

ผลของสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ต่อคุณภาพและเสถียรภาพระหว่างการเก็บรักษา ของน้ำลองกองพร้อมดื่ม

Effects of Pasteurization Conditions on Quality and Storage Stability of Ready-to-Drink Longkong Juice

สุนทรณ์ ฟักเฟื่อง^{1*} วรรณญา โนนม่วง¹ กิตติพร แซ่ลือ¹ และ ศุภวัฒน์ คุณานุวัฒน์²

Sunthon Fakfoung^{1*} Warunya Nonmuang¹ Kittiporn Saelo¹ and Supawat Kunanuwat²

¹ สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและธุรกิจ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประเทศไทย

² สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชและภูมิทัศน์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประเทศไทย

¹ Department of Food Innovation and Business, Faculty of Agricultural Industrial Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand

² Department of Crop Production and Landscape Technology, Faculty of Agricultural Industrial Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand

*E-mail: sunthon_fa@rmutto.ac.th Tel. (+66)631234567

(Received 15/02/2026, Revised 24/04/2026, Accepted 01/06/2026)

บทคัดย่อ

ลองกองเป็นผลไม้ที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง แต่มีแนวโน้มเกิดการเสื่อมคุณภาพได้ง่ายหลังการแปรรูป จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ที่เหมาะสม เพื่อคงคุณภาพและความเสถียรของผลิตภัณฑ์น้ำลองกองพร้อมดื่ม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เปรียบเทียบสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ 3 รูปแบบ ได้แก่ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที, 85 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที และ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที และ (2) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างที่เหมาะสมระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน ผลการศึกษาพบว่า สภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำลองกองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นค่า pH ที่ไม่แตกต่างกัน การพาสเจอร์ไรซ์ที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที ให้ค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด ขณะที่สภาวะ 65 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) และสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงที่สุด จึงเลือกสภาวะ 65 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ไปศึกษาระหว่างการเก็บ พบว่าในช่วง 21 วันแรก ค่า L^* และสารประกอบฟีนอลิกกับฟลาโวนอยด์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงในระยะต่อมา ขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า pH เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และค่า TSS ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) สรุปได้ว่า การพาสเจอร์ไรซ์ที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาคุณภาพสารสำคัญของน้ำลองกอง และควรบริโภคภายใน 21 วัน เพื่อให้ได้รับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระดับสูงสุด

คำสำคัญ: น้ำลองกอง การพาสเจอร์ไรซ์ สารประกอบฟีนอลิก การต้านอนุมูลอิสระ เสถียรภาพระหว่างการเก็บรักษา

Abstract

Longkong is a fruit rich in bioactive compounds; however, it is highly susceptible to quality deterioration after processing. Therefore, appropriate pasteurization conditions are required to maintain the quality and stability of ready-to-drink longkong juice. This study aimed to (1) compare three pasteurization conditions: 65 degrees Celsius for 15 min, 85 degrees Celsius for 1 min, and 95 degrees Celsius for 30 s; and (2) evaluate quality changes in the selected condition during storage at 5 ± 1 degrees Celsius for 35 days. The results showed that pasteurization conditions significantly affected juice quality ($p < 0.05$), except for pH. Pasteurization

at 95 degrees Celsius for 30 s resulted in the highest lightness (L^*), whereas 65 degrees Celsius for 15 min preserved the highest total soluble solids (TSS), total phenolic content, and total flavonoid content. The condition of 65 degrees Celsius for 15 min was selected for the storage study. During the first 21 days, L^* value and phenolic and flavonoid contents increased, followed by a gradual decline. In contrast, redness (a^*), yellowness (b^*), and antioxidant activity decreased over time. The pH changed slightly, while TSS remained stable ($p \geq 0.05$). In conclusion, pasteurization at 65 degrees Celsius for 15 min is the most suitable condition for preserving the bioactive compounds in longkong juice, and the product should be consumed within 21 days to obtain maximum benefits.

Keywords: Longkong juice, Pasteurization, Phenolic compounds, Antioxidant activity, Storage stability

1. บทนำ

ลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออก ซึ่งมีการปลูกในเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ลองกองเป็นผลไม้ที่มีเปลือกบางและไวต่อการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Peel browning) หลังการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยทั่วไปประมาณ 3–5 วันที่อุณหภูมิห้อง (Sangkasanya & Meenune, 2010; Venkatachalam, 2016) นอกจากนี้ การออกผลตามฤดูกาลและการออกผลพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกันทำให้เกิดภาวะผลผลิตล้นตลาดและราคาตกต่ำ ส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรและความยั่งยืนของระบบการผลิต ดังนั้น การแปรรูปลองกองเป็นผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้พร้อมดื่มจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าและลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว (Fellows, 2017) ขณะเดียวกันยังตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคด้านความสะดวกในการบริโภคและผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับแนวโน้มตลาดสมัยใหม่ (Asioli et al., 2017) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการแปรรูปเป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่มจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเมื่อเทียบกับผลสด แต่ผลิตภัณฑ์น้ำลองกองยังคงมีข้อจำกัดด้านคุณภาพและเสถียรภาพระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การสูญเสียกลิ่นรส การเสื่อมสลายของสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี เช่น ค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids: TSS) ข้อจำกัดดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาน้ำลองกองพร้อมดื่ม โดยยังคงคุณภาพทางประสาทสัมผัสและสาระสำคัญทางชีวภาพ

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของน้ำผลไม้ ได้แก่ อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาและการสัมผัสออกซิเจน ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ (Wibowo et al., 2015; Mandha et al., 2023) ดังนั้น การเลือกสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมจึงมีบทบาทสำคัญในการรักษาคุณภาพและสารสำคัญทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการให้ความร้อนส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำผลไม้ โดยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH การเกิดสีน้ำตาล รวมถึงการลดลงของวิตามินซีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำผลไม้ (Mandha et al., 2023; Lee et al., 2025) ด้วยเหตุนี้ กระบวนการให้ความร้อนจึงถูกนำมาใช้เป็นกลไกสำคัญในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ โดยเฉพาะกระบวนการการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการควบคุมคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา

การพาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อนในระดับต่าง ๆ มีผลโดยตรงต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของน้ำผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา เช่น การศึกษาของ Lee et al. (2025) พบว่าการเลือกใช้สภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย และช่วยรักษาคุณภาพด้านสีของน้ำเมลอน (Rock melon juice) ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบหลัก ได้แก่ การพาสเจอร์ไรซ์แบบอุณหภูมิต่ำเวลานาน (Low Temperature Long Time; LTLT) เช่น 63–65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15–30 นาที และแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (High Temperature Short Time; HTST) เช่น 72–95 องศาเซลเซียสเป็นเวลาไม่กี่วินาที ซึ่งแต่ละรูปแบบ

มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน ทั้งในด้านสี กลิ่น รสชาติ และการคงอยู่ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Jay et al., 2005; Toledo, 2007; Rawson et al., 2011) นอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ยังสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่า pH ของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง ($\text{pH} < 4.5$) จะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้มากกว่า ดังนั้น การเลือกวิธีการพาสเจอร์ไรซ์ที่เหมาะสม เช่น แบบอุณหภูมิต่ำเวลานาน (LTLT) และแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (HTST) รวมถึงการพิจารณาค่า pH ของผลิตภัณฑ์ จึงมีความสำคัญต่อทั้งประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์และความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา แม้จะมีรายงานการศึกษาผลของการพาสเจอร์ไรซ์ต่อคุณภาพของน้ำผลไม้หลายชนิด เช่น น้ำส้ม น้ำองุ่น และน้ำมะม่วง ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อคุณภาพและสารสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ (Mandha et al., 2023) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่มุ่งศึกษาน้ำลองกองพร้อมดื่ม โดยเฉพาะผลของสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ต่อการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพและเสถียรภาพระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำยังมีจำกัด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพและเสถียรภาพของน้ำลองกองพร้อมดื่ม โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะควบคุม

2. วิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ดำเนินการเป็น 2 ระยะ (Figure 1) ดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษาผลของสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ต่อคุณภาพของน้ำลองกองพร้อมดื่ม โดยเปรียบเทียบกับน้ำลองกองคั้นสดที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน (Control) และสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ 3 รูปแบบ ได้แก่ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที, 85 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที และ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที รวมทั้งหมด 4 กรรมวิธีทดลอง การทดลองดำเนินการตามแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยกำหนดให้แต่ละชุดตัวอย่างเป็นหน่วยทดลอง และแต่ละซ้ำเป็นการเตรียมตัวอย่างแยกกันอย่างอิสระ จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี

ระยะที่ 2 คัดเลือกผลิตภัณฑ์จากผลการทดลองในระยะที่ 1 ที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงที่สุด เพื่อนำมาศึกษาเสถียรภาพระหว่างการเก็บรักษา โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน และทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีทุก ๆ 7 วัน (วันที่ 0, 7, 14, 21, 28 และ 35) การทดลองดำเนินการตามแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

ผลลองกองสด (*Lansium domesticum* Corr.) ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นลองกองพันธุ์ต้นหยงมัสที่ซื้อจากเกษตรกรในจังหวัดจันทบุรี โดยคัดเลือกผลที่มีความสุกสม่ำเสมอ ปราศจากความเสียหายทางกายภาพและโรคพืช ทำการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids; TSS) ด้วยเครื่อง Portable Brix Refractometer (ATAGO, MASTER-3M, JAPAN) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วย pH meter (Oakton, PC2700, Spain) โดยคัดเลือกผลที่มีค่า TSS อยู่ในช่วง 15–17 °Brix และมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.0–4.5 เพื่อให้วัตถุดิบมีความสม่ำเสมอ จากนั้นนำผลลองกองมาปอกเปลือก ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด และพักให้แห้งก่อนบรรจุลงในถุงพลาสติกสำหรับแช่เย็น ปิดผนึกด้วยเครื่องซีลถุง (Fresh Mate, VC-01, Thailand) และเก็บรักษาในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 ± 1 °C จนกว่าจะนำมาใช้ในการทดลอง

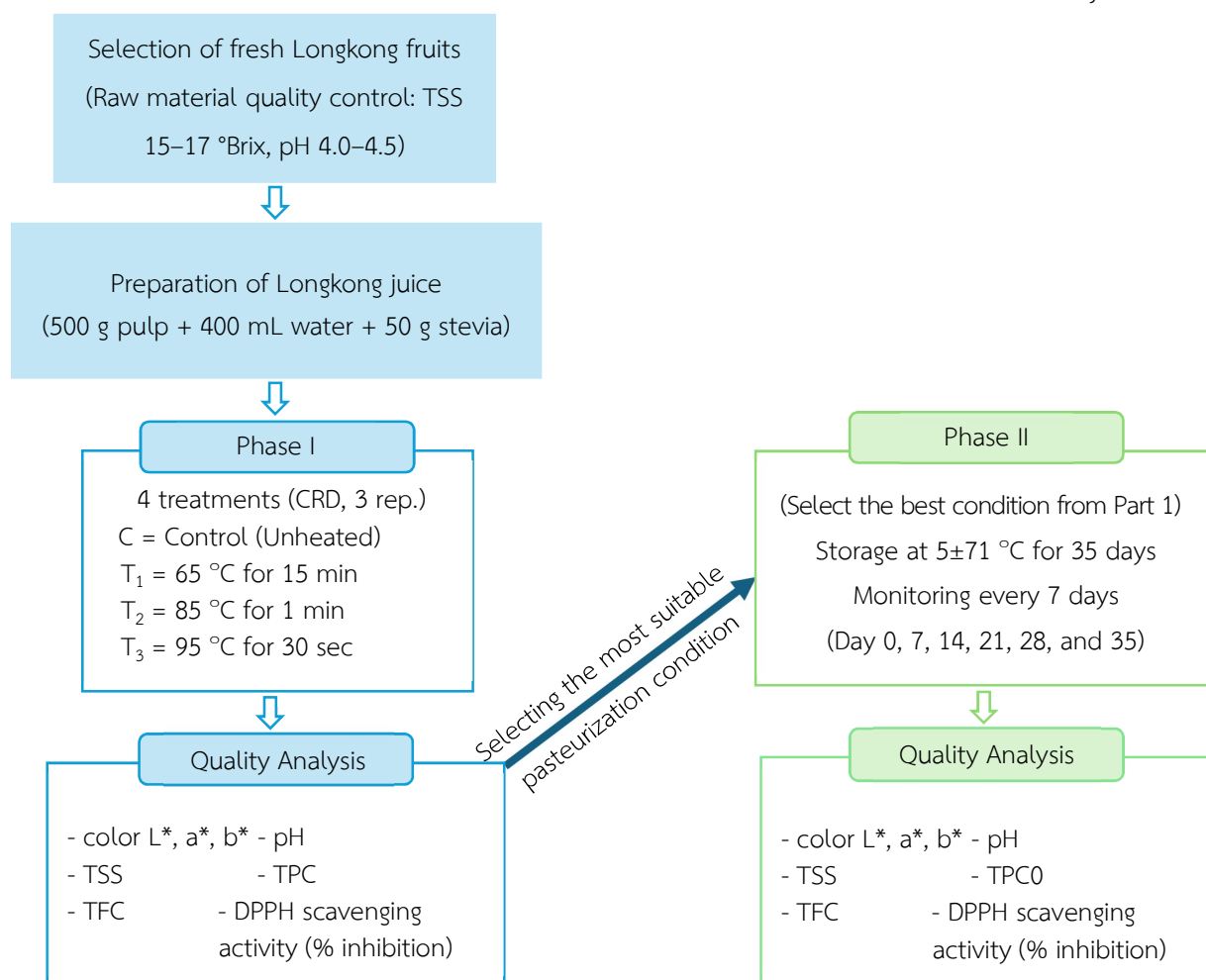


Figure 1 Experimental design for studying the effects of pasteurization conditions on the quality and storage stability of ready-to-drink longkong juice

2.4 การพาสเจอร์ไรซ์

กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ การพาสเจอร์ไรซ์ด้วยระบบเปิด โดยนำขวดแก้วขนาดบรรจุ 150 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด มาทำการฆ่าเชื้อด้วยวิธีลวกในน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) แล้วคว่ำให้แห้งในบริเวณที่สะอาด บรรจุ น้ำลองกองจากข้อ 2.3 ลงในขวดแก้วที่เตรียมไว้และปิดฝาให้สนิททันที แล้วรีบนำไปแช่ในน้ำเย็นจัดเพื่อลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว เป็นการลดผลกระทบจากความร้อนและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และจุลินทรีย์ที่อาจหลงเหลืออยู่ จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส และนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีทุก ๆ 7 วัน ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

2.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำลองกองดำเนินการโดยตรวจวัดค่าสีในระบบ CIE ได้แก่ ค่า L^* (ความสว่าง), a^* (แกนสีแดง-เขียว) และ b^* (แกนสีเหลือง-น้ำเงิน) ด้วยเครื่องวัดสี (Color meter; KONICA MINOLTA, Chroma Meter CR-400, Japan)

2.6 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีประกอบด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter โดยทำการสอบเทียบเครื่องด้วยสารละลาย buffer มาตรฐานก่อนการวัด ตามวิธี AOAC (2000) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่อง Portable Brix Refractometer และรายงานผลเป็น °Brix ตามวิธี AOAC (2000) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content; TPC) วิเคราะห์โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu reagent และวัดค่าการดูดกลืนแสง

ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรด้วยเครื่อง spectrophotometer (Spectro, LaboMed 23, USA) อ้างอิงตามวิธีของ Singleton & Rossi (1965) และรายงานผลเป็นไมโครกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อมิลลิกรัมตัวอย่าง ($\mu\text{g GAE/g}$) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid content; TFC) วิเคราะห์โดยวิธี aluminum chloride colorimetric assay และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer อ้างอิงตามวิธีของ Chang et al. (2002) และรายงานผลเป็นไมโครกรัมเคอซีทินสมมูลต่อมิลลิกรัมตัวอย่าง ($\mu\text{g QE/g}$) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer อ้างอิงตามวิธีของ Brand-Williams et al. (1995) และรายงานผลเป็นร้อยละการยับยั้ง (% inhibition) การวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ทุกตัวอย่างดำเนินการจำนวน 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลจากการทดลองในระยะที่ 1 นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variance; one-way ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) ข้อมูลจากการทดลองในระยะที่ 2 วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) โดยพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) การวิเคราะห์ทางสถิติดำเนินการโดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลของสภาวะการพาสเจอไรซ์ต่อคุณภาพของน้ำลองกองพร้อมดื่ม

การพาสเจอไรซ์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าสี (L^* , a^* , b^* และ Hue angle) ของน้ำลองกองพร้อมดื่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 1 โดยค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งการพาสเจอไรซ์ที่สภาวะ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที ให้ค่า L^* สูงที่สุด (40.08 ± 0.01) เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีค่าต่ำที่สุด (27.77 ± 0.13) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความร้อนระดับสูงสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Polyphenol Oxidase (PPO) และ Peroxidase (POD) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Enzymatic browning) ในลองกอง ทำให้น้ำลองกองมีความสว่างมากขึ้น สอดคล้องกับ Lichanporn et al. (2009) ที่รายงานว่า การใช้ความร้อนระดับสูงสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏใน Figure 2 ที่พบว่าน้ำลองกองที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิสูงมีความสว่างและใสกว่าชุดควบคุม ที่มีสีน้ำตาลคล้ำอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากการที่เอนไซม์ในชุดควบคุมยังคงทำงานอยู่

ในทางกลับกันการพาสเจอไรซ์ที่สภาวะ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ให้ค่า a^* และ b^* สูงที่สุด (3.63 ± 0.01 และ 4.07 ± 0.02 ตามลำดับ) บ่งชี้ว่าการใช้ความร้อนระดับต่ำในเวลานาน (LTLT) ช่วยรักษาโครงสร้างของเม็ดสีธรรมชาติกลุ่มฟีนอลิก และแคโรทีนอยด์ที่ไวต่อความร้อนสูงได้ดีกว่าการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิสูง (Wibowo et al., 2015 ในขณะที่เดียวกันค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สอดคล้องกับ Igual et al. (2010) ที่พบว่าการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิสูงเกินไปส่งผลให้สารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์และฟลาโวนอยด์เกิดการเสื่อมสลายอย่างไร้ทิศทาง เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏโดยรวม (Figure 2) พบว่าน้ำลองกองที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทุกสภาวะมีความสว่างและมีลักษณะสีเหลืองนวลน่ารับประทานมากกว่าชุดควบคุม ซึ่งยืนยันได้ว่ากระบวนการพาสเจอไรซ์ไม่เพียงแต่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา แต่ยังมีผลสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงคุณภาพด้านสีและลักษณะปรากฏของน้ำลองกองให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

Table 1 Color values (L^* , a^* , and b^*) of ready-to-drink Longkong juice pasteurized at different temperatures and times

Color Value	Treatments			
	C (untreated)	65 °C; 15 min	85 °C; 1 min	95 °C; 30 sec
L^*	27.77±0.13 ^d	37.68±0.29 ^c	38.26±0.01 ^b	40.08±0.01 ^a
a^*	0.26±0.03 ^d	3.63±0.01 ^a	2.58±0.01 ^b	2.51±0.01 ^c
b^*	-0.63±0.01 ^d	4.07±0.02 ^a	3.21±0.01 ^c	3.37±0.01 ^b
(Hue angle h°)	-67.98±0.29 ^d	48.29±0.04 ^c	51.21±0.17 ^b	53.36±0.14 ^a

Note: Values are expressed as mean ± standard deviation (mean ± SD).

L^* represents lightness; a^* represents the red–green axis; and b^* represents the yellow–blue axis.

Means followed by different superscript letters within the same row are significantly different ($p < 0.05$).



Figure 2 Color values (L^* , a^* , b^*) of ready-to-drink Longkong juice pasteurized under different conditions compared with fresh (unheated) Longkong juice as control.

Note: C: Untreated (Control); T₁: 65°C, 15 min; T₂: 85°C, 1 min; T₃: 95°C, 30 sec.

The control sample was measured for color values only and was not subjected to chemical quality analyses.

สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Table 2) พบว่า การพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้มีความไวต่อความร้อน และอาจเกิดการเสื่อมสลายหรือออกซิเดชันเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง

อย่างไรก็ตาม ค่าการต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH inhibition) กลับสูงขึ้นในตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดจากการปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในรูปจับตัว (bound compounds) หรือการเกิดสารใหม่จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระยะเริ่มต้น (Maillard reaction products) ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Maghsoudlou et al., 2010; Mandha et al., 2023) ขณะที่ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อาจเนื่องมาจากความคงตัวของกรดอินทรีย์ภายใต้สภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Bermúdez-Aguirre และ Barbosa-Cánovas (2011) ที่พบว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ไม่ส่งผลต่อค่า pH ของน้ำผลไม้อย่างมีนัยสำคัญ

Table 2 Chemical quality and antioxidant activity of ready-to-drink longkong juice pasteurized at different temperatures and times

Parameter	Treatments		
	65 °C; 15 min	85 °C; 1 min	95 °C; 30 sec
pH	4.17±0.06 ^{ns}	4.17±0.06 ^{ns}	4.17±0.06 ^{ns}
Total soluble solids (°Brix)	19.0±0.17 ^a	16.70±0.23 ^b	16.60±0.57 ^b
Total phenolic content (µg GAE/mL)	452.53±1.10 ^a	227.78±1.08 ^b	186.67±1.11 ^c
Total flavonoids (µg QE/mL)	85.50±1.05 ^a	34.67±1.15 ^b	29.25±1.09 ^c
% DPPH inhibition	33.46±0.43 ^b	86.44±0.40 ^a	87.88±1.25 ^a

Note: Values are expressed as mean ± standard deviation (mean ± SD).

Means followed by different superscript letters within the same row are significantly different ($p < 0.05$).

ns = not significantly different ($p \geq 0.05$)

GAE = gallic acid equivalent; QE = quercetin equivalent.

จากการพิจารณาในภาพรวมจะเห็นว่า การพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที สามารถรักษาปริมาณสารสำคัญทางชีวภาพทั้งกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ไว้ได้สูงสุด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้ ผู้วิจัยจึงเลือกสภาวะนี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาอายุการเก็บรักษาในขั้นตอนต่อไป อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ไม่ได้ใช้ตัวอย่างควบคุมเป็นน้ำลองกองสด จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลกระทบของการพาสเจอร์ไรซ์กับสภาพธรรมชาติได้โดยตรง ซึ่งเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยนี้

3.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำลองกองพร้อมดื่มระหว่างการเก็บรักษา

การเก็บรักษาน้ำลองกองพร้อมดื่มที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 3) โดยค่า L^* เพิ่มขึ้นในช่วงต้นจนถึงวันที่ 21 ก่อนลดลงในช่วงปลายของการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นในระยะแรกอาจเกิดจากการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างคอลลอยด์ ส่งผลให้ความใสเพิ่มขึ้นชั่วคราว แตกต่างจากรายงานของ Odriozola-Serrano et al. (2008) ที่ศึกษาในน้ำสตรอเบอร์รี่ ซึ่งรายงานว่าค่า L^* มักลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์และการสลายตัวของสารให้สีกลุ่มแอนโทไซยานินระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น ทั้งนี้ ความแตกต่างของแนวโน้มที่เกิดขึ้นในน้ำลองกอง เมื่อเทียบกับรายงานดังกล่าว อาจมีสาเหตุหลักมาจากความแตกต่างของชนิดวัตถุดิบ องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น หรือประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการตกตะกอนของอนุภาคในระหว่างการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

ในขณะเดียวกันค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเสื่อมสลายของรงควัตถุธรรมชาติและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารฟีนอลิก สอดคล้องกับ Wurlitzer et al. (2019) ที่พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและค่าการต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างกระบวนการเก็บรักษา แม้จะเก็บภายใต้สภาวะแช่เย็น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเสื่อมสลายตามธรรมชาติของสารพฤกษเคมี ส่วนค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยเพิ่มขึ้นในช่วงปลายของการเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ในระบบ (Tiwari et al., 2009) ขณะที่ค่า TSS ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แสดงถึงความเสถียรของน้ำตาลภายใต้สภาวะการเก็บรักษา

Table 3 Changes in color values, pH, and total soluble solids of ready-to-drink longkong juice during storage

Storage time (days)	Color Value			pH	Total soluble solids (°Brix)
	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]		
0	37.88±0.06 ^e	3.63±0.01 ^a	4.07±0.02 ^e	4.23±0.01 ^b	19.46±0.12 ^{ns}
7	39.65±0.03 ^b	3.54±0.13 ^b	4.48±0.05 ^b	4.16±0.01 ^c	19.46±0.12 ^{ns}
14	38.82±0.01 ^c	3.61±0.01 ^a	4.91±0.03 ^a	4.15±0.01 ^c	19.53±0.02 ^{ns}
21	41.19±0.02 ^a	3.16±0.02 ^c	4.32±0.05 ^c	4.10±0.01 ^d	19.53±0.12 ^{ns}
28	39.70±0.01 ^b	3.12±0.01 ^d	4.24±0.01 ^d	4.31±0.01 ^a	19.60±0.12 ^{ns}
35	38.72±0.02 ^d	3.19±0.01 ^c	4.26±0.01 ^{cd}	4.31±0.01 ^a	19.66±0.12 ^{ns}

Note: Values are expressed as mean ± standard deviation (mean ± SD).

Means followed by different superscript letters within the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

ns = not significantly different ($p \geq 0.05$).

ในด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Table 4) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นในช่วงต้นและมีค่าสูงสุดในวันที่ 21 ก่อนลดลงในช่วงปลาย ซึ่งอาจเกิดจากการปลดปล่อยสารในรูป bound phenolics (Zhang et al., 2025) และการเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและพอลิเมอไรเซชันในระยะยาว ในทางตรงกันข้าม ค่าการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารฟีนอลิกรวมเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของสารฟีนอลิกแต่ละชนิดและวิธีการประเมินที่ใช้ (Prior et al., 2005; Rice-Evans et al., 1996) รวมถึงการสูญเสียสารสำคัญ เช่น วิตามินซี นอกจากนี้ อาจเกิดสารใหม่จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด เช่น melanoidins ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Morales & Jiménez-Pérez, 2001) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาที่ไม่พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในช่วงปลายของการเก็บรักษา

Table 4 Changes in Total Phenolic Content, Total Flavonoid Content, and Antioxidant Activity of Ready-to-Drink Longkong Juice During Storage at 5 ± 1 °C

Storage Time (days)	Total Phenolic Content (µg GAE/mL)	Total Flavonoid Content (µg QE/mL)	% DPPH inhibition (%)
0	452.78±2.55 ^b	85.50±1.25 ^d	33.467±0.44 ^a
7	439.44±9.60 ^b	257.58±6.29 ^b	21.063±0.63 ^e
14	310.56±17.10 ^c	262.48±8.78 ^b	27.017±0.56 ^c
21	479.45±10.72 ^a	310.08±3.81 ^a	24.013±3.42 ^d
28	327.22±16.18 ^c	145.92±11.44 ^c	30.013±0.70 ^b
35	315.33±17.78 ^c	140.91±10.54 ^c	29.203±1.38 ^{bc}

Note: Values are expressed as mean ± standard deviation (SD) ($n = 3$).

Different superscript letters within the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

GAE = gallic acid equivalent; QE = quercetin equivalent.

ในด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ แม้ว่าการศึกษานี้ไม่ได้ประเมินจุลินทรีย์โดยตรง แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ผิดปกติอย่างชัดเจนในระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาทางจุลชีววิทยาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันความปลอดภัยในระยะยาว

โดยสรุป ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่มุ่งประเมินผลของสภาวะการพาสเจอไรซ์ต่อคุณภาพและเสถียรภาพของน้ำลองกอง พร้อมทั้งแสดงให้เห็นว่าการเลือกสภาวะที่เหมาะสมสามารถช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างจากงานวิจัยบางส่วนอาจเกิดจากความแตกต่างของวัตถุดิบและเงื่อนไขการทดลอง

4. สรุป

ผลการศึกษานี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ในการหาสภาวะการพาสเจอไรซ์ที่เหมาะสม โดยแสดงให้เห็นว่าสภาวะการพาสเจอไรซ์มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำลองกองพร้อมดื่มอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที สามารถรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ได้สูงที่สุด ขณะที่การใช้อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้นให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 วัน พบว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา โดยเฉพาะค่าสีและสารประกอบชีวภาพ อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีความคงตัวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้น สภาวะการพาสเจอไรซ์ที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขของการศึกษานี้คือ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ซึ่งผลการศึกษาค้นพบนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับกลุ่มเกษตรกรหรือผู้ประกอบการในการแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับลองกองในช่วงที่ผลผลิตล้นตลาดได้ ทั้งนี้ การศึกษาต่อไปควรพิจารณาปัจจัยด้านจุลชีววิทยาและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเพิ่มเติม เพื่อประเมินความปลอดภัยและความพึงพอใจของผู้บริโภคในระดับอุตสาหกรรม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะต่อโครงงานวิจัยฉบับนี้ รวมทั้งขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่อนุญาตให้ดำเนินการวิจัย ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากทุนส่วนตัวของผู้วิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- AOAC International. (2000). *Official methods of analysis* (17th ed.). AOAC International.
- Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., & Varela, P. (2017). Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, 99(Part 1), 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.022>.
- Bermúdez-Aguirre, D., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2011). An update on high hydrostatic pressure, from the laboratory to industrial applications. *Food Engineering Reviews*, 3(1), 44–61. <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9030-4>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 28, 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. W. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178–182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>.
- Fellows, P. J. (2017). *Food processing technology: Principles and practice* (4th ed.). Woodhead Publishing.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). *Modern food microbiology* (7th ed.). Springer.

- Lee, S. H., Nordin, S., & Mahrer, N. (2025). Effect of different pasteurization temperatures on the physicochemical and microbiological quality of rock melon juice during storage at 4°C. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 48(5), 1549–1563.
- Lichanporn, I., Uthairatanakij, A., & Srilaong, V. (2009). Polyphenol oxidase, internal browning and opacity of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treated longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1), 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.09.009>
- Maghsoudlou, Y., Esmaili, M., Asghari, M., & Shabanpour, B. (2010). Effects of heat treatment on phenolic compounds and antioxidant activity of fruit juices. *Food Chemistry*, 119(2), 546–550. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.062>
- Mandha, J., Shumoy, H., Matemu, A. O., & Raes, K. (2023). Characterization of fruit juices and effect of pasteurization and storage conditions on their microbial, physicochemical, and nutritional quality. *Food Bioscience*, 51, 102335. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102335>
- Morales, F. J., & Jiménez-Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*, 72(1), 119–125. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00239-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00239-9)
- Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of strawberry juice during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(16), 7155–7162. <https://doi.org/10.1021/jf8009893>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in food and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B. K., Noci, F., Koutchma, T., & Brunton, N. (2011). Effect of thermal and non-thermal processing technologies on the bioactive content of fruit juices. *Food Research International*, 44(7), 1875–1884. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.009>
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7), 933–956.
- Sangkasanya, S., & Meenune, M. (2010). Physical, chemical and sensory quality of longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.) as affected by storage at different atmospheres. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 3(1), 64-74.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
- Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Muthukumarappan, K., & Cullen, P. J. (2009). Anthocyanin and colour degradation in ozone treated blackberry juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(1), 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.08.002>
- Toledo, R. T. (2007). *Fundamentals of food process engineering* (3rd ed.). Springer.
- Venkatachalam, K. (2016). Postharvest physiology and handling of longkong fruit: A review. *Fruits*, 71(5), 289–298. <https://doi.org/10.1051/fruits/2016026>

- Wibowo, S., Grauwet, T., Gedefa, G. B., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2015). Quality changes of pasteurised mango juice during storage. Part I: Selecting shelf-life markers by integration of a targeted and untargeted multivariate approach. *Food Research International*, 78, 396-409. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.002>
- Wurlitzer, N. J., Dionisio, A. P., Lima, J. R., Garruti, D. S., Araújo, I. M. S., Rocha, R. F. J., & Maia, J. L. (2019). Tropical fruit juice: Effect of thermal treatment and storage time on sensory and functional properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(12), 5184–5193. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03987-0>.
- Zhang, P., Zhang, J., Li, L., Gu, T., Chen, S., Wang, J., & Gao, M. (2025). The release of bound phenolics to enhance the antioxidant activity of cornmeal by liquid fermentation with *Bacillus subtilis*. *Foods*, 14(3), 499. <https://doi.org/10.3390/foods14030499>.