Journal of Agri. Research & Extension 42(2): 147-160

ความคงตัวของสารให้สีจากธรรมชาติ และคุณภาพผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบในระหว่างการเก็บรักษาด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็ง

Stability of Natural Colorants and Qualities of Frozen Tub Tim Grob during Storage

ณัฐพงษ์ มุงเมือง[1] จุฑาวุฒิ อุชุปัจ[2] นิภาดา โททอง[1] ปณิดา พวงนิลน้อย[1]
วิวัฒน์ หวังเจริญ[1] และธีระพล เสนพันธุ์[1*]

Natthapong Mungmueang[1], Juthawat Uchupaj[2], Nipada Thothong[1]
Panida Phuangninnoi[1], Wiwat Wangcharoen[1] and Theerapol Senphan[1*]

[1]สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2]บริษัท เพียว เคมีกัลส์ จำกัด กรุงเทพฯ 10240
[1]Program in Science and Technology, Faculty of Engineering and Agro–Industry, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290
[2]Purechemicals Co., Ltd., Bangkok, Thailand 10240
*Corresponding author: theeraphol_s@mju.ac.th

Received: *September 21, 2023*
Revised: *November 07, 2024*
Accepted: *December 06, 2024*

Abstract

The objective of this research was to develop a prototype of the best formulation of Tub Tim Grob products by using different types and ratios of flour for water chestnuts coating. The quality of the products colored with natural and commercial artificial colorants and stored in the freezing process at -18 °C for 90 days, was compared. Tub Tim Grob formula 2 using 400 grams of tapioca flour and 50 grams of arrowroot flour had the best appearance and the highest sensory acceptance scores for appearance, color, flavor, taste, texture and overall acceptability. Thus, formula 2 was selected as prototypes for a comparative study between products receiving the addition of Natural and commercial artificial colorants in Tub Tim Grob products and stored in the freezing process at -18 °C for 90 days. Tub Tim Grob in Treatment 3 using natural colorants with 10 ml per 200 ml of water had suitable formula for production of frozen Tub Tim Grob because it had the highest color stability at 0–90 days of storage (redness value (*a**) up to 23.12) and sensory acceptance scores for appearance, color, smell, taste, texture and overall acceptability of 3.41, 3.52, 2.97, 3.63, 3.76 and 3.54, respectively. Moreover, it had the highest hardness value of 27.73 Newtons.

Keywords: Tub Tim Grob, natural colorants, commercial artificial colorants, texture, frozen

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบสูตรผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่ดีที่สุดโดยศึกษาอัตราส่วนของแป้งชนิดต่าง ๆ ในการห่อหุ้มผลแห้ว แล้วนำมาศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบระหว่างการเติมสารให้สีจากธรรมชาติ และสีสังเคราะห์ทางการค้าในผลิตภัณฑ์โดยทำการเก็บรักษาด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°ซ. เป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่าการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบสูตรที่ 2 ที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง 400 กรัม และแป้งท้าวยายม่อม 50 กรัม มีลักษณะปรากฏดีที่สุด มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด จึงคัดเลือกเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบสำหรับศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารให้สีจากธรรมชาติ และสีสังเคราะห์ทางการค้าในผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบจำนวน 4 สูตร โดยเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°ซ. เป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่าการทดลองที่ 3 ที่ใช้สารให้สีจากธรรมชาติ ปริมาตร 10 มล. ต่อน้ำ 200 มล. เหมาะสำหรับนำมาเติมในผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ เนื่องจากความคงตัวทางด้านสีในวันที่ 0–90 ของการเก็บรักษามากที่สุด (ความเป็นสีแดง (a^*) สูงที่สุดถึง 23.12) มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงถึง 3.41, 3.52, 2.97, 3.63, 3.76 และ 3.54 คะแนน ตามลำดับ อีกทั้งยังมีค่าความแข็งสูงถึง 27.73 นิวตัน

คำสำคัญ: ทับทิมกรอบ สารให้สีจากธรรมชาติ สีสังเคราะห์ทางการค้า ลักษณะเนื้อสัมผัส การแช่เยือกแข็ง

คำนำ

ทับทิมกรอบ (Tub Tim Grob) เป็นขนมไทยที่ทำมาจากผลแห้ว โดยทำการห่อหุ้มผิวด้านนอกด้วยแป้งที่มีลักษณะใส คล้ายกับเม็ดทับทิม มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม หนึบ นิยมนำมารับประทานเพื่อคลายร้อน ในปัจจุบันการบริโภคทับทิมกรอบเริ่มได้รับความนิยมลดน้อยลง เนื่องจากเป็นขนมที่หาทานได้ยาก เน่าเสียได้ง่าย และต้องใช้เวลานานในขั้นตอนการจัดเตรียม จึงได้มีงานวิจัยยืดอายุการเก็บรักษาทับทิมกรอบโดยการแช่เยือกแข็งเพื่อให้สะดวกต่อการบริโภค (Dholvitayakhun and Pumpho 2018) ซึ่งกระบวนการแช่เยือกแข็งมักจะเกิดผลกระทบด้านลบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ที่จางลง ซึ่งเป็นหนึ่งในคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่สำคัญต่อการเกิดแรงจูงใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค (Juri**ć** *et al*., 2022) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่มักจะเติมสีสังเคราะห์ทางการค้า เนื่องจากมีความง่าย สะดวกต่อการใช้งาน มีความคงตัว และมีคุณภาพในการเคลือบสีที่สูง อีกทั้งยังมีราคาต้นทุนที่ต่ำ แต่มักจะเกิดผลเสียในด้านสุขภาพอยู่เสมอ โดยพบว่าการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมสีสังเคราะห์ที่มากกว่า 50 มก. ส่งผลทำให้เกิดภาวะไคลเนซิส (Kinesis) สูง และความผิดปกติทางระบบประสาท (Manzoor *et al*., 2021; Muthusamy *et al*., 2020)

สารให้สีธรรมชาติจากพืช เป็นรงควัตถุที่มีอยู่มากในเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งกำลังได้รับความสนใจในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เนื่องจากผู้บริโภคมีความกังวลในด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพมากขึ้น นอกจากนี้สารให้สีจากธรรมชาติยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกัน

การเกิดมะเร็ง โรคอ้วน ระบบประสาท และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Manzoor *et al*., 2021; Rózyło, 2020) อีกทั้งการใช้สีสังเคราะห์ในปริมาณมากเกินกำหนด และบริโภคเป็นประจำอาจจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 418/2020 เรื่องวัตถุเจือปนอาหาร กำหนดให้การใช้สีสังเคราะห์จาก ALLURA RED AE ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีผลไม้เป็นส่วนประกอบหลัก เติมได้ไม่เกิน 300 มก./กก. (Ministry of Public Health, 2020) ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบโดยใช้สารให้สีจากธรรมชาติที่มีรงควัตถุเป็นสีแดง–ส้มจากดอกกระเจี๊ยบแดงและแครอท อุดมไปด้วยวิตามินซีสูงถึง 12 และ 4 มก./100 กรัม ตามลำดับ อีกทั้งยังประกอบไปด้วยแคลเซียม โพแทสเซียม แคโรทีนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระในประมาณที่สูงอีกด้วย (Islam, 2019; Singh *et al*., 2021) นอกจากนี้ยังเป็นการส่งเสริมนโยบายความปลอดภัยทางอาหาร (food safety) และความยั่งยืนทางอาหาร (food sustainability) รวมถึงช่วยเพิ่มมูลค่าทางการเกษตร เพิ่มทางเลือกให้กับกลุ่มผู้บริโภค ตลอดจนเป็นการอนุรักษ์ขนมไทยให้ยังคงอยู่ต่อไป การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระหว่างสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าที่มีผลต่อคุณภาพในด้านกายภาพ ความคงตัว รวมถึงการยอมรับทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่ทำการเก็บรักษาด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°ซ. เป็นเวลา 90 วัน

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมต้นแบบผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบสูตรต่าง ๆ

นำแห้วจากตลาดสดแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ มาปลอกเปลือกแล้วหั่นเป็นชิ้นเต๋าขนาด 1×1×1 ซม. นำไปแช่ในสีสังเคราะห์ทางการค้า (สีสังเคราะห์ทางการค้า สีแดงชนิดน้ำตราวินเนอร์ 5 มล. ต่อน้ำ 200 มล.) เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นซับน้ำออกให้พอหมาดก่อนนำไปคลุกกับแป้งชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca flour) ตราใบหยก แป้งข้าวเจ้า (Glutinous rice flour) ตราช้างสามเศียร และแป้งท้าวยายม่อม (Arrowroot flour) ตราปลาไทย (Table 1) โดยสูตรที่ 1 ใช้ตำรับของ Imsabai (2021) สูตรที่ 2 ใช้ตำรับของ Khetthongkham (2021) และสูตรที่ 3 ใช้ตำรับของ SriChok (2020) จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95°ซ. นาน 5 นาที (Ketthongkam, 2023) นำไปพักไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 25°ซ. นาน 5 นาที แล้วนำไปประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของทับทิมกรอบ เพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดไปศึกษาคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ ค่าสี เนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง

Table 1 Formulas for the Tab Tim Grob product

Ingredient (g)	Formula 1	Formula 2	Formula 3
Water chestnut	400	400	400
Tapioca flour	200	400	–
Glutinous rice flour	–	–	200
Arrowroot flour	–	50	200

การศึกษาลักษณะปรากฏและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ

1. ลักษณะปรากฏ

ทำการวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบทั้ง 3 สูตร หลังกระบวนการทำสุกทับทิมกรอบจะถูกถ่ายรูปด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล (X–A3, Fujifilm, Tokyo)

2. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ

นำผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบทั้ง 3 สูตร มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี (สีแดง) กลิ่น (กลิ่นหอมของแป้ง) รสชาติ (กลมกล่อม) เนื้อสัมผัส (ความนุ่มของแป้งและความกรอบของแห้ว) และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 5–point hedonic scoring กำหนดให้ 5 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด และ 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด ซึ่งใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยผู้ทดสอบชิมแต่ละท่านจะได้ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแต่ละชุดการทดลองจำนวน 20 กรัม ร่วมกับน้ำเชื่อม 10 มล. และน้ำกะทิ 5 มล.

ผลของสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็ง

1. การเตรียมผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็ง

นำผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อที่ 1 มาศึกษาความคงตัวของสารให้สีจากธรรมชาติชนิดน้ำ (สกัดจากผลกระเจี๊ยบแดงร่วมกับหัวแครอทในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 (w/v) ด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วมในการสกัดที่อุณหภูมิ 65°ซ. ความดันคงที่ 700 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้อัตราส่วนของน้ำ 1 ต่อ 2 (w/v)) โดยแบ่งออกเป็น 4 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม (สีผสมอาหารทางการค้า) ปริมาตร 5 มล. ต่อน้ำ 200 มล.

กรรมวิธีที่ 2 สารให้สีจากธรรมชาติปริมาตร 5 มล. ต่อน้ำ 200 มล.

กรรมวิธีที่ 3 สารให้สีจากธรรมชาติปริมาตร 10 มล. ต่อน้ำ 200 มล.

กรรมวิธีที่ 4 สารให้สีจากธรรมชาติปริมาตร 15 มล. ต่อน้ำ 200 มล.

เมื่อทำการแช่ด้วยสารให้สีแล้วนำไปคลุกกับแป้งแต่ละชนิดในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วบรรจุลงในถาดอะลูมิเนียมที่หุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร จากนั้นนำไปเก็บในตู้แช่เยือกแข็ง (SF–PC997, Panasonic, Thailand) ที่อุณหภูมิ -18°ซ. เป็นเวลา 90 วัน โดยทำการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ (ข้อ 3.2) ในวันที่ 0, 7, 15, 45 และ 90 ตามลำดับ

2. การศึกษาลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ

นำผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งมาต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95°ซ. นาน 5 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบทั้ง 4 กรรมวิธี โดยใช้การถ่ายรูปด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลเช่นเดียวกับข้อ 2.1

3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ

วิเคราะห์ค่าสีโดยนำผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบทุกการทดลองมาผ่านกระบวนการทำละลายโดยการต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95°ซ. เป็นเวลา 5 นาที ก่อนทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (Color Flex EZ, Hunter Lab, U.S.A) ในระบบ CIE ซึ่งทำการวิเคราะห์ค่า L^* value (ค่าความสว่าง) a^* value (ค่าสีแดงหรือสีเขียว) b^* value (ค่าสีเหลือง–สีน้ำเงิน) และวิเคราะห์ค่า ΔE^* (ความต่างของสี) โดยคำนวณจาก $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ ซึ่ง พารามิเตอร์สีของ Standard ของค่าความเป็นสีขาว โดยค่า L^* เท่ากับ 92.84 ค่า a^* เท่ากับ -1.26 และ ค่า b^* เท่ากับ 0.47 กำหนดให้เป็น background (Sinthusamran *et al*., 2020)

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analyzer; TPA) โดยนำผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือก

แข็งมาต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95°ซ. นาน 5 นาที ก่อนวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (CTX, Bookfild metek, UK) ดัดแปลงจากวิธีของ Benjakul and Karnjanapratum (2018) ซึ่งใช้หัวกดโพรบทรงกลม (spherical probe ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว) กำหนดให้ระยะการกดตัวอย่างลงไปลึกร้อยละ 50 โดยใช้อัตราเร็วในการเคลื่อนของหัวกด 1 มม./วินาที ที่แรงกด 50 กก.

4. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ

นำผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งมาต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95°ซ. นาน 5 นาที จากนั้นนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบทั้ง 4 กรรมวิธี โดยใช้วิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2.2

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองอย่างน้อยตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ (Completely Randomized Design: CRD) แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธีของ Duncan's Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชั่น 29.0 (SPSS Inc., Chicago, USA)

ผลการวิจัย

คุณภาพของต้นแบบผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ

ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบทั้ง 3 สูตร พบว่าลักษณะของแป้งที่คงตัวไม่เปื่อยยุ่ย สามารถเกาะตัวกับแห้วที่อยู่ด้านในได้ดีและมีสีแดงสด (Figure 1)

Formula 1 Formula 2 Formula 3

Figure 1 The appearance of Tab Tim Grob product with different formulas

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของต้นแบบผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ (Table 2) พบว่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร อยู่ในช่วง 3.60–4.33 คะแนน สีของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.63–4.63 คะแนน กลิ่นของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.87–4.17 คะแนน รสชาติของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.90–4.27 คะแนน เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.63–4.30 คะแนน และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.03–4.33 คะแนน ซึ่งกรรมวิธีที่ 2 มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 95 (p≤0.05) ดังนั้นจึงเลือกผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบสูตรที่ 2 (แป้งมันสำปะหลัง 400 กรัม ต่อแป้งท้าวยายม่อม 50 กรัม) ซึ่งเป็นสูตรที่ดีที่สุด ไปศึกษาผลของสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งต่อไป

Table 2 Sensory evaluation of Tab Tim Grob with different formulas

Sample	Appearance	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall
Formula 1	3.93±0.78^{b}	3.70±0.15^{b}	4.13±1.13^{a}	3.83±0.88^{b}	4.03±0.24^{c}	4.07±1.21^{a}
Formula 2	4.33±0.24^{a}	4.63±1.34^{a}	4.17±1.19^{a}	4.27±1.09^{a}	4.30±0.81^{a}	4.33±0.54^{b}
Formula 3	3.60±0.11^{c}	3.63±1.21^{c}	3.87±0.53^{b}	2.90±1.12^{c}	2.63±0.55^{c}	3.03±0.78^{c}

Different letters in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

ผลของสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็ง

1. ลักษณะปรากฏ

การศึกษาลักษณะปรากฏของสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 90 วัน พบว่าลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบในวันที่ 0 (ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง) ในทุกกรรมวิธีมีสีแดงเข้ม ลักษณะของแป้งที่คงตัวไม่เปื่อยยุ่ย เกาะตัวกับแห้วได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 90 ของการเก็บรักษา พบว่ากรรมวิธีที่ 2–4 ที่มีการใช้สารให้สีจากธรรมชาติส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์จางลง ซึ่งต่างจากกรรมวิธีที่ 1 (ชุดควบคุม) ที่ใช้สีผสมอาหารทางการค้าสามารถรักษาสีของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า (Figure 2)

2. ค่าสี

การศึกษาค่าสีของสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 90 วัน (Table 3) พบว่ามีค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบก่อนการแช่เยือกแข็งอยู่ในช่วง 20.51–48.58 วันที่ 7 อยู่ในช่วง 18.34–37.74 วันที่ 15 อยู่ในช่วง 15.59–31.65 วันที่ 45 อยู่ในช่วง 14.48–30.31 และวันที่ 90 อยู่ในช่วง 12.56–25.32 โดยผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่มีการใช้สารให้สีจากธรรมชาติในกรรมวิธีที่ 3 มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 23.12 ซึ่งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่มีการใช้สีสังเคราะห์ทางการค้า (ชุดควบคุม)

Table 3 Color values of Tab Tim Grob product during frozen storages at -18°C for 90 days

Day	Sample	Color values			
		L^*	a^*	b^*	ΔE^*
0	Treatment 1	28.85±0.11^{bA}	48.58±0.17^{aA}	30.71±0.28^{aA}	35.83±0.13^{aA}
	Treatment 2	35.44±0.39^{aA}	20.51±0.28^{dA}	0.18±0.10^{dA}	24.20±0.23^{dA}
	Treatment 3	19.43±0.17^{cA}	30.26±0.26^{bA}	6.41±0.14^{cA}	29.37±0.64^{cA}
	Treatment 4	16.84±0.24^{dA}	27.61±0.17^{cA}	8.17±0.30^{bA}	30.57±0.20^{bA}
7	Treatment 1	20.44±0.47^{bB}	37.74±0.65^{aB}	25.56±0.46^{aB}	32.17±0.42^{aB}
	Treatment 2	30.64±0.65^{aB}	18.34±0.16^{dB}	-0.54±0.22^{dB}	23.18±0.04^{dB}
	Treatment 3	16.49±0.09^{cB}	28.26±0.13^{bB}	4.28±0.15^{cB}	27.39±0.08^{cB}
	Treatment 4	14.46±0.22^{dB}	25.55±0.28^{cB}	6.17±0.02^{bB}	28.57±0.06^{bB}

Table 3 (Continued)

Day	Sample	Color values			
		*L**	*a**	*b**	ΔE^*
15	Treatment 1	17.66 ± 0.14^{bc}	31.65 ± 0.22^{aC}	18.63 ± 0.19^{aC}	28.49 ± 0.24^{aC}
	Treatment 2	21.37 ± 0.14^{aC}	15.59 ± 0.26^{dC}	-0.74 ± 0.14^{dB}	22.68 ± 0.19^{dC}
	Treatment 3	17.46 ± 0.15^{bC}	24.60 ± 0.27^{bC}	1.25 ± 0.23^{cD}	26.66 ± 0.19^{cC}
	Treatment 4	12.60 ± 0.23^{cC}	22.64 ± 0.22^{cC}	2.84 ± 0.15^{bC}	26.83 ± 0.16^{bC}
45	Treatment 1	16.58 ± 0.13^{bD}	30.31 ± 0.22^{aD}	17.46 ± 0.06^{aD}	27.53 ± 0.24^{aD}
	Treatment 2	20.42 ± 0.14^{aD}	14.48 ± 0.12^{dD}	-0.95 ± 0.23^{dB}	20.63 ± 0.14^{dD}
	Treatment 3	16.30 ± 0.22^{bD}	23.66 ± 0.20^{bD}	0.99 ± 0.13^{cD}	24.86 ± 0.14^{cD}
	Treatment 4	12.17 ± 0.14^{cC}	21.25 ± 0.23^{cD}	1.93 ± 0.34^{bD}	25.77 ± 0.13^{bD}
90	Treatment 1	14.48 ± 0.15^{cE}	25.32 ± 0.12^{aE}	15.06 ± 0.45^{aE}	25.63 ± 0.40^{aE}
	Treatment 2	18.56 ± 0.14^{aE}	12.56 ± 0.32^{dE}	-1.11 ± 0.15^{dB}	18.86 ± 0.14^{dE}
	Treatment 3	15.73 ± 0.17^{bD}	23.12 ± 0.25^{bD}	0.92 ± 0.30^{cD}	22.51 ± 0.41^{cE}
	Treatment 4	10.52 ± 0.20^{dD}	18.28 ± 0.40^{cE}	1.21 ± 0.20^{bE}	24.74 ± 0.23^{bE}

Different lower–case superscript letters within a column indicate significant differences between mean values ($p \leq 0.05$).

Upper–case superscript letters indicate significant differences between 0–90 day within the same treatment conditions ($p \leq 0.05$).

Figure 2 The appearance of Tab Tim Grob product during frozen storages at -18°C for 90 days

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่ใช้สารให้สีจากธรรมชาติและสีผสมอาหารทางการค้าที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 90 วัน (Table 4) พบว่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ก่อนแช่เยือกแข็งทั้ง 4 กรรมวิธี อยู่ในช่วง 3.27–4.27 คะแนน สีของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.30–4.30 คะแนน กลิ่นของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.87–3.00 คะแนน รสชาติของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.93–4.00 คะแนน เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.33–4.17 คะแนน และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.27–4.13 คะแนน เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบโดยการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 90 วัน พบว่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.23–3.57 คะแนน สีของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.87–3.54 คะแนน กลิ่นของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.88–3.00 คะแนน รสชาติของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.27–3.77 คะแนน เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.23–3.80 คะแนน และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.93–3.67 คะแนน แต่ละตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

Table 4 Sensory evaluation of Tab Tim Grob product during frozen storages at -18°C for 90 days

Day	Sample	Appearance	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall
0	Treatment 1	4.27 ± 0.78^{aA}	4.30 ± 0.95^{aA}	2.93 ± 1.23^{aC}	4.00 ± 0.98^{aA}	4.17 ± 0.95^{aA}	4.13 ± 0.94^{aA}
	Treatment 2	3.27 ± 1.17^{bA}	3.40 ± 1.11^{cA}	3.00 ± 1.14^{aA}	3.67 ± 1.06^{cA}	3.43 ± 0.74^{cB}	3.70 ± 0.83^{bA}
	Treatment 3	3.33 ± 0.99^{bA}	3.30 ± 1.00^{cB}	2.96 ± 0.96^{aB}	3.73 ± 1.04^{bB}	3.93 ± 0.93^{cA}	3.74 ± 0.83^{bB}
	Treatment 4	3.40 ± 1.22^{bB}	3.80 ± 0.99^{bA}	2.87 ± 1.16^{bB}	2.93 ± 1.42^{dB}	3.33 ± 1.90^{cB}	3.27 ± 1.08^{cB}
7	Treatment 1	4.35 ± 0.71^{aA}	4.42 ± 0.88^{aA}	3.74 ± 0.96^{aA}	4.10 ± 0.83^{bA}	4.13 ± 0.92^{aA}	4.29 ± 0.82^{aA}
	Treatment 2	3.51 ± 0.96^{bA}	3.42 ± 1.06^{cA}	3.51 ± 0.96^{bA}	3.77 ± 0.76^{cA}	3.77 ± 0.88^{bA}	3.70 ± 0.93^{cA}
	Treatment 3	3.90 ± 0.94^{bA}	4.09 ± 0.87^{bA}	3.71 ± 0.92^{aA}	4.26 ± 0.68^{aA}	4.12 ± 0.92^{aA}	4.32 ± 0.81^{aA}
	Treatment 4	4.16 ± 0.78^{aA}	4.26 ± 0.63^{bA}	3.54 ± 1.06^{bA}	3.87 ± 0.95^{cA}	3.93 ± 0.96^{bA}	3.94 ± 0.96^{bA}
15	Treatment 1	4.23 ± 0.86^{aA}	4.03 ± 0.99^{aA}	3.57 ± 0.89^{aA}	4.10 ± 0.80^{aA}	4.10 ± 0.84^{aA}	4.10 ± 0.88^{aA}
	Treatment 2	3.80 ± 0.74^{aA}	3.67 ± 0.88^{cA}	3.47 ± 0.82^{bA}	3.57 ± 0.85^{dA}	3.53 ± 0.69^{cA}	3.83 ± 0.79^{bA}
	Treatment 3	4.06 ± 0.92^{bA}	3.80 ± 0.96^{bA}	3.40 ± 0.97^{bA}	3.80 ± 1.00^{bB}	3.93 ± 0.97^{aA}	3.86 ± 0.89^{bB}
	Treatment 4	3.70 ± 1.28^{bB}	3.76 ± 1.16^{bA}	3.23 ± 1.04^{cA}	3.53 ± 1.04^{cA}	3.63 ± 0.85^{bB}	3.63 ± 1.03^{cA}
45	Treatment 1	4.13 ± 0.87^{aA}	3.98 ± 0.89^{aA}	3.24 ± 0.42^{aB}	3.80 ± 0.92^{aA}	3.87 ± 1.00^{aA}	3.80 ± 0.99^{aA}
	Treatment 2	3.68 ± 0.23^{aA}	3.52 ± 1.17^{cA}	3.18 ± 0.84^{aA}	3.00 ± 0.23^{cB}	3.63 ± 0.69^{bA}	3.52 ± 0.96^{bB}
	Treatment 3	4.00 ± 0.63^{bA}	3.76 ± 0.68^{bA}	3.06 ± 0.97^{bB}	3.43 ± 1.14^{bC}	3.51 ± 0.96^{bB}	3.51 ± 1.08^{bC}
	Treatment 4	3.54 ± 0.89^{bB}	3.65 ± 0.93^{bA}	3.01 ± 1.06^{bB}	2.93 ± 1.23^{cB}	3.33 ± 0.99^{cB}	3.27 ± 1.17^{cB}
90	Treatment 1	3.57 ± 0.89^{aB}	3.54 ± 1.06^{aB}	3.00 ± 1.40^{aB}	3.77 ± 0.81^{aB}	3.80 ± 1.26^{aA}	3.67 ± 1.18^{aB}
	Treatment 2	3.47 ± 0.82^{bA}	3.23 ± 0.96^{aB}	2.93 ± 0.96^{aB}	3.70 ± 0.93^{aA}	3.70 ± 0.86^{aA}	3.00 ± 0.88^{bC}
	Treatment 3	3.41 ± 0.97^{bA}	3.52 ± 0.14^{aB}	2.97 ± 1.23^{aB}	3.63 ± 0.81^{aC}	3.76 ± 0.28^{aA}	3.54 ± 0.95^{bC}
	Treatment 4	3.23 ± 1.04^{cC}	2.87 ± 1.16^{bB}	2.88 ± 1.01^{bB}	3.27 ± 1.04^{b}	3.23 ± 1.21^{bB}	2.93 ± 0.74^{bC}

Different lower–case superscript letters within a column indicate significant differences between mean values ($p\leq0.05$).

Upper–case superscript letters indicate significant differences between 0–90 day within the same treatment conditions ($p\leq0.05$).

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัสในค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่ใช้สารให้สีจากธรรมชาติและสีผสมอาหารทางการค้าที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 90 วัน (Table 5) พบว่ากรรมวิธีที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 28.88–38.59 นิวตัน กรรมวิธีที่ 2 ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 27.29–37.99 นิวตัน กรรมวิธีที่ 3 ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 27.73–37.49 นิวตัน และกรรมวิธีที่ 4 ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 27.64–37.82 นิวตัน แต่ละตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

Table 5 Hardness of Tab Tim Grob products during frozen storage at -18 °C for 90 days.

Sample	Hardness (N)				
	0 Day	7 Day	15 Day	45 Day	90 Day
Treatment 1	38.59 ± 0.22^{aA}	31.94 ± 0.06^{aB}	29.57 ± 0.10^{aC}	29.41 ± 0.10^{aC}	28.88 ± 0.09^{aD}
Treatment 2	37.99 ± 0.04^{bA}	30.59 ± 0.22^{bB}	28.80 ± 0.16^{bC}	28.79 ± 0.12^{bC}	27.29 ± 0.04^{cD}
Treatment 3	37.49 ± 0.12^{cA}	30.02 ± 0.05^{cB}	28.92 ± 0.04^{bC}	28.32 ± 0.02^{cC}	27.73 ± 0.07^{bC}
Treatment 4	37.82 ± 0.16^{bA}	30.72 ± 0.12^{bB}	28.12 ± 0.06^{cC}	27.97 ± 0.02^{dC}	27.64 ± 0.10^{bC}

Different lower–case superscript letters within a column indicate significant differences between mean values ($p \leq 0.05$).

Upper–case superscript letters indicate significant differences between 0–90 day within the same treatment conditions ($p \leq 0.05$).

วิจารณ์ผลการวิจัย

พัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบโดยการเติมสีผสมอาหารทางการค้า (Figure 1) พบว่าผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบมีแป้งที่คงตัวไม่เปื่อยยุ่ย สามารถเกาะตัวกับแห้วที่อยู่ด้านในได้ดี และมีสีแดงสดสม่ำเสมอ เนื่องจากสีผสมอาหารทางการค้าเป็นสารให้สีสังเคราะห์ทางเคมีซึ่งมีความเสถียร และมีศักยภาพในการแต่งสีผลิตภัณฑ์อาหารที่สูง อีกทั้งยังมีต้นทุนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสารให้สีจากธรรมชาติ (Albuquerque *et al*., 2020) ในส่วนของแป้งชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการห่อหุ้มผลแห้ว พบว่ากรรมวิธีที่ 2 ที่ห่อหุ้มแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 400 กรัม ผสมกับแป้งท้าวยายม่อม 50 กรัม มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงถึง 4.33, 4.63, 4.17, 4.27, 4.30 และ 4.33 คะแนน ตามลำดับ เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งท้าวยายม่อมเป็นแป้งที่มีปริมาณของอะไมโลสต่ำ โดยโมเลกุลส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของอะไมโลเพคตินที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบไม่แข็งตัว มีลักษณะใส เหนียวนุ่ม และมีความหนืบ Ketthongkam (2023) จึงเหมาะสมที่จะนำไปศึกษาผลของสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งในตอนที่ 2 Manzoor *et al*. (2021) ได้กล่าวว่าสีของผลิตภัณฑ์เป็นคุณลักษณะอันดับแรกที่มีผลต่อการรับรู้ การเลือกและการยอมรับทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค อีกทั้งอัตราส่วนของแป้งชนิดต่าง ๆ ก็มีความสำคัญต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ เช่นกัน ซึ่ง Kobkel and Siriwongwilaichat (2015) ศึกษาผลของสตาร์ชดัดแปรต่อลักษณะทางกายภาพของทับทิมกรอบ โดยเปรียบเทียบการเคลือบแห้วด้วยแป้งมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับสตาร์ชดัดแปร B พบว่าการเคลือบแห้วด้วยสตาร์ชดัดแปร B ที่ร้อยละ 90 ที่ผ่านการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ. มีลักษณะที่ดี แป้งไม่หลุด รวมถึงมีร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีปริมาตรจำเพาะ และค่าพองตัวน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง

ส่วนลักษณะของเนื้อสัมผัสมีค่าใกล้เคียงกัน โดย Ketthongkam (2023) ศึกษาเกี่ยวกับการจับตัวของแป้งต่อแห้วในทับทิมกรอบ พบว่าการใช้สัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่ต่อแป้งดัดแปรที่ร้อยละ 95 ต่อ 5 มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น ความใสของแป้ง การเกาะตัวของแป้ง และการยอมรับโดยรวมสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 6.04, 5.90, 5.97, 6.16 และ 6.20 ตามลำดับ นอกจากนี้ชนิดและปริมาณของแป้งก็มีผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ โดย Kobkel and Siriwongwilaichat (2015) ได้ศึกษาค่าความแข็งของทับทิมกรอบที่เคลือบด้วยสตาร์ชดัดแปร

อะซิติลเลทไดสตาร์ฟอสเฟตร้อยละ 90 ผสมกับแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 พบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการเคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าความแข็งเริ่มต้นเท่ากับ 7.46 นิวตัน เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ามีค่าความแข็งเท่ากับ 7.40 นิวตัน และ Dholvitayakhun and Pumpho (2018) ศึกษาการผลิตทับทิมกรอบโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมแบบแช่แข็ง โดยศึกษาการเคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมแลคเตท ที่เก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –18°ซ. เป็นเวลา 24 ชม. พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต 0.77 และแคลเซียมแลคเตทที่ร้อยละ 1.05 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านสี การแตกตัว (ความยากในการกัดให้แตก) รูปร่าง และความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 7.04, 7.28, 7.40 และ 7.23 ตามลำดับ ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดในอัตราที่ต่างกันมีผลต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบเป็นอย่างมาก

ผลของสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 90 วัน พบว่าลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบในวันที่ 0 (ก่อนการแช่เยือกแข็ง) มีสีแดงสด แป้งที่คงตัวไม่เปื่อยยุ่ย สามารถเกาะตัวกับแห้วได้ดี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างในวันที่ 90 ของการเก็บรักษา พบว่ากรรมวิธีที่ 2–4 ที่มีการใช้สารให้สีจากธรรมชาติส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์จางลง (Figure 3) ต่างจากตัวอย่างที่มีการใช้สีสังเคราะห์ทางการค้าซึ่งสามารถรักษาสีของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า สอดคล้องกับค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบก่อนการแช่เยือกแข็ง (Table 3) พบว่าในวันแรกก่อนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบอยู่ในช่วง 20.51–48.58 และวันสุดท้ายของการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 12.56–25.32 โดยกรรมวิธีที่ 3 ที่มีการใช้สารให้สีจากธรรมชาติมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 23.12 ซึ่งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่มีการใช้สีสังเคราะห์ทางการค้าที่ 25.32 และเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่นานขึ้น จะส่งผลทำให้มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดง-สีเหลืองลดลง ตั้งแต่อายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน ขึ้นไป สาเหตุที่ผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องมาจากการละลายน้ำแข็งด้วยการนำมาให้ความร้อน จึงส่งผลต่อการสูญเสียความเข้มข้นของเม็ดสีภายในผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งที่เก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 90 วัน (Table 3) พบว่าในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบโดยการแช่เยือกแข็ง มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.23–3.57 คะแนน สีของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.87–3.54 คะแนน กลิ่นของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.88–3.00 คะแนน รสชาติของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.27–3.77 คะแนน เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 3.23–3.80 คะแนน และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.93–3.67 คะแนน ซึ่งกรรมวิธีที่ 3 ที่มีการใช้สารให้สีจากธรรมชาติจำนวน 2 เท่า มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงถึง 3.41, 3.52, 2.97, 3.63, 3.76 และ 3.54 คะแนน ตามลำดับ ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มากขึ้น จะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่ใช้สารให้สีจากธรรมชาติ โดยมีการเปลี่ยนแปลงในด้านกลิ่นของสีธรรมชาติแรงขึ้น และมีรสชาติเปรี้ยวจากสีธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ในส่วนของตัวอย่างควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านกลิ่นและรสชาติ ดังนั้นการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งควรใช้ปริมาณสารให้สีจากธรรมชาติทดแทนในอัตราส่วนของสารให้สีจากธรรมชาติ 5 และ 10 มล. ต่อน้ำ 200 มล. (กรรมวิธีที่ 2 และ 3 ตามลำดับ) เนื่องจากได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในทุก ๆ ด้าน ไม่แตกต่างกัน ส่วนในกรรมวิธีที่ 4 ใช้สารให้สีจากธรรมชาติ

ในอัตราส่วนที่มากเกินไปส่งผลให้มีรสชาติเปรี้ยว และมีคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคน้อยที่สุด จากการทดลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ คือ ระยะเวลา 45 วัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่แข็งเพิ่มขึ้นจนถึง 90 วัน จะส่งผลให้ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบถูกทำลายโดยผลึกน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าสีและความแข็งที่ลดลงเมื่อมีระยะเวลาการแช่แข็งนานขึ้น

ลักษณะเนื้อสัมผัสในค่าความแข็งของสารให้สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ทางการค้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 90 วัน (Table 4) พบว่ากรรมวิธีที่ 1 มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 28.88–38.59 นิวตัน กรรมวิธีที่ 2 ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 27.29–37.99 นิวตัน กรรมวิธีที่ 3 ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 27.73–37.49 นิวตัน และกรรมวิธีที่ 4 ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 27.64–37.82 นิวตัน แต่ละตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ซึ่งการใช้สีสังเคราะห์ทางการค้าส่งผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบสูงกว่าการใช้สารให้สีจากธรรมชาติเพียงเล็กน้อย และค่าความแข็งเริ่มต้นมีผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบเป็นอย่างมาก อีกทั้งระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบที่นานมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบลดลง เนื่องจากกระบวนการแช่เยือกแข็งจะดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ จึงส่งผลให้มีค่าความแข็งที่ลดลง

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบสูตรที่ 2 ที่ห่อหุ้มผลแห้วด้วยแป้งมันสำปะหลัง 400 กรัม และแป้งท้าวยายม่อม 50 กรัม มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด จึงเหมาะสำหรับการนำมาศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบต่อสารให้สีจากธรรมชาติและสีผสมอาหารทางการค้าที่ทำการเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 90 วัน พบว่าการทดลองที่ 3 โดยใช้สารให้สีจากธรรมชาติปริมาตร 10 มล. ต่อน้ำ 200 มล. เหมาะสำหรับนำมาเติมในผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ เนื่องจากมีลักษณะปรากฏ ค่าความเป็นสีแดง (a^*) คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในทุก ๆ ด้านสูงที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับการใช้สีผสมอาหารทางการค้า นอกจากนี้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบด้วยการแช่เยือกแข็งไม่ควรเกิน 45 วัน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบเริ่มต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากโครงการฝึกอบรมหลักสูตรประกาศนียบัตรเกษตรก้าวหน้า (Smart Farming) ภายใต้โครงการพัฒนาและผลิตกำลังคนของประเทศเพื่อรองรับนโยบาย Thailand 4.0 ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท เพียว เคมีกัลส์ จำกัด ที่สนับสนุนสารให้สีจากธรรมชาติ รวมถึงขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีระพล เสนพันธุ์ ที่ให้คำปรึกษาและการช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และสารเคมี ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Albuquerque, B.R., J. Pinela, L.M. Barros, B.P Oliveira and I.C. Ferreira. 2020. Anthocyanin–rich extract of jabuticaba epicarp as a natural colorant: optimization of heat–and ultrasound–assisted extractions and application in a bakery product. **Food Chemistry** 316(1): 126364.

Benjakul, S. and S. Karnjanapratum. 2018. Characteristics and nutritional value of whole wheat cracker fortified with tuna bone bio–calcium powder. **Food Chemistry** 259(1): 181–187.

Dholvitayakhun, A. and K. Pumpho. 2018. Mock pomegranate seeds dessert (Tab Tim Grob) production using frozen reverse spherification technique. **Journal of Food Technology Siam University** 13(2): 49–59. [in Thai]

Imsabai, A. 2021. **Tub Tim Grob**. [Online]. Available https://Krua.com (July 10, 2023). [in Thai].

Islam, M. 2019. Food and medicinal values of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) plant parts: a review. **Open Journal of Nutrition and Food Sciences** 1(1): 1003.

Juri**ć**, S., M. Juri**ć**, Z. Król–Kilinska, K. Vlahovi**č**ek–Kahlina, M. Vincekovi**ć**, V. Dragovi**ć**–Uzelac and F. Donsì. 2022. Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. **Food Reviews International** 38(8): 1735–1790.

KhetThongkham, P. 2021. **Tub Tim Grob for Thai cooking**. [Online]. Available https://cookpad.com (July 10, 2023). [in Thai].

Ketthongkam, P. 2023. The adhesion of starch to water chestnut in Tub Tim Grob (coated water chestnut pieces in coconut milk). **Journal of Roi Kaensarn Academi** 8(6): 96–110. [in Thai]

Kobkel, K. and P. Siriwongwilaichat. 2015. The Effect of Modified Starch on Physical Properties of Tub Tim Grob**.** pp. 235–242**.** *In* **Proceedings of the 8th Silpakorn University International Conference on Academic Research and Creative Arts: Integration of Art and Science.** Bangkok: Silpakorn University. [in Thai]

Kobkel, K. and P. Siriwongwilaichat. 2015. The Effect of Acetlylated Distarch Phosphate on Physical Properties of Sterilized Tub Tim Grob. pp. 2843–2853. *In* **Creative Education Intellectual toward ASEAN.** Bangkok: Silpakorn University. [in Thai]

Manzoor, M., J. Singh, A. Gani and N. Noor. 2021. Valorization of natural colors as health–promoting bioactive compounds: phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives. **Food Chemistry** 362: 130141.

Ministry of Public Health. 2020. **Notification of the Ministry of Public Health Food Additives**. [Online]. Available https://food.fda.moph.go.th (July 17, 2023). [in Thai]

Muthusamy, S., S. Udhayabaskar, G.P. Udayakumar, G. Kirthikaa. and N. Sivarajasekar. 2020. Properties and applications of natural pigments produced from different biological sources–a concise review. **Sustainable Development in Energy and Environment: Select Proceedings of ICSDEE** 2019(1): 105–119.

Rzyło, R. 2020. Recent trends in methods used to obtain natural food colorants by freeze–drying. **Trends in Food Science and Technology** 102(1): 39–50.

Singh, M.N., R. Srivastava. and I. Yadav. 2021. Study of different varietis of carrot and its benefits for human health: a review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry** 10(1): 1293–1299.

Sinthusamran, S., S. Benjakul, K. Kijroongrojana, T. Prodpran and H. Kishimura. 2020. Protein hydrolysates from pacific white shrimp cephalothorax manufactured with different processes: compositions, characteristics and antioxidative activity. **Waste and Biomass Valorization** 11(2): 1657–1670.

Srichok, S. 2020. **Tub Tim Grob Loi Kaew**. [Online]. Available https:// goodlifeupdate.com (July 10, 2023). [in Thai]