

Received: December 19, 2023; Revised: July 8, 2024; Accepted: August 20, 2024

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพกล้วยหอมทองอบกรอบ Effects of temperature and freeze-drying time on the quality of crispy Hom Thong banana (*Musa acuminata* (AAA group) 'Gross Michel')

ประกาศ ชมภูทอง^{1*} กัญญา รัชตชัยยศ¹ บำเพ็ญ นิมเขียน¹ และสุภัทรา กล่ำสกุล¹
Prakard Chomphuthong^{1*}, Kanya Ratchatachaiyos¹, Bumpen Nimkian¹ and
Supatra Klamsakul¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

¹Faculty of Agricultural Technology Phetchaburi Rajaphat University, Phetchaburi Province

*Corresponding Author E-mail Address: prakard_c@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการผลิตกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยศึกษาสภาวะอุณหภูมิและเวลาของการทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง ตามลำดับ และการทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ผลการประเมินสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทำแห้ง พบว่า คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านสี และเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนด้านลักษณะปรากฏ รสชาติและความชอบโดยรวมมีคะแนนไม่แตกต่างกันอยู่ในระดับชอบปานกลาง ($p > 0.05$) คุณภาพทางกายภาพด้านค่าสีมีค่า L^* a^* และ b^* ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งทั้ง 2 สภาวะนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ค่าความแข็งของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งทั้ง 2 สภาวะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าที่ 19.42 และ 16.61 นิวตัน ตามลำดับ

คำสำคัญ: กล้วยหอมทอง สภาวะการทำแห้ง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง กล้วยหอมทองอบกรอบ

Abstract

The purpose of this research aim to study the appropriate temperature and time for producing crispy banana (*Musa acuminata* (AAA group) 'Gross Michel') by freeze drying method. The optimum conditions for the freeze dried process of the crispy banana such as temperature and time in freeze drying on primary drying at -15 and -20°C for 12, 14 and 16 hours and secondary drying at 50°C for 14, 16 and 18 hours were studied. The result showed that sensory evaluation was to the primary drying at -20°C for 16 hours and secondary drying at 50°C for 18 hours by panelists recognized the feature in color and texture score in moderately like and very much like level ($p \leq 0.05$) and that there was no statistical difference in appearance, flavor and overall liking properties score in moderately like level ($p > 0.05$). The result showed the color L^*

a* and b* and total soluble solid, pH and acidity properties quality and moisture content and a_w that there was no statistical difference ($p>0.05$). When the crispy banana parameter of hardness properties the result showed that for the freeze dried two condition process there was a statistical difference ($p\leq 0.05$) at 19.42 and 16.61 N. respectively.

Keywords: Banana (*Musa acuminata* (AAA group) ‘Gross Michel’), Drying condition, Freeze drying, Crispy banana

บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มพฤติกรรมผู้บริโภคอาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ผู้บริโภคมีการตื่นตัวดูแลห่วงใยในสุขภาพของตนเองและให้ความสำคัญกับการบริโภคอาหารที่มีความปลอดภัยมากขึ้นดังจะเห็นได้จากความนิยมบริโภคอาหารประเภทออร์แกนิกหรือคลีนฟู้ด ซึ่งเป็นอาหารที่ผ่านกระบวนการปรุงแต่งน้อยที่สุด กลุ่มของอาหารเพื่อสุขภาพได้แก่อาหารที่มีไขมันต่ำอาหารจากผัก ผลไม้ และอาหารที่ให้ความสมดุลพลังงานกับร่างกาย ผลพวงจากภาวะเศรษฐกิจและสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้วิถีชีวิตความเป็นอยู่ของผู้คนในสังคมเปลี่ยนแปลงไปด้วย (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

ดังนั้นการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงเป็นกระบวนการอบแห้งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอุตสาหกรรมยาและอาหารที่ต้องการรักษาสมบัติทางยา กลิ่นรส หรือสารที่สามารถเสื่อมสลายได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง อาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีนี้จะมีรสชาติและสารอาหารใกล้เคียงกับอาหารเดิมมากที่สุด ทั้งสี สัน เนื้อสัมผัส รูปร่าง และด้วยคุณสมบัติที่มีความชื้นต่ำจึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของอาหารชนิดนี้ค่อนข้างนานกว่าอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีอื่น ๆ ถ้าหากมีการเก็บอย่างเหมาะสมก็จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน นอกจากนี้การที่น้ำถูกดึงออกไปมากกว่าร้อยละ 95 จึงทำให้อาหารมีน้ำหนักเบาสะดวกต่อการพกพาและการขนส่งแต่เทคนิคนี้ไม่เหมาะกับอาหารที่มีไขมันสูง (วันชนก, 2564)

กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก (Freezing stage) เป็นการแช่เยือกแข็งอาหารให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส กระบวนการแช่เยือกแข็งก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อเปลี่ยนสถานะของน้ำในอาหารจากของเหลวเป็นของแข็งเพื่อให้เกิดการระเหิดในการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำอุณหภูมิที่นิยมใช้ในการแช่เยือกแข็งก่อนการทำแห้ง คือ -18 องศาเซลเซียส และ -40 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ขนาดของผลึกน้ำแข็ง และอัตราการแช่เยือกแข็ง ส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพของอาหาร (Reyes et al., 2011) นอกจากนี้กระบวนการนี้ยังช่วยลดระยะเวลาการทำแห้ง และช่วยรักษาโครงสร้างของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีการคงรูปร่างได้ดีใกล้เคียงของสด (Tatemoto et al., 2015) ขั้นตอนที่สองของกระบวนการทำแห้ง คือ ขั้นตอนการทำแห้งขั้นปฐมภูมิ (Primary drying stage) เป็นการระเหิด (Sublimation) เอน้ำแข็งอิสระ (Free ice) ในอาหารออก การระเหิดเป็นกลไกสำคัญในการกำจัดน้ำ อาศัยหลักการสมดุลมวลให้เกิดการถ่ายโอนมวลสาร (Mass transfer) และการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) เหนี่ยวนำให้เกิดการทำแห้ง (Horie et al., 2018) ลำดับการระเหิดจะเกิดบริเวณผิวหน้าอาหารเป็นลำดับแรก จากนั้นน้ำในชั้นอาหารจะค่อย ๆ เคลื่อนที่และระเหิดผ่านรูพรุนที่เกิดขึ้นโดยการลดอุณหภูมิ และความดันบรรยากาศให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติจนเกิดการสูญเสียในรูปของก๊าซ ข้อควรระวังในกระบวนการทำแห้ง คือควรควบคุมไม่ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังอาหารเร็วเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดการละลายหรือเสียสภาพ (Collapse) ของอาหารได้ สำหรับขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง คือ ขั้นตอนการทำแห้งแบบทุติยภูมิ (Secondary drying stage) เป็นการขจัดความชื้นที่ยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลขององค์ประกอบอื่น ๆ ออกจากอาหารด้วยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นแต่ยังอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ความชื้นของอาหารเคลื่อนที่ออกไปในรูปของไอ เพื่อดึงเอาความชื้นที่ตกค้างอยู่ออกไปให้เหลืออยู่ในระดับที่ปลอดภัยกับการเก็บรักษา คือ ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะต้องต่ำกว่าร้อยละ 3 ดังนั้นโครงสร้างของอาหารจึงเกิดการเสียหายจากผลของแรงตึงผิว (Surface tension force) ของของเหลวขณะเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างน้อยมาก (Mawilai et al., 2019)

ผลไม้ฟรียซ์ดราย (Freeze dried) หรือผลไม้อบแห้งที่ใช้กระบวนการทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งโดยอาศัยการระเหิดของน้ำแข็งในสภาวะสุญญากาศนั้นทำให้ผลไม้อบแห้งมีความปลอดภัย มีคุณค่าโภชนาการ ส่งผลดีต่อสุขภาพและสะดวก

จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ผลไม้อบแห้งยังใช้เทคโนโลยีการปิดผนึกและการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง จึงรับประกันได้ถึงความปลอดภัยของอาหาร ผลไม้อบแห้งจะยังคงมีกลิ่นผลไม้รสชาติรูปร่าง และคุณค่าโภชนาการของผลไม้สดเหมือนเดิมกว่าร้อยละ 97 โดยไม่ต้องใช้สารกันบูดและสามารถเก็บได้นานในอุณหภูมิปกติที่ให้ความอร่อยและความสด การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Cryodesiccation หรือ Lyophilization) เป็นการทำให้แห้ง (Dehydration) ด้วยการแช่เยือกแข็ง (Freezing) ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งก่อน แล้วจึงลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งระเหิด (Sublimation) กลายเป็นไอน้ำ ด้วยการลดความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศปกติ ขณะควบคุมให้อุณหภูมิต่ำ (ที่อุณหภูมิ เท่ากับหรือ ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า) (ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์, 2563)

แนวโน้มอุตสาหกรรมผลไม้อบแห้งในอนาคต มีการคาดการณ์ว่าผู้บริโภคจะหันมาเลือกซื้อผลไม้อบแห้งหรือผลไม้ที่ทำแห้งแบบฟรียดรายมากขึ้น เนื่องจากผลไม้สดมีระยะเวลาในการเก็บรักษาสั้นและปัจจุบันผลไม้ทุกชนิดสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลไม้ฟรียดรายได้ นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการเติบโตของแนวคิดการบริโภคสีเขียว และความ เป็นธรรมชาติหรือแนวคิดการบริโภคที่คล้าย ๆ กับการบริโภคสินค้า BCG ของไทย จึงส่งเสริมการบริโภคผลไม้อบแห้งเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องและคาดว่าในอีก 5 ปีข้างหน้าจะมีการเติบโตต่อเนื่องต่อไป (CAGR) อยู่ที่ร้อยละ 10 ขึ้นไป (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2566)

สำหรับกล้วยหอมทอง เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของจังหวัดเพชรบุรีที่มีศักยภาพในการส่งออก โดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นซึ่งมีความต้องการสูง เนื่องจากมีรสชาติดี มีกลิ่นหอม นุ่มรับประทานอีกทั้งผลผลิตมีความปลอดภัย ไม่มีสารเคมีตกค้างปนเปื้อน ทำให้กล้วยหอมทองของเพชรบุรีได้รับความนิยม เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในตลาดญี่ปุ่น ซึ่งนับวันแนวโน้มความต้องการของตลาดยิ่งเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี, 2565) จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า มีกล้วยหอมทองจำนวนมากที่ผลกล้วยมีลักษณะไม่ได้ขนาดตามเกณฑ์มาตรฐาน จัดเป็นกล้วยที่ตกเกรดด้วยคุณภาพไม่สามารถส่งออกจำหน่ายในตลาดต่างประเทศได้ ทำให้ต้องจำหน่ายตลาดในประเทศซึ่งจะมีราคาถูก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำกล้วยหอมทองที่คุณภาพไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานมาศึกษาสภาวะการผลิตกล้วยหอมทองอบกรอบ ด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมที่กล้วยหอมทองหลังทำแห้งยังคงมีสี กลิ่น รสชาติรูปร่าง และคุณค่าโภชนาการสูง อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การวิจัยมีการดำเนินงานดังนี้

1. การเตรียมกล้วยหอมทอง โดยการนำกล้วยหอมทองที่คุณภาพไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานจากสหกรณ์การเกษตรท่าทาง จำกัด อำเภอท่าทาง จังหวัดเพชรบุรี ช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน มีระดับการสุกอยู่ในระยะที่ 5 (เปลือกผลเป็นสีเหลืองแต่ปลายผลยังเป็นสีเขียว) มาปอกเปลือกและหั่นตามขวาง ลักษณะเป็นแว่นหนา 0.5 เซนติเมตร วางเรียงใส่ถาดสแตนเลสแล้วนำไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดที่อุณหภูมิ -65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที

2. การอบแห้งกล้วยหอมทอง นำกล้วยหอมทองที่อยู่ในสถานะเป็นน้ำแข็งเข้าเครื่องทำแห้งเพื่อเข้าสู่กระบวนการทำแห้งขั้นต้น (Primary dry temp) ที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ อุณหภูมิ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง ตามลำดับ และเข้าสู่กระบวนการทำแห้งขั้นที่สอง (Secondary dry temp) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ

3. การวิเคราะห์คุณภาพกล้วยหอมทองอบกรอบ มีดังนี้

- 3.1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ผลิภัณฑ์ด้วยวิธี 9-Point hedonic scaling (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) โดยทำการประเมินการยอมรับต่อลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ดำเนินการทดสอบภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์แบบบล็อก (Randomized complete block design; RCBD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) โดยใช้คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SPSS 29.0 (Statistical package for the social science for windows version 29.0) (SPSS Inc., Chicago, USA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test; DMRT ในการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2 คุณภาพทางกายภาพและเคมี

- 1) ค่าสี L^* a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Ultrascan VIS (U.S.A.) ระบบ CIE L^* a^* b^*
- 2) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งโดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT plus (Stable micro system, UK) ใช้หัววัดแบบหัวเข็มรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร (หัววัด HDP/CFS) ทำการวัดโดยใช้หัววัดกดลงบนตัวอย่าง (ตัวอย่างต้องแตก) ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัววัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังการทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที และให้หัววัดกดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 3 มิลลิเมตร รายงานค่าแรงกดสูงสุดมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton)
- 3) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ด้วยเครื่อง Automatic digital refractometer (ATAGO รุ่น RX5000 α , Japan) ตามวิธีของ AOAC (2012)
- 4) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามวิธีของ AOAC (2012)
- 5) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด รายงานเป็นร้อยละของกรดซิตริก (Citric acid) ตามวิธีของ AOAC (2012)
- 6) ปริมาณความชื้น (Moisture) ตามวิธีของ AOAC (2012)
- 7) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ตามวิธีของ AOAC (2012)

การทดสอบคุณภาพด้านกายภาพและด้านเคมี ดำเนินการทดสอบภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) และแบบ Independent t-test โดยทำการทดสอบ จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 29.0 (Statistical package for the social science for windows version 29.0) (SPSS Inc., Chicago, USA) ในการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ผลการศึกษาระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีผลดังนี้

1. ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ค่าคะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุกคุณลักษณะมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.45 7.22 8.12 7.70 และ 8.15 ตามลำดับ คะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมากในด้านของรสชาติและความชอบโดยรวม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส และทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง		
	ทำแห้งขั้นต้น -15 องศาเซลเซียส / ทำแห้งขั้นที่สอง 50 องศาเซลเซียส		
	(12/14 ชม.)	(14/16 ชม.)	(16/18 ชม.)
ลักษณะปรากฏ	6.70 $\pm$ 1.53 ^b	7.00 $\pm$ 1.34 ^b	7.45 $\pm$ 1.26 ^a
สี	6.57 $\pm$ 1.63 ^b	7.02 $\pm$ 1.56 ^a	7.22 $\pm$ 1.21 ^a
รสชาติ	6.80 $\pm$ 1.54 ^c	7.50 $\pm$ 1.10 ^b	8.12 $\pm$ 1.10 ^a
เนื้อสัมผัส	6.92 $\pm$ 1.51 ^c	7.32 $\pm$ 1.37 ^b	7.70 $\pm$ 1.47 ^a
ความชอบโดยรวม	6.90 $\pm$ 1.50 ^c	7.40 $\pm$ 1.48 ^b	8.15 $\pm$ 1.03 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสีอยู่ระดับชอบปานกลาง และด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับชอบมากอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.35 และ 8.27 ส่วนการยอมรับต่อลักษณะที่ปรากฏ รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับกล้วยหอมทองที่ทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 และ 14 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 และ 16 ชั่วโมง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส และทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง		
	ทำแห้งขั้นต้น -20 องศาเซลเซียส/ทำแห้งขั้นที่สอง 50 องศาเซลเซียส		
	(12/14 ชม.)	(14/16 ชม.)	(16/18 ชม.)
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.20±1.32	7.20±1.38	7.37±1.51
สี	6.90±1.28 ^b	7.02±1.34 ^{ab}	7.35±1.33 ^a
รสชาติ ^{ns}	7.40±1.46	7.20±1.71	7.70±1.22
เนื้อสัมผัส	7.25±1.06 ^c	7.70±0.97 ^b	8.27±0.78 ^a
ความชอบโดยรวม ^{ns}	7.62±1.12	7.67±1.19	7.97±0.94

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าสีและค่าความแข็งของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	ค่าสี			ค่าความแข็ง (นิวตัน)
	L ^{*ns}	a ^{*ns}	b ^{*ns}	
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม.	83.27±1.34	2.28±0.09	17.85±0.34	32.56±0.75 ^a
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.				
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	80.08±1.44	2.39±0.31	18.17±2.01	24.55±0.40 ^c
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.				
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	81.72±2.09	2.28±0.22	18.40±1.20	19.38±0.35 ^d
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.				
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม.	81.23±1.02	2.32±0.10	17.60±0.12	28.46±0.30 ^b
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.				
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	80.65±1.44	2.31±0.22	17.88±0.10	24.18±2.22 ^c
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.				
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	81.28±0.08	2.30±0.12	18.01±0.02	16.01±1.61 ^e
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.				

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-e} ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. ผลการวัดคุณภาพทางกายภาพ (ตารางที่ 3) พบว่า ค่าสีด้านความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กันนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่การใช้เวลาในการทำแห้งที่นานขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของกล้วยหอมทองอบกรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วันชนก (2564) ที่ได้ศึกษาคุณภาพของแตงโมที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศเช่นเดียวกับ Guine et al. (2012) ที่ได้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสและสีของฟักทอง และพริกไทยเขียว พบว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ความเข้มของสีโดยการเพิ่มขึ้นของ L^* เปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศในการทำแห้งซึ่งส่งผลต่อการกระเจิงของแสงทำให้มีค่า L^* เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ค่าสียังเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่เกิดจากกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ นิธิยา (2557) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภาวดี (2563) ที่ได้ศึกษามะม่วงแช่อิ่มอบแห้งในการทำแห้งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้ง พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหม้ของน้ำตาลสำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีในผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ฟลักทีนที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการแช่แข็ง ซึ่งค่า L^* แสดงความสว่างของผลิตภัณฑ์ a^* ในทิศทางบวกแสดงความเป็นสีแดง b^* ในทิศทางบวกแสดงความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์

ส่วนค่าความแข็งนั้น พบว่า กล้วยหอมทองอบกรอบที่มีการใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่น้อยกว่าจะส่งผลทำให้ความสามารถในดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้น้อยกว่าการทำแห้งที่ใช้ระยะเวลานานกว่า จึงทำให้กล้วยหอมทองอบกรอบที่ได้มีความชื้นเหลืออยู่สูงกว่าส่งผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบมีความเหนียว และมีค่าความแข็งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของทองจวน และคณะ (2563) ที่ได้นำสละแช่อิ่มไปอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้ระยะเวลาการอบแตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 14 16 18 20 และ 22 ชั่วโมง พบว่า ระยะเวลาอบแห้งเยือกแข็งมีผลทำให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สละแช่อิ่มทุกด้านที่ทำการทดสอบมีความแตกต่างกัน พบว่า เมื่อใช้เวลาอบแห้งเยือกแข็งที่นานขึ้นทำให้เนื้อสละมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับค่าเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการอบที่นานขึ้น

3. ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.21-12.38 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4.32-4.36 และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) อยู่ในช่วงร้อยละ 2.00-2.09 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทองจวน และคณะ (2563) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาอบแห้งเยือกแข็งและอุณหภูมิในการคั่วต่อคุณภาพของสละแช่อิ่ม (ตารางที่ 4) พบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) เมื่อมีการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการทำลายโครงสร้างของเซลล์และเมื่อเซลล์ที่แตกสัมผัสกับอากาศร้อนทำให้ความร้อนเข้าสู่ภายในเซลล์ง่ายขึ้นจึงส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 4 คุณภาพทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์) ^{ns}	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ^{ns}	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) ^{ns}
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม.	12.38±2.78	4.34±0.01	2.07±0.07
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.			
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	10.62±0.02	4.32±0.02	2.06±0.02
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.			
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	10.63±0.06	4.36±0.01	2.08±0.02
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.			
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม.	10.41±0.20	4.32±0.03	2.06±0.09
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.			
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	10.42±0.31	4.32±0.02	2.07±0.06
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.			
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	10.21±0.19	4.36±0.01	2.09±0.02
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.			

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ พบว่า ผลผลิตกัลล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ นั้น มีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการทำแห้งชั้นต้นที่ใช้อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชั่วโมง นั้น ผลผลิตกัลล้วยหอมทองอบกรอบที่มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่ร้อยละ 10.60 ส่วนการทำแห้งชั้นต้นที่ใช้อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดที่ร้อยละ 6.69 เมื่อเทียบกับการทำแห้งชั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชั่วโมง นั้นผลผลิตกัลล้วยหอมทองอบกรอบที่มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่ร้อยละ 10.41 และการทำแห้งชั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง นั้น ผลผลิตกัลล้วยหอมทองอบกรอบที่มีปริมาณความชื้น อยู่ที่ร้อยละ 6.38 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของทองจวน และคณะ (2563) พบว่า การใช้เวลาในการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่นานขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงคาดว่าเป็นผลจากเวลาอบแห้งที่นานทำให้ความสามารถในการกำจัดน้ำออกจากอาหารได้มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงตามลำดับ

ส่วนปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ผลจากการทำแห้งที่ใช้ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กันนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.14–0.20 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวันชนก (2564) ได้มีการศึกษาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า มีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่ต่างกันแต่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีการกำจัดน้ำออกด้วยการระเหิดส่งผลให้น้ำในโครงสร้างออกไปได้มาก จึงทำให้มีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำ เช่นเดียวกับงานวิจัยของพรกัญญา และคณะ (2560) ที่ได้ศึกษาสภาวะผลของการอบแห้งชั้นตอนสุดท้ายที่มีต่อคุณภาพของแก้วมังกรอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 5 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของกัลล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ^{ns}
ชั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	10.60±0.59 ^a	0.20±0.03
ชั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	7.34±0.49 ^b	0.17±0.00
ชั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.	6.69±1.54 ^b	0.14±0.00
ชั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	10.41±0.20 ^a	0.19±0.03
ชั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	7.02±0.31 ^b	0.16±0.02
ชั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.	6.38±0.19 ^b	0.14±0.01

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-b} ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ดังนั้นจึงทำการศึกษาต่อโดยการนำสภาวะการทำแห้งชั้นต้นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับสภาวะการทำแห้งชั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง มาทดสอบเพื่อคัดเลือกสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมเพียงสภาวะเดียวโดยมีการวิเคราะห์คุณภาพกัลล้วยหอมทองอบกรอบ ดังนี้

4. ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส กลัวยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับสภาวะการทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับคุณภาพด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.92 7.90 และ 8.15 ตามลำดับ โดยมีคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งสอดคล้องกับคุณภาพด้านกายภาพ คือ ค่าความแข็ง พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่นานขึ้นทำให้สามารถดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นกว่าการทำแห้งที่ใช้เวลาน้อยกว่า จึงทำให้มีค่าความแข็งลดลงส่งผลให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าการทำแห้งที่ใช้ อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทองจวน และคณะ (2563) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาอบแห้ง เยือกแข็งและอุณหภูมิในการคั่วต่อคุณภาพของสละแช่ห่อ โดยนำสละแช่ห่อไปอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้ระยะเวลาการอบ แดงต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 14 16 18 20 และ 22 ชั่วโมง พบว่า ระยะเวลาอบแห้งเยือกแข็งมีผลทำให้คุณลักษณะของ ผลิตภัณฑ์สละแช่ห่อทุกด้านที่ทำการทดสอบมีความแตกต่างกันกล่าวคือการอบแห้งเยือกแข็งที่เวลา 18 และ 20 ชั่วโมงทำให้ ค่าความสว่างของสละแช่ห่อสูงกว่าที่เวลา 14 ชั่วโมง และการอบแห้งเยือกแข็งที่เวลา 18 20 และ 22 ชั่วโมง ทำให้ค่าสีแดง ของสละแช่ห่อสูงกว่าที่เวลา 14 และ 16 ชั่วโมง

ค่าคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและสี พบว่า การทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งกลัวยหอมทองอบกรอบนั้นผู้ทดสอบชิมให้คะแนนไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) อยู่ในระดับชอบปานกลาง (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกลัวยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ ทำแห้งขั้นต้นที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง

คุณลักษณะ	อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	
	ทำแห้งขั้นต้น -15 องศาเซลเซียส	ทำแห้งขั้นต้น -20 องศาเซลเซียส
	ทำแห้งขั้นที่สอง 50 องศาเซลเซียส (16/18 ชม.)	ทำแห้งขั้นที่สอง 50 องศาเซลเซียส (16/18 ชม.)
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.20±0.97	7.47±0.71
สี ^{ns}	7.07±0.94	7.40±0.87
รสชาติ	7.35±0.92 ^b	7.92±0.76 ^a
เนื้อสัมผัส	7.37±0.87 ^b	7.90±0.74 ^a
ความชอบโดยรวม	7.42±0.87 ^b	8.15±0.73 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-b} ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

5. ผลการวัดคุณภาพทางกายภาพของกลัวยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้ง ขั้นต้น-15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง พบว่า ค่าสีด้านความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของกลัวยหอมทองอบกรอบทั้ง 2 สภาวะนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสีของผลิตภัณฑ์ กลัวยหอมทองอบกรอบมีสีขาวออกเหลือง ส่วนค่าความแข็ง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้น -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมงมีค่าสูงกว่า

อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าอยู่ที่ 19.42 และ 16.61 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มลดลงเป็นผลมาจากการทำแห้งที่ใช้เวลานานทำให้ความสามารถในการกำจัดน้ำออกจากอาหารได้มากขึ้น (ตารางที่ 7) สอดคล้องกับงานวิจัยของ มะลิ (2559) ที่ได้มีการศึกษาเทคโนโลยีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสำหรับแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่สำเร็จรูปเช่นเดียวกับ Guiné et al. (2012) ได้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพเนื้อสัมผัส และสีของพริกทอง และพริกไทยเขียว พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ความเข้มข้นของสีลดลงระหว่างการทำให้แห้งเทียบกับตัวอย่างสด โดยการเพิ่มขึ้นของ L^* และการเปลี่ยนแปลงของ a^* และ b^* ตามการเพิ่มขึ้นของอากาศในชั้นพริกทองแห้ง ซึ่งส่งผลต่อการกระเจิงของแสงทำให้มีค่า L^* เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ Nazmilzi et al. (2017) พบว่า การทำแห้งมะม่วงด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งภายใต้สภาวะสุญญากาศจะเพิ่มค่า L^* ในมะม่วงแห้งเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอากาศในชั้นมะม่วงต่างจากการทำแห้งด้วยวิธีอื่นที่มีการใช้ความร้อนสูงในกระบวนการทำแห้ง

ตารางที่ 7 ค่าสีและความแข็งแรงกรอบของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

อุณหภูมิและ ระยะเวลาการทำแห้ง	ค่าสี			ค่าความแข็งแรง (นิวตัน)
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	81.71±0.41	2.25±0.16	18.42±0.66	19.42±0.35 ^a
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	82.06±0.56	2.36±0.06	18.83±0.41	16.61±0.07 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ ^{a-b} ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

6. ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้น -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง นั้น พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.41-10.58 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4.34-4.44 และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) อยู่ในช่วงร้อยละ 2.07-2.12 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 คุณภาพทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

อุณหภูมิและ ระยะเวลาการทำแห้ง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์) ^{ns}	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ^{ns}	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) ^{ns}
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	10.58±0.66	4.44±0.18	2.12±0.25
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	10.41±0.90	4.34±0.22	2.07±0.32

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ส่วนปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ใช้อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง พบว่า การทำแห้งทั้ง 2 สภาวะไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 6.43-6.80 และปริมาณน้ำอิสระอยู่ที่ 0.16-0.17 ผลการทดสอบที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรกัญญา และคณะ (2560) ที่ได้ศึกษาสภาวะผลของการอบแห้งขั้นตอนสุดท้ายที่มีต่อคุณภาพของแก้มังกรอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งปริมาณ

น้ำอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น มีปริมาณผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง มพช.1036/2558 ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.6 (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	ปริมาณน้ำอิสระ (a _w) ^{ns}
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	6.80±1.78	0.17±0.08
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	6.43±1.12	0.16±0.01

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

บทสรุป

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่ใช้อุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่มีคุณภาพ โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับต่อลักษณะรสชาติ และเนื้อสัมผัสในระดับชอบปานกลาง แต่ให้คะแนนการยอมรับต่อลักษณะความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมาก ส่วนผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพ พบว่า สภาวะการทำแห้งทั้ง 2 สภาวะมีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) โดยรวมใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความแข็งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้น-15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง มีค่าสูงสุด สำหรับคุณภาพทางเคมี พบว่า สภาวะการทำแห้งทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ใกล้เคียงไม่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น มีปริมาณผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.6 โดยปริมาณน้ำอิสระมีความสำคัญต่อการเสื่อมเสียและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

ทองจวน คุณพุทธิณี, นิภาพร คังคะวิสุทธิ และนฤคันธ์ วาสิตติก. (2563). ผลของระยะเวลาอบแห้งเยือกแข็งและอุณหภูมิในการคั่วต่อคุณภาพของสละแช่อิ่ม. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 15(2):155-163.
 นิธิยา รัตนพานนท์. (2557). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.

- พรกันยา ม้าวิไล, ณัฐชา เฉลยจิตรธรรม, ธัชพงษ์ พงศ์สุทธิยากร และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2560). ผลของสภาวะการอบแห้งขั้นสุดท้ายต่อคุณภาพของแก้มังกรทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง. ใน ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 18 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2560 (The 18th TSAE National Conference and The 10th TSAE International Conference : TSEA 2017) ภายใต้หัวข้อเรื่อง “Agricultural Engineering for the Digital Age”. 7-9 กันยายน 2560. อิมแพ็คเอ็กซิบิชั่นเซ็นเตอร์ กรุงเทพฯ. 66-70.
- มะลิ นาชัยสินธุ์. (2559). เทคโนโลยีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสำหรับแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่กิ่งสำเร็จรูป. ใน ประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ “ราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 4”. 22-24 พฤศจิกายน 2559. มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. 1140-1145.
- วันชนก ไกรงาม. (2564). ผลของการแช่เยือกแข็งต่อจุลนาผลศาสตร์การทำแห้ง และคุณภาพของแตงโมที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. (2566). อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม. ค้นเมื่อ 6 ตุลาคม 2566.
http://www.kasikornbank.com/SME/Documents/KSMEAnalysis/IndustrySolution_FoodsAn.
- ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์. (2563). การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying). ค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2566.
https://fin.cmu.ac.th/?fbclid=IwAR3M9FWuJxZhjfr-oMSrKGPPsPLLJPb2O9aLb5LvCuQaHEvm_kMC-J16Vo.
- สุภาวดี สมคะเน. (2563). การศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อคุณภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี. (2565). ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดเพชรบุรี มกราคม 2565. ค้นเมื่อ 14 กรกฎาคม 2566. <https://www.opsmoac.go.th/phetchaburi-dwl-file>.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้อบแห้ง (มผช. 136/2558). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). ข้อมูลการนำเข้าและส่งออกกล้วยหอมทองของประเทศไทยปี 2563-2564. ค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2566. <https://www.mis-app.oae.go.th/product/กล้วย>.
- AOAC. (2012). Official methods of analysis of association of official analytical chemists. 19th Edition. Washington.
- Guine R. and Barroca M. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). Food and Bioproducts Processing-Food Bioprod Processing. 90(1): 58-63.
- Horie A., Kobayashi T. and Nakagawa K. (2018). Modeling of atmospheric freeze-drying for sliced fruit. IDS'2018-21st International drying symposium valencia. Spain. 11-14 September 2018 DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/ids2018.2018.7643>.
- Mawilai P., Chaloeichitratham N. and Pornchaloempong P. (2019). Processing feasibility and qualities of freeze-dried mango powder for SME scale. IOP Conference Series: earth and environmental science. The 12th TSAE International Conference 14-15 March 2019 Hard rock hotel Pattaya, Chonburi. Thailand.
- Nazmilzli G., Gokcen I. and Taskin O. (2017). Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. Food Science and Technology (Campinas). 37(4): 604-612.
- Reyes A., Mahn A. and Huenulaf P. (2011). Drying of apple slices in atmospheric and vacuum freeze dryer. Drying Technology. 29(9): 1076-1089. doi:10.1080/07373937.2011.568657

- Tatemoto Y., Mibu T., Yokoi Y. and Hagimoto A. (2015). Effect of freezing pretreatment on the drying characteristics and volume change of carrots immersed in a fluidized bed of inert particles under reduced pressure. *Journal of Food Engineering*. 173(1): 150-157.
doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.11.006.