คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกระเทียมดำทุ่งกุลาศรีสะเกษ

Chemical, physical and sensory properties of black garlic Thung Kula Sisaket

จิรนันต์ รัตสีวอ [1], พนารัตน์ สังข์อินทร์ [1], ขนิษฐา ฉิมพาลี [2], จิรายุ มุสิกา [3], ธนวรรณ มุสิกา [1*]

Jiranan Ratseewo [1], Panarat Sungin [1], Khanittha Chimphali [2], Jirayu Musika [3] and Thanawan Musika[1*]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาหาร คณะศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

[2] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

[3] สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[1] Division of Food Innovation and Technology, Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University

[2] Division of Sport Science, Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University

[3] Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University

*Corresponding Author: thanawan.a@sskru.ac.th

Received: October 2, 2025 Revised: June 22, 2026 Accepted: June 24, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกระเทียมดำที่ผลิตจากกระเทียมกลีบพันธุ์ไทย กระเทียมโทนพันธุ์ไทย และกระเทียมกลีบพันธุ์จีน โดยนำกระเทียมสดมาบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 เป็นระยะเวลา 0, 7, 12, 14, 21 และ 28 วัน จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าสี (L*, a*, b* และ ΔE) ปริมาณน้ำอิสระ (aw) และความชื้น รวมทั้งประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการบ่มมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกระเทียมดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าปริมาณน้ำอิสระและค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่าง กระเทียมกลีบพันธุ์ไทยมีค่า aw ต่ำที่สุดหลังการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 0.80±0.01 ส่วนกระเทียมกลีบพันธุ์จีนมีค่าความแตกต่างของสีสูงที่สุด (ΔE = 11.62±3.70) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่ากระเทียมดำจากกระเทียมพันธุ์ไทยได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่ากระเทียมกลีบพันธุ์จีน ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการบ่มและชนิดของกระเทียมมีผลต่อคุณภาพของกระเทียมดำ และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเทียมดำเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่กระเทียม GI จังหวัดศรีสะเกษในอนาคต

คำสำคัญ: กระเทียมดำ, กระเทียมศรีสะเกษ, ทุ่งกุลาร้องไห้, กระบวนการบ่มด้วยความร้อน, การทดสอบทางประสาทสัมผัส

Abstract

This study aimed to investigate the chemical, physical, and sensory acceptability properties of black garlic produced from Thai multi-clove garlic, Thai single-clove garlic, and Chinese multi-clove garlic. Fresh garlic samples were aged in a hot-air chamber at 70°C and 80% relative humidity for 0, 7, 12, 14, 21, and 28 days. Physical and chemical properties, including color parameters (L*, a*, b*, and ΔE), water activity (aw), and moisture content, were analyzed. Sensory evaluation was conducted using 50 untrained panelists. The results showed that aging time significantly affected the physical and chemical properties of black garlic ($p<0.05$). Water activity and lightness (L*) values decreased with increasing aging time, whereas the total color difference (ΔE) increased in all garlic samples. Thai multi-clove black garlic exhibited the lowest water activity after 28 days of aging (0.80±0.01), while Chinese multi-clove black garlic showed the highest total color difference (ΔE = 11.62±3.70). Sensory evaluation revealed that black garlic produced from Thai garlic varieties received higher scores for flavor, texture, and overall acceptability than black garlic produced from Chinese garlic. These findings indicate that both garlic variety and aging duration significantly influence black garlic quality and provide useful information for the development of high-quality black garlic products to enhance the value of Geographical Indication (GI) garlic from Sisaket Province, Thailand.

Keywords: Black garlic, Sisaket garlic, Thung Kula Rong Hai, Thermal aging process, Sensory evaluation

บทนำ

กระเทียม (*Allium sativum* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทยที่มีมูลค่าทางการตลาดสูง อย่างไรก็ตาม สถานการณ์การผลิตกระเทียมของประเทศไทยในช่วงปีเพาะปลูก 2563/64 ถึง 2566/67 มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยผลผลิตลดลงจาก 75,444 ตัน เหลือเพียง 54,653 ตัน หรือลดลง ร้อยละ 27.6 (กรมการค้าภายใน, 2567) และข้อมูลพยากรณ์ล่าสุดของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2568) ระบุว่าพื้นที่เพาะปลูกกระเทียมทั่วประเทศในปี 2568 เหลือเพียง 50,346 ไร่ จังหวัดศรีสะเกษ เป็นแหล่งผลิตกระเทียมที่สำคัญที่สุดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และกระเทียมศรีสะเกษได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) จากกรมทรัพย์สินทางปัญญา เมื่อวันที่ 18 มิถุนายน 2563 ครอบคลุมพื้นที่ปลูก 7 อำเภอ ซึ่งรวมพื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนกลางอันเป็นส่วนหนึ่งของเขตทุ่งกุลาร้องไห้ที่มีลักษณะดินตะกอนลุ่มน้ำโบราณอุดมสมบูรณ์เฉพาะตัว ทำให้กระเทียมศรีสะเกษ

มีกลิ่นฉุน รสเผ็ดร้อน และเก็บรักษาได้นาน (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2563) แม้ศรีสะเกษเป็นแหล่งผลิตกระเทียมที่สำคัญ แต่เกษตรกรกลับเผชิญปัญหาราคาตกต่อเนื่องหลายปี ส่งผลให้จำนวนครัวเรือนเกษตรกรผู้ปลูกกระเทียมในจังหวัดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จาก 25,682 ครัวเรือน ในปี 2560 เหลือเพียง 13,901 ครัวเรือน ในปี 2568 หรือลดลงเกือบร้อยละ 46 ภายในระยะเวลา 8 ปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, อ้างถึงใน สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร [องค์การมหาชน], 2568) สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนถึงวิกฤตเชิงโครงสร้างที่อาจกระทบต่อความยั่งยืนของสินค้า GI ประจำจังหวัด หากไม่มีแนวทางเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันกระเทียมไทยต้องเผชิญกับการแข่งขันทางการตลาดจากกระเทียมนำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่ พม่า เวียดนาม และโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศจีน ซึ่งเป็นแหล่งผลิตและส่งออกกระเทียมรายสำคัญของโลก กระเทียมจีนมีลักษณะหัวใหญ่ เปลือกแข็งแกะง่าย มีเนื้อกระเทียมมาก และมีราคาจำหน่ายต่ำกว่ากระเทียมไทย ส่งผลกระทบต่อความต้องการของตลาดและราคากระเทียมภายในประเทศ

กระเทียมดำ คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกระเทียมสดมาผ่านกระบวนการบ่มด้วยความร้อนภายใต้อุณหภูมิและความชื้นที่ควบคุมอย่างเหมาะสม (thermal aging process) จนทำให้กลีบกระเทียมมีสีดำ รสหวาน มีกลิ่นฉุนน้อยลง และมีเนื้อสัมผัสนุ่มคล้ายเจล เมื่อกระเทียมถูกบ่มภายใต้อุณหภูมิ 60–90 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์สูง (60–90% RH) จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ส่งผลให้สีของกระเทียมเปลี่ยนเป็นสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม รวมทั้งส่งผลต่อเนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์ (Kang, 2016; Kimura et al., 2017) ส่งผลให้กระเทียมดำได้รับความนิยมในการบริโภคเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกระเทียมสด เนื่องจากมีกลิ่นฉุนน้อยลง รับประทานง่าย และลดผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหารที่อาจเกิดจากการบริโภคกระเทียมสด นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารประกอบอัลลิซิน ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ไม่คงตัวและมีกลิ่นฉุน ให้เป็นสาร S-allyl cysteine (SAC) และสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งเป็นสารที่มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นฉุน (Kim et al., 2013) และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งความเสียหายที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันจากอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ

แม้ว่าจะมีงานวิจัยเกี่ยวกับกระเทียมดำทั้งในต่างประเทศและประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง แต่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระเทียมดำและการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น Manoonphol et al. (2023) ได้ศึกษาผลของสภาวะการบ่มต่อปริมาณ S-allyl cysteine (SAC) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกระเทียมไทยและกระเทียมจีน พบว่าการบ่มที่อุณหภูมิ 70 ℃ และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 เป็นเวลา 12 วัน เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณ SAC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกระเทียมดำ ขณะที่งานวิจัยของ จิรายุ มุสิกา และคณะ (2565) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระเทียมดำจากกระเทียมกลีบและกระเทียมโทนที่ปลูกในจังหวัดศรีสะเกษ โดยพบว่ากระเทียมโทนที่ห่อด้วยกระดาษไขและอลูมิเนียมฟอยล์แล้วบ่มที่

อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ให้คุณภาพผลิตภัณฑ์และการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาเน้นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระเทียมดำและการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นหลัก ขณะที่ข้อมูลด้านคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกระเทียมดำที่ผลิตจากกระเทียมทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดศรีสะเกษ ภายใต้ระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน รวมถึงการเปรียบเทียบระหว่างกระเทียมพันธุ์ไทยและกระเทียมพันธุ์จีนยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกระเทียมดำที่ผลิตจากกระเทียมทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดศรีสะเกษ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการกำหนดระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสม และการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเทียมดำคุณภาพสูงสำหรับการเพิ่มมูลค่าให้แก่กระเทียม GI ศรีสะเกษในระดับชุมชนและเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการบ่ม 0 วัน 7 วัน 14 วัน 21 วัน และ 28 วัน ต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของกระเทียมดำที่ผลิตจากกระเทียมกลีบพันธุ์ไทย กระเทียมโทนพันธุ์ไทย และกระเทียมกลีบพันธุ์จีน
2. เพื่อศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อกระเทียมดำที่ผลิตจากกระเทียมกลีบพันธุ์ไทย กระเทียมโทนพันธุ์ไทย และกระเทียมกลีบพันธุ์จีน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบกระเทียมสด

กระเทียมสดชนิดกลีบซึ่งเป็นกระเทียมพันธุ์เบา หรือพันธุ์พื้นเมืองศรีสะเกษ (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4–5 เซนติเมตร) และกระเทียมโทน (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3–4 เซนติเมตร) ได้รับจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มออมทรัพย์พัฒนาสตรีบ้านเมืองแสน ตำบลคอนกาม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งเป็นกระเทียมที่ปลูกในฤดูกาลผลิต พ.ศ. 2565–2566 โดยมีอายุการเพาะปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 110 วัน หลังการเก็บเกี่ยวได้นำมาผึ่งลดความชื้นเป็นเวลา 90 วันก่อนนำมาใช้ในการทดลอง ส่วนกระเทียมสายพันธุ์จีนชนิดกลีบ (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8–10 เซนติเมตร) จัดซื้อจากตลาดค้าส่งในจังหวัดศรีสะเกษและคัดเลือกให้มีความสมบูรณ์ ไม่มีร่องรอยความเสียหายจากโรคหรือแมลงก่อนนำมาใช้ในการศึกษา

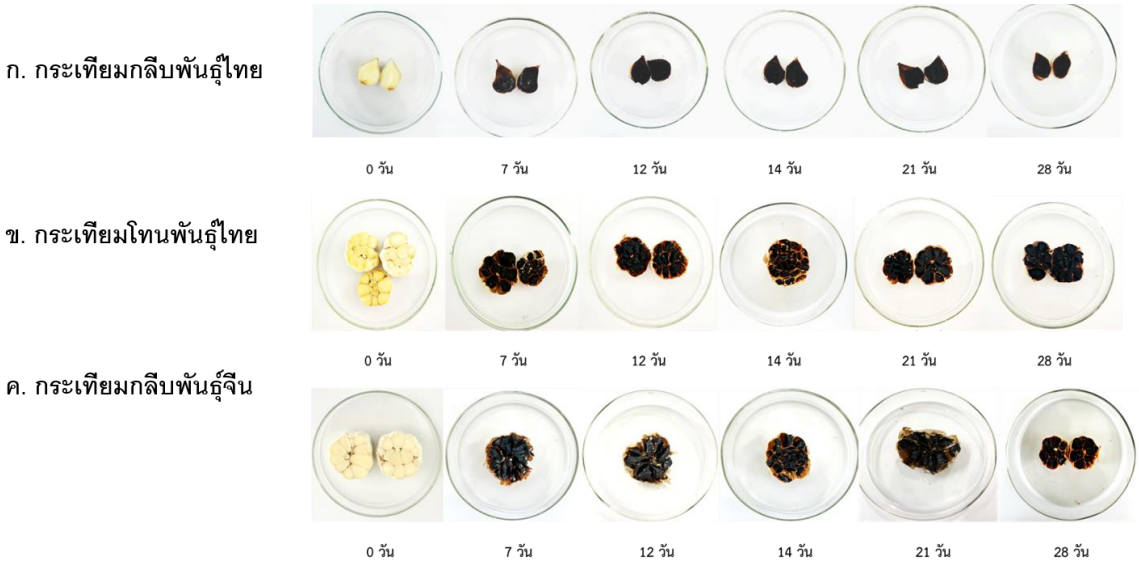
2. การแปรรูปกระเทียมสดเป็นกระเทียมดำ

กระบวนการบ่มกระเทียมดำอ้างอิงและประยุกต์วิธีการบ่มกระเทียมดำจากงานวิจัยของ Manoonphol et al. (2023) นำกระเทียมสดชนิดกลีบ กระทียมสดชนิดโทนซึ่งเป็นกระเทียมพันธุ์พื้นเมืองศรีสะเกษ และกระเทียมสายพันธุ์จีนชนิดกลีบ มาทำความสะอาดตัดใบแห้งออก ลอกเปลือกนอก

ออกสองถึงสามชั้น นำหัวกระเทียมทั้งสองชนิดรองผ้าขาวบางวางบนถาดที่มีรู แล้วบ่มในตู้บ่ม (Premium climatic chamber, JSR, JSRH-150CP) ศึกษาการใช้สภาวะที่ใช้ในการบ่มกระเทียม ที่สภาวะ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความชื้น 80% ระยะเวลา 0 วัน 7 วัน 14 วัน 21 วัน และ 28 วัน เปรียบเทียบกับตัวอย่างกระเทียมพันธุ์ไทยชนิดโทน และกระเทียมสายพันธุ์จีนที่บ่มในสภาวะเดียวกัน เมื่อครบเวลานำกระเทียมที่บ่มได้ตั้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อลดอุณหภูมิลง จากนั้นนำไปบรรจุถุงอะลูมิเนียมฟอยด์แบบซิปล็อก นำไปแช่เย็นที่ อุณหภูมิต่ำกว่า -4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป โดยกระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การแปรรูปกระเทียมสดเป็นกระเทียมดำ (ก) กระเทียมกลีบพันธุ์ไทย (ข) กระเทียมโทนพันธุ์ไทย และ (ค) กระเทียมกลีบพันธุ์จีน



รูปที่ 2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงจากกระเทียมสดเป็นกระเทียมดำ (ก) กระเทียมกลีบพันธุ์ไทย (ข) กระเทียมโทนพันธุ์ไทย และ (ค) กระเทียมกลีบพันธุ์จีน

3. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

วัดสี (Color) ของกระเทียมดำศรีสะเกษ ด้วยระบบ CIE L*, a*, b* ด้วยเครื่องวัดสี (MINOTA CR400, Japan) จากนั้นนำมาคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่าง ค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้ ของสี ΔE* (delta E) การเปลี่ยนแปลงค่าสี หรือ ΔE คือการใช้พารามิเตอร์ค่า L* a* และ b* ในการคำนวณโดยเทียบจากค่าตัวอย่างควบคุม ดังนั้นตัวอย่างควบคุมจะไม่มีค่า ΔE สามารถคำนวณจากสูตร $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{½}$ การวิเคราะห์ความชื้นใช้ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) อบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 48-72 ชั่วโมง (AOAC, 1990) การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง water activity โดยทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ (Chutrakulwong et al., 2020)

4. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสดำเนินการโดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน (untrained panelists) อายุระหว่าง 40–65 ปี จำนวน 50 คน ซึ่งเป็นกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ โดยคัดเลือกจากผู้ที่มีสุขภาพปกติ สามารถรับประทานกระเทียมได้ และไม่มีประวัติการแพ้อาหารที่เกี่ยวข้องกับกระเทียม ผู้ทดสอบแต่ละคนได้รับตัวอย่างกระเทียมดำจำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ กระเทียมดำจากกระเทียมกลีบพันธุ์ไทย กระเทียมดำจากกระเทียมโทนพันธุ์ไทย และกระเทียมดำจากกระเทียมกลีบพันธุ์จีน ที่ผ่านการบ่มภายใต้สภาวะที่กำหนด โดยกำหนดปริมาณตัวอย่างต่อการเสิร์ฟเป็นกระเทียมดำชนิดโทน 1 หัว และกระเทียมดำชนิดกลีบ 4 กลีบ เสิร์ฟในภาชนะชนิดเดียวกันและกำหนดรหัสตัวอย่างแบบสุ่ม 3 หลัก (three-digit random code) เพื่อป้องกันอคติจากการรับรู้ชนิดของตัวอย่าง ลำดับการเสิร์ฟตัวอย่างถูกสุ่มแตกต่างกันในผู้ทดสอบแต่ละราย และจัดเตรียมน้ำดื่มสำหรับล้างปากระหว่างการประเมินตัวอย่างแต่ละชนิด การประเมินความชอบใช้วิธี 9-point hedonic scale โดยประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยกำหนดคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบอย่างยิ่ง และ 9 หมายถึง ชอบอย่างยิ่ง โครงการวิจัยได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ (เลขที่ HE681027)

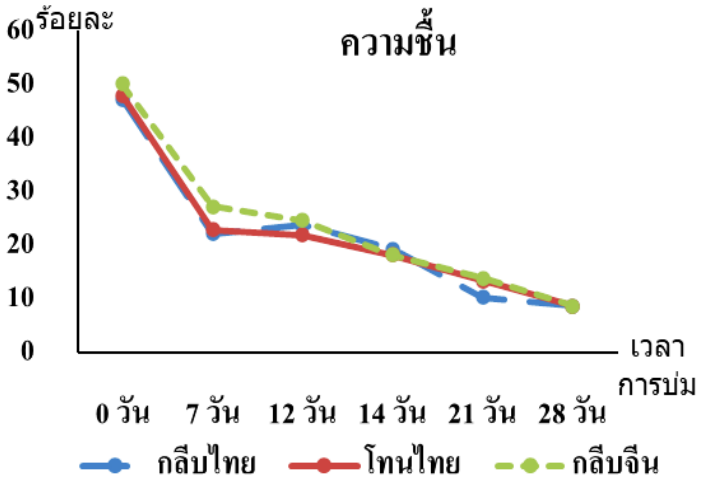
5. สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่ม (Completely Randomized Design: CRD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและทดสอบความแตกต่างของตัวอย่างที่ต้องการศึกษาโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ส่วนการศึกษาการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้ การวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ RCBD (Randomized Completely Block Design) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS version 23

สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของกระเทียมดำ

ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำในอาหารของ ของกระเทียมทั้ง 3 ชนิด กระเทียมกลีบพันธุ์ไทย กระเทียมโทนพันธุ์ไทย และกระเทียมกลีบพันธุ์จีน ที่ระยะเวลาการบ่มในตู้อบที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 3 และ ตารางที่ 1 พบว่าตัวอย่างกระเทียมที่เป็นกระเทียมสด มีปริมาณความชื้นสูงสุด เมื่อผ่านการบ่มเป็นกระเทียมดำที่เวลาเพิ่มขึ้นพบว่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน ซึ่งเป็นเวลานานที่สุดในการศึกษานี้ พบว่า ค่าความชื้นของกระเทียมทุกสายพันธุ์มีค่าต่ำสุด โดยมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 อยู่ในช่วงร้อยละ 8.60 ถึง 8.66 การมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 ช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ลดความเสี่ยงต่อการเสื่อมเสียจากราได้ดีขึ้น ในขณะที่ช่วงเวลาการบ่มที่เวลาสั้นกว่าจะมีปริมาณความชื้นสูงกว่า อาจจะส่งผลต่อการเสื่อมเสียของตัวอย่างผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3 ปริมาณความชื้นของกระเทียมดำ 3 ชนิด ที่ระยะเวลาการบ่มในตู้อบที่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของกระเทียมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น โดยกระเทียมกลีบพันธุ์ไทย (GTG) มีค่า a_w ลดลงจาก 0.98±0.01 ในกระเทียมสด (GTG0) เป็น 0.80±0.01 หลังการบ่ม 28 วัน (GTG5) ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของการศึกษา และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กระเทียมโทนพันธุ์ไทย (GTT) มีค่า a_w ลดลงจาก 0.97±0.02 ในกระเทียมสด (GTT0) เป็น 0.89±0.02 หลังการบ่ม 28 วัน (GTT5) ขณะที่กระเทียมกลีบพันธุ์จีน (GCG) มีค่า a_w ลดลงจาก 0.98±0.00 ในกระเทียมสด (GCG0) เป็น 0.89±0.00 หลังการบ่ม 28 วัน (GCG5) โดยตัวอย่างทั้งสองชนิดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของกระเทียมที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่ากระเทียมกลีบพันธุ์ไทยมีค่า a_w ต่ำที่สุด รองลงมาคือกระเทียมโทนพันธุ์ไทยและกระเทียมกลีบพันธุ์จีน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณ 0.89

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำในอาหารของกระเทียมดำ 3 ชนิด ที่ระยะเวลาการบ่มในตู้อบที่แตกต่างกัน

ตัวอย่าง	a_w
GTG0	0.98±0.01[a]
GTG1	0.97±0.01[a]
GTG2	0.92±0.03[b]
GTG3	0.87±0.01[c]
GTG4	0.87±0.00[c]
GTG5	0.80±0.01[d]
GTT0	0.97±0.02[a]
GTT1	0.96±0.02[a]
GTT2	0.90±0.02[bc]
GTT3	0.92±0.01[bc]
GTT4	0.89±0.00[c]
GTT5	0.89±0.02[c]
GCG0	0.98±0.00[a]
GCG1	0.98±0.00[a]
GCG2	0.97±0.01[a]
GCG3	0.93±0.01[b]
GCG4	0.92±0.02[bc]
GCG5	0.89±0.00[c]

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ GTG หมายถึง กระเทียมกลีบพันธุ์ไทย, GTT หมายถึง กระเทียมโทนพันธุ์ไทย, GCG หมายถึง กระเทียมกลีบพันธุ์จีน หมายเลข 0 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 0 วัน หรือกระเทียมสด, หมายเลข 1 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 7 วัน, หมายเลข 2 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 12 วัน, หมายเลข 3 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 14 วัน, หมายเลข 4 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 21 วัน และหมายเลข 5 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 28 วัน, ตัวอักษร [a,b,c] ในแถวแนวตั้ง หมายถึงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

2. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกระเทียมดำ

จากตารางที่ 2 พบว่าระยะเวลาการบ่มส่งผลต่อค่าสีของกระเทียมดำทั้ง 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่า L* ซึ่งแสดงถึงความสว่างของสีมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่ากระเทียมมีสีเข้มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม กระเทียมกลีบพันธุ์ไทย (GTG) มีค่า L* ลดลงจาก 30.49±3.47 ในวันที่ 7 เป็น 23.40±1.73 ในวันที่ 28 ขณะที่กระเทียมโทนพันธุ์ไทย (GTT) มีค่า L* ลดลงจาก 27.37±1.01 เป็น 22.58±1.65 และกระเทียมกลีบพันธุ์จีน (GCG) มีค่า L* ลดลงจาก 32.29±2.01 เป็น 21.82±2.83 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่พบในการศึกษา

ตารางที่ 2 ค่าสีของกระเทียมดำ 3 ชนิด ที่ระยะเวลาการบ่มในตู้อบที่แตกต่างกัน

ตัวอย่าง	L*	a*	b*	ΔE
GTG1	30.49±3.47^{a}	4.90±0.13^{a}	2.56±0.36^{a}	0.00±0.00
GTG2	30.34±0.84^{a}	1.15±0.41^{d}	-1.73±0.61^{b}	6.85±0.63^{c}
GTG3	27.38±0.86^{b}	0.63±0.10^{e}	-2.04±0.32^{b}	7.72±1.92^{bc}
GTG4	24.42±1.72^{cd}	0.66±0.33^{e}	-2.24±0.83^{bc}	9.09±2.64^{ab}
GTG5	23.40±1.73^{cd}	0.21±0.18^{g}	-2.82±0.09^{c}	9.66±1.23^{ab}
GTT1	27.37±1.01^{b}	2.15±0.73^{c}	2.79±1.50^{a}	0.00±0.00
GTT2	24.59±0.59^{cd}	0.67±0.10^{e}	-1.30±0.64^{b}	5.36±1.92^{c}
GTT3	23.62±1.34^{cd}	0.79±0.11^{e}	-2.17±0.61^{c}	6.39±1.47^{c}
GTT4	22.36±1.13^{d}	0.20±0.08^{g}	-2.28±0.37^{c}	7.43±1.03^{b}
GTT5	22.58±1.65^{d}	0.19±0.17	-2.61±0.15^{c}	7.72±2.03^{bc}
GCG1	32.29±2.01^{a}	3.07±1.03^{b}	1.37±0.30^{a}	0.00±0.00
GCG2	31.00±2.34^{a}	1.43±0.13^{d}	-1.89±0.81^{b}	4.01±1.07^{c}
GCG3	31.41±1.18^{a}	0.81±0.10^{e}	-2.56±0.75^{c}	5.37±0.22^{c}
GCG4	25.61±0.25^{c}	0.49±0.25^{f}	-2.57±0.85^{c}	8.35±1.59^{ab}
GCG5	21.82±2.83^{d}	0.23±0.19^{g}	-2.62±0.22^{c}	11.62±3.70^{a}

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ GTG หมายถึง กระเทียมกลีบพันธุ์ไทย, GTT หมายถึง กระเทียมโทนพันธุ์ไทย, GCG หมายถึง กระเทียมกลีบพันธุ์จีน หมายเลข 1 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 7 วัน, หมายเลข 2 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 12 วัน, หมายเลข 3 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 14 วัน, หมายเลข 4 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 21 วัน และหมายเลข 5 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 28 วัน, ตัวอักษร ^{a,b,c} ในแถวแนวตั้ง หมายถึงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

สำหรับค่า a* และ b* พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการบ่มเช่นกัน โดยค่า a* ของกระเทียมทั้ง 3 ชนิดลดลงจนมีค่าใกล้ศูนย์ในช่วงปลายของการบ่ม ขณะที่ค่า b* เปลี่ยนจากค่าบวกเป็นค่าลบ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสีตัวอย่างตลอดกระบวนการบ่ม นอกจากนี้ ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มในทุกตัวอย่าง โดยกระเทียมกลีบพันธุ์จีนมีค่า ΔE สูงที่สุดเท่ากับ 11.62±3.70 ในวันที่ 28 รองลงมาคือกระเทียมกลีบพันธุ์ไทย (9.66±1.23) และกระเทียมโทนพันธุ์ไทย (7.72±2.03) สะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสีที่ชัดเจนเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น

3. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกระเทียมดำ

ผลการทดสอบความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) ประเมินลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างกระเทียม 3 สายพันธุ์ ต่อระยะเวลาในการบ่มในตู้อบเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กระเทียมดำทั้งหมด 15 ตัวอย่าง ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยคะแนนด้านลักษณะปรากฏ

ด้านกลิ่นรส ด้านเนื้อสัมผัส รสชาติตกค้าง และความชอบโดยรวม ตัวอย่าง GTG4 (กระเทียมกลีบไทยที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน) ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.70±1.02, 7.30±1.24, 7.37±1.25, 7.07±1.14 และ7.67±1.30 คะแนนตามลำดับ ด้านสีตัวอย่าง GTG5 (กระเทียมกลีบไทยที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน) ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.83±099 คะแนน ด้านกลิ่นและด้านรสหวาน ตัวอย่าง GTG3 (กระเทียมกลีบไทยที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน) ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.53±1.10 และ 7.43±1.33 คะแนนตามลำดับ เมื่อพิจารณาคะแนนชอบที่อยู่ในระดับสูงสุดด้านสายพันธุ์กระเทียมทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์กระเทียมกลีบพันธุ์ไทยได้รับคะแนนความชอบสูงสุด รองลงมาคือกระเทียมกลีบสายพันธุ์จีน และกระเทียมโทนสายพันธุ์ไทย ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการบ่มในตู้อบเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กระเทียมดำพบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นส่งผลต่อคะแนนความชอบของผู้ทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะระยะเวลาที่ 14-21 วัน มีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบสูงขึ้นในสายทุกสายพันธุ์

ตารางที่ 3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกระเทียมดำ

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	รสหวาน	รสชาติตกค้าง	ความชอบโดยรวม
GTG1	6.77±1.35^{cdef}	6.53±1.14^{defg}	6.77±1.25^{bcdef}	6.63±1.35^{abcd}	6.73±1.20^{abcd}	6.47±1.81^{bcde}	6.40±1.10^{abcd}	6.93±1.29^{abcd}
GTG2	7.43±1.07^{abc}	7.23±0.82^{abc}	7.07±1.34^{abcd}	6.87±1.48^{abc}	7.03±1.33^{ab}	7.23±1.33^{abc}	6.87±1.25^{abc}	7.23±1.22^{abc}
GTG3	7.33±0.99^{abcd}	7.57±0.89^{ab}	7.53±1.10^{a}	7.30±1.34^{a}	7.37±1.16^{a}	7.43±1.33^{a}	7.00±1.34^{ab}	7.63±1.32^{a}
GTG4	7.70±1.02^{a}	7.63±0.85^{ab}	7.33±1.21^{ab}	7.30±1.24^{a}	7.37±1.25^{a}	7.37±1.21^{ab}	7.07±1.14^{a}	7.67±1.30^{a}
GTG5	7.60±1.38^{ab}	7.83±099^{a}	7.50±1.28^{ab}	7.03±1.65^{ab}	7.27±1.64^{a}	6.93±1.64^{abc}	6.67±1.58^{abc}	7.53±1.59^{ab}
GTT1	6.20±1.67^{f}	5.87±2.08^{g}	5.30±2.20^{g}	5.00±2.10^{e}	5.27±2.13^{e}	5.00±2.20^{g}	4.67±1.99^{f}	5.43±2.03^{f}
GTT2	6.53±1.47^{ef}	6.13±1.70^{fg}	6.03±1.71^{f}	5.80±2.09^{d}	6.17±1.66^{cd}	5.87±1.90^{defg}	5.30±1.97^{ef}	6.07±1.98^{ef}
GTT3	6.50±1.48^{ef}	6.43±1.70^{defg}	6.30±1.77^{ef}	6.30±1.66^{bcd}	6.00±1.912^{de}	5.63±1.85^{efg}	5.30±1.93^{ef}	6.20±1.67^{def}
GTT4	6.93±1.38^{cde}	6.30±1.88^{fg}	6.33±1.54^{def}	6.03±1.85^{cd}	6.23±2.04^{bcd}	5.50±2.15^{fg}	5.83±1.78^{de}	6.17±1.95^{def}
GTT5	6.73±1.70^{def}	6.40±180^{efg}	6.30±1.62^{ef}	6.20±1.85^{bcd}	6.10±1.86^{cd}	5.73±2.07^{efg}	6.17±1.80^{cd}	6.37±1.88^{de}
GCG1	6.33±1.56^{ef}	6.33±1.32^{fg}	6.27±1.66^{f}	5.80±1.81^{d}	6.03±1.85^{de}	5.60±1.91^{efg}	5.63±1.67^{de}	5.97±1.75^{ef}
GCG2	6.70±1.64^{def}	6.70±1.84^{cdef}	6.353±1.33^{cdef}	6.20±1.50^{bcd}	6.00±1.66^{de}	6.43±1.68^{cde}	5.70±1.37^{de}	6.57±1.65 ^{bcde}
GCG3	6.90±1.34^{cde}	7.07±1.50^{bcde}	7.10±1.37^{abc}	6.63±1.59^{abcd}	6.77±1.25^{abcd}	6.40±1.48^{cdef}	6.27±1.41^{bcd}	6.97±1.25^{abcd}
GCG4	6.87±1.59^{cdef}	7.10±1.65^{bcd}	7.07±1.26^{abcd}	6.57±1.28^{abcd}	6.87±1.28^{abc}	6.67±1.322^{abcd}	6.37±1.30^{abcd}	6.67±1.52 ^{bcde}
GCG5	6.97±1.38^{bcde}	7.07±1.31^{bcde}	7.03±1.16^{abcde}	6.87±1.31^{abc}	6.87±1.36^{abc}	6.47±1.38^{bcde}	6.23±1.50^{bcd}	6.77±1.43^{bcde}

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ GTG หมายถึง กระเทียมกลีบพันธุ์ไทย, GTT หมายถึง กระเทียมโทนพันธุ์ไทย, GCG หมายถึง กระเทียมกลีบพันธุ์จีน หมายเลข 1 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 7 วัน, หมายเลข 2 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 12 วัน, หมายเลข 3 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 14 วัน, หมายเลข 4 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 21 วัน และหมายเลข 5 หมายถึง ระยะเวลาบ่ม 28 วัน, ตัวอักษร a,b,c ในแถวแนวตั้ง หมายถึงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.0$)

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความชื้นของกระเทียมดำทั้ง 3 ชนิด (กระเทียมกลีบพันธุ์ไทย กระเทียมโทนพันธุ์ไทย และกระเทียมกลีบพันธุ์จีน) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น โดยหลังการบ่ม 28 วัน กระเทียมทุกสายพันธุ์มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 ในขณะที่ค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w) ก็มีแนวโน้มลดลงในทิศทางเดียวกัน โดยกระเทียมกลีบพันธุ์ไทยมีค่า a_w ต่ำที่สุดที่ 0.80 ในวันที่ 28 ขณะที่กระเทียมโทนพันธุ์ไทยและกระเทียมกลีบพันธุ์จีนมีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณ 0.89 การลดลงของความชื้นและค่า a_w นี้มิใช่เพียงปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เกิดขึ้นโดยลำพัง แต่เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นที่จำเป็น ของกระบวนการเคมีที่ก่อให้เกิดอัตลักษณ์ของกระเทียมดำทั้งหมด เนื่องจาก Sun et al. (2017) อธิบายไว้อย่างชัดเจนว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นกลไกหลักของการเกิดสีและกลิ่นรสในกระเทียมดำนั้น สามารถผลิตได้ทั้งสารผลิตภัณฑ์ที่มีสีและไม่มีสี โดยมีปัจจัยกำหนดทิศทางของปฏิกิริยาประกอบด้วย pH ชนิดและความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และที่สำคัญที่สุดคือค่า a_w กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การที่น้ำในเนื้อเยื่อกระเทียมระเหยออกไปอย่างต่อเนื่องในระหว่างการบ่ม ทำให้ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนอิสระในเนื้อเยื่อเพิ่มสูงขึ้น และค่า a_w ที่ลดลงจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (0.80–0.89 ในการศึกษานี้) ได้สร้างสภาวะที่เอื้อให้โมเลกุลของน้ำตาลและกรดอะมิโนเข้าใกล้กันมากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่อะมิโนของกรดอะมิโน เปปไทด์ หรือโปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทั้งกระบวนการผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Manoonphol et al. (2023) ที่รายงานว่าความชื้นของกระเทียมพันธุ์ไทยและกระเทียมจีนลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการบ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 โดยน้ำหนักและความชื้นของกลีบกระเทียมดำลดลงประมาณร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับกระเทียมสด อันเป็นผลจากการระเหยของน้ำในเนื้อเยื่อภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ควบคุม ความแตกต่างของอัตราการสูญเสียความชื้นระหว่างกระเทียมกลีบและกระเทียมโทนที่พบในการศึกษานี้ (กระเทียมกลีบมีค่า a_w ต่ำกว่า) สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) กล่าวคือ กระเทียมกลีบซึ่งมีขนาดเล็กกว่ามีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (surface-area-to-volume ratio) สูงกว่ากระเทียมโทน ทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่เนื้อเยื่อและการระเหยของน้ำออกจากเนื้อเยื่อเกิดขึ้นได้รวดเร็วและสมบูรณ์กว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ จิรายุ มุสิกา และคณะ (2565) ที่พบว่ากระเทียมกลีบมีเนื้อสัมผัสแห้งและแข็งกว่ากระเทียมโทนอย่างชัดเจนหลังการบ่ม

ในมิติของความปลอดภัยและการเก็บรักษา ค่า a_w ที่ลดลงสู่ช่วง 0.80–0.89 มีความสำคัญเชิงเทคโนโลยีการอาหารอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นระดับที่สามารถจำกัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคส่วนใหญ่ได้ แม้ยีสต์และเชื้อราบางสายพันธุ์ยังอาจเจริญเติบโตได้ในช่วงนี้ก็ตาม การลดลงของความชื้นและ a_w จึงทำหน้าที่สองประการควบคู่กัน คือ เป็นกลไกป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์ และเป็นแรงผลักดันทางเคมี ที่เร่งให้ปฏิกิริยาเมลลาร์ดดำเนินไปสู่ขั้นตอนถัดไป คือการเกิดสีและกลิ่นรสเฉพาะตัวของกระเทียมดำ

เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนอิสระในเนื้อเยื่อกระเทียมเพิ่มสูงขึ้นจากการสูญเสียน้ำดังที่กล่าวมาข้างต้น ปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะดำเนินต่อไปสู่ขั้นตอนกลางและขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญที่สุดคือสารประกอบโพลีเมอร์สีน้ำตาลเข้มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เรียกว่าเมลานอยดิน (melanoidins) ผลการศึกษานี้พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของกระเทียมดำทั้ง 3 ชนิด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น โดยหลังการบ่ม 28 วัน กระเทียมกลีบพันธุ์จีนมีค่า L* ต่ำที่สุด (21.82) รองลงมาคือกระเทียมโทนพันธุ์ไทย (22.58) และกระเทียมกลีบพันธุ์ไทย (23.40) ซึ่งเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ยืนยันการสะสมของเมลานอยดินในเนื้อเยื่อกระเทียมตลอดกระบวนการบ่ม กลไกการเกิดเมลานอยดินนี้ได้รับการอธิบายโดย Sun et al. (2017) ผ่านการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของกระเทียมดำที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ จนเกิดผลผลิตขั้นสุดท้าย หรือเมลานอยดิน โดยพบว่าปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการให้ความร้อน สอดคล้องกับ Manoonphol et al. (2023) ที่ใช้เทคนิค electron paramagnetic resonance (EPR) ยืนยันว่าปริมาณเมลานอยดินและความเข้มข้นของสาร 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์สำคัญของปฏิกิริยาเมลลาร์ด มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับจำนวนวันที่ให้ความร้อน (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.98) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Manoonphol et al. (2023) ที่รายงานว่ากระเทียมมีการเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำระหว่างการบ่ม โดยค่า L* ลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการให้ความร้อน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาสี กลิ่น และลักษณะเฉพาะของกระเทียมดำ (Moreno-Ortega et al., 2023) ที่น่าสนใจคือกระเทียมกลีบพันธุ์จีนซึ่งมีค่า a_w ใกล้เคียงกับกระเทียมโทนพันธุ์ไทย (ประมาณ 0.89) กลับมีค่า L* ต่ำที่สุด (สีเข้มที่สุด) ในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งบ่งชี้ว่าความเข้มของสีมิได้ถูกกำหนดโดยค่า a_w เพียงปัจจัยเดียว แต่ยังขึ้นกับปริมาณสารตั้งต้นของปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อกระเทียมแต่ละสายพันธุ์ตั้งแต่เริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Manoonphol et al. (2023) ที่พบความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีเริ่มต้นระหว่างกระเทียมไทยและกระเทียมจีน ทั้งในด้านปริมาณความชื้นเริ่มต้นและปริมาณสาร S-allyl cysteine ที่เพิ่มขึ้นหลังการบ่ม

อย่างไรก็ตาม Sun et al. (2017) ยังให้ข้อสังเกตที่สำคัญว่าเมลานอยดินมิได้มีบทบาทเพียงด้านการให้สีเท่านั้น แต่ยังมีคุณสมบัติในการจับกับสารให้กลิ่นรส และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้น ความเข้มของสีดำในกระเทียมดำจึงมิได้เป็นเพียงตัวบ่งชี้ความสุกของผลิตภัณฑ์ แต่ยังสะท้อนถึงปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ ซึ่งเชื่อมโยงโดยตรงไปยังคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภครับรู้ได้

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่กล่าวมาทั้งหมดถูกแปลผลออกมาเป็นคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภครับรู้ได้ ผลการประเมินด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) พบว่ากระเทียมดำที่ผลิตจากกระเทียมกลีบพันธุ์ไทยที่ระยะเวลาการบ่ม 21 วัน (GTG4) ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดในด้านลักษณะปรากฏ ด้านกลิ่นรส ด้านเนื้อสัมผัส รสชาติตกค้าง และความชอบโดยรวม (7.70±1.02, 7.30±1.24, 7.37±1.25, 7.07±1.14 และ 7.67±1.30 คะแนน ตามลำดับ) ในขณะที่

ตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน (GTG3) ได้รับคะแนนสูงสุดในด้านกลิ่นและรสหวาน (7.53±1.10 และ 7.43±1.33 คะแนน) และตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน (GTG5) ได้รับคะแนนสูงสุดเฉพาะด้านสี (7.83±0.99 คะแนน) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นแนวโน้มที่สอดคล้องกันว่าคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 14–21 วัน ก่อนที่คะแนนความชอบโดยรวมจะลดลงเล็กน้อยเมื่อบ่มต่อไปจนถึง 28 วัน

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบ่ม การเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ และรสชาติที่พึงประสงค์ สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกทางเคมีที่ชัดเจน กล่าวคือ ในระหว่างการบ่ม ความร้อนที่ใช้เวลานานต่อเนื่องจะสลายฟรุกแทน (fructans) ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์สะสมหลักในกระเทียมสดให้แตกตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยเฉพาะฟรุกโตสและกลูโคส งานวิเคราะห์เชิงเคมีของกระเทียมดำรายงานว่าปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นได้ถึงร้อยละ 188–791 เมื่อเทียบกับกระเทียมสด ในขณะที่ปริมาณฟรุกแทนลดลงมากกว่าร้อยละ 84 การปลดปล่อยน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสจำนวนมากนี้เองที่เป็นที่มาของรสหวานเฉพาะตัวคล้ายอินทผลัมหรือบัลซามิกของกระเทียมดำ ซึ่งแตกต่างอย่างชัดเจนจากรสเผ็ดฉุนของกระเทียมสด ความหวานนี้มิได้ถูกเติมเข้าไป แต่เป็นน้ำตาลที่ถูกกักเก็บอยู่ในสายโซ่คาร์โบไฮเดรตของกระเทียมมาตั้งแต่ต้น และถูกปลดปล่อยออกมาโดยกระบวนการความร้อน เมื่อพิจารณาร่วมกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างการบ่ม ผลการศึกษาของ Choi et al. (2014) สามารถนำมาอธิบายกลไกที่อยู่เบื้องหลังแนวโน้มคะแนนความชอบที่พบในการศึกษานี้ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และค่าความเป็นกรดรวมของกระเทียมดำเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ในขณะที่ค่า pH ลดลงจาก 6.33 ในกระเทียมสด เหลือ 5.49, 4.41, 4.22, 4.07 และ 3.74 ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน ตามลำดับ และพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจนถึงวันที่ 21 ของการบ่ม ก่อนจะมีแนวโน้มลดลงหรือคงที่ในระยะเวลาที่ยาวขึ้น การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกที่ทับซ้อนกันในช่วงเวลานี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการรับรู้รสหวานและกลิ่นรสที่ซับซ้อนกลมกล่อม อันเป็นเหตุผลที่อธิบายได้ว่าเหตุใดตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 14–21 วันในการศึกษานี้จึงได้รับคะแนนความชอบด้านรสหวานและกลิ่นรสสูงกว่าตัวอย่างที่บ่มสั้นกว่าหรือนานกว่า

ผลการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chan et al. (2022) ที่ศึกษาผลของกระบวนการบ่มต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกระเทียมดำโดยตรง และรายงานว่าวรรณกรรมก่อนหน้าระบุว่ากระเทียมดำมีรสชาติดีที่สุดในช่วงระยะเวลาบ่ม 21–24 วัน ซึ่งสอดคล้องกับผลที่พบในกลุ่มควบคุมของการศึกษานั้น ทั้งนี้ Chan et al. (2022) ยังพบว่าการใช้กระบวนการก่อนการบ่ม เช่น การแช่เยือกแข็งหรือการใช้ความดันสูง สามารถลดระยะเวลาการบ่มที่จำเป็นต่อการได้รสชาติที่เหมาะสมลงมาเหลือเพียง 18 วัน เมื่อเทียบกับกระเทียมดำที่ไม่ผ่านการปรับสภาพล่วงหน้าซึ่งต้องใช้เวลาบ่มมากกว่า 24 วันจึงจะได้รสชาติที่ดีที่สุด ข้อค้นพบนี้ตอกย้ำหลักการสำคัญว่าระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสมที่สุดต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสมิได้อยู่ที่จุดสิ้นสุดของกระบวนการบ่มเสมอไป แต่มีช่วงที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับจุดที่

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดผลิตสารประกอบฟีนอลิกและน้ำตาลในปริมาณที่เหมาะสมที่สุดต่อรสชาติ ก่อนที่ปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปจนเกิดการสลายตัวของสารเหล่านี้หรือเกิดสารประกอบที่ไม่พึงประสงค์ในระยะเวลาบ่มที่นานเกินไป

ในด้านความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ ผลการศึกษานี้พบว่ากระเทียมกลีบพันธุ์ไทยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด รองลงมาคือกระเทียมกลีบพันธุ์จีน และกระเทียมโทนพันธุ์ไทยได้รับคะแนนต่ำที่สุด ความแตกต่างนี้สามารถสืบสาวกลับไปยังจุดเริ่มต้นของห่วงโซ่เหตุและผลที่อภิปรายไว้ในส่วนแรก กล่าวคือ กระเทียมกลีบซึ่งมีขนาดเล็กกว่ากระเทียมโทนมีอัตราการถ่ายเทความร้อนและการระเหยน้ำที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ทำให้ค่า a_w ลดลงสู่ระดับที่เอื้อต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้รวดเร็วกว่า ส่งผลให้การพัฒนาสี กลิ่น และรสชาติที่พึงประสงค์เกิดขึ้นได้สมบูรณ์กว่าภายในระยะเวลาบ่มเดียวกัน เมื่อเทียบกับกระเทียมโทนที่มีขนาดใหญ่กว่าและกักเก็บความชื้นได้มากกว่า ซึ่งอาจทำให้ปฏิกิริยาเมลลาร์ดดำเนินไปได้ไม่สมบูรณ์เท่าภายในระยะเวลาบ่มเดียวกัน ข้อสังเกตนี้สอดคล้องกับรายงานของ Manoonphol et al. (2023) ที่พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระเทียม โดยเฉพาะขนาดกลีบและพื้นที่ผิวสัมผัส มีผลโดยตรงต่ออัตราการ

โดยสรุป ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาการบ่มเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของกระเทียมดำอย่างต่อเนื่อง เริ่มจากการสูญเสียความชื้นและการลดลงของค่า a_w ระหว่างการบ่ม ซึ่งเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลงและสีของกระเทียมเข้มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ขณะเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการบ่ม เช่น การสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และการเกิดสารประกอบให้กลิ่นรสจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรับรู้ด้านรสชาติ กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของผู้บริโภค ดังจะเห็นได้ว่ากระเทียมกลีบพันธุ์ไทยที่บ่มเป็นเวลา 14–21 วันได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในหลายคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ไม่ได้วิเคราะห์ค่า pH ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิก สาร S-allyl cysteine (SAC) หรือสารประกอบเมลานอยดินโดยตรง ดังนั้นกลไกการเปลี่ยนแปลงทางเคมีดังกล่าวจึงเป็นการอภิปรายบนพื้นฐานของข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกระเทียมดำอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผลิตภัณฑ์กระเทียมดำที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มมูลค่ากระเทียมสด และมีความพร้อมที่จะขอการรับรองมาตรฐานจาก อย. สำหรับผู้ประกอบการที่สนใจ นอกจากนี้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการวิจัยในอนาคต

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีพื้นฐาน และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกระเทียมดำที่ผลิตจากกระเทียม 3 ชนิด ภายใต้ระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน โดยยังไม่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารสำคัญทางชีวภาพ เช่น S-allyl cysteine (SAC) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าวร่วมกับการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการบ่ม คุณภาพผลิตภัณฑ์ และคุณค่าทางสุขภาพของกระเทียมดำได้อย่างครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการ การเพิ่มมูลค่ากระเทียมทุ่งกุลาศรีสะเกษเพื่อการแปรรูปเป็นกระเทียมดำ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ภายใต้แผนงานวิจัย การบริหารจัดการเพื่อพัฒนา RAINS for Thailand Food Valley Tung Kula Rong Hai 2566 ซึ่งมีมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษเป็นผู้รับทุนโครงการแผน และวิสาหกิจกลุ่มออมทรัพย์พัฒนาสตรีบ้านเมืองแสนเป็นผู้ร่วมสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าภายใน. (2567). *สถานการณ์การผลิตและการตลาดสินค้าพืชหัว (กระเทียม หอมแดง หอมหัวใหญ่) ประจำสัปดาห์ที่ 3 ของเดือนกุมภาพันธ์ 2567*. กระทรวงพาณิชย์.

กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2563). *ประกาศการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ “กระเทียมศรีสะเกษ” เลขทะเบียน สช 63100143. กระทรวงพาณิชย์.* https://www.ipthailand.go.th/th/gi-011/item/gi63100143.html

ขนิษฐา ฉิมพาลี, จินดารัตน์ ใจตรง, สุจิรา ศรีดาชาติ, และจิรนันต์ รัตสีวอ. (2568). คุณสมบัติของผงโปรตีนจากรำข้าวที่สกัดด้วยเอนไซม์และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์วุ้น. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ*, *5*(2), 17–28.

จิรายุ มุสิกา, ธนวรรณ มุสิกา, & พนารัตน์ สังข์อินทร์. (2022). สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระเทียมดำต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์กระเทียมดำ. *วารสารวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ, 2*(2), 54-62.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2568). *สถานการณ์การผลิตพืชหัว: กระเทียม หอมแดง หอมหัวใหญ่ ปีเพาะปลูก 2567/68 (ข้อมูลพยากรณ์เดือนมีนาคม 2568).* กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 11 อุบลราชธานี. (2564). *สถานการณ์การผลิตกระเทียมจังหวัดศรีสะเกษ ปีเพาะปลูก 2563/64 (ข้อมูลพยากรณ์ ณ 19 มกราคม 2564).* สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). (2568, 2 ธันวาคม). *กระเทียมดำ เพิ่มมูลค่า 15 เท่า เกษตรกรยิ้มได้รายได้พุ่ง*. https://www.bangkokbiznews.com/ business/economic/1210206

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). *Official methods of analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists.

Chan, K.-H., Chang, C.-K., Gavahian, M., Yudhistira, B., Santoso, S. P., Cheng, K.-C., & Hsieh, C.-W. (2022). The impact of different pretreatment processes (freezing, ultrasound and high pressure) on the sensory and functional properties of black garlic (Allium sativum L.). *Molecules*, 27(20), 6992. https://doi.org/10.3390/molecules27206992

Chang, C. W., Chun, L. W., & Ching, W. S. (2023). Optimization of the black garlic processing method and development of black garlic jam using high-pressure processing. *Foods, 12*(8), 1584.

Choi, I. S., Cha, H. S., & Lee, Y. S. (2014). Physicochemical and antioxidant properties of black garlic. *Molecules, 19*(10), 16811–16823. https://doi.org/10.3390/ molecules191016811

Chutrakulwong, F., Thamaphat, K., & Limsuwan, P. (2020). Photo-irradiation induced green synthesis of highly stable silver nanoparticles using durian rind biomass: Effects of light intensity, exposure time and pH on silver nanoparticles formation. *Journal of Physics Communications, 4*(9), 095015.

Kang, O. J. (2016). Physicochemical characteristics of black garlic after different thermal processing steps. *Preventive Nutrition and Food Science, 21*, 348–354.

Kim, J.-S.; Kang, O.-J.; Gweon, O.-C. Comparison of phenolic acids and flavonoids in black garlic at different thermal processing steps. J. Funct. *Foods 2013*, 5, 80–86.

Kimura, S., Tung, Y. C., Pan, M. H., Su, N. W., Lai, Y. J., & Cheng, K. C. (2017). Black garlic: A critical review of its production, bioactivity, and application. *Journal of Food and Drug Analysis, 25*, 62–70.

Manoonphol, K., Suttisansanee, U., Promkum, C., & Butryee, C. (2023). Effect of thermal processes on S-allyl cysteine content in black garlic. *Foods, 12*(6), 1227. https://doi.org/10.3390/foods12061227

Moreno-Ortega A, Pereira-Caro G, Ludwig IA, Motilva M-J, Moreno-Rojas JM. (2023). Bioavailability of Organosulfur Compoundsafter the Ingestion of Black Garlic by Healthy Humans. *Antioxidants*. *12*(4), 925. http://doi.org/10.3390/antiox12040925

Sun, T., Qin, Y., Xu, H., Xie, J., Hu, D., Xue, B., & Hua, X. (2017). Antibacterial activities and preservative effect of chitosan oligosaccharide Maillard reaction products on Penaeus vannamei. *International Journal of Biological Macromolecules*, *105*, 764–768.