

AP58

ผลของชนิดและปริมาณไบโอพอลิเมอร์ต่อลักษณะเกาะติดของเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์มะขามแก้ว
(Influence of Biopolymer Types and Contents on Stickiness Behavior of Tamarind Paste)

สุพรรณณี คัมภีร์บุรณา*, กนกวรรณ เกียรติไทยยนต์ ธัญญาภรณ์ศิริเลิศ และณัฐริกา ศิลาฉาย*
Supannee Kampeeburana*, Kanokwan Kheatthaiyon, Tunyaporn Sirilert and Nattiga Silalai*
ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
*ผู้ประสานงานหลัก อีเมล: nattiga.sil@siam.edu

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการใช้น้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก มักพบปัญหาเรื่องความเหนียวและการเกาะติดกันเป็นก้อนที่ผิวของอาหาร เนื่องจากสมบัติการดูดความชื้นอย่างรวดเร็วของน้ำตาล ซึ่งผลิตภัณฑ์มะขามแก้วจัดเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีปัญหาการเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ที่มีสาเหตุมาจากการดูดซับน้ำของน้ำตาลทรายที่เป็นส่วนผสมหลัก สารไบโอพอลิเมอร์ เช่น สตาร์ช และมอลโตเดกซ์ตริน ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสและลดการเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้มีการเติมสารไบโอพอลิเมอร์ลงไปผสมในกระบวนการผลิต เพื่อลดการเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาการใช้มอลโตเดกซ์ตริน (Dextrose equivalent; DE-10) และแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตด้วยสัดส่วนต่างๆ โดยการดัดแปลงสูตรดั้งเดิมแล้วนำไปทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 5-Point hedonic scale พบว่า การเติมมอลโตเดกซ์ตรินและแป้งข้าวโพดส่งผลต่อคุณลักษณะและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะขามแก้วซึ่งผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสสามารถนำไปหาปริมาณสัดส่วนขององค์ประกอบที่ใช้ในการผลิตด้วยวิธี Mixture Design พบว่าสูตรที่ประกอบด้วยน้ำตาลทราย ($X_1 = 75-85\%$) : แป้งข้าวโพด ($X_2 = 10-15\%$) : มอลโตเดกซ์ตริน ($X_3 = 5-10\%$) เป็นสูตรที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเพื่อใช้ในการศึกษาผลของสารไบโอพอลิเมอร์ต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัส การเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ โดยการใช้ 5-hedonic scale ผลจากการวิเคราะห์ พบว่าสูตรที่ประกอบด้วยน้ำตาลทราย (82.5%) แป้งข้าวโพด (12.5%) และมอลโตเดกซ์ตริน (5%) มีเนื้อสัมผัสที่ดีและสามารถลดความเหนียวที่ผิวรวมถึงการเกาะติดกันได้ดีที่สุดในเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปศึกษาผลของสารไบโอพอลิเมอร์ต่อการระเหยน้ำของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการกวน (Drying curve) โดยให้ระดับความแรงของไฟคงที่ตลอดระยะเวลาในการกวน ทำการเปรียบเทียบกับสูตรดั้งเดิม พบว่า ปริมาณน้ำของสูตรที่มีการเติมสารไบโอพอลิเมอร์จะลดลงน้อยกว่าสูตรควบคุม ณ เวลาเดียวกัน โดยมีความชื้น 10.86% (w/w) ขณะที่สูตรควบคุมมีความชื้นเท่ากับ 17.01% (w/w) ซึ่งสอดคล้องกับค่า Water activity ของสูตรที่มีการเติมสารไบโอพอลิเมอร์และสูตรควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 0.53 ± 0.14 และ 0.63 ± 0.39 ตามลำดับชี้ให้เห็นว่าสารไบโอพอลิเมอร์ที่เติมลงไปมีผลช่วยในการอุ้มน้ำไว้ภายในโครงสร้างเพื่อลดการสูญเสียน้ำออกมาที่ผิวระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา

คำสำคัญ: มะขาม การเกาะติดกัน มอลโตเดกซ์ตริน แป้งข้าวโพด

Abstract

Stickiness and adhesion at particle surfaces are often found in sugar-rich foods due to hygroscopic properties of sugar. Sugar, is a main ingredient in tamarind candy, causes stickiness problem at surface. Biopolymer such as starch and maltodextrin have been used extensively to improve texture and reduce the adhesion characteristics of the products. In this study, biopolymers (maltodextrin DE-10 and corn starch) were used to add with different ratios into the products during the process to reduce surface stickiness of Tamarind candy product. All samples were evaluated by panelists using the 5-Point hedonic scale. Proportion of the components used in the process was determined by Mixture Design Method, which indicated 4 formula consisting of sugar ($X_1 = 75-85\%$) : corn ($X_2 = 10-15\%$) : maltodextrin ($X_3 = 5-10\%$). These levels of components were used to study effect of biopolymer on appearance, color, texture and overall acceptability of product with 5-Point hedonic scale again. In the present study, it indicated that a proportion of sugar : corn flour : maltodextrin (82.5% : 12.5% : 5%) was the best formula used for production and compared to control group. Then, the best formula was used to study drying curve (loss of moisture content) during the process. Moisture content and water activity (a_w) of sample and control samples decreased significantly during heating; however, moisture content and a_w of the treatment were lower than the control at the same time of heating. Moisture content of the treatment was 10.86% (w/w), while moisture

content of the control was 17.01% (w/w). This was agreed with the a_w results. The a_w of the treatment and the control was 0.53 ± 0.14 0.63 ± 0.39 , respectively. Therefore, addition biopolymers such corn flour and maltodextrin could increase water holding capacity resulting in a decrease of moisture loss on particle surface of products during processing and storage.

Keywords: Tamarind; Stickiness; Maltodextrin; Corn flour

บทนำ

มะขาม เป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Tamarindus indica* L. มีต้นกำเนิดในทวีปแอฟริกา ต่อมามีการนำเข้ามาปลูกในแถบเอเชียรวมทั้งไทยด้วยมะขามมีหลายชนิดคือ มะขามหวานและมะขามเปรี้ยวมะขามมีลักษณะรูปร่างยาวหรือโค้งงอเปลือกหนา ขณะยังอ่อนจะมีสีน้ำตาลปนเขียว เมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลอมเทา ข้างในผลมีเนื้อเยื่อ เนื้อมะขามมีรสเปรี้ยว เมล็ดเมื่อยังอ่อนจะมีสีเขียว และเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลจนถึงดำ องค์ประกอบทางเคมีของมะขามประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามินซี วิตามินบี1 วิตามินบี2 วิตามินบี4 และวิตามินบี6 ประโยชน์ของมะขามเปรี้ยวคือ สามารถนำไปทำเป็นยาระบายหรือเครื่องสำอางค์บำรุงผิว และนิยมนำมาเป็นส่วนผสมของอาหารคาว รวมทั้งนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเช่น มะขามแก้ว มะขามแฉะ น้ำมะขาม ลูกอมรสมะขาม มะขามผง เป็นต้น ซึ่งการแปรรูปผลิตภัณฑ์มะขามเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรและสร้างรายได้ให้กับชุมชน รวมทั้งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากน้ำตาลมีคุณสมบัติในการลด a_w ซึ่งช่วยชะลอการเสื่อมเสีย อันเนื่องมาจากการเจริญของจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตาม อาหารประเภทนี้สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของน้ำตาลได้ในระหว่างการเก็บรักษา เช่น การเกาะติดกันระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือผลิตภัณฑ์กับบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากส่วนผสมที่เป็นน้ำตาลที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นสูงหรือเรียกว่าเป็น Hygroscopic material ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาอาหารประเภทนี้โดยองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมะขาม เช่น fructose glucose และ tartaric acid ส่งผลต่อการเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิตและเก็บรักษา อันเนื่องมาจากค่าที่ต่ำของ Glass transition temperature (T_g) ขององค์ประกอบเหล่านี้ จึงส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มะขาม ซึ่งการเติมสารไปโอพอลิเมอร์ เช่น มอลโตเด็คทรีน สตาร์ช โปรตีน เป็นต้น จะช่วยลดการเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ที่น้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูงได้

การเกาะกันเป็นก้อนของอาหารเกิดจาก adhesion และ cohesion จะนำไปสู่ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “stickiness and caking phenomena” ซึ่งมักจะเกิดกับผลิตภัณฑ์อาหารแบบ amorphous เช่น อาหารประเภทผง ทั้ง Stickiness และ Caking ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง กลิ่น รส ที่เปลี่ยนไปจากเดิม และการสูญเสียการไหลทำให้แบบอิสระไป ปัจจัยในการเกาะติดกัน ได้แก่ ความร้อนและความชื้น ทำให้น้ำในอนุภาคเกิดการระเหยและเกิดการควบแน่นบริเวณผิวของอนุภาคทำให้ผิวของอนุภาคมีลักษณะขึ้นแฉะส่งผลให้อนุภาคที่อยู่ติดกันหรือใกล้เคียงกันนั้นเกาะติดกันได้ง่ายขึ้น บริเวณที่เกิดการเกาะติดกันมีลักษณะขึ้นจะเรียกว่า “liquid bridge” (โครงสร้างบริเวณนี้จะมีลักษณะนูนขึ้นมาจากอนุภาคเดิม) บริเวณนี้จะมีแรงดันไอสูงทำให้เกิดการถ่ายเทระหว่างอนุภาคในรูปของแก๊ส และอาจมีการแพร่ระหว่างโมเลกุล เรียกว่า “sintering” บริเวณข้างบนและข้างล่างจุดที่สัมผัสกันระหว่างโมเลกุลจะมีแรงดันไอต่ำ (โครงสร้างบริเวณนี้จะมีลักษณะเว้าจากอนุภาคเดิม) เป็นบริเวณที่เกิดการควบแน่นมากทำให้เกิด liquid bridge เพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นการทำให้โครงสร้างเดิมเสียหายมากขึ้น ในขณะที่อนุภาคอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงผิวหน้าของอนุภาคเกิดการขึ้นแฉะเนื่องจากอนุภาคจะดูดความชื้น ส่งผลให้อนุภาคที่อยู่ติดกันหรือใกล้เคียงกันนั้นเกาะติดกันได้ง่ายขึ้น บริเวณของเหลวที่เชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาค คือ liquid bridge ขนาดของ liquid bridge จะขึ้นกับการดูดความชื้นของอนุภาค อนุภาคได้รับความชื้นจะทำให้ผิวของอนุภาคมีลักษณะเหนียวเมื่อถึงจุดหนึ่งถ้าอนุภาคนั้นได้รับความชื้นอยู่จะทำให้ความหนืดลดลง บริเวณที่เชื่อมต่อกันจะไม่เสถียร (อนุภาคจะแยกออกกันง่ายขึ้น) บริเวณ liquid bridge จะเกิด sintering ระหว่างอนุภาคเช่นเดียวกันกับเกิดในสภาวะที่มีความร้อนสูง (Adhikari et al., 2009) นอกจากนี้แล้วยังส่งผลต่อ Glass Transition Temperature (T_g) ของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากน้ำจะทำให้ Glass Transition Temperature ของต่ำลงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดลักษณะคล้ายยางง่ายขึ้น (rubbery state) (Roos, 2010) โดยเฉพาะอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำตาลสูงเนื่องอันเนื่องมาจากสมบัติ hygroscopic ของน้ำตาล โดย Adhikari และคณะ (2009) พบว่า เมื่อมีการผสมสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน (Sodiumcaseinate; Na-Cas และ Whey Protein Isolate; WPI) ช่วยลดการเกาะติดกันของน้ำตาลผงในการทำ spray drying เช่นเดียวกับการทดลองของ Jayasundera และคณะ (2011) ที่พบว่า โปรตีน Sodium caseinate ช่วยในการเพิ่มปริมาณผลผลิตของการทำน้ำตาลผงที่ผ่านการทำ Spray dry ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ (Fang and Bhandari, 2012; Wang, et al., 2013) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงสนใจที่ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาพฤติกรรมเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์มะขามด้วยการเติมองค์ประกอบของของแข็ง เช่น แป้งข้าวโพดและมอลโตเด็คทรีนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาอิทธิพลของของแข็งที่มีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะขามแก้ว

1.1 การเตรียมตัวอย่างและกระบวนการผลิต

ผสมเนื้อมะขาม 100 กรัม น้ำเปล่า 100 มิลลิลิตรนำไปปั่นด้วยความเร็วระดับที่ 1 เป็นเวลา 30 วินาที แบ่งตัวอย่างไปวัด pH ของเนื้อมะขามเริ่มต้นจากนั้นเติมสารไปโอพอลิเมอร์ตามอัตราส่วน (ตารางที่ 1) ตามด้วยน้ำเปล่า 300 มิลลิลิตร แล้วปั่น ผสมเป็น 3 นาทีและไฮโมจิไนเซอร์เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปกวนในกระทะทองเหลืองด้วยไฟอ่อนๆ เป็นเวลา 70 นาทีทิ้งให้เย็นปั่นขึ้นรูปให้เป็นเม็ดกลม

ตารางที่ 1 ปริมาณสัดส่วนของแข็งที่ใช้ในการผลิตมะขามแก้ว

| สูตร | ปริมาณร้อยละ | | |
|------------|--------------|-------------|-----------------|
| | น้ำตาลทราย | แป้งข้าวโพด | มอลโตเด็กซ์ตริน |
| สูตรควบคุม | 100 | - | - |
| สูตรที่ 1 | 85 | 15 | - |
| สูตรที่ 2 | 85 | 10 | 5 |
| สูตรที่ 3 | 80 | 15 | 5 |
| สูตรที่ 4 | 80 | 10 | 10 |
| สูตรที่ 5 | 75 | 15 | 10 |
| สูตรที่ 6 | 75 | 10 | 15 |

1.2 การประเมินความชอบด้วย 5-point hedonic scale โดยผู้ประเมินจำนวน 30 คน

ตัวอย่างทั้ง 7 ตัว จะถูกนำมาให้ผู้ทดสอบชิมทีละ 1 ตัวอย่าง เพื่อประเมินลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน คือ ชอบมาก = 5 ชอบ = 4 เฉยๆ = 3 ไม่ชอบ = 2 และไม่ชอบมาก = 1

2. การคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดที่เหมาะสมด้วยวิธี Mixture Design

จากผลิตภัณฑ์ข้างต้น สามารถคัดเลือกได้ 4 สูตร ด้วยวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส เพื่อนำมากำหนดช่วงปริมาณมากที่สุดและน้อยที่สุดของ 3 ส่วนประกอบหลัก ดังนี้

- 1) ปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 75 ถึง 85
- 2) ปริมาณแป้งข้าวโพดร้อยละ 10 ถึง 15
- 3) ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 5 ถึง 10

จากนั้น นำช่วงของปริมาณทั้ง 3 ส่วนประกอบ (น้ำตาลทราย แป้งข้าวโพด และมอลโตเด็กซ์ตริน) ใส่ลงในโดอะแกรม แล้วพิจารณาคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดในบริเวณที่ช่วงปริมาณของ 3 ส่วนประกอบที่ซ้อนทับกันมา 1 สูตร

3. ศึกษาจลนพลศาสตร์ของผลิตภัณฑ์มะขามแก้ว

3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์มะขามแก้วด้วยวิธีที่ดัดแปลงจาก (AOAC, 2000)

นำถ้วยหาความชื้น (moisture can) ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2-3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและนำไปอบซ้ำจนพบว่าน้ำหนักแตกต่างกันไม่เกินช่วง 0.01-0.03 กรัม แล้วจึงนำตัวอย่างใส่ลงไปด้วยน้ำหนัก 1-2 กรัม จากนั้นนำอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5-6 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและนำไปอบซ้ำเป็นเวลา 30 นาที จนพบว่า น้ำหนักแตกต่างกันไม่เกินช่วง 0.01-0.03 กรัม จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณร้อยละปริมาณความชื้นด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

3.2 วิธีการวิเคราะห์ค่า Water activity

นำตัวอย่างบรรจุลงในถ้วยพลาสติกสำหรับการวิเคราะห์โดยต้องทำให้ผิวหน้าของตัวอย่างเรียบสม่ำเสมอจากนั้นนำเข้าเครื่อง AQUA LAB Series 3 TE บันทึกค่า Water activity ที่วิเคราะห์ได้

4.ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของมะขามและผลิตภัณฑ์มะขาม

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl

ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงใน Kjeldahl digestion flask เติมคตะลิสต์ 1 เม็ด และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อย (BUCHI Labortechnik AG, K-415, Flawil, Switzerland) ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่น (BUCHI Distillation Unit, K-314) โดยขณะกลั่นให้เติมตัวบ่งชี้ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% (w/w) ให้มากเกินพอ นำสารละลายบอริกซ์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator) จำนวน 2 หยด แล้วนำไปปรับของเหลวที่กลั่นมาได้ จนมีปริมาตรรวม 150 มิลลิลิตร จากนั้น นำไปไตเตรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู จุดบันทึกผลและคำนวณหาร้อยละปริมาณโปรตีนด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณโปรตีน} = \frac{[(Vb - Va) \times N \times 14 \times DF \times Cf]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times 1000} \times 100$$

- โดยที่
- Va = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไตเตรต Blank
 - Vb = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไตเตรตของตัวอย่าง
 - N = นอร์มัลของ HCl
 - 14 = น้ำหนักโมเลกุลของไนโตรเจน
 - DF = Dilution factor
 - Cf = Conversion factor (สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน= 6.25)

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 1990)

เผาถ้วย Crucible ในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งและจุดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ซึ่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัมลงในCrucibleเผาตัวอย่างจนไม่มีควันด้วย Hot plate ในตู้ดูดควัน แล้วนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500-550°C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาปริมาณเถ้าทั้งหมดในตัวอย่างด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้าทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

4.3 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยการคำนวณ

$$\text{ร้อยละปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด} = 100 - (\text{ร้อยละความชื้น} + \text{ร้อยละไขมัน} + \text{ร้อยละโปรตีน} + \text{ร้อยละเถ้า})$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของของแข็งที่มีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะขามแก้ว

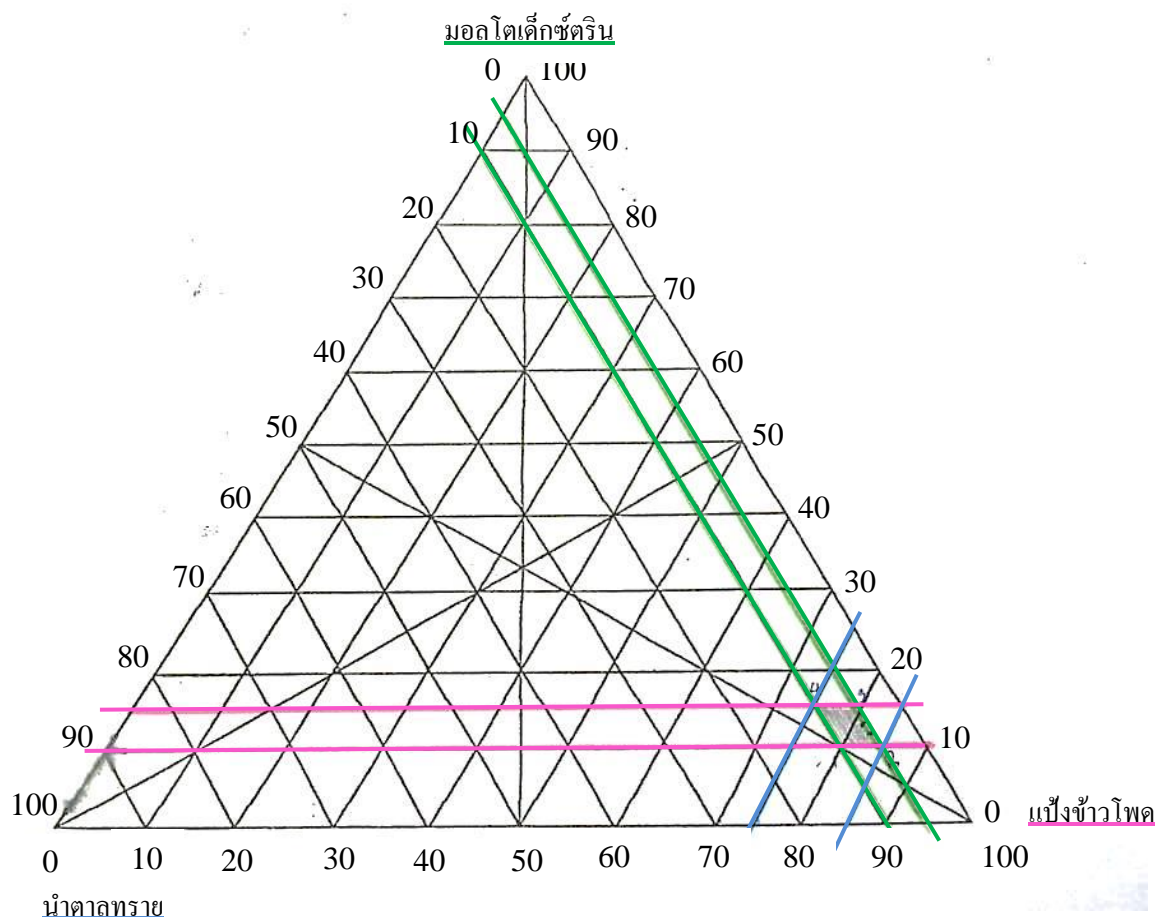
จากการทดลองทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 5-point hedonic scale พบว่า ผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะขามในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของสูตรควบคุมและสูตรต่างๆ ดังในตารางที่ 2 โดยสูตรควบคุม มีลักษณะปรากฏแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในขณะที่สูตรอื่นๆไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนั้นในด้านเนื้อสัมผัส สูตรที่ 2 3 4 และ 5 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับสูตรควบคุมสูตรที่ 1 และ 6 (p<0.05) อย่างไรก็ตามดูเหมือนว่า ผลทางประสาทสัมผัสด้านสีของสูตรควบคุมและสูตรต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามความชอบโดยรวมของตัวอย่างที่ผลิต พบว่า สูตรที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ สูตรที่ 5 รองลงมาคือ สูตรที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะขามด้วยวิธี 5-point hedonic scale

| คุณลักษณะ | สูตร ควบคุม | สูตรที่ 1 | สูตรที่ 2 | สูตรที่ 3 | สูตรที่ 4 | สูตรที่ 5 | สูตรที่ 6 |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| ลักษณะปรากฏ | 2.83 ^d | 3.27 ^{bc} | 3.63 ^{ab} | 3.00 ^{cd} | 3.47 ^{ab} | 3.80 ^a | 3.87 ^a |
| สี | 3.81 ^{ab} | 3.77 ^{ab} | 3.80 ^{ab} | 3.50 ^b | 3.63 ^{ab} | 4.03 ^a | 3.93 ^{ab} |
| กลิ่นรส | 3.67 ^{ab} | 3.57 ^b | 3.47 ^b | 2.90 ^c | 3.03 ^c | 4.03 ^a | 3.50 ^b |
| รสชาติ | 3.60 ^a | 3.83 ^a | 3.70 ^a | 2.37 ^b | 2.87 ^b | 3.97 ^a | 3.60 ^a |
| เนื้อสัมผัส | 2.57 ^{cd} | 2.07 ^d | 3.73 ^a | 3.03 ^{bc} | 3.40 ^{ab} | 3.63 ^a | 2.50 ^{cd} |
| ความชอบโดยรวม | 3.27 ^{bc} | 2.37 ^d | 3.77 ^a | 3.67 ^{ab} | 3.67 ^{ab} | 4.00 ^a | 2.87 ^c |

2. สูตรที่เหมาะสมในการผลิตมะขามแก้ว โดยใช้วิธี Mixture Design

จากผลการประเมินประสาทสัมผัสสำหรับตัวอย่างทั้ง 7 สูตร โดยใช้ 5-point hedonic scale พบว่า สูตรที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่ามีอยู่ 4 สูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม คือ สูตร 2 เท่ากับ 85 : 10 : 5 (น้ำตาลทราย : แป้งข้าวโพด : มอลโตเด็กซ์ตริน) สูตร 3 เท่ากับ 80 : 15 : 5 สูตร 4 เท่ากับ 80 : 10 : 10 และสูตร 5 เท่ากับ 75 : 15 : 10 ตามลำดับ จากนั้นนำค่าทั้ง 4 ได้นำมาคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ไดอะแกรมสามเหลี่ยมของ Mixture design (ดังรูปที่ 1)

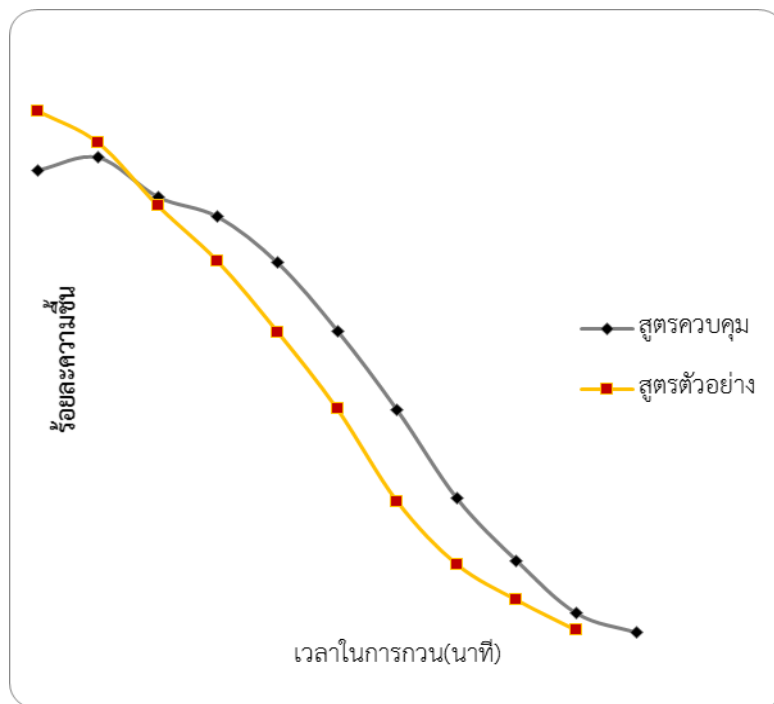


รูปที่ 1 แสดงการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมของของแข็งที่ใช้ในการผลิตมะขาม โดยใช้ Mixture design

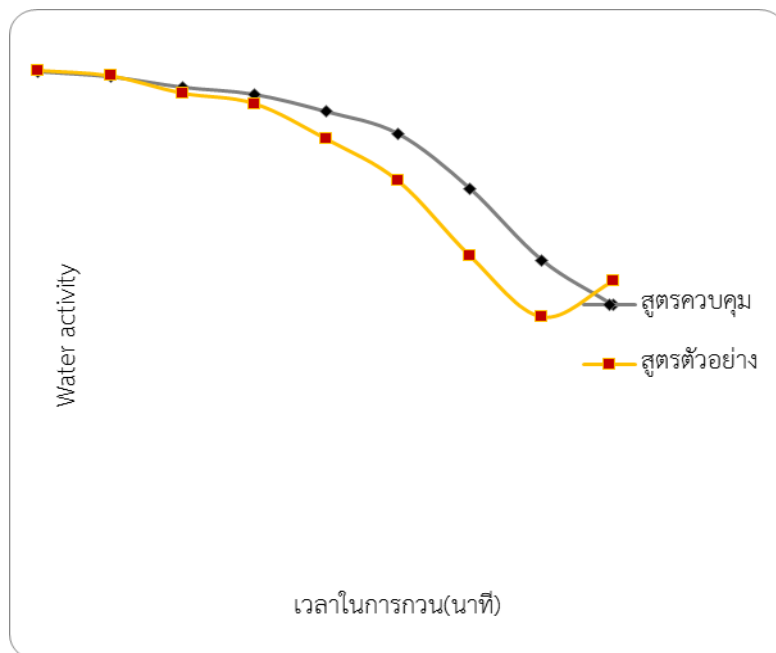
จากไดอะแกรมสามเหลี่ยม Mixture design (รูปที่ 1) พบว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการคัดเลือก ประกอบด้วยอัตราส่วนของ น้ำตาลทราย : แป้งข้าวโพด : มอลโตเด็ทซ์ทริน เท่ากับ 82.5 : 12.5 : 5

3. ผลจลนพลศาสตร์ของผลิตภัณฑ์มะขามแก้ว

ผลิตภัณฑ์มะขามที่ผลิตมาจากสูตรที่คัดเลือกได้และสูตรควบคุม จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติจลนพลศาสตร์ของผลิตภัณฑ์มะขาม โดยพบว่าปริมาณความชื้นเมื่อระยะเวลาในการกวนเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความชื้นของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยสูตรตัวอย่างที่มีการเพิ่มสารไบโอพอลิเมอร์มีอัตราการสูญเสียปริมาณน้ำน้อยกว่าสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมสารไบโอพอลิเมอร์ที่เวลาเดียวกัน (รูปที่ 2) ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการอุ้มน้ำของสารมอลโตเด็ทซ์ทรินและแป้งข้าวโพด ที่อาจจะจับโมเลกุลของน้ำให้อยู่ในรูปของ bound water (Silalai and Roos, 2010) ทำให้ปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์เหลืออยู่น้อยกว่าสูตรควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่า Water activity ที่แสดงถึงปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 3) พบว่า ค่า Water activity มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการกวนเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถเริ่มสังเกตเห็นว่าสูตรตัวอย่างมีค่า water activity น้อยกว่าสูตรควบคุม ที่เวลา 40 นาที เป็นต้นไป และเป็นไปได้ว่าที่เวลา 80 นาที ผลิตภัณฑ์จากสูตรตัวอย่างอาจจะมีการดูดความชื้นกลับเข้าสู่ผลิตภัณฑ์เนื่องจากการปรับความสมดุลระหว่างความชื้นของผลิตภัณฑ์กับความชื้นในบรรยากาศ (Roos, 1993) นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาในการกวนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดีของสูตรควบคุมและสูตรตัวอย่าง คือ เวลาในการกวนนาน 75 นาที และ 65 นาที ตามลำดับ แต่สำหรับการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางเคมีการภาพได้กำหนดให้ระยะเวลาในการกวนเท่ากับ 70 นาทีของทั้งสองสูตรเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่า ณ ปริมาณความชื้นเท่ากัน เวลาที่ใช้ในการกวนผลิตภัณฑ์มะขามสูตรตัวอย่าง จะใช้เวลาสั้นกว่าสูตรควบคุม ซึ่งระยะเวลาในการกวนนั้นอาจส่งผลต่อสีและลักษณะปรากฏของตัวอย่างได้ อันเนื่องมาจากการไหม้และการสูญเสียน้ำไประหว่างการกวน ซึ่งการเติมแป้งข้าวโพดและมอลโตเด็ทซ์ทรินจะช่วยในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างผลิตภัณฑ์มะขาม (Roos and Silalai, 2011)



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้นและเวลาในการกวน (นาที) ของตัวอย่างมะขามแก้ว



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Water activity กับเวลาในการกวน (นาท)

4. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของมะขามและผลิตภัณฑ์มะขาม

องค์ประกอบทางเคมีของมะขามวิเคราะห์โดยวิธี AOAC (2000) แสดงในตารางที่ 3 พบว่า มะขามสดประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 32.98 เมื่อนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์มะขาม พบว่าสูตรควบคุมมีความชื้นประมาณร้อยละ 17.07 และสูตรตัวอย่างมีความชื้นร้อยละ 10.86 ซึ่งชี้ให้เห็นได้ว่าการเติมสารประกอบไบโอพอลิเมอร์อย่างแป้งข้าวโพดและมอลโตเด็กซ์ทริน จะช่วยลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะสอดคล้องกับผลจลนพลศาสตร์ของผลิตภัณฑ์มะขามแก้ว ที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ในสูตรตัวอย่างต่ำกว่าสูตรควบคุม เวลาในการกวนจุดเดียวกัน (20-90 นาที)

ตารางที่ 3 แสดงร้อยละปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของมะขามและผลิตภัณฑ์มะขาม

| ตัวอย่าง | ร้อยละองค์ประกอบทางเคมี | | | | |
|--------------|-------------------------|-------------|-------|-------------|---------------|
| | ปริมาณความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | คาร์โบไฮเดรต* |
| มะขามสด | 32.98 ± 0.23 | 0.70 ± 0.19 | n/a | 2.71 ± 0.16 | 63.62 |
| สูตรควบคุม | 17.07 ± 0.39 | 0.21 ± 0.08 | n/a | 0.84 ± 0.07 | 81.88 |
| สูตรตัวอย่าง | 10.86 ± 0.14 | 0.43 ± 0.01 | n/a | 0.77 ± 0.14 | 87.94 |

หมายเหตุ : n/a คือ non applicable

*คาร์โบไฮเดรต ได้จากการคำนวณ = 100 - (ปริมาณความชื้น + โปรตีน + ไขมัน + เถ้า)

สรุปผลการทดลอง

การเติมสารไบโอพอลิเมอร์ (มอลโตเด็กซ์ทรินและแป้งข้าวโพด) สามารถลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์มะขามแก้วและยังช่วยลดระยะเวลาในการกวน ทำให้ผลิตภัณฑ์มะขามแก้วมีลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B.R., Langrish, T.A.G. 2009. Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. Journal of Food Engineering, 94, 144-153.
- Fang, Z., Bhandari, B. 2012. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. Food Research International, 48, 478-483.

3. Jayasundera, M., Adhikari, B., Adhikari, R., Aldred, P. 2011. The effects of proteins and low molecular weight surfactants on spray drying of model sugarrich foods: powder production and characterisation. *Journal of Food Engineering*, 104(2), 259–271.
4. Roos Y.H. (1993). Water activity and physical state effects on amorphous food stability. *Journal of Food Processing and Preservatives* 16: 433-447.
5. Roos, Y.H. (2010). Glass transition temperature and its relevance in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology* 1: 469-496.
6. Roos, Y.H., Silalai, N. (2011). Glass Transitions: Opportunities and Challenges. In: *Food Engineering Interfaces*, Aguilera, J.M. ; Barbosa-Canovas, G.; Simpson, R.; Welti-Chanes, J.; Bermudez-Aguirre, D. (Eds.), 693 p. Springer Science+Business Media: New York, USA.
7. Silalai, N., Roos, Y.H. 2010. Roles of water and solids composition in the control of glass transition and stickiness of milk powders. *Journal of Food Science* 75(5): E285-E296.
8. Wang, W., Jiang, Y., Zhou. W. 2013. Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. *Journal of Food Engineering*, 724-730.