

Research Article

ผลของสารเคลือบบริโภคได้และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อสมบัติทางกายภาพ ประสาทสัมผัส และจุลชีววิทยาของมะละกอสดตัดแต่ง

Effect of edible coating formulations and storage time on physical, sensory and microbiology properties of fresh-cut papaya

สุธิดา อัครชนียากร^{1*}, วาสิตฐิ นิยมสุวรรณ¹ และสุธีรา ขันทพันธ์¹

Suthida Akkarachaneeyakorn^{1*}, Wasitthi Niamsuwan¹ and Sutteera Khantaphant¹

¹ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

¹Department of Agro-Industrial, Food, and Environmental Technology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand

*E-mail: suthida.a@sci.kmutnb.ac.th

Received: 01/05/2020; Revised: 29/09/2020; Accepted: 01/10/2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสูตรของสารเคลือบบริโภคได้ (ไม่เคลือบ เคลือบด้วยโซเดียมอัลจินต และโซเดียมอัลจินตที่มีน้ำมันสกัดยูจีนอล) และระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ต่อสมบัติทางด้านกายภาพ ประสาทสัมผัส และจุลชีววิทยาของมะละกอสดตัดแต่ง โดยหั่นมะละกอสุกเป็นรูปลูกบาศก์ มีความยาวด้านละ 2 เซนติเมตร จุ่มลงในสารเคลือบที่ประกอบด้วยโซเดียมอัลจินต กลีเซอรอล และน้ำมันดอกทานตะวัน ความเข้มข้นร้อยละ 2.00, 1.50 และ 0.025 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ สำหรับสูตรโซเดียมอัลจินตที่มีน้ำมันสกัดยูจีนอล จะมีการเติมน้ำมันสกัดยูจีนอลความเข้มข้นร้อยละ 0.10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าการเคลือบมะละกอสดตัดแต่งด้วยโซเดียมอัลจินต และโซเดียมอัลจินตที่มีน้ำมันสกัดยูจีนอล ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก และรักษาความแน่นเนื้อได้มากกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบ ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านกลิ่น

และรสชาติของตัวอย่างทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตัวอย่างที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต และโซเดียมอัลจิเนตที่มีน้ำมันสกัดยูจีนอลมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี ความแน่น เนื้อ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวอย่างที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตและโซเดียมอัลจิเนตที่มีน้ำมันสกัดยูจีนอลมีคะแนนความชอบรวมระหว่าง 6-7 คะแนน แสดงว่าผู้บริโภคชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ตัวอย่างที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีน้ำมันสกัดยูจีนอลสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกลุ่มแอโรบิกและยีสต์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทรีทเมนต์อื่น มะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีน้ำมันสกัดยูจีนอล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 วัน มีค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อของเท่ากับ ร้อยละ 0.87 และ 55.51 กรัม ตามลำดับ และมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แอโรบิก และยีสต์ราเฉลี่ย เท่ากับ 3.73 log CFU/กรัม และ 0.9 log CFU/กรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: มะละกอ โซเดียมอัลจิเนต น้ำมันสกัดยูจีนอล สารเคลือบบริโภคได้

Abstract

The objectives of this research were to study the formulas of edible coatings (uncoated, coated with sodium alginate, and coated with sodium alginate containing eugenol oil extract) and the effect of storage time at 4 °C on the physical, sensory, and microbiological properties of cut fresh papaya by cutting ripe papaya into cubes with 2 cm in length and dipping in coating solutions consisting of sodium alginate, glycerol, and sunflower oil at the concentration of 2.00, 1.50, and 0.025 %w/v, respectively. For formula containing sodium alginate and eugenol oil extract: adding eugenol oil extract at 0.10 %w/v concentration, it was found that coating of fresh-cut papaya with sodium alginate and sodium alginate with eugenol oil extract helped to reduce weight loss and maintain the firmness better than uncoated samples. Consumers' rating on the liking for the smell and taste of the samples for all treatments was not statistically significantly different. The samples coated with sodium alginate and sodium alginate with eugenol oil extract did not significantly have different liking scores for appearance, color, and firmness as well as the overall liking, and the liking scores were significantly higher than uncoated samples. Samples coated with sodium alginate and sodium alginate with eugenol oil extract had the overall liking scores between 6 and 7, indicating slight to moderate liking of consumers. Compared to other treatments, samples coated with sodium alginate containing eugenol oil extract could better inhibit aerobic bacteria and yeast during storage at 4 °C. Average values of weight loss and firmness of fresh-cut papaya coated with sodium alginate

containing eugenol oil extract and stored at 4 °C for 12 days were 0.87% and 55.51 g, respectively, and average amount of aerobic microbes and the mold yeast were 3.73 log CFU/g and 0.9 log CFU/g, respectively.

Keywords: papaya, sodium alginate, eugenol oil, edible film

บทนำ

ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยี ทำให้พฤติกรรมของผู้บริโภคเปลี่ยนแปลงไป คือ เน้นความรวดเร็ว และสะดวกสบาย ผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค เป็นผลไม้สดที่นำมาล้าง คัดเลือกขนาด ปอกเปลือก ผ่าซีกเอาแกนหรือเมล็ดออก ตัดแต่ง หั่นชิ้น และบรรจุในบรรจุภัณฑ์ จากนั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิต่ำ (Wiley, 1994) สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค และลดขั้นตอนของการจัดเตรียมได้

มะละกอ (*Carica papaya* L.) เป็นไม้ผลเมืองร้อนที่มีการบริโภคสูง ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ นิยมบริโภคทั้งแบบผลดิบและสุก มะละกอฟันธุ์แขกดำเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากในพื้นที่เขตร้อนรวมทั้งประเทศไทย เนื่องจากบริโภคได้ทั้งผลสด และแปรรูป มะละกอสดตัดแต่งมีอายุการเก็บรักษาสั้น เพราะความเสียหายจากการหั่น และเกิดเป็นบาดแผลที่เนื้อของมะละกอ ทำให้มะละกอมีอัตราการหายใจสูงขึ้น เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์ ทำให้เนื้อสัมผัสของมะละกออ่อนนุ่มมากขึ้น ส่งผลให้คุณภาพลดลง การพัฒนาสูตรสารเคลือบที่บริโภคได้ จึงเป็นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะละกอสดตัดแต่ง อัลจินตเป็นไฮโดรคอลลอยด์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ สกัดได้จากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาล ละลายได้ในน้ำ เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ซึ่งเป็นเจลที่ทนความร้อน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่ง มีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้อัลจินตร่วมกับสารสกัดธรรมชาติที่ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และยีสต์ราในผลไม้สดตัดแต่ง โดยมีการใช้อัลจินตร่วมกับสารสกัดจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ทรานส์-ซินนามัลดีไฮด์ เคลือบสับปะรด และแดงโมสดตัดแต่ง พบว่าการใช้อัลจินตร่วมกับสารสกัดธรรมชาติสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และยีสต์รา ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่งได้ (Azarakhsh et al., 2014; Mantilla et al., 2013; Sipahi et al., 2013) น้ำมันสกลูซินอล (hydroxyphenyl propene) เป็นสารสกัดจากธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และยีสต์รา (Bevilacqua et al., 2010; Marchese et al., 2017) และเป็นสารประกอบฟีนอลิก มีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายน้ำมัน มีสีเหลืองอ่อน สกัดได้จากกานพลู (clove) และอบเชย (cinnamon) ละลายในน้ำได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ และยังไม่มีการศึกษาผลการใช้อัลจินตร่วมกับน้ำมันสกลูซินอลในสารเคลือบมะละกอสดตัดแต่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสูตรสารเคลือบ (ไม่เคลือบ เคลือบด้วยโซเดียมอัลจินตที่ไม่มีและมือน้ำมันสกลูซินอล) และระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ต่อสมบัติทางด้านกายภาพ ประสาทสัมผัส และจุลชีววิทยาของมะละกอสดตัดแต่ง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบ

มะละกอสดพันธุ์แขกดำ เปลือกเป็นสีเหลืองร้อยละ 75 ของผล ซึ่งจาก บิ๊กซีซูเปอร์เซ็นเตอร์ จำกัด (มหาชน) สาขาวงษ์สงวาท เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส; โซเดียมอัลจิเนต (บริษัท รวมเคมี จำกัด ประเทศไทย); แคลเซียมคลอไรด์, น้ำมันสกัดยูจีนอล, กลีเซอรอล และน้ำมันดอกทานตะวัน (บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ประเทศไทย)

2. การเตรียมสารเคลือบและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

2.1 การเตรียมสารเคลือบสูตรที่ 1: โซเดียมอัลจิเนต วิธีการเตรียมสารเคลือบดัดแปลงจาก Azarakhsh et al. (2014) นำโซเดียมอัลจิเนต 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสารที่ให้ความร้อน (Hot plate stirrer) (รุ่น HTS-1003 ยี่ห้อ LMS บริษัท เอสจี เอส จำกัด, ประเทศญี่ปุ่น) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำมันดอกทานตะวันความเข้มข้นร้อยละ 0.025 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายสุดท้ายเท่ากับ 500 มิลลิลิตร บั่นผสมที่ความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 1 นาที ด้วยเครื่องบั่นผสม (รุ่น Super Vario-N3680-1027 ยี่ห้อ Funke Gerber บริษัท โรสแกน จำกัด ประเทศเยอรมัน)

2.2 การเตรียมสารเคลือบสูตรที่ 2: โซเดียมอัลจิเนตที่มีน้ำมันสกัดยูจีนอล เตรียมสารเคลือบเหมือนในข้อ 2.1 โดยหลังจากเติมน้ำมันดอกทานตะวัน เติมยูจีนอลความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายสุดท้ายเท่ากับ 500 มิลลิลิตร บั่นผสมที่ความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 1 นาที ด้วยเครื่องบั่นผสม (รุ่น Super Vario-N3680-1027 ยี่ห้อ Funke Gerber บริษัท โรสแกน จำกัด ประเทศเยอรมัน)

2.3 การเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยนำแคลเซียมคลอไรด์ 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. การเคลือบตัวอย่างมะละกอ

จุ่มชิ้นมะละกอสดที่ตัดแต่งเป็นรูปลูกบาศก์ลงในสารเคลือบโซเดียมอัลจิเนตสูตรที่ 1 และ 2 เป็นเวลา 2 นาที ทั้งให้สารเคลือบส่วนเกินหยดออกเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นจุ่มสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 นาที ทั้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (26 ± 1 องศาเซลเซียส) ใส่ในถุงซิปล็อค ถุงละ 3 ชิ้น โดยตัวอย่างควบคุม คือ มะละกอสดตัดแต่งที่ไม่เคลือบและไม่จุ่มสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เก็บ

รักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 12 วัน โดยตรวจสอบสมบัติทางด้านกายภาพ ประสาทสัมผัส และจุลชีววิทยา ดังรายละเอียดในข้อ 4

4. การตรวจสอบสมบัติของตัวอย่างมะละกอสดัดแต่งที่ไม่ผ่านการเคลือบ และผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ไม่มีและมียาน้ำมันสกัดยูจีนอลระหว่างการเก็บรักษา

สมบัติที่ตรวจสอบตัวอย่างมะละกอสดัดแต่งที่ไม่ผ่านการเคลือบ และผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้แก่

4.1 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 4, 8 และ 12 วัน โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างมะละกอสดัดแต่ง ทำการทดสอบทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ คำนวณค่าร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักเฉลี่ย $\pm$ SD ของชิ้นมะละกอสดัดแต่งดังสมการที่ 1

$$\text{การสูญเสีย\%} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนการเก็บรักษา}} \times 100 \quad (1)$$

4.2 ค่าความแน่นเนื้อ วัดค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA.XT Plus Texture Analyser, ยี่ห้อ Stable Micro System ประเทศอังกฤษ) โดยใช้แรงเจาะ หัววัดแสดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร คัดแปลงจาก Bellary et al. (2016) โดยจะทดสอบตัวอย่างวันที่ 1, 4, 8 และ 12 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการวัด 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย $\pm$ SD

4.3 ค่าสี (L^* , a^* , b^* และ h^*) วัดค่าสีของตัวอย่างทุกทริทเมนต์ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1, 4, 8 และ 12 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการวัด 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย $\pm$ SD ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น color QUEST45/0 ยี่ห้อ Hunter LAB บริษัท Hunter Associate Laboratory, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

4.4 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แอโรบิกและยีสต์รา วัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แอโรบิกและยีสต์รา โดยใช้ 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate และ 3M Petrifilm™ Yeast and Mold Count Plate ตามลำดับ โดยจะทดสอบตัวอย่างทุกทริทเมนต์ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4.5 คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส โดยจะทดสอบคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างทุกทริทเมนต์ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทดสอบการยอมรับ (Acceptance test) โดยใช้ 9-point hedonic scale ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบชิม จำนวน 25 คน ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน เสิร์ฟตัวอย่างแบบสุ่ม ด้วยรหัส 3 หลัก ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 26 องศาเซลเซียส) มีการล้างปากระหว่างการทดสอบแต่ละตัวอย่างด้วยน้ำเปล่า โดย 1 คะแนน หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึงชอบมากที่สุด

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

5.1 การศึกษาผลของสูตรสารเคลือบ และระยะเวลาการเก็บรักษามะละกอสดัดแต่ง ต่อคุณภาพด้านสี ความแน่นเนื้อ และการสูญเสียน้ำหนักของมะละกอสดัดแต่ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ทาง โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ ด้วยวิธี Tukey's HSD test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.2 ศึกษาผลของสูตรสารเคลือบ (ไม่เคลือบ เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2) ต่อสมบัติทางด้าน ประสาทสัมผัสของมะละกอสดัดแต่ง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ด้วยวิธี Tukey's HSD test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.3 ศึกษาผลของสูตรสารเคลือบ (ไม่เคลือบ เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2) ต่อคุณภาพด้าน จุลชีววิทยาของมะละกอสดัดแต่ง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยวิธี Tukey's HSD test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การสูญเสียน้ำหนักของมะละกอสดัดแต่ง

ตารางที่ 1 แสดงค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของมะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย คือ สูตรของสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษา มีผลต่อร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของมะละกอสดัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ไม่ได้แสดงผล)

จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นจาก 4 วัน เป็น 12 วัน ตัวอย่างที่ไม่เคลือบมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.73 เป็นร้อยละ 2.45 และเมื่อเปรียบเทียบที่การเก็บรักษาในวันเดียวกัน พบว่าตั้งแต่วันที่ 8 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตัวอย่างควบคุมมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารเคลือบทั้งสองสูตรอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักของมะละกอสดัดแต่งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เกิดจากการคายน้ำเพื่อระบายความร้อนเนื่องจากการหายใจ การเคลือบมะละกอสดัดแต่งด้วยสารเคลือบบริโภคนได้ ช่วยลดปริมาณออกซิเจน จึงทำให้มะละกอมีอัตราการหายใจลดลง นอกจากนี้การสูญเสียน้ำหนักของมะละกอสดัดแต่งเกิดจากความแตกต่างของความชื้นของมะละกอกับอากาศในตู้แช่เย็น โดยความชื้นสัมพัทธ์ของเนื้อมะละกอสดัดแต่งมีค่ามากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในตู้แช่เย็น จึงทำให้มะละกอสกปรก และส่งผลให้สูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา และพบว่าการเคลือบมะละกอสดัดแต่งด้วยสารเคลือบบริโภคนได้ ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของมะละกอ จึงทำให้สูญเสีย

ตารางที่ 1 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของมะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

สูตรของสารเคลือบ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
	4	8	12
ไม่เคลือบ	0.73±0.21 ^{cd}	1.57±0.32 ^b	2.45±0.31 ^a
เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต	0.28±0.25 ^d	0.48±0.09 ^{cd}	0.72±0.14 ^{cd}
เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตและน้ำมันสกัดยูจินอล	0.32±0.17 ^{cd}	0.55±0.02 ^{cd}	0.87±0.12 ^c

หมายเหตุ: ^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

น้ำหนักน้อยกว่ามะละกอสดัดแต่งที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวอย่างควบคุม) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Azarakhsh et al. (2014) ที่พบว่าสับปะรดสดดัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 16 วัน มีค่าสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

2. ค่าความแน่นเนื้อของมะละกอสดัดแต่ง

ค่าความแน่นเนื้อของมะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสแสดงดังตารางที่ 2 จากตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย คือ สูตรของสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อความแน่นเนื้อของมะละกอสดัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) (ไม่ได้แสดงผล) จากตารางที่ 2 พบว่าตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่เคลือบมีค่าความแน่นเนื้อระหว่าง 52.45-208.18 กรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าตัวอย่างไม่เคลือบซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อระหว่าง 31.39-18.87 กรัม อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เนื่องจากในขั้นตอนการเคลือบตัวอย่างมะละกอสดัดแต่งมีการจุ่มมะละกอสดัดแต่งในสารเคลือบอัลจิเนต หลังจากนั้นจุ่มในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้อัลจิเนตจับกับไอออนของแคลเซียม เกิดเป็นเจลแคลเซียมอัลจิเนตบนผิวมะละกอสดัดแต่ง โดยโครงสร้างของเจลมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (egg box) จึงสามารถลดการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อมะละกอสดัดแต่งได้ โดยการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากภายในเนื้อมะละกามีความชื้นสูงกว่าบรรยากาศ ส่งผลให้ผิวมะละกอเหี่ยวแห้ง และทำให้ความเข้มข้นของสารภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง (Pérez-Gago et al., 2010) การเคลือบสามารถรักษาความแน่นเนื้อของมะละกอสดัดแต่งไว้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลของการสูญเสียน้ำหนักในตารางที่ 1 พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ตัวอย่างที่เคลือบ (เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2) มีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่

ตารางที่ 2 ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม) ของมะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

สูตรของสารเคลือบ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
	1	4	8	12
ไม่เคลือบ	31.39±6.36 ^{de}	25.03±3.77 ^e	23.13±5.04 ^e	18.87±5.01 ^e
เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต	186.86±17.05 ^{ab}	104.94±21.63 ^{cd}	70.05±23.23 ^{de}	52.45±8.82 ^{de}
เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตและ น้ำมันสกลูซิโนล	208.18±13.77 ^a	145.39±48.04 ^{bc}	73.15±10.98 ^{de}	55.51±13.90 ^{de}

หมายเหตุ ^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เคลือบ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Azarakhsh et al. (2014) ที่วัดค่าความแน่นเนื้อของสับปะรดสดตัดแต่งที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 16 วัน พบว่าตั้งแต่วันที่ 8 ของการเก็บรักษา สับปะรดสดตัดแต่งที่เคลือบทั้งหมดมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และงานวิจัยของ Sipahi et al. (2013) ที่ศึกษาผลของการไม่เคลือบ และเคลือบผงโมสตัดแต่งด้วยสารเคลือบโซเดียมอัลจิเนตที่รวมอยู่กับทรานส์-ซินนามัลดีไฮด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผงโมสตัดแต่งที่เคลือบมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากตารางที่ 2 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างทุกทรีทเมนต์ มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีสาเหตุมาจากเพกตินซึ่งเป็นสารที่สร้างความแข็งแรงให้กับโครงสร้างเนื้อเยื่อของมะละกอ จะอยู่ในรูปของโพรโตเพกตินซึ่งไม่ละลายน้ำ ระหว่างการสุกของมะละกอ โพรโตเพกตินจะเปลี่ยนเป็นเพกติน ซึ่งละลายในน้ำได้ ทำให้มะละกอมีเนื้อสัมผัสนิ่มลง ความแน่นเนื้อลดลง นอกจากนี้ในมะละกอมีเอนไซม์ที่ย่อยเพกติน เช่น เอนไซม์เพกตินเอส เพกตินเมทิลเอสเทอเรส (Aimsamang, 1998) ซึ่งทำให้เนื้อมะละกอมีความแน่นเนื้อลดลงระหว่างการเก็บรักษา

3. คำสีของมะละกอสดัดแต่ง

L* b* C* และ h*

ค่า L* b* C* และ h* ของมะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสแสดงดังตารางที่ 3 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ทาง (ไม่ได้แสดงผล) พบว่า

ตารางที่ 3 ค่า L* b* C* และ h* ของมะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

สูตรของสารเคลือบ ^{ns}		ระยะเวลาการเก็บรักษา ^{ns} (วัน)			
		1	4	8	12
ไม่เคลือบ	L*	39.56±2.95	38.52±3.08	37.01±3.41	36.15±3.43
	b*	30.69±3.68	28.96±4.40	27.75±4.75	25.99±4.86
	C*	46.83±2.78	45.23±3.47	43.50±4.05	41.24±4.31
	h*(°)	40.87±3.17	39.67±3.53	39.34±3.75	38.70±3.89
เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต	L*	38.45±1.87	37.86±1.44	38.20±1.58	37.73±1.57
	b*	28.27±3.01	26.73±2.28	26.79±2.80	27.57±3.03
	C*	44.51±3.18	43.04±2.59	42.70±2.93	43.13±3.09
	h*(°)	39.17±2.14	36.96±4.10	38.80±1.89	39.65±2.01
เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต และน้ำมันสกัดยูจินอล	L*	38.25±1.51	37.99±1.63	38.48±1.84	38.38±1.81
	b*	30.46±4.22	28.3±3.81	28.96± 4.55	28.76±4.46
	C*	46.89±3.75	44.62±3.48	44.75±4.49	44.17±4.31
	h*(°)	40.37±3.08	39.30± 2.85	40.03±3.29	40.45±3.20

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

อิทธิพลระหว่าง 2 ปัจจัย คือ สูตรของสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลปัจจัยของสูตรของสารเคลือบเพียงอย่างเดียว และอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาเพียงอย่างเดียว ไม่มีผลต่อค่า L* b* C* และ h* ของมะละกอสดัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sipahi et al. (2013) พบว่าค่า L* ของตัวอย่างแดงโมสัดแต่งที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่รวมอยู่กับการนึ่ง-ชันนามัลดีไฮด์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในทางทฤษฎีสารเคลือบสามารถลดการสัมผัสกับออกซิเจน จึงสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ ซึ่งการตัดแต่งส่งผลให้เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase หรือ PPO) ที่มีในผลไม้สัมผัสกับออกซิเจนทำให้สารโมโนฟีนอล (monophenol) ถูกออกซิไดซ์จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นออร์โทควิโนน (o-quinone) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อ

กับกรดแอมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีสีน้ำตาล (browning) โดยเอนไซม์ PPO จะทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน (Zhou et al., 2007) และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ส่งผลให้ค่า L^* ลดลง เนื่องจากระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ที่มากขึ้นตามไปด้วย จึงมีผลทำให้ค่า L^* ในมะละกอสดัดแต่งลดลง งานวิจัยของ Azarakhsh et al. (2014) พบว่าค่า L^* ของตัวอย่างสับประสดัดแต่งที่ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยสูตรสารเคลือบโซเดียมอัลจิเนตที่ไม่มีและมือน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 วัน มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนค่า b^* จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง (ค่าเป็นบวก) - สีน้ำเงิน (ค่าเป็นลบ) ผลจากการที่ 3 พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า b^* อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mantilla et al. (2013) ที่พบว่าค่า b^* ของสับประสดัดแต่งที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่รวมอยู่กับทรานส์-ซินนามัลดีไฮด์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากตารางที่ 3 พบว่าสูตรของสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า C^* ของมะละกอสดัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งงานวิจัยของ Azarakhsh et al. (2014) พบว่าตั้งแต่วันที่ 4 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สับประสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบโซเดียมอัลจิเนตที่มีและไม่มีน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ มีค่า C^* (ความเข้มสี) มากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากตารางที่ 3 ทุกทริทเมนต์มีค่า h^* อยู่ในช่วง 36.96-40.87° แสดงถึงเฉดสีส้ม จากการทดลองพบว่าสูตรของสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า h^* ของมะละกอสดัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Azarakhsh et al. (2014) พบว่าตั้งแต่วันที่ 4 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ค่า h^* ของสับประสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบโซเดียมอัลจิเนตที่มีและไม่มีน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีสีน้ำตาลน้อยกว่าสับประสดัดแต่งที่ไม่เคลือบ เนื่องมาจากการเคลือบสับประสดัดแต่ง ช่วยลดการสัมผัสกับออกซิเจน ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ลดลง

ผลของสูตรสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสต่อค่า a^* ของมะละกอสดัดแต่งแสดงดังตารางที่ 4 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ทาง พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย คือ สูตรของสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่มีผลต่อค่า a^* ของมะละกอสดัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่อิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาเพียงอย่างเดียวมีผลต่อค่า a^* ของมะละกอสดัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ไม่ได้แสดงผล) จากตารางที่ 4 พบว่าทุกทริทเมนต์ ค่า a^* ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน มีค่า a^* มากกว่าวันที่ 12 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่า a^* เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแดง (ค่าเป็นบวก) - สีเขียว (ค่าเป็นลบ)

จากตารางที่ 4 มะละกอสดัดแต่งทุกทริทเมนต์ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน มีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด และมะละกอสดัดแต่งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 วัน ของทุกทริทเมนต์มีค่าความเป็นสีแดงน้อยที่สุด เนื่องจากเมื่อเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ทำให้มะละกามีเวลาที่สัมผัสกับความร้อน แสง และออกซิเจนมากขึ้น ทำ

ตารางที่ 4 ผลของสูตรสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสต่อค่า a* ของมะละกอสดัดแต่ง

สูตรของสารเคลือบ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD ^{ns}
	1	4	8	12	
ไม่เคลือบ	35.29 $\pm$ 1.00	34.65 $\pm$ 0.84	33.52 $\pm$ 1.20	32.00 $\pm$ 1.46	33.87 $\pm$ 1.66
เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต	34.28 $\pm$ 1.95	33.72 $\pm$ 1.68	33.22 $\pm$ 1.65	33.15 $\pm$ 1.63	33.61 $\pm$ 1.67
เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต และน้ำมันสกัดยูจีนอล	35.59 $\pm$ 1.50	34.41 $\pm$ 1.53	34.18 $\pm$ 1.92	33.46 $\pm$ 2.07	34.41 $\pm$ 1.81
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD	35.08 $\pm$ 1.52 ^A	34.26 $\pm$ 1.36 ^{AB}	33.64 $\pm$ 1.55 ^{AB}	32.87 $\pm$ 1.74 ^B	

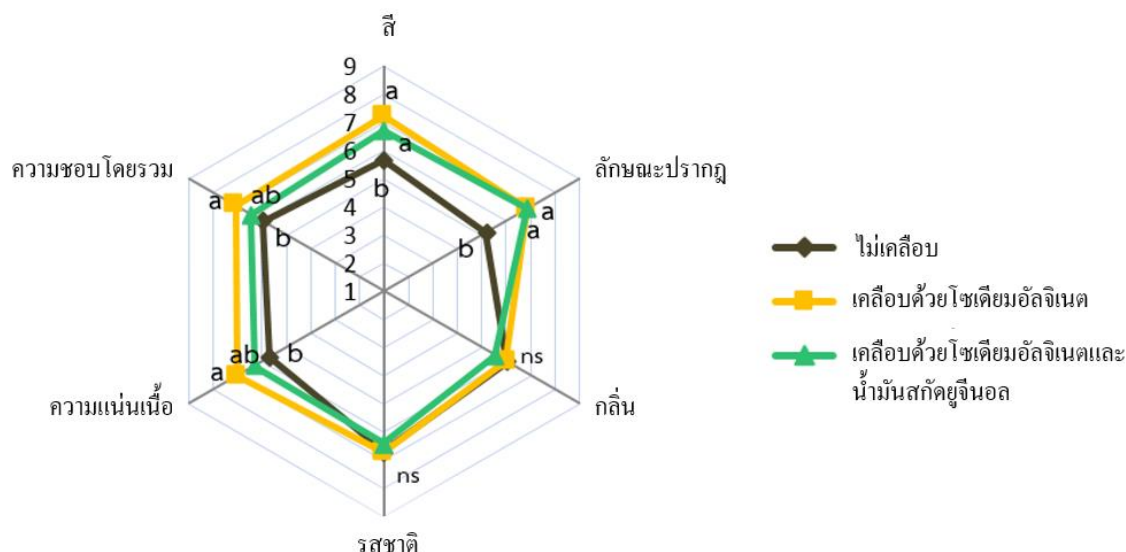
หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

^{A,B} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโคปีนที่เป็นสารให้สีส้มแดงในเนื้อมะละกอ ทำให้มีค่าความเป็นสีแดงของมะละกอสดัดแต่งลดลง ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Mantilla et al. (2013) พบว่าค่า a* ของตัวอย่างสับประรดสดตัดแต่งที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยสารเคลือบโซเดียมอัลจิเนตที่รวมอยู่กับทรานส์-ซินนามัลดีไฮด์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

4. คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

รูปที่ 1 แสดงผลของสูตรสารเคลือบต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะละกอสดัดแต่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน พบว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2 มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ และสีมากกว่าตัวอย่างไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจากสารเคลือบมีผลทำให้ผิวของมะละกอสดัดแต่งมีลักษณะมันวาว และจากตารางที่ 3 พบว่ามะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ย (h^*) เท่ากับ 36.96 และ 39.30 ตามลำดับ ซึ่งมีเฉลี่ยสีที่ใกล้เคียงกับสีแดงมากกว่ามะละกอสดัดแต่งที่ไม่เคลือบ (h^* เท่ากับ 39.67) แสดงว่าผู้ทดสอบมีความชอบมะละกอสดัดแต่งที่มีเฉลี่ยสีที่ใกล้เคียงกับสีแดงมากกว่า จึงทำให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏของมะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบ และสารเคลือบสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในตัวอย่างที่เคลือบได้ เมื่อพิจารณาความชอบในด้านกลิ่น พบว่ามะละกอสดัดแต่งที่ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2 มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าประมาณ 6 คะแนน หมายความว่าผู้ทำการทดสอบ



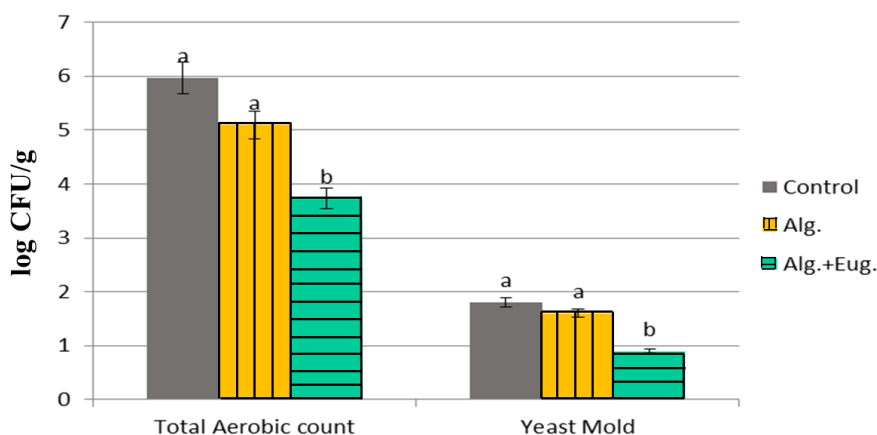
รูปที่ 1 ผลของสูตรสารเคลือบต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะละกอสดัดแต่งที่เก็บรักษา
ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

มีความชอบเล็กน้อย โดยคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของน้ำมันสกัดยูจินอลที่ใส่ลงในสารเคลือบ มีค่าเท่ากับ 0.10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งมีปริมาณเล็กน้อยส่งผลให้ซึ่งผู้บริโภคไม่สามารถรับรู้กลิ่นได้ ผลที่ได้แตกต่างจากงานวิจัยของ Mantilla et al. (2013) ที่ศึกษาการเคลือบด้วยโซเดียมอัสจินิกที่รวมอยู่กับทรานส์-ซินนามัลดีไฮด์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 วัน พบว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วยโซเดียมอัสจินิกที่รวมอยู่กับทรานส์-ซินนามัลดีไฮด์ มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากผู้ทดสอบสามารถรับรู้ถึงกลิ่นของทรานส์-ซินนามัลดีไฮด์ ส่วนคะแนนความชอบด้านรสชาติ พบว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เคลือบทั้งหมด (เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม พบว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบโซเดียมอัสจินิก (สารเคลือบสูตรที่ 1) มีคะแนนในด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม เท่ากับ 6-7 คะแนน แสดงว่าผู้ทดสอบมีความชอบปานกลาง โดยมีความมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากสารเคลือบสามารถรักษาความแน่นเนื้อ และชะลอการสูญเสียความชื้นออกจากชั้นมะละกอสดัดแต่งไว้ได้ และตัวอย่างที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบโซเดียมอัสจินิกมีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ ดี เนื้อสัมผัส จึงทำให้มีคะแนนในด้านความชอบโดยรวมมากที่สุด และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ระหว่างตัวอย่างที่เคลือบ (เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2) ในด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

5. ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แอโรบิกและยีสต์รา

การตัดแต่งผลไม้ทำให้เกิดบาดแผลที่ผิวของผลไม้ ทำให้ผิวของผลไม้มีพื้นที่ให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น โดยเมื่อตัดแต่งและหั่นทำให้เซลล์พืชเสียหาย สารอาหารภายในเซลล์จึงออกมาภายนอก ทำให้จุลินทรีย์ที่ผิวของผลไม้สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญและเพิ่มจำนวน (Azarakhsh et al., 2014) รูปที่ 2 แสดงผลของสูตรสารเคลือบต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แอโรบิกและยีสต์ราของมะละกอสดัดแต่งที่เก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส



^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

รูปที่ 2 ผลของสูตรสารเคลือบต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แอโรบิกและยีสต์ราของมะละกอสดัดแต่งที่เก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 2 พบว่าเมื่อเก็บรักษามะละกอสดัดแต่งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แอโรบิก และยีสต์ราของตัวอย่างที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจินตที่รวมอยู่กับน้ำมันสกัดยูจีนอล (สารเคลือบสูตรที่ 2) มีปริมาณเท่ากับ 3.73 log CFU/กรัม และ 0.9 log CFU/กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบ และตัวอย่างที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจินต (สารเคลือบสูตรที่ 1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงว่าน้ำมันสกัดยูจีนอลที่เติมลงในสูตรของสารเคลือบสูตรที่ 2 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และยีสต์ราได้ เนื่องจากน้ำมันสกัดยูจีนอลทำปฏิกิริยากับฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ซึ่งเป็น

ส่วนประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ของเชื้อจุลินทรีย์และยีสต์รา ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนและ ATP ทำให้สารต่าง ๆ ภายในเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ และยีสต์ราไหลออกสู่ภายนอกเซลล์ จึงทำให้เซลล์ตาย (Bevilacqua, 2010; Marchese et al., 2017; Oyedemi, et al., 2009; Walsh, et al., 2003) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัย Pavesi, et al. (2003) ที่ทดสอบฤทธิ์ของน้ำมันยูจีนอลที่สกัดจากกานพลูด้วย ไคคลอโรมีเทนต่อการยับยั้ง *Staphylococcus aureus* (แบคทีเรียแกรมบวก) *Escherichia coli* (แบคทีเรียแกรมลบ) และ *Candida albicans* (ยีสต์) พบว่าน้ำมันสกัดยูจีนอลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณต้านจุลินทรีย์ (inhibition zone) ระหว่าง 3.8-12.1 มิลลิเมตร ส่วนตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ใส่สารสกัดยูจีนอลไม่พบบริเวณต้านจุลินทรีย์ แสดงว่าน้ำมันสกัดยูจีนอลสามารถยับยั้ง *Staphylococcus aureus* *Escherichia coli* และ *Candida albicans* ได้ และพบว่ามะละกอสดัดแต่งที่ไม่เคลือบ (ตัวอย่างควบคุม) และตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 มีปริมาณจุลินทรีย์แอโรบิก ยีสต์และราไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้กำหนดปริมาณจุลินทรีย์ และยีสต์ราของผักและผลไม้สดแช่เย็นที่บรรจุในถาดโฟมหรือถุงพลาสติก จำนวนจุลินทรีย์ น้อยกว่า 1×10^6 CFU/กรัม จำนวนยีสต์ น้อยกว่า 1,000 CFU/กรัม และจำนวนรา น้อยกว่า 500 CFU/กรัม ตามลำดับ (Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health, 2017) จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณจุลินทรีย์แอโรบิกของมะละกอสดัดแต่งที่ไม่เคลือบและเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 วัน มีปริมาณตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ส่วนปริมาณยีสต์และราน้อยต่ำกว่าเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ดังนั้นอายุการเก็บรักษามะละกอสดัดแต่งที่ไม่เคลือบ เท่ากับ 12 วัน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส ส่วนตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2 มีปริมาณจุลินทรีย์แอโรบิก ยีสต์และราน้อยกว่าเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ดังนั้นอายุการเก็บรักษามะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรที่ 1 และ 2 มากกว่า 12 วัน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Azarakhsh et al. (2014) ที่ศึกษาผลของความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่รวมอยู่ในสารเคลือบโซเดียมอัลจินตของสับปะรดสดแช่เย็นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 วัน พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์ราได้ โดยยืดอายุการเก็บรักษาจาก 8 วันเป็น 16 วัน และงานวิจัยของ Sipahi et al. (2013) ที่ศึกษาผลของการเคลือบแดงโมสดัดแต่งด้วยสารเคลือบโซเดียมอัลจินตที่รวมอยู่กับทรานส์-ซินนามัลดีไฮด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าสารเคลือบโซเดียมอัลจินตที่รวมอยู่กับทรานส์-ซินนามัลดีไฮด์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ประเภทแอโรบิกไซโครโทรป โคลิฟอร์ม และยีสต์รา โดยยืดอายุการเก็บรักษาจาก 7 วัน เป็น 15 วัน

สรุปผลการทดลอง

1. ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่าความแน่นเนื้อของมะละกอสดัดแต่ง

อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย คือ สูตรของสารเคลือบและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก และค่าความแน่นเนื้อของมะละกอสดัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมะละกอสดัดแต่งที่มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุดและค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด คือ มะละกอสดัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรโซเดียมอัลจินเตที่มีและไม่มีน้ำมันสกลัดยูจีนอล โดยตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เคลือบมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดและค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด ดังนั้นการเคลือบสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและรักษาความแน่นเนื้อของมะละกอสดัดแต่งได้

2. ค่าสี

ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่า a^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยทุกทริทเมนต์ ค่า a^* ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น

3. คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างที่เคลือบ (เคลือบด้วยโซเดียมอัลจินเตที่ไม่มีและมีน้ำมันสกลัดยูจีนอล) มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ และสีมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตัวอย่างทุกทริทเมนต์มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นประมาณ 6 คะแนน แสดงว่าผู้ทดสอบชอบเล็กน้อย ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เคลือบทั้ง 2 สูตรผู้ทดสอบให้คะแนนด้านรสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรโซเดียมอัลจินเตที่มีและไม่มีน้ำมันสกลัดยูจีนอล มีคะแนนในด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แอโรบิกและยีสต์รา

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แอโรบิก และยีสต์ราของตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารเคลือบสูตรโซเดียมอัลจินเตที่มีน้ำมันสกลัดยูจีนอลต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เคลือบด้วยสูตรสารเคลือบโซเดียมอัลจินเต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงว่ามะละกที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจินเตที่มีน้ำมันสกลัดยูจีนอลสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มแอโรบิกและยีสต์ราระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 วัน ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทริทเมนต์อื่น

ดังนั้นสูตรสารเคลือบสำหรับเคลือบมะละกอสดัดแต่งที่ดีที่สุด คือ สูตรโซเดียมอัลจินเตที่มีน้ำมันสกลัดยูจีนอล เนื่องจากสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มแอโรบิกและยีสต์ราได้มีประสิทธิภาพที่สุด โดยสามารถรักษาสสมบัติด้านกายภาพระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสได้ดีที่สุด และผู้บริโภคยอมรับด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับทริทเมนต์อื่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ประจำปี 2562 เลขที่สัญญารับทุน 6243106 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Aimsamang, J. (1998). *Effect of combined application of microwave and chemicals on keeping quality of minimally processed sapodilla*. (M.D. thesis) Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H.M., Tan, C.P., & Adzahan, N.M. (2014). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.09.004>
- Bevilacqua, A., Corbo, M.R., & Sinigaglia, M. (2010). In vitro evaluation of the antimicrobial activity of eugenol, limonene, and citrus extract against bacteria and yeasts, representative of the spoiling microflora of fruit juices. *Journal of Food Protection*, 73(5), 888-894. doi: 10.4315/0362-028x-73.5.888
- Bellary, A.N., Indiramma, A.R., Prakash, M., Baskaran, R., & Rastogi, N.K. (2016). Anthocyanin infused watermelon rind and its stability during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 554-562. doi: 10.1016/j.ifset.2015.10.010
- Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health. (2017). *Notification of the Department of Medical Sciences: Microbiological criteria for food and food contact containers revision 3 B.E. 2560 (2017)*. Nonthaburi, Thailand: P2 Design & Print Publisher. Retrieved April 28, 2020, from <http://bqsf.dmsh.moph.go.th/bqsfWeb/wp-content/uploads/2017/Publish/e-book/micro-ISBN60.pdf>. (in Thai)
- Mantilla, N., Castell-Perez, M.E., Gomes, C.L., & Moreira, R.G. (2013). Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 37-43. doi: 10.1016/j.lwt.2012.10.010
- Marchese, A., Barbieri, R., Coppo, E., Orhan, I.E., Daglia, M., Nabavi, S.F., Izadi, M., Abdollahi, A., & Nabavi, S.M. (2017). Antimicrobial activity of eugenol and essential oils containing eugenol: A mechanistic viewpoint. *Critical Reviews in Microbiology*, 43(6), 1-22. doi: 10.1080/1040841X.2017.1295225

- Oyedemi, S.O., Okoh, A.I., Mabinya, L.V., Pirochenva, G., & Afolayan, A.J. (2009). The proposed mechanism of bactericidal of eugenol, α -terpineol and γ -terpinene against *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus pyogenes*, *Proteus vulgaris* and *Escherichia coli*. *African Journal of Biotechnology*, 8(7), 1280-1286. ISSN: 1684-5315
- Pavesi, C., Banks, L.A., & Hudaib, T. (2018). Antifungal and antibacterial activities of eugenol and non-polar extract of *Syzygium aromaticum* L. *Journal of Pharmaceutical Science and Research*, 10(2), 337-339. ISSN: 0975-1459
- Pérez-Gago, M.B., González-Aguilar, G.A. & Olivas, G.I. (2010). Edible coatings for fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review*, 6(3), 1-14. doi: 10.2212/spr.2010.3.4
- Sipahi, R.E., Castell-Perez, M.E., Moreira, R.G., Gomes, C.L., & Castillo, A. (2013). Improved multilayered antimicrobial alginate-based edible coating extends the shelf life of fresh-cut watermelon (*Citrullus lanatus*). *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 9-15. doi: 10.1016/j.lwt.2012.11.013
- Walsh, S.E., Maillard, J.Y., Russell, A.D., Catrenich, C.E., Charbonneau, D.L., & Bartolo, R.G. (2003). Activity and mechanisms of action of selected biocidal agents on Gram-positive and -negative bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 94(2), 240-7. doi: 10.1046/j.1365-2672.2003.01825.x.
- Wiley, R.C. (1994). *Minimally Processed Refrigerated Fruit and Vegetables*. New York: Chapman and Hall, Inc.
- Zhou, R., Su, S., Yan, L. & Li, Y. (2007). Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of Huanghua pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua). *Postharvest Biology and Technology*, 46(1), 20-28. doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.04.006