขาม จากตารางที่ 4.17 ได้ตรวจวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในซอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง, อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างในสัปดาห์ที่ 1, 3 และ 6 ซึ่งครอบคลุมช่วงต้น กลาง และปลายของระยะเวลาเก็บรักษา การวิเคราะห์ประกอบด้วยการตรวจจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) และยีสต์และรา (Yeasts and Molds) ในทุกช่วงเวลาเพื่อประเมินแนวโน้มการปนเปื้อน ขณะที่การตรวจหาเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella spp.* ดำเนินการเฉพาะในสัปดาห์ที่ 1 และ 6 เพื่อประเมินความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ในช่วงต้นและสิ้นสุดการเก็บรักษา

ผลการตรวจวิเคราะห์พบว่า ตัวอย่างทั้งหมดมีค่าจำนวนจุลินทรีย์ต่ำกว่า 10 cfu/g หรือต่ำกว่าขีดตรวจวัด ไม่พบการปนเปื้อนของยีสต์และรา รวมถึงเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella spp.* ในทุกช่วงที่ทำการวิเคราะห์ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดใน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 420) พ.ศ. 2563 ข้อที่ 26.1 สรุปได้ว่าซอสมะขามพร้อมใช้ที่ผ่านการเก็บรักษาในทุกสภาวะทดลอง มีความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนด

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ของซอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา การเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิ การเก็บตัวอย่าง	Total Plate Count cfu/g.	Yeasts and Molds cfu/g.	<i>Staphylococcus aureus</i> cfu/g.	<i>Salmonella spp.</i> per 25 g.
1 Week	Room Temp.	<10	<10est	<10est	Not detected
3 Week	40°C	<10	<10est	-	-
6 Week	50°C	<10	<10est	<10est	Not detected

“เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 420 พ.ศ. 2563 ข้อ 26.1 ที่กำหนดเกณฑ์ด้านจุลินทรีย์สำหรับอาหารพร้อมบริโภค”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการศึกษาอายุการเก็บรักษา

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของซอสมะขามพร้อมใช้ที่เก็บในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Quantitative Descriptive Analysis (QDA) ประกอบด้วยลักษณะ 5 ด้าน ได้แก่ สี (Color), เนื้อสัมผัส (Texture), ความหวาน (Sweetness), ความเปรี้ยว (Sourness) และกลิ่นรสแปลกปลอม (Off-flavor) โดยใช้สเกลแบบเส้น (Line scale) หรือ Numeric scale 0–15 ให้คะแนนระดับความเข้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำการทดสอบในทุก ๆ สัปดาห์เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) ผลการวิเคราะห์ จากตารางที่ 4.18 – 4.20

ค่าสีมีแนวโน้มเพิ่มของระดับความเข้มเพิ่มขึ้นในตัวอย่างซอสมะขามที่เก็บทุกอุณหภูมิ โดยเฉพาะอุณหภูมิการเก็บที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งมีระดับความเข้มสูงขึ้นจาก 6.89 (สัปดาห์ที่ 0) เป็น 14.01 (สัปดาห์ที่ 4) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสีมากที่สุด ในระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บตัวอย่าง ขณะที่การเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องพบการเปลี่ยนแปลงเป็นไปอย่างช้า สาเหตุอาจเกิดจากกระบวนการ Maillard reaction และ caramelization ที่เกิดขึ้นเร็วขึ้นในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดของซอสมะขาม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสี (Wibowo et al., 2015 ; Maskan, 2006)

ค่าเนื้อสัมผัส (ความข้นหนืด) ของซอสมีค่าระดับความเข้มเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ในทุกอุณหภูมิ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติในหลายช่วง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงใน สัปดาห์ที่ 4 (6.61 ± 0.27) ซึ่งอาจเกิดจากโครงสร้างของสารให้ความหนืด (เช่น polysaccharide) อาจเสื่อมสภาพเมื่อได้รับความร้อนเป็นระยะเวลานาน (Hlaváč et al., 2019)

ค่าความหวาน มีแนวโน้มของระดับความเข้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดในตัวอย่างซอสมะขามที่เก็บที่ 50 องศาเซลเซียส จาก 7.23 ± 1.02 (สัปดาห์ที่ 1) เหลือ 4.29 ± 0.98 (สัปดาห์ที่ 4) โดยค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การลดลงนี้อาจเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของ ดี-อัลลูลูลอส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่ไวต่อความร้อน ทำให้ความหวานลดลงตามระยะเวลาการเก็บ (Tao & Matsuo, 2017)

ความเปรี้ยว มีแนวโน้มของระดับความเข้มลดลงในตัวอย่างซอสมะขามที่เก็บไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส อย่างเห็นได้ชัด โดยลดลงจาก 7.20 ± 0.93 (สัปดาห์ที่ 1) เหลือ 4.39 ± 1.00 (สัปดาห์ที่ 4) ความร้อนอาจทำให้เสื่อมสภาพหรือทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำมะขามที่เป็นส่วนผสมหลักในสูตร เช่น กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) และกรดมา

ลิก (malic acids) (Giannakourou & Taoukis, 2003 ; Maia et al., 2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลิ่นรสผิดแปลกปลอมมีค่าระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บในทุกอุณหภูมิการเก็บ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเพิ่มจาก 0.00 (สัปดาห์ที่ 0) เป็น 13.79 ± 0.88 (สัปดาห์ที่ 4) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กลิ่นรสผิดปกติดังกล่าวเกิดจากการเสื่อมสภาพของของสารให้กลิ่น และการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ในสภาวะร้อน (Landy et al., 2002)

หมายเหตุ: ไม่สามารถประเมินทางประสาทสัมผัสใน สัปดาห์ที่ 5-6 ที่ 50 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจากลักษณะภายนอก (สีน้ำตาลดำเข้มและกลิ่นแปลกปลอม) ทำให้สภาวะไม่เหมาะสมในการทดสอบชิม

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ QDA ของซอสมะขามที่เก็บในอุณหภูมิห้องแต่ละสัปดาห์

สัปดาห์	ค่าระดับความเข้มข้น				
	Keep Room Temperature				
	Color	Texture	Sweetness	Sourness	Off-flavor
0	6.89 ± 0.49^c	6.94 ± 0.50^a	6.93 ± 0.35^a	6.87 ± 0.40^a	0.00 ± 0.00^d
1	7.10 ± 0.41^{bc}	7.07 ± 0.44^a	6.89 ± 0.45^a	6.83 ± 0.42^a	0.63 ± 0.21^c
2	7.21 ± 0.45^{bc}	7.09 ± 0.49^a	6.84 ± 0.76^a	6.76 ± 0.69^a	1.00 ± 0.27^b
3	7.57 ± 0.36^{ab}	7.16 ± 0.45^a	6.75 ± 0.88^a	6.67 ± 0.85^a	1.23 ± 0.42^{ab}
4	7.80 ± 0.42^a	7.26 ± 0.44^a	6.63 ± 0.88^a	6.60 ± 0.85^a	1.44 ± 0.44^a
5	8.10 ± 0.53^a	7.23 ± 0.51^a	6.70 ± 0.86^a	6.70 ± 0.81^a	1.49 ± 0.42^a
6	8.10 ± 0.93^a	7.21 ± 0.68^a	6.81 ± 0.87^a	6.81 ± 0.90^a	1.43 ± 0.80^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการจำนวนผู้ทำแบบทดสอบ ($n=7$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 การวิเคราะห์การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ QDA ของซอสมะขามที่เก็บในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสแต่ละสัปดาห์

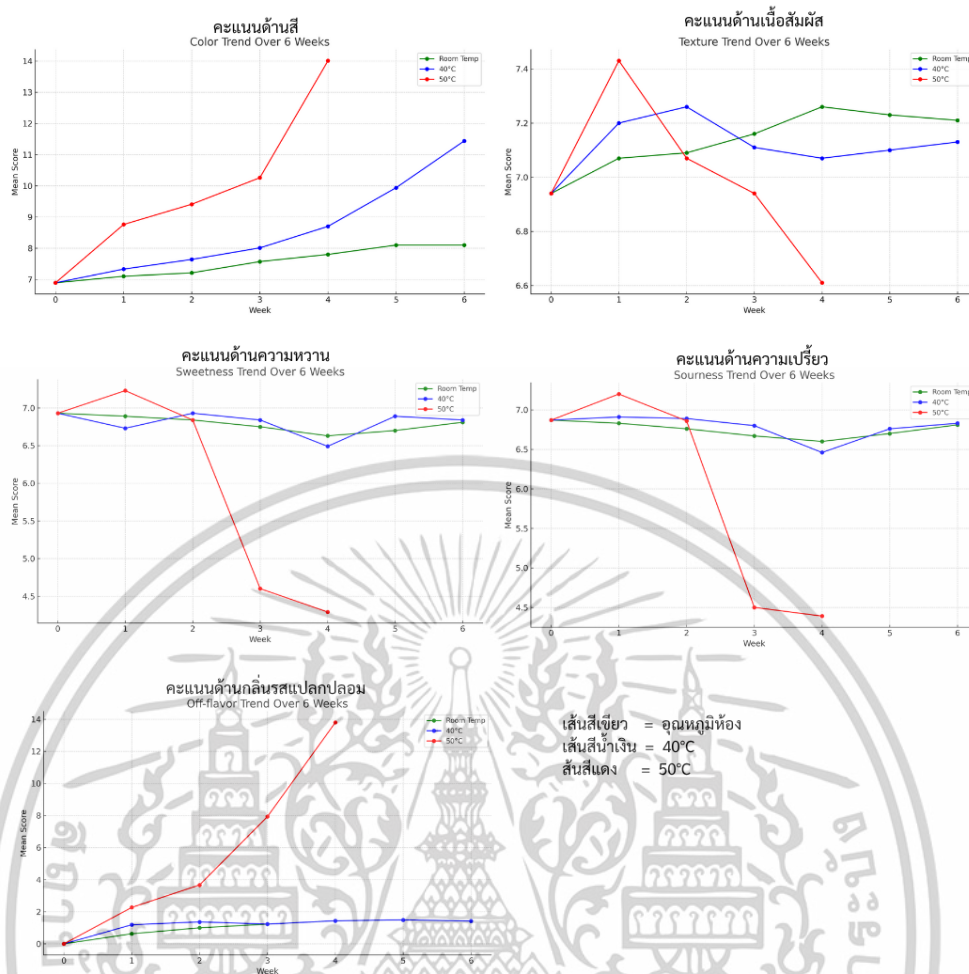
สัปดาห์	ค่าระดับความเข้ม				
	Keep 40 °c				
	Color	Texture	Sweetness	Sourness	Off-flavor
0	6.89±0.49 ^f	6.94±0.50 ^a	6.93±0.35 ^a	6.87±0.40 ^a	0.00±0.00 ^f
1	7.33±0.58 ^{ef}	7.20±0.56 ^a	6.73±0.87 ^a	6.91±0.45 ^a	1.19±0.27 ^e
2	7.64±0.39 ^{de}	7.26±0.54 ^a	6.93±0.84 ^a	6.89±0.81 ^a	1.37±0.24 ^e
3	8.01±0.45 ^d	7.11±0.76 ^a	6.84±0.80 ^a	6.80±0.76 ^a	1.23±0.42 ^d
4	8.70±0.42 ^c	7.07±0.57 ^a	6.49±1.09 ^a	6.46±0.98 ^a	1.44±0.44 ^c
5	9.94±0.53 ^b	7.10±0.41 ^a	6.89±0.91 ^a	6.76±1.14 ^a	1.49±0.42 ^b
6	11.44±0.67 ^a	7.13±0.59 ^a	6.84±1.20 ^a	6.83±1.12 ^a	1.43±0.80 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d, e, f ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการจำนวนผู้ทำแบบทดสอบ (n=7)

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ QDA ของซอสมะขามที่เก็บในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแต่ละสัปดาห์

สัปดาห์	ค่าระดับความเข้ม				
	Keep 50 °c				
	Color	Texture	Sweetness	Sourness	Off-flavor
0	6.89±0.49 ^e	6.94±0.50 ^b	6.93±0.35 ^a	6.87±0.40 ^a	0.00±0.00 ^e
1	8.76±0.57 ^d	7.43±0.57 ^a	7.23±1.02 ^a	7.20±0.93 ^a	2.27±0.52 ^d
2	9.41±0.39 ^c	7.07±0.50 ^{ab}	6.84±0.91 ^a	6.86±0.83 ^a	3.67±1.43 ^c
3	10.26±0.43 ^b	6.94±0.31 ^b	4.60±4.96 ^b	4.50±0.96 ^b	7.93±1.43 ^b
4	14.01±0.45 ^a	6.61±0.27 ^b	4.29±0.98 ^b	4.39±1.00 ^b	13.79±0.88 ^a
5	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c, d, e ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการจำนวนผู้ทำแบบทดสอบ ($n=7$)

ภาพที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบแนวโน้มค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสแต่ละด้านของซอสมะขาม ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกันตลอดระยะเวลา 6 สัปดาห์

4.3.7 การคำนวณอายุการเก็บรักษาด้วยวิธี Q_{10}

จากข้อมูลผลการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพต่าง ๆ ของซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำข้อมูลมาประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าสี การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความหวาน การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดต่าง การวิเคราะห์ค่าคุณภาพด้านจุลินทรีย์ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เมื่อซอสมะขามพร้อมใช้ถูกเก็บในบรรจุภัณฑ์จริงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพในด้านสีมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นที่อุณหภูมิการเก็บแตกต่างกัน ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.5 รวมถึงการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากผู้ชิมที่มีความเชี่ยวชาญได้ผลการประเมินที่มีคะแนนสอดคล้องไปในทางเดียวกัน ในกรณีของซอสมะขามที่เก็บนานมากขึ้นในอุณหภูมิสูงขึ้น โดยค่าคะแนนระดับความเข้มข้นในด้านคุณลักษณะกลิ่นรสแปลกปลอม (Off-flavor) ของซอสมะขามที่เก็บในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในสัปดาห์ที่ 4 มีค่าระดับความเข้มข้นที่สูงถึง 13.79 ซึ่งแตกต่างจากสัปดาห์ที่ 3 ที่มีค่าระดับความเข้มข้นในด้านคุณลักษณะของกลิ่นรสแปลกปลอมนี้อยู่ที่ 7.39 (ยังเป็นสัปดาห์ที่ผู้ชิมให้ความเห็นว่ายังยอมรับได้) รวมถึงผู้ชิมได้ให้ข้อคิดเห็นว่าการเก็บซอสมะขามที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในสัปดาห์ที่ 4 นี้ ไม่สามารถยอมรับได้ในแง่ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสอีกต่อไป สำหรับซอสมะขามที่เก็บในอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ผู้ชิมที่มีความเชี่ยวชาญได้ให้คะแนนระดับความเข้มข้นของแต่ละคุณลักษณะค่อนข้างเกาะกลุ่มกันในการเก็บระหว่าง 1-6 สัปดาห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณลักษณะของกลิ่นรสแปลกปลอมของซอสมะขามที่เก็บในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสอยู่ในระดับที่ผู้ชิมยอมรับได้จนถึงสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการวางแผนการทดลองเก็บผลิตภัณฑ์ซอสมะขาม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำข้อมูลของสัปดาห์ที่ถูกประเมินว่าเป็นจุดสิ้นสุดของคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิการทดลองเก็บที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งคือสัปดาห์ที่ 6 หรือ 42 วัน (ซอสมะขามที่เก็บในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) และ สัปดาห์ที่ 3 หรือ 21 วัน (ซอสมะขามที่เก็บในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) มาทำการคำนวณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนาได้โดยใช้สมการ Q_{10} พบว่า ผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนาได้จะมีอายุการเก็บประมาณ 59 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บ 35 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาซอสมะขามพร้อมใช้โดยใช้น้ำตาลดี-อัลลูลอส (D-allulose) ทดแทนการใช้น้ำตาลมะพร้าวผสมน้ำตาลอ้อยในสูตรดั้งเดิม เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางสุขภาพ ลดปริมาณน้ำตาล และสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลานาน โดยไม่กระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา

5.1 สรุปผลการศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของซอสมะขามพร้อมใช้เชิงพาณิชย์

จากการสำรวจผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ในท้องตลาดทั้งช่องทางออนไลน์และออฟไลน์ มีทั้งหมด 5 ยี่ห้อที่มีลักษณะตรงตามเกณฑ์ที่ต้องการศึกษา ได้แก่ Brand A ถึง E โดยผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์แต่ละยี่ห้อ ทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี ความหนืด ค่าความหวาน ($^{\circ}\text{Brix}$) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่าแต่ละยี่ห้อ มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีลักษณะปรากฏและคุณลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในการออกแบบสูตรซอสมะขามที่ใช้ดี-อัลลูลอสทดแทนน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ มีความหลากหลายทั้งในด้านสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส โดย Brand E มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายไซรัป ในขณะที่ Brand B มีเนื้อสัมผัสข้นจากเนื้อมะขามตามธรรมชาติ การใช้สารเพิ่มความข้นหนืด เช่น Xanthan gum, Guar gum หรือไม่ใช่เลย ส่งผลโดยตรงต่อความรู้สึกของเนื้อสัมผัส ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดที่มีความแตกต่างของทุกยี่ห้ออย่างชัดเจน

ความหนืด (Viscosity) Brand A มีค่าความหนืดสูงที่สุด (2846 cP) แสดงถึงเนื้อซอสที่ข้นมาก ขณะที่ Brand D มีค่าความหนืดต่ำสุด (347 cP) บ่งชี้ถึงลักษณะที่บางเบากว่า ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันในแต่ละยี่ห้ออย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนถึงสูตรเฉพาะของแต่ละแบรนด์ โดยมีการใช้สารเพิ่มความหนืดที่หลากหลาย เช่น Xanthan gum และ Guar gum ซึ่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและความรู้สึกในขณะบริโภค

ค่าสี (L^* , a^* , b^*) Brand E ที่มีค่าสีสูงสุดในทุกมิติ (L^* , a^* , b^*) อาจมาจากการใช้ส่วนผสมที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลหรือส่วนผสมที่ให้สีสด ในขณะที่ Brand A และ B มีค่าสีในทุกมิติ (L^* , a^* , b^*) ต่ำที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากการใช้เนื้อมะขามแท้ที่มีความเข้มข้นโดยไม่มีสารแต่งสี ทำให้สีเข้มคล้ำ

กว่า กลุ่มนี้อาจสะท้อนความเป็นธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ ความหลากหลายของสีที่สัมพันธ์กับสูตรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และวัตถุดิบ เช่น การใช้เนื้อมะขาม น้ำตาลปาล์มหรือน้ำตาลมะพร้าว และเครื่องเทศ เช่น พริก หอมแดงบด ส่งผลกระทบต่อสี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์

ค่าความหวาน °Brix พบว่า Brand E มีค่าความหวานสูงสุด (74.00 °Brix) ส่วน Brand A ต่ำสุด (23.00 °Brix) ซึ่งแสดงถึงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะน้ำตาล ที่อาจมาจากสูตร หรือวิธีการเคี่ยวที่เข้มข้นต่างกัน ค่า °Brix ที่สูงอาจมีผลต่อรสชาติ ความเข้มข้น และอายุการเก็บของ ผลิตภัณฑ์

ความเป็นกรด-ด่าง pH พบว่า Brand C มีค่า pH สูงที่สุด (2.83) ส่วน Brand B ต่ำที่สุด (1.82) โดยค่า pH ทั้งหมดอยู่ในช่วงที่แสดงถึงความเป็นกรดจัด ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะของซอส มะขามที่มีรสเปรี้ยวอย่างเด่นชัด ค่า pH ที่ต่ำสามารถช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดี และมีผลต่อความปลอดภัยในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ ยังพบความหลากหลายในบรรจุภัณฑ์และข้อมูลฉลาก เช่น ขวดแก้ว ขวดพลาสติก อายุการเก็บที่แตกต่างกันจาก 1 เดือนถึง 2 ปี และการเติมสารกันเสียหรือไม่เติม ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ ความปลอดภัย และการรับรู้ของผู้บริโภค

โดยสรุป การสำรวจผลิตภัณฑ์ซอสมะขามในท้องตลาดยังช่วยสะท้อนแนวโน้มและความคาดหวังของผู้บริโภคในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความหนืดที่สมดุล พร้อมทั้งชี้ให้เห็นช่องว่างของตลาดในกลุ่มผลิตภัณฑ์สูตรหวานน้อยหรือใช้สารให้ความหวานทางเลือกอย่างปลอดภัย ข้อมูลเหล่านี้จึงสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางสำคัญในการกำหนดสูตรซอสมะขามที่ใช้ดี-อัลลูลอสให้มีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับในตลาด และตอบโจทย์กลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสมะขามให้มีคุณภาพที่เหมาะสม ตรงตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมายต่อไป

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพของซอสมะขามพร้อมใช้ สูตรทดแทนด้วยดี-อัลลูลอส ในปริมาณที่แตกต่างกัน

จากการพัฒนาสูตรซอสมะขามพร้อมใช้โดยการทดแทนน้ำตาลมะพร้าวด้วยดี-อัลลูลอสในระดับต่างๆ ได้แก่ 25%, 50%, 75% และ 100% เทียบกับสูตรควบคุมที่ใช้น้ำตาลมะพร้าว 100% (CT) พบว่า ปริมาณของดี-อัลลูลอสที่ใช้ในสูตรมีผลต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญในหลายด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสี (L^* , a^* , b^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามระดับของดี-อัลลูโลสในสูตร โดยสูตร A100 มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด สะท้อนถึงสีของผลิตภัณฑ์ที่จางลงเมื่อใช้น้ำตาลที่ทำปฏิกิริยา Maillard และการคาราเมลต่ำกว่าน้ำตาลมะพร้าว

ค่าความหนืด (Viscosity) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มดี-อัลลูโลส โดยสูตร A100 มีความหนืดต่ำที่สุด ขณะที่สูตร A25 กลับมีค่าความหนืดสูงที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากผลของโครงสร้างพิเศษเมื่อผสมดี-อัลลูโลสในระดับต่ำ

ค่าความหวาน ($^{\circ}\text{Brix}$) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของดี-อัลลูโลส โดยสูตร A100 มีค่า $^{\circ}\text{Brix}$ ต่ำที่สุด และสูตร A25 มีค่า $^{\circ}\text{Brix}$ มากที่สุด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการทดแทนน้ำตาลมะพร้าวด้วยดี-อัลลูโลสในซอสมะขามพบว่าค่า $^{\circ}\text{Brix}$ ลดลงตามสัดส่วนของอัลลูโลสที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงความเข้มข้นของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของดี-อัลลูโลสที่มีค่าการหักเหแสงต่ำกว่าน้ำตาลทั่วไป และให้ความหวานน้อยกว่า

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มระดับของดี-อัลลูโลส โดยสูตร A100 มีค่า pH ต่ำที่สุด

การใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาลมะพร้าวส่งผลให้ค่า pH ของซอสมะขามลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติของดี-อัลลูโลสที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน และการลดลงของแร่ธาตุในน้ำตาลมะพร้าวที่ทำหน้าที่เป็นสาร buffer ช่วยรักษาสมาดุลกรด-ด่าง ส่งผลให้สูตรที่ใช้ดี-อัลลูโลสมีความเป็นกรดสูงขึ้น ขณะเดียวกันยังคงอยู่ในช่วง pH ที่ปลอดภัยต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) ผลการประเมินโดยใช้ 9-point hedonic scale พบว่า ทุกสูตรได้รับการยอมรับในลักษณะพื้นฐาน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่น, รสชาติ โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม ในลักษณะของเนื้อสัมผัส Aftertaste และความชอบโดยรวม สูตร A50 ได้คะแนนสูงที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากบางสูตร เช่น A100 ซึ่งได้คะแนนต่ำสุด ผลการทดสอบแบบ Ranking Test พบว่าสูตร A50 และ A25 ได้รับคะแนนการเรียงลำดับความชอบสูงสุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่สูตร A100 ได้คะแนนต่ำสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากสูตรอื่น

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของซอสมะขามพร้อมใช้ข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า สูตร A50 ซึ่งใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาลร้อยละ 50 แสดงคุณสมบัติที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมที่สุด คุณภาพทางกายภาพ เคมี อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ อีกทั้งยังได้รับ คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด จากการประเมินทางประสาทสัมผัส และ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในลักษณะรส สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น จึงเหมาะสมที่เป็นสูตรต้นแบบสำหรับการศึกษาต่อในด้านการเก็บรักษาและอายุผลิตภัณฑ์

5.3 สรุปผลการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของซอสมะขามพร้อมใช้ ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพซอสมะขามพร้อมใช้ ที่พัฒนาโดยใช้ดี-อัลลูโลสทดแทนน้ำตาลในระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้การเก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิประมาณ 25–30 องศาเซลเซียส), อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ และใช้ข้อมูลดังกล่าวในการคำนวณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของซอสมะขามมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยค่า L^* (ความสว่าง) ลดลงอย่างต่อเนื่องทุกอุณหภูมิ โดยเฉพาะที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งลดลงถึงระดับต่ำมาก ภายใน 4 สัปดาห์ สะท้อนถึงการเกิด Maillard reaction และ Caramelization ที่รุนแรงขึ้นภายใต้สภาพความร้อนสูง

ค่าความหนืด (Viscosity) มีแนวโน้มแปรผันตามอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความหนืดลดลงเมื่อเวลาผ่านไป อันเนื่องมาจากการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์ที่ให้ความหนืดภายใต้ความร้อน

ค่าความหวาน ($^{\circ}\text{Brix}$) เพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งอาจเกิดจากการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิสูงมีแนวโน้มทำให้ค่า Brix คงที่หรือแปรปรวนเล็กน้อย

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) แสดงการเปลี่ยนแปลงผันแปรตามเวลา โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงกลางของการเก็บรักษา และลดลงในช่วงท้าย โดยเฉพาะในอุณหภูมิสูง ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวของกรดอินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลิตภัณฑ์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ ซอสมะขามที่เก็บรักษาในทุกสภาวะไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย (เช่น *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella spp.*) ยีสต์-รา และ ค่าจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด แสดงถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพทางประสาทสัมผัส (QDA) ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่เก็บที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีคะแนนคุณลักษณะเชิงลบ เช่น กลิ่นรสแปลกปลอม เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 4 ที่ค่าระดับความเข้มของกลิ่นรสแปลกปลอมสูงถึง 13.79 คะแนน ซึ่งผู้ชิมไม่สามารถยอมรับได้ ในขณะที่อุณหภูมิห้องและ 40 องศาเซลเซียส ผลการประเมินอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตลอดการเก็บรักษา

จากผลการประเมินคุณภาพโดยรวม ทั้งในด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ซอสมะขามที่เก็บที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สูญเสียคุณภาพภายใน 3 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส คุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ถึง 6 สัปดาห์ ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลนี้ ในการคำนวณอายุการเก็บรักษาโดยใช้สมการ Q_{10} และพบว่า ผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ที่พัฒนา ได้มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 59 วัน ที่อุณหภูมิ 35°C

โดยสรุป งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ดี-อัลลูลอสสามารถใช้แทนน้ำตาลในสูตรซอสมะขามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยังสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของดี-อัลลูลอสในฐานะสารให้ความหวานทางเลือกที่มีความปลอดภัยสูง พลังงานต่ำ และไม่ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด ขณะเดียวกันยังสามารถรักษาเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดี และมีศักยภาพในการต่อยอดเชิงพาณิชย์ แต่ยังสามารถคงไว้ซึ่งคุณลักษณะสำคัญทางประสาทสัมผัส ได้แก่ รสชาติ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส ได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับความคาดหวังของผู้บริโภคในกลุ่มเป้าหมาย โดยเฉพาะกลุ่มผู้รักสุขภาพและผู้ที่มีข้อจำกัดด้านการบริโภคน้ำตาล ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ยังสามารถเก็บรักษาได้นานในช่วงเวลาหนึ่ง ขึ้นกับสภาวะอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของผลิตภัณฑ์ภายใต้การควบคุมเงื่อนไขที่เหมาะสม และยังคงความปลอดภัยด้านจุลชีววิทยาไว้ได้ตลอดช่วงการศึกษา

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรได้รับการศึกษาการใช้น้ำตาลอัลลูลอสร่วมกับน้ำตาลทดแทนชนิดอื่นเพิ่มเติม

5.4.2 ควรได้รับการศึกษาเรื่องกลไกของการเกิดเจลในซอสของดี-อัลลูลอสเพิ่มเติม

5.4.3 ควรได้รับการศึกษาเรื่องอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ในสภาวะ

ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการส่งออก กระทรวงพาณิชย์ (2024). เข้าถึงได้จาก: <https://www.ditp.go.th/post/160444>
- กระทรวงสาธารณสุข. (2563). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท. ราชกิจจานุเบกษา. เข้าถึงจาก https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2563/E/237_1/9.PDF
- กระทรวงสาธารณสุข. (2563). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 420) พ.ศ. 2563 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์. ราชกิจจานุเบกษา. เข้าถึงจาก <https://food.fda.moph.go.th>
- กรุงเทพธุรกิจ (2566), แกะรอยได้ เครื่องปรุงครัวไทย เข้าถึงได้จาก [:https://www.bangkokbiznews.com/business/business/1094544](https://www.bangkokbiznews.com/business/business/1094544)
- กองวิจัยและพัฒนางานส่งเสริมการเกษตร (2022), การทำน้ำตาลมะพร้าว จ.สมุทรสงคราม, ศูนย์เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการเกษตร: <https://www.gosmartfarmer.com/article/11388>
- เทคโนโลยีชาวบ้าน 2022, ท่องเที่ยวเชิงเกษตร บุกแหล่งผลิตน้ำตาลมะพร้าว, เทคโนโลยีชาวบ้าน เข้าถึงได้จาก: https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_180182
- ไทยรัฐออนไลน์ (2022), รู้จักสรรพคุณมะขามเปียก เข้าถึงได้จาก: <https://www.thairath.co.th/lifestyle/food/2335960>
- มนัญญา คำจิระพิทักษ์, สวรรส วรรณพราหมณ์, & มงคล วงษ์กุล. (2023). ผลของชนิดของสารให้ ความหวานต่อคุณภาพสเปรดกีวีผสมมะขาม (Dillenia indica Linn.). วารสารวิจัยและพัฒนาโดยองค์กร ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 18(1), 1-12.
- มรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรม (2021), องค์ความรู้การทำน้ำตาลมะพร้าว, สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดสุราษฎร์ธานี เข้าถึงได้จาก: https://www2.m-culture.go.th/suratthani/ewt_news.php?nid=2744&filename=index
- วริษา เยี่ยมสมณะ (2563). การศึกษาความตั้งใจในการซื้อฮอสปรุงรสเพื่อสุขภาพของผู้บริโภค (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต). คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สำนักโภชนาการ, กรมอนามัย 2018, มะขามเปียก เข้าถึงได้จาก: <https://thaifcd.anamai.moph.go.th/nss/view.php?fid=04164>
- อังคณา สิทธิการ (2568). แนวโน้มธุรกิจเครื่องปรุงรส (ฉบับ update). Krunghthai COMPASS.
- สืบค้นเมื่อ [1 มิถุนายน 68], จากเว็บไซต์ SETTRADE: <https://www.settrade.com/th/news-and-articles/articles/588-krungthai-compass-seasoning-agro-update>
- Ali, A., More, T. A., & Shaikh, Z. (2021). Artificial sweeteners and their health implications: a review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 18(2), 227-237.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AOAC International. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18th ed.). Gaithersburg, MD: AOAC.

Au-Yeung, F., Jenkins, A. L., Prancevic, S., Vissers, E., Campbell, J. E., & Wolever, T. M. (2023). Comparison of postprandial glycemic and insulinemic response of allulose when consumed alone or when added to sucrose: A randomized controlled trial. *Journal of Functional Foods*, 105, 105569.

Bolger, A. M., Rastall, R. A., Oruna-Concha, M. J., & Rodriguez-Garcia, J. (2021). Effect of D-allulose, in comparison to sucrose and D-fructose, on the physical properties of cupcakes. *Lwt*, 150, 111989.

Center for Research on Ingredient Safety. (n.d.). Pasteurization. Michigan State University. Retrieved from: <https://cris.msu.edu/news/trending/pasteurization/>

Chattopadhyay, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2014). Artificial sweeteners—a review. *Journal of food science and technology*, 51, 611-621.

Chung, M. Y., Oh, D. K., & Lee, K. W. (2012). Hypoglycemic health benefits of D-psicose. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(4), 863-869.

Chunlakan, P., Promjeen, K., & Sae-tan, S. (2021). Process development for reduced sodium and sugar of ready-to-use concentrated tamarind sauce for commercialization. *Life Sciences and Environment Journal*, 22(1), 72-82, 115-126.

Chunlakan, P., Promjeen, K., & Dechaprakrom, K. (2019). Development of reduced sodium and sugar ready-to-use concentrated tamarind sauce from low grade sweet-variety tamarind for further commercial. *Food and Agricultural Technology Pibulsongkram Rajabhat University*.

Ertugrul, U., Tas, O., Namli, S., & Oztop, M. H. (2021). A preliminary investigation of caramelisation and isomerisation of allulose at medium temperatures and alkaline pHs: A comparison study with other monosaccharides. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(10), 5334-5339.

Fellows, P. (2017). *Food Processing Technology: Principles and Practice* (4th ed.). Woodhead Publishing.

Food insight (2021) reviewed by Kris Sollid, RD Updated on December 15, 2021 เข้าถึงได้จาก: <https://foodinsight.org/what-is-allulose-a-different-kind-of-low-calorie-sweetener>

Food Intelligence Center. (2566), เข้าถึงได้จาก: อุตสาหกรรมเครื่องปรุงรสของไทย ปี 2566 (nfi.or.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Francisquini, J. d. A., Carvalho, A. F., Silva, P. H. F., Silva, F. L., & Perrone, I. T. (2019). Evolution of soluble solid content and evaporation rate curves during the manufacture of dulce de leche. *Food Science and Technology (Campinas)*, 39(2), 358–364.
- Ghebremedhin, M., Seiffert, S., & Vilgis, T. A. (2024). Effects of sugar molecules on the rheological and tribological properties and on the microstructure of agarose-based fluid gels. *Frontiers in Soft Matter*, 4, 1363898.
- Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. (2003). Kinetic modelling of vitamin C loss in frozen vegetables under variable storage conditions. *Food Chemistry*, 83(1), 33–41.
- Glicksman, M. (2020). Tamarind seed gum. In *Food hydrocolloids* (pp. 191-202). *CRC press*.
- Goscinnny, S., Seyer, A., Chabanet, C., Schlich, P., Kuesten, C., et al. (2019). Temporal sweetness and side-tastes profiles of 16 sweeteners using sequential profiling. *Food Quality and Preference*, 76, 57–71.
- Han, Y., Choi, B. R., Kim, S. Y., Kim, S. B., Kim, Y. H., Kwon, E. Y., & Choi, M. S. (2018). Gastrointestinal tolerance of D-allulose in healthy and young adults. A non-randomized controlled trial. *Nutrients*, 10(12), 2010.
- Healthline (2022) Is Allulose a Healthy Sweetener? Medically reviewed by Kim Chin, RD, Nutrition by Franziska Spritzler (2022, November 28), เข้าถึงได้จาก <https://www.healthline.com/nutrition/allulose>
- Hadipernata, M., Ogawa, M., & Hayakawa, S. (2016). Effect of D-allulose on rheological properties of chicken breast sausage. *Poultry Science*, 95(9), 2120-2128.
- Hlaváč, P., Božiková, M., Petrović, A., Ardonová, V., & Kotoulek, P. (2019). Temperature and storing time effect on rheologic properties of selected tomato ketchups. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 23(2), 78–82.
- Hlebová, M., & Božik, M. (2023). Effect of Conventional Preservatives and Essential Oils on the Survival and Growth of *Escherichia coli* in Vegetable Sauces: A Comparative Study. *Foods*, 12(15), 2832.
- Holdsworth, S. D., & Simpson, R. (2007). *Thermal Processing of Packaged Foods* (2nd ed.). *Springer*.
- Hossain, A., Yamaguchi, F., Matsuo, T., Tsukamoto, I., Toyoda, Y., Ogawa, M., ... & Tokuda, M. (2015). Rare sugar D-allulose: Potential role and therapeutic monitoring in maintaining obesity and type 2 diabetes mellitus. *Pharmacology & therapeutics*, 155, 49-59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- International Organization for Standardization. (2017). ISO 6579-1:2017. Microbiology of the food chain-Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella — Part 1: Detection of Salmonella spp. Geneva, Switzerland: ISO.
- Ivanova, N. S., Kulminskaya, A. A., & Shvetsova, S. V. (2023). Structural and Functional Features of Ketose-3-Epimerases and Their Use for D-Allulose Production. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 49(4), 731-741.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). Modern Food Microbiology (7th ed.). *Springer Science & Business Media*.
- Kimoto-Nira, H., Moriya, N., Hayakawa, S., Kuramasu, K., Ohmori, H., Yamasaki, S., & Ogawa, M. (2017). Effects of rare sugar D-allulose on acid production and probiotic activities of dairy lactic acid bacteria. *Journal of dairy science*, 100(7), 5936–5944.
- Kirk, R. S., & Sawyer, R. (1991). Pearson's composition and analysis of foods (9th ed.). *Longman Scientific & Technical*.
- Kumar, A., & Singh, R. (2023). Determination of quality kinetics, microbiology, and sensory characteristics of shelf-stable chicken wing sauces. *Frontiers in Food Science and Technology*, 3, Article 1204804.
- Landy, P., Boucon, C., Kooyman, G. M., Musters, P. A., Rosing, E. A. E., De Joode, T., Laan, J., & Haring, P. G. M. (2002). Sensory and chemical changes in tomato sauces during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(11), 3262–3269.
- Lee, P., Oh, H., Kim, S. Y., & Kim, Y. S. (2020). Effects of d-allulose as a sucrose substitute on the physicochemical, textural, and sensorial properties of pound cakes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(6), e14472.
- Li, L., Zhang, Q., Wang, T., Qi, H., Wei, M., Lu, F., Guan, L., Mao, S., & Qin, H.-M. (2022). Engineering of acid-resistant D-allulose 3-epimerase for functional juice production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(51), 16298–16306.
- Lim, C. Y., Mat, J. S., Abdulla, M. A., & Abdul Aziz, A. (2013). In vivo biochemical and gene expression analyses of the antioxidant activities and hypocholesterolaemic properties of Tamarindus indica fruit pulp extract. *Plos one*, 8(7), e70058.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Liu, Y., Sun, Y., Li, D., Li, P., Yang, N., He, L., & Nishinari, K. (2024). Influence of Temperatures on Physicochemical Properties and Structural Features of Tamarind Seed Polysaccharide. *Molecules*, 29(11), 2622.
- Marcotte, M., Taherian, A. R. H., & Ramaswamy, H. S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34(8), 695–703.
- Maskan, M. (2006). Effect of thermal processing on tristimulus colour changes of fruits. *Stewart Postharvest Review*, 2(5), 1–8.
- Maia, J. L., Wurlitzer, N. J., Lima, J. R., Borges, M. F., Maia, M. O., Damião, B. S., & Oliveira, L. S. (2021). Quality and storage stability of tamarind juice. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24(2), e2020027.
- Mora, M. R., Wang, Z., Goddard, J. M., & Dando, R. (2022). Consumers respond positively to the sensory, health, and sustainability benefits of the rare sugar allulose in yogurt formulations. *Foods*, 11(22), 3718.
- Morris, G. A., Castile, J., Smith, A., Adams, G. G., & Harding, S. E. (2010). Effect of storage temperature on depolymerization of pectin in solution and gel. *Food Hydrocolloids*, 24(1), 44–49.
- Nicosia, C., Fava, P., Pulvirenti, A., Antonelli, A., & Licciardello, F. (2021). Domestic use simulation and secondary shelf life assessment of industrial pesto alla genovese. *Foods*, 10(8), 1948.
- Nkhata, S. G., & Ayua, E. O. (2018). Quality attributes of homemade tomato sauce stored at different temperatures. *African Journal of Food Science*, 12(5), 97–103.
- Panyoyai, N. (2023). Analysis of Viscosity and Flow Behaviour of Thai Processed Foods. *Burapha Science Journal*, 1600-1619.
- Risso, D., DunnGalvin, G., Saxena, S., Doolan, A., Spence, L., & Karnik, K. (2024). Gastrointestinal tolerance of D-allulose in children: an acute, randomised, double-blind, placebo-controlled, cross-over study. *Food & Function*, 15(1), 411-418.
- Rivers, M. C., & Mark, J. (2017). *Tamarindus indica*. The IUCN Red List of Threatened Species, 2017, e.T62020997A62020999.

- Saraiva, A., Carrascosa, C., Ramos, F., Raheem, D., Lopes, M., & Raposo, A. (2023). Coconut sugar: chemical analysis and nutritional profile; health impacts; safety and quality control; food industry applications. *International journal of environmental research and public health*, 20(4), 3671.
- Sa, S., Seol, Y., Lee, A. W., Heo, Y., Kim, H. J., & Park, C. J. (2022). Teratogenicity of D-allulose. *Toxicology Reports*, 9, 821-824.
- Saha, D., & Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of food science and technology*, 47, 587-597.
- Sun, Y., Hayakawa, S., Jiang, H., Ogawa, M., & Izumori, K. (2006). Rheological characteristics of heat-induced custard pudding gels with high antioxidative activity. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 70(12), 2859-2867.
- Sun, Y., Hayakawa, S., Ogawa, M., & Izumori, K. (2007). Antioxidant properties of custard pudding dessert containing rare hexose, D-psicose. *Food Control*, 18(3), 220-227.
- Sun, Y., Hayakawa, S., Ogawa, M., Fukada, K., & Izumori, K. (2008). Influence of a rare sugar, D-psicose, on the physicochemical and functional properties of an aerated food system containing egg albumen. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(12), 4789-4796.
- Tanaka, M., Hayashi, N., Iida, T., Kuzawa, K., & Naito, M. (2020). Effects of chocolate containing D-allulose on postprandial lipid and carbohydrate metabolism in young Japanese women. *Food Science and Technology Research*, 26(5), 623-632.
- Tao, L., & Matsuo, T. (2017). Syrup containing D-allulose and D-allulose composition (European Patent No. EP3261455A1). European Patent Office.
เข้าถึงได้จาก: <https://patents.google.com/patent/EP3261455A1/en>
- Tate & Lyle drives nutrition science research, What's Allulose?
เข้าถึงได้จาก: <https://www.tateandlyle.com/news/what-is-allulose>.
- Teyssiere, F., Bordier, V., Beglinger, C., Wölnerhanssen, B. K., & Meyer-Gerspach, A. C. (2024). Metabolic Effects of Selected Conventional and Alternative Sweeteners: A Narrative Review. *Nutrients*, 16(5), 622.
- The U.S. Food and Drug Administration (FDA) (2024), GRAS Notice No. GRN 001057.
เข้าถึงได้จาก: <https://www.fda.gov/media/176678/download>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Food and Health Survey marks the 18th time the International Food Information Council (IFIC)

(2023) เข้าถึงได้จาก: <https://foodinsight.org/2023-food-and-health-survey/>

U.S. Food and Drug Administration. (2001). Bacteriological Analytical Manual Online Edition 2001:

Chapter 3 – Aerobic plate count. Center for Food Safety and Applied Nutrition (CFSAN).

<https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-3-aerobic-plate-count>

U.S. Food and Drug Administration. (2001). Bacteriological Analytical Manual Online Edition 2001:

Chapter 18 - Yeasts, molds and mycotoxins. Center for Food Safety and Applied Nutrition

(CFSAN). <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxin>

U.S. Food and Drug Administration. (2001). Bacteriological analytical manual (BAM): Chapter 12 –

Staphylococcus aureus. <https://www.fda.gov>

Wang, R., & Hartel, R. W. (2020). Effects of moisture content and saccharide distribution on the stickiness of syrups. *Journal of Food Engineering*, 284, 110067.

Wang, L., Cui, Y., Lu, Y., & Zhao, Z. (2024). Comprehensive Analysis of Allulose Production: A Review and Update. *Foods*, 13(16), 2572.

Wee, M., Tan, V., & Forde, C. (2018). A comparison of psychophysical dose-response behavior across 16 sweeteners. *Nutrients*, 10(11), 1632.

Wibowo, S., Grauwet, T., Santiago, J. S., Tomic, J., Vervoort, L., & Hendrickx, M. (2015). Quality changes of pasteurised orange juice during storage: A kinetic study of specific parameters and their relation to colour instability. *Food Chemistry*, 187, 140–151

Xie, X., Yu, L., Lin, Q., & Huang, D. (2024). Low-calorie d-allulose as a sucrose alternative modulates the physicochemical properties and volatile profile of sponge cake. *Journal of food science*, 89(10), 6296–6307.

Xin, D., & Ran, G. (2024). Strategy for production of high-purity rare sugar D-allulose from corn stover. *Journal of Cleaner Production*, 439, 140717.

Yun, J. H., Cha, Y. J., & Lee, D. S. (2007). Storage stability and shelf life characteristics of Korean savory sauce products. *Preventive Nutrition and Food Science*, 12(4), 242-250.

Zhang, G., Zhang, L., Ahmad, I., Zhang, J., Zhang, A., Tang, W., Ding, Y., & Lyu, F. (2024). Recent advance in technological innovations of sugar-reduced products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(15), 5128–5142.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhang, W., Chen, D., Chen, J., Xu, W., Chen, Q., Wu, H., ... & Mu, W. (2023). D-allulose, a versatile rare sugar: recent biotechnological advances and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(22), 5661-5679.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

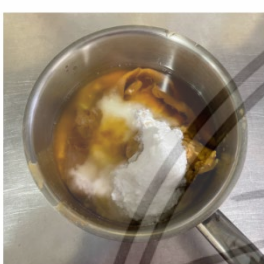
ขั้นตอนการผลิตซอสมะขามพร้อมใช้สำหรับวิเคราะห์คุณภาพ



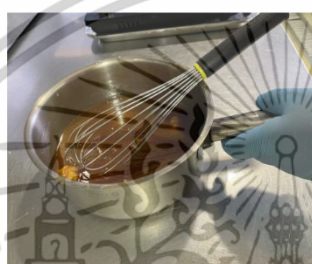
ชั่งน้ำหนักของแต่ละส่วนผสม ใส่ลงในหม้อ



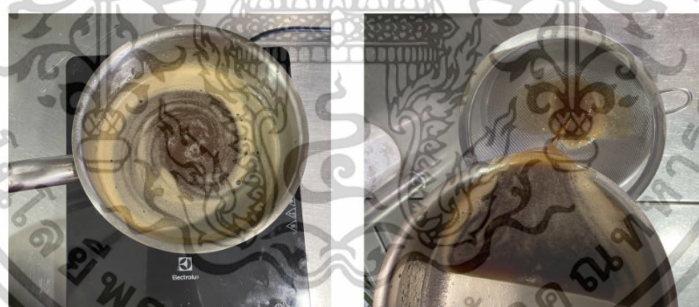
นำขึ้นตั้งบนเตา Induction โดยตั้งกำลังไฟที่ 800 วัตต์ เวลาที่ 15 นาที



คนด้วยตะกร้อจนซอสข้นน้ำตาลละลายเป็นเนื้อเดียวกัน



วัดอุณหภูมิขณะหั่นซอสเดือดได้ 105+2 องศาเซลเซียส และใช้ตะกร้อคนทุก 1 นาที



เมื่อครบเวลานำซอสกรองด้วยกระชอน

ใส่ถุงของอูมิเนียมฟอยด์ ขณะที่ซอสยังร้อน ปริมาณถุงละ 100 กรัม
แล้วนำไปซีลด้วยเครื่องซีลสุญญากาศ
นำซอสที่ได้ไปทำการพาสเจอร์ไรซ์

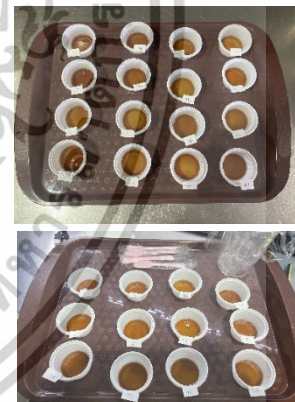
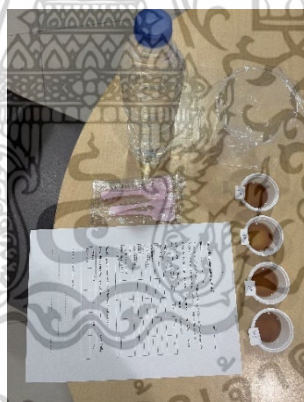
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีพาสเจอร์ไรซ์ซอสมะขามพร้อมใช้



การพาสเจอร์ไรซ์ซอสโดยเตรียมหม้อควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นำซอสที่แพคใส่ถุงไว้ลงในหม้อควบคุม ความร้อนจับเวลา 15 นาที เตรียมน้ำแข็งผสมน้ำในอ่างสแตนเลส แล้วนำซอสที่ทำการพาสเจอร์ไรซ์แล้วลงจุ่มจนเย็น

วิธีเตรียมการทดสอบทางประสาทสัมผัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างแบบทดสอบประสาทสัมผัสแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) และแบบทดสอบการเรียงลำดับความชอบ (Hedonic Ranking Test)

แบบประเมิน ผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้

วันที่.....

ผู้ทดสอบ.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ ทั้ง 4 สูตร ในแต่ละคุณลักษณะ ตามคำอธิบายคะแนนความชอบ และกรณียบันทึกก่อนชิมแต่ละตัวอย่าง

โดยกำหนดให้ 9 = ชอบมากที่สุด 8=ชอบมาก 7=ชอบปานกลาง 6=ชอบเล็กน้อย 5=เฉยๆ
4=ไม่ชอบเล็กน้อย 3=ไม่ชอบปานกลาง 2=ไม่ชอบมาก 1=ไม่ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	154	834	128	559
คุณลักษณะ				
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่นหอมของมะขาม				
กลิ่นหอมของน้ำตาลเคี้ยว				
ความหวาน				
ความเปรี้ยว				
เนื้อสัมผัส (ความข้นหนืด)				
Aftertaste (ความรู้สึกหลงเหลือหลังกลืน เช่น ความฝาด หรือรสหวานติดลิ้น)				
ความชอบโดยรวม				

คำแนะนำ กรุณาเรียงลำดับความชอบของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ ทั้ง 4 สูตร

โดยกำหนดให้ 4 = ชอบมากที่สุด 3 = ชอบปานกลาง 2 = ชอบน้อย 1 = ชอบน้อยที่สุด

รหัสตัวอย่าง	154	834	128	559
ลำดับความชอบ				

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแบบทดสอบประสาทสัมผัสแบบ Quantitative Descriptive Analysis (QDA)

วันที่.....

ผู้ทดสอบ.....

ใบรายงานผลการทดสอบ ผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความเข้มของแต่ละคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซอสมะขามพร้อมใช้ โดยทำเครื่องหมาย “ | “ บนสเกลคะแนนที่กำหนด และกรณำบันทึกก่อนทดสอบตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ อุณหภูมิห้อง สัปดาห์ที่.....

สี		
น้อย		มาก
เนื้อสัมผัส (ความข้นหนืด)		
น้อย		มาก
ความหวาน		
น้อย		มาก
ความเปรี้ยว		
น้อย		มาก
กลิ่นรสแปลกปลอม		
น้อย		มาก

หมายเหตุ

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว ปาจริย์ แก้วฉวีกรังษี
วันเดือนปีเกิด	9 มิถุนายน พ.ศ. 2526
ประวัติการศึกษา:	
2568	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมอาหาร เทคโนโลยีการบริการอาหารและการจัดการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2548	ศิลปศาสตรบัณฑิต คณะมนุษยศาสตร์ สาขาการท่องเที่ยวและการโรงแรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ประสบการณ์ทำงาน:	
2559 - ปัจจุบัน	หัวหน้าเซฟ ด้านครัวกลาง บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด(มหาชน)
2558 - 2559	ผู้จัดการแผนก Food innovation บริษัท ซีพีเอฟ เทรดดิ้ง จำกัด
2555 - 2558	Chef de partie โรงแรม Sofitel So Bangkok
2549 - 2555	Commis - Demi Chef โรงแรม Millennium Hilton
2546	Commis โรงแรม Banyan Tree Bangkok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้