



# การปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของเจลอินูลินด้วยกระบวนการ โฮโมจิไนซ์เซชันเพื่อใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้ก

ศุภรัตน์ คงวรรณ\*, ศรีนรัตน์ ไวเดชา และปาริฉัตร ตรีพัฒน์

## Modification of Physical Properties of Inulin Gel with Homogenization for Using as a Fat Replacement in Butter Cake Product

Surathanan Kongwan\*, Sarinrat Waidecha and Parichat Teepat

ภาควิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
วิทยาเขตปราจีนบุรี อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี 25230

Department of Innovation and Product Development Technology, Faculty of Agro-industry, King Mongkut's University of  
Technology North Bangkok Prachinburi Campus, Muang, Prachinburi 25230

\* Corresponding author. E-mail address: Surathanan.K@agro.kmutnb.ac.th

Received: 22 July 2016; Accepted: 18 October 2016

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันต่อลักษณะทางกายภาพของเจลอินูลินร่วมกับศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำเจลอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้ก โดยเริ่มจากวางแผนการทดลองแบบกลุ่มสมบูรณ์ในการศึกษาผลของความเร็วยกในกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันต่อลักษณะทางกายภาพของสารละลายอินูลินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็ว 0(H1), 5,000(H2) และ 10,000(H3) รอบต่อนาที และเก็บที่อุณหภูมิ 10±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการศึกษพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วยกในการโฮโมจิไนซ์เซชันเจลอินูลินมีขนาดอนุภาคที่เล็กลงและมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความหนืดและค่าความแข็งของเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) จากนั้นศึกษาโดยการจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x3 ในแผนการทดลองแบบกลุ่มสมบูรณ์ ต่อการนำเจลอินูลินมาใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้ก ปัจจัยที่ 1 ได้แก่ สารละลายอินูลินความเข้มข้น ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็ว 0(H1), 5,000(H2) และ 10,000(H3) รอบต่อนาที ร่วมกับปัจจัยที่ 2 ได้แก่ อัตราส่วนการใช้เจลอินูลินทดแทนไขมันที่ร้อยละ 50(E1), 75(E2) และ 100(E3) โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนด้วยเจลอินูลินที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็วยกที่สูงขึ้น (E1H1, E1H2, E1H3, E2H1, E2H2, E2H3, E3H1, E3H2, E3H3) ส่วนผสมของเบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบ มีค่าความหนืด และค่าความคงตัวของอิมัลชันที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้คุณภาพเบตเตอร์เค้ก (Butter Cake) มีค่าเนื้อสัมผัสด้านแข็ง (Hardness) ความสามารถในการเคี้ยว (Chewiness) และการเกาะรวมตัว (Cohesiveness) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการสปริงตัว (Springiness) และปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ส่งผลให้ผู้บริโภคมีคะแนนความชอบโดยรวมในผลิตภัณฑ์ลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าการนำเจล อินูลินที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที มาทดแทนไขมันที่ร้อยละ 50 (E1H2) จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เบตเตอร์เค้กที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สูตรควบคุม

คำสำคัญ: เจลอินูลิน โฮโมจิไนซ์เซชัน สารทดแทนไขมัน เบตเตอร์เค้ก

### Abstract

The objective of this research were to study the effect of homogenization on physical properties of inulin gel and to determine the optimum ratio of inulin gel as fat replacement in butter cake. The experiment was conducted in completely randomized design (CRD) to study the effect of various level of homogenization speed at 0(H1), 5,000(H2), 10,000(H3) rpm on physical properties of 20% (w/w) inulin solution at storage temperature at 10±1 °C for 24 hour. The results indicated that the particle size of inulin gel decreased and specific surface area increased when speed of homogenization increased. As a result, lightness ( $L^*$ ), viscosity and gel strength of inulin gel significantly increased ( $P<0.05$ ). Then, the experiment was conducted by 3x3 full factorial in completely randomized design (CRD) to study the effect of speed of homogenization of 20% w/w inulin solution at 0(H1), 5,000(H2), 10,000(H3) rpm and storage temperature at 10±1 °C for 24 hour and the effect of replacement ratio of

inulin gel at 50%(E1), 75%(E2) and 100%(E3) w/w. The results showed that increase in replacement ratio inulin gel (E1H1, E1H2, E1H3, E2H1, E2H2, E2H3, E3H1, E3H2 and E3H3) resulted in inversing viscosity and emulsion stability of cake batters. Moreover hardness, chewiness and cohesiveness of butter cake increased with replacement ratio of inulin gel, while springiness and specific volume of butter cake significantly decreased ( $P \leq 0.05$ ). Sensory analysis showed that overall liking scale of consumers in the product decreased with increasing replacement ratio of inulin gel. However, using inulin gel homogenized at speed of 5,000 rpm at 50% of fat replacement (E1H2) gave a similar qualities of butter cake compared to the control product.

**Keywords:** Inulin gel, Homogenization, Fat replacer, Butter Cake

## บทนำ

อินูลิน จัดอยู่ในประเภทของคาร์โบไฮเดรตที่พบในพืช โดยจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลฟรุกโตส 2-60 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะบีตา 2-1 ไกลโคซิดิก และที่บริเวณปลายของสายฟรุกแทนประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุลเชื่อมต่อกับสายฟรุกแทนด้วยพันธะแอลฟา 2-1 ไกลโคซิดิก (Niness, 1999) อินูลินมีคุณสมบัติเมื่อรวมกับน้ำจะสามารถสร้างเนื้อสัมผัสและความรู้สึกในปากเหมือนอาหารที่มีไขมัน เป็นส่วนประกอบหลัก (Kim & Wang, 2001) ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ (Mendoza, Garcia, Casas, & Selgas, 2001) ผลิตภัณฑ์นม (Ipsen, Otte, Lozahic, & Qvist, 2001) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ถือเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีการนำอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้อายุการใช้งานสูง อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์เค้ก (García, Sahi, & Hernando, 2014; Garcia, Puig, Salvador, & Hernando, 2012; Psimouli & Oreopoulou, 2013; Zahn, Pepke, & Pohm, 2010) ผลิตภัณฑ์บิสกิต (Garcia, Laguna, Pugi, Salvador, & Hernando, 2013; Lourencetti, Benossi, Marques, Joia, & Monteiro, 2013) และผลิตภัณฑ์คุกกี้ (Zbikowska & Rutkowska, 2008; Giarnetti, Paradiso, Caponio, Summo, & Pasqualone, 2015) สำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้น ถึงแม้จะมีงานวิจัยที่ศึกษาการทดแทนไขมันด้วยอินูลินแล้วก็ตาม แต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นเพียงการนำอินูลินมาใช้โดยศึกษาความเข้มข้นและการเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ทั้งนี้ยังขาดในส่วนงานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของเจลอินูลิน

อันเป็นผลมาจากสภาวะการเตรียมต่ออัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้อินูลินเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เค้ก จึงเป็นผลให้การทดลองที่ได้ส่วนใหญ่สามารถทดแทนไขมันด้วยอินูลินได้ในอัตราส่วนที่ต่ำ เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์เค้กคือ ต้องการเนื้อสัมผัสที่นุ่ม พู เบา อันเป็นผลมาจากการที่ไขมันกักเก็บอากาศในระหว่างกระบวนการตีผสม ดังนั้นสารทดแทนไขมันรวมถึงอัตราส่วนที่ใช้ต้องสามารถที่จะคงลักษณะเนื้อสัมผัสดังกล่าวของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ซึ่งจากการค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยเบื้องต้น พบว่าการนำอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพนั้นอาจต้องพิจารณาหลายส่วนประกอบกัน เช่น ความยาวของสาย ความเข้มข้น และวิธีการเตรียม (Ronkart et al., 2010) โดยจากการศึกษาของ (Franck & De Leenheer, 2005) พบว่า การเตรียมอินูลินที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นสารทดแทนไขมันควรอยู่ในรูปของเจล ซึ่งต้องใช้อินูลินความยาวของสายมากกว่า 23 และความเข้มข้นมากกว่า ร้อยละ 15 นำมาผ่านความร้อนและลดอุณหภูมิจะเกิดการเกาะกันเป็นโครงข่ายของเจล ส่งผลให้เกิดลักษณะปรากฏที่มีสีขาวขุ่นคล้ายครีม (Roberfroid, 1993) แต่ทั้งนี้ พบว่าการเตรียมเจลอินูลินด้วยวิธีดังกล่าวอาจยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นสารทดแทนไขมัน เนื่องจากเนื้อเจลที่เกิดขึ้นมาจากการเกาะกันเป็นโครงข่ายเท่านั้น ซึ่งขนาดอนุภาคของเจลยังคงมีขนาดใหญ่ จึงทำให้เนื้อสัมผัสของเจลไม่เรียบเนียนซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ (Franck, 2002) ได้แนะนำวิธีการเตรียมเจลอินูลินเพื่อให้มีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนโดยอาจต้องนำมาผ่านกระบวนการเพื่อทำให้ขนาดอนุภาคของเจลมีขนาดเล็กลง เช่น การผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง หรือการโฮโมจิไนซ์เซชัน ซึ่งมีงานวิจัยที่สนับสนุนข้อมูลดังกล่าวได้แก่ (Ronkart et al., 2010) ได้นำสารละลายอินูลินที่



มีความเข้มข้น ร้อยละ 2, 7 และ 15 นำมาผ่านเครื่องลดขนาดอนุภาค (Microfluidizer) ที่ความดัน 30 เมกะพาสคาล พบว่าทุกระดับความเข้มข้นเจลอิโนลินมีขนาดอนุภาคที่เล็กลง มีความหนืดและความคงตัวที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้น ร้อยละ 15 ให้ลักษณะเนื้อเจลเรียบเนียนคล้ายมาร์การีน ซึ่งสอดคล้องกับ (Sabatel, Maranon, & Arboleya, 2015) ได้ศึกษาการเตรียมเจลอิโนลินที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 6, 9 และ 12 โดยนำมาผ่านความดันที่ระดับ 103, 207 และ 296 เมกะพาสคาล พบว่า ความดันสูงสามารถเปลี่ยนสารละลายอิโนลินความเข้มข้นต่ำให้กลายเป็นเจลอิโนลินที่มีความคงตัวที่เพิ่มมากขึ้นและมีขนาดของอนุภาคของเจลที่เล็กลง จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการนำอิโนลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันนั้นต้องพิจารณาสภาพการเตรียมให้เหมาะสม แต่ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อต้องการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์คงไม่อาจพิจารณาเพียงคุณสมบัติของเจลเพียงอย่างเดียว แต่อาจต้องพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้ด้วยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะในการเตรียมเจลอิโนลินด้วยกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันต่อลักษณะทางกายภาพของเจลอิโนลินร่วมกับศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการใช้เจลอิโนลินเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

#### 1. การเตรียมเจลอิโนลินและการตรวจสอบคุณภาพ

ศึกษาโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ต่อระดับความเร็วรอบในการโฮโมจิไนซ์เซชัน 3 ระดับ ได้แก่ การโฮโมจิไนซ์ที่ความเร็ว 0 (H1), 5,000(H2) และ 10,000(H3) รอบ/นาที สำหรับวิธีการเตรียมเนื่องจากต้องการให้อยู่ในรูปของเจลอิโนลินเพื่อใช้เป็นสารทดแทนไขมัน ดังนั้นจึงเลือกเตรียมสารละลายอิโนลินที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จากอิโนลินผงชนิดสายยาว (High Performance; HP) นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $100 \pm 1$  องศาเซลเซียส และนำสารละลายอิโนลินมาผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันในแต่ละระดับ เป็นเวลา 30 นาที เก็บในภาชนะปิดสนิท และลดอุณหภูมิโดยเก็บในตู้แช่ที่มีอุณหภูมิ  $10 \pm 1$  องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิธีการเตรียมดัดแปลงจาก (Hennelly, Dunne, Sullivan, & Riordan, 2006) โดยใช้สารละลายอิโนลินที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์และไม่ผ่านการเก็บแช่เย็นเป็นตัวอย่างควบคุม และนำมาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ วัดค่าสีระบบ CIE  $L^*a^*b^*$  ด้วยเครื่อง Hunter Lab ตรวจสอบขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิวจำเพาะของเจลอิโนลิน ด้วยเทคนิค Dynamic Light Scattering ร่วมกับการตรวจสอบการกระจายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ที่กำลังขยาย 4X วิธีการดัดแปลงจาก (Ronkart et al., 2010) วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield และวัดค่าความแข็งของเจล (Gel strength) ด้วยเครื่อง T.A. Analyzer โดยใช้หัวบอล P/2.5 เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีแรงกดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร่างร้อยละ 50 ตามวิธีการของ (Kim & Wang, 2001)

#### 2. การศึกษาผลของลักษณะทางกายภาพด้วยกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันร่วมกับอัตราส่วนของเจลอิโนลินที่มีผลต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก

##### 2.1 การเตรียมส่วนผสมของบัตเตอร์เค้ก (Butter Cake)

ศึกษาโดยการจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล  $3 \times 3$  ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยที่ 1 ได้แก่ สารละลายอิโนลินความเข้มข้นร้อยละ 20 ที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็ว 0(H1), 5,000(H2) และ 10,000(H3) รอบต่อนาที และเก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $10 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ร่วมกับปัจจัยที่ 2 ได้แก่ อัตราส่วนการใช้เจลอิโนลินทดแทนไขมันที่ร้อยละ 50(E1), 75(E2) และ 100(E3) โดยน้ำหนัก ทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง ได้แก่ E1H1, E1H2, E1H3, E2H1, E2H2, E2H3, E3H1, E3H2, E3H3 โดยมีสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก ประกอบด้วย แป้งเค้ก ร้อยละ 25.40 ไข่ไก่ ร้อยละ 23.66 มาร์การีน ร้อยละ 21.17 น้ำตาลทราย ร้อยละ 16.93 น้ำเปล่า ร้อยละ 10.60 กลิ่นวานิลลา ร้อยละ 1.52 และผงฟู ร้อยละ 0.72 ดัดแปลงจาก (Ratanadilok, 2011)

กรรมวิธีการผลิต โดยการตีผสมเนยและน้ำตาลให้เป็นเนื้อครีม โดยใช้เครื่องผสมที่ระดับความเร็วสูงประมาณ 5 นาที เติมน้ำไข่ไก่ ผสมให้เข้ากันด้วยระดับ

ความเร็วปานกลาง ประมาณ 3 นาที จากนั้นเติม ส่วนผสมของแป้ง ผงฟู และเกลือที่ร่อนผสมให้เข้ากัน สลับกับเจลอินูลิน ผสมให้เข้ากันด้วยระดับความเร็วต่ำ จนส่วนผสมทั้งหมดเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำ ส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake batter) ใส่ในพิมพ์ จำนวน 400 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ  $180 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที พักให้เย็น บรรจุในถุงพลาสติกชนิด โพลีเอทิลีนเพื่อเตรียมสำหรับตรวจสอบคุณภาพ

## 2.2 การตรวจสอบคุณภาพของส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake batter) ก่อนอบ และบัตเตอร์เค้ก (Butter Cake) หลังอบ

นำส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake batter) ก่อนอบ มาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ ความคงตัวของอิมัลชัน โดยนำส่วนผสมแบตเตอร์ จำนวน 30 กรัม ปั่นเหวี่ยง ด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นคำนวณค่าร้อยละ ความคงตัวของอิมัลชันโดยนำปริมาณน้ำมันที่แยกชั้น หากรวบรวมปริมาณส่วนผสมแบตเตอร์ทั้งหมด จากนั้นนำ ค่าที่ได้ลบออกจาก 1 แล้วคูณด้วย 100 ตามวิธีการของ (Turabi, Sumnu, & Sahin, 2008) และวัดค่าความหนืดของเจลด้วยเครื่อง Brookfield รุ่น RVDV-II+Pro ใช้หัววัดเบอร์ 5 ควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้อยู่ ในช่วง  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส วิธีการตัดแปลงจาก (Garcia, Puig, Salvador, & Hernando, 2012)

สำหรับผลิตภัณฑ์ (Butter Cake) หลังอบ ตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ วัดค่าสีในระบบ CIE  $L^* a^* b^*$  ด้วยเครื่อง Hunter Lab วัดปริมาตรของผลิตภัณฑ์หลังอบ โดยวิธีแทนที่ด้วยเมล็ดงา ตามวิธีการของ AACCI (2000) วัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Profile Analyzer โดยใช้หัววัดชนิด cylindrical probe ขนาด 50 มิลลิเมตร (P/50) โดยมีแรงกด 50 นิวตัน เคลื่อนที่ ด้วยอัตราเร็ว 1 มิลลิเมตร /วินาที มีระยะทางที่ ผลิตภัณฑ์เสียรูป ร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่าง ทำ การวิเคราะห์และบันทึกค่าความแข็ง (Hardness) การสปริงตัว (Springiness) การเกาะรวมตัว (Cohesiveness) และความสามารถในการเคี้ยว (Chewiness) (Garcia, Sahi, & Hernando, 2014) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์

ประเมินด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 Point hedonic scale ตามคุณลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวม กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน

## 2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

แสดงผลการทดลองด้วยค่าเฉลี่ย จำนวน 3 ซ้ำ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 16.0 ถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณ ค่า Duncan's new multiple range test (DMRT) เพื่อ ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองที่ ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

## ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

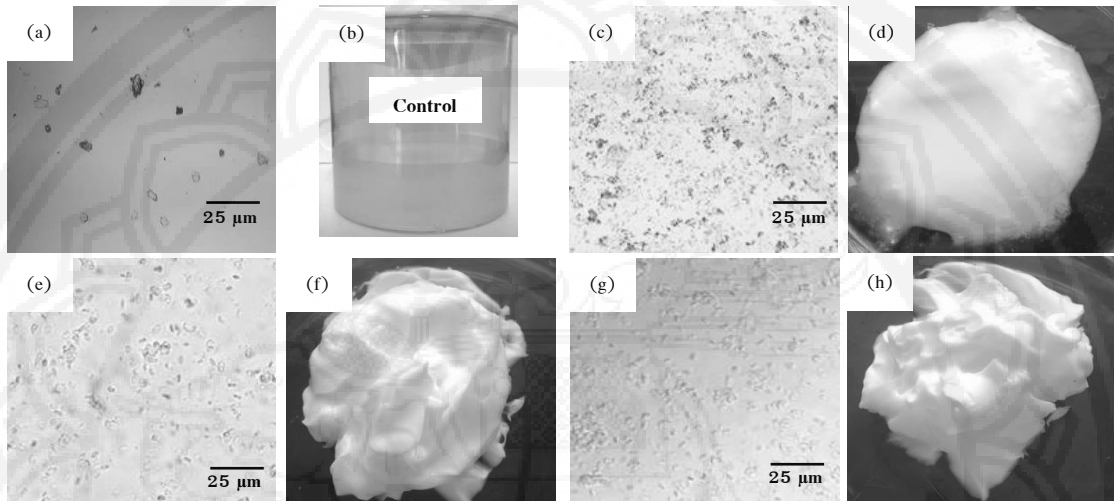
### 1. คุณภาพของเจลอินูลิน

จากสภาวะในการเตรียมเจลอินูลินโดยการเพิ่มความเร็วยกขึ้นในการโฮโมจิไนซ์ (H1, H2, H3) และ เก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $10 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลต่อค่าสีและขนาดอนุภาคของเจลอินูลิน สำหรับ ค่าสี พบว่า เจลอินูลินเปลี่ยนจากสารละลายสี เหลืองใสไปเป็นเจลสีขาวคล้ายครีม เมื่อเปรียบเทียบกับ ตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์และการแช่เย็น) แสดงดังรูปที่ 1 (b, d, f, h) และมีค่าคุณภาพดังแสดง ในตารางที่ 1 พบว่า เจลอินูลินมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยเจลอินูลิน (H3) มีค่าความสว่าง มากที่สุด สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) มีค่าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ทั้งนี้เป็นผลมาจาก 2 ปัจจัย คือ ผลจากคุณสมบัติของเจลอินูลินเมื่อถูกความ เย็น (Kim & Wang, 2001) และผลของกระบวนการโฮ โม่จิไนซ์เช่นกัน โดยในด้านคุณสมบัติของอินูลินที่มีค่า DP (degree of polymerization) มากกว่า 23 เมื่อผ่านความ ร้อนและลดอุณหภูมิจะเกิดการเกาะกันเป็นโครงข่ายของ เจล ส่งผลให้เกิดลักษณะปรากฏที่มีสีขาว (Roberfroid, 1993) ซึ่งสอดคล้องกับ (Kim & Wang, 2001) ได้ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลอินูลิน พบว่า เมื่อนำ สารละลายอินูลินความเข้มข้น ร้อยละ 30 ละลายในน้ำ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และลดอุณหภูมิลง 15 องศาเซลเซียส สารละลายอินูลินเริ่มเกิดเป็นเจลที่มี



ลักษณะเป็นฟล็อกสีขาวคล้ายครีม แต่ทั้งนี้จะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายอินูลิน โดยสารละลายอินูลินที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ไม่สามารถทำให้เกิดเจลได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น ร้อยละ 20 และ 25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะสามารถทำให้เกิดโครงข่ายของเจลจากการให้ความร้อนและทำให้เย็น สำหรับผลจากกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันต่อค่าสีนั้น พบว่า ความดันจะส่งผลให้อนุภาคมีขนาดที่เล็กลง ทำให้

มีการกระเจิงแสงที่มาก (Ronkart et al., 2010) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Chiewchan, Phungamgoen, & Siriwattanayothin, 2006) ได้ศึกษาผลของความดันในการโฮโมจิไนซ์เซชันต่อคุณภาพของกะทิกระป๋องไขมันสูง พบว่า ค่าความสว่างของกะทิที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันจะมากกว่ากะทิสดและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดัน ซึ่งจะส่งผลให้เม็ดไขมันมีขนาดอนุภาคที่เล็กลงค่าความสว่างจึงมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเจลอินูลินที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน และเก็บที่อุณหภูมิ  $10 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยการกระจายตัวของอนุภาคเจลอินูลินที่กำลังขยาย 4X (a, c, e, g) และความคงตัวของเจลอินูลิน (b, d, f, h) ตัวอย่างควบคุม(a,b) ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ (H1) (c,d) เจลอินูลินที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ 5,000 รอบ/วินาที(H2) (e,f) และเจลอินูลินที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ 10,000 รอบ/นาที(H3) (g,h)

นอกจากนี้ พบว่าการเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้นในกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน ส่งผลให้เจลอินูลินมีขนาดอนุภาคที่เล็กลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) จึงส่งผลให้มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขนาดอนุภาคที่เล็กลงและค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่าความแข็ง และค่าความหนืดของเจลอินูลิน ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าเจลอินูลินมีค่าความแข็ง และค่าความหนืดที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าความแข็งของเจลเพิ่มขึ้นจาก 23.33 นิวตัน ไปเป็น 94.92 นิวตัน และความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 348.17 เซนติพอยด์ ไปเป็น 2,501 เซนติพอยด์ เมื่อเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้นในกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันเป็นการเป็นการลดขนาดอนุภาคของเหลวที่ความดันและความเร็วสูง โดยการให้แรงเฉือนแก่สารละลายอินูลินขนาดอนุภาคจึงเล็กลงและมีการ

กระจายตัวในเฟสของน้ำมากขึ้น จึงส่งผลให้เจลอินูลินเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้เนื้อเจลมีความหนืด และคงตัว และได้เจล อินูลินที่มีลักษณะเป็นเนื้อครีมคล้ายโยเกิร์ต (Ronkart et al., 2010) ซึ่งสอดคล้องกับ (Sritunma, 2002) ได้ศึกษาผลของปริมาณไขมันและความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนซ์เซชันต่อค่าความหนืดของน้ำกะทิ โดยพบว่า ความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนซ์เซชันไม่มีผลต่อค่าพฤติกรรมการไหลแต่ส่งผลให้ความหนืดและความคงตัวของน้ำกะทิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (Yoo, Lee, & Chang, 2001) กล่าวว่าการเพิ่มความดันในการโฮโมจิไนซ์เซชันทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคภายในน้ำมีค่าลดลงและการเคลื่อนที่น้อยลงระยะห่างระหว่างขนาดอนุภาคอยู่ใกล้จะสร้างปฏิสัมพันธ์ที่ส่งผลในการเพิ่มขึ้นของความหนืด

ตารางที่ 1 ค่าคุณภาพของเจลอิโนลินที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เข้มข้นที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	ตัวอย่างควบคุม	ความเร็ว (รอบ/นาที)		
		0(H1)	5,000(H2)	10,000(H3)
ค่าสี				
<i>L</i> *	88.47 ± 0.23	90.26±0.29 <sup>b</sup>	91.09±0.42 <sup>ab</sup>	92.34±0.30 <sup>a</sup>
<i>a</i> *	-2.42 ± 0.15	-0.76±0.03 <sup>b</sup>	-0.68±0.02 <sup>a</sup>	-0.69±0.02 <sup>a</sup>
<i>b</i> *	10.23 ± 0.14	3.49±0.20 <sup>a</sup>	3.00±0.27 <sup>c</sup>	3.25±0.21 <sup>b</sup>
ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	28.67±0.02	23.75±0.03 <sup>a</sup>	4.79±0.00 <sup>b</sup>	3.65±0.00 <sup>c</sup>
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตร/กรัม)	0.62±0.00	0.73±0.00 <sup>c</sup>	1.59±0.00 <sup>b</sup>	2.09±0.00 <sup>a</sup>
ความแข็งของเจล (นิวตัน)	NA	23.33±1.57 <sup>c</sup>	55.49±2.78 <sup>b</sup>	94.92±2.77 <sup>a</sup>
ค่าความหนืด (เซนติพอยด์)	37.13±4.35	348.17±75.79 <sup>c</sup>	1,632±79.38 <sup>b</sup>	2,501±41.62 <sup>a</sup>

หมายเหตุ <sup>a-c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

เครื่องหมาย ± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, NA หมายถึง ไม่ปรากฏผลการทดลอง

## 2. คุณภาพของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กเมื่อใช้เจลอิโนลินที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เข้มข้นเป็นสารทดแทนไขมัน

### 2.1 คุณภาพของส่วนผสมบัตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบ

จากการศึกษาคุณภาพด้านความหนืด และความคงตัวของอิมัลชันในส่วนผสมบัตเตอร์ก่อนอบ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าส่วนผสมของบัตเตอร์ก่อนอบจะมีค่าความหนืดที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนด้วยเจลอิโนลิน ทั้งนี้เนื่องจากไขมันในสูตรถูกแทนที่ด้วยเจลอิโนลิน ซึ่งมีลักษณะเป็นของเจลที่อ่อน ทำให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมบัตเตอร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ (Srikhampha, 2008) ได้ศึกษาอิโนลินในแง่ประจำวันต่อคุณภาพของเค้กไขมันต่ำ พบว่าส่วนผสมบัตเตอร์ของเค้กไขมันมีความหนืดลดลงเนื่องจากการเตรียมเจลของผงแกันตะวันจะมีส่วนผสมของน้ำเพื่อทำให้เกิดเจล ดังนั้นปริมาณน้ำที่เพิ่มจากส่วนของเจลจึงส่งผลให้ความหนืดของบัตเตอร์ลดลงตามลำดับ จากการทดลองความหนืดของส่วนผสมบัตเตอร์ก่อนอบจะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อทดแทนด้วยเจลอิโนลินที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เข้มข้นด้วยความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น โดยสูตรที่ส่วนผสมมีค่าความหนืดสูงสุดที่สุด คือ (E1H3) ซึ่งมีค่าความหนืด เท่ากับ 791.33 เซนติพอยด์

สำหรับค่าความคงตัวของอิมัลชัน พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 54.30-67.33 โดยแสดงถึงการที่ระบบอิมัลชันมีของแข็งมากกว่าของเหลว ซึ่งสาเหตุมาจากการเพิ่มเจลอิโนลินเข้าไปในส่วนผสมบัตเตอร์ โดยอาจส่งผลทำให้เนื้อเค้กหลังอบมีลักษณะที่ไม่ขึ้นฟู ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาตรจำเพาะของบัตเตอร์เค้กหลังอบที่ได้จากการทดลอง คือ มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มอัตราการทดแทนการใช้ไขมันด้วยเจลอิโนลินที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เข้มข้นที่มีความรอบสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.89 - 3.45 มิลลิลิตรต่อกรัม ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการขึ้นฟูของบัตเตอร์เค้กนั้นส่วนใหญ่มาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงการตีไขมันกับน้ำตาลทราย เมื่อไขมันในสูตรลดลง ปริมาณฟองอากาศในส่วนผสมบัตเตอร์จึงลดลง นอกจากนี้ความหนืดของส่วนผสมบัตเตอร์ที่ลดลงจะมีผลทำให้ได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วและไม่สม่ำเสมอ (Bath, Shelke, & Hosney, 1992) ทำให้มีปริมาตรของเค้กที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ (Wongjunpen, 1998) ได้ศึกษาการใช้สารทดแทนไขมันที่มีคาร์โบไฮเดรตในการผลิตเค้กเนยแคลอรีต่ำพบว่า เมื่อไขมันถูกแทนที่ในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรลดลง



ตารางที่ 2 ค่าคุณภาพผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กที่มีการทดแทนด้วยเจลอิโนลินที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์เซชัน

สิ่งทดลอง	ส่วนผสมเบตเตอร์ก่อนอบ		บัตเตอร์เค้กหลังอบ	
	ค่าความหนืด (เซนติพอยด์)	ความคงตัวของอิมัลชัน (ร้อยละ)	ปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตร/กรัม)	ค่าความชื้น (ร้อยละ)
E1H1	413.00±17.69 <sup>f</sup>	59.04±0.22 <sup>f</sup>	3.45±2.04 <sup>a</sup>	9.01±1.22 <sup>b</sup>
E1H2	763.00±11.27 <sup>b</sup>	60.71±0.95 <sup>c</sup>	3.10±1.47 <sup>d</sup>	8.49±0.61 <sup>c</sup>
E1H3	791.33±10.26 <sup>a</sup>	65.88±0.57 <sup>c</sup>	2.89±2.03 <sup>c</sup>	6.56±0.23 <sup>f</sup>
E2H1	229.00±18.25 <sup>h</sup>	57.21±0.91 <sup>e</sup>	3.32±1.08 <sup>b</sup>	9.93±1.57 <sup>ab</sup>
E2H2	617.33±11.02 <sup>d</sup>	61.18±0.12 <sup>c</sup>	2.80±1.26 <sup>ef</sup>	8.64±0.78 <sup>c</sup>
E2H3	650.33±6.51 <sup>c</sup>	66.10±1.01 <sup>ab</sup>	2.80±2.51 <sup>ef</sup>	6.73±0.53 <sup>c</sup>
E3H1	134.00±8.72 <sup>i</sup>	54.30±0.31 <sup>h</sup>	3.24±2.10 <sup>c</sup>	10.35±2.10 <sup>a</sup>
E3H2	408.33±12.58 <sup>fg</sup>	62.48±0.27 <sup>d</sup>	2.74±2.01 <sup>e</sup>	9.91±1.01 <sup>ab</sup>
E3H3	495.33±5.03 <sup>c</sup>	67.33±0.73 <sup>a</sup>	2.78±1.53 <sup>e</sup>	6.91±0.54 <sup>d</sup>

หมายเหตุ <sup>a-i</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว คือค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ), เครื่องหมาย  $\pm$  หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

E1H1 หมายถึง เจลอิโนลินที่ไม่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชันที่ระดับการทดแทนไขมัน ร้อยละ 50

E1H2 หมายถึง เจลอิโนลินที่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชัน 5,000 รอบ/นาที ที่ระดับการทดแทนไขมัน ร้อยละ 50

E1H3 หมายถึง เจลอิโนลินที่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชัน 10,000 รอบ/นาที ที่ระดับการทดแทนไขมัน ร้อยละ 50

E2H1 หมายถึง เจลอิโนลินที่ไม่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชันที่ระดับการทดแทนไขมัน ร้อยละ 75

E2H2 หมายถึง เจลอิโนลินที่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชัน 5,000 รอบ/นาที ที่ระดับการทดแทนไขมัน ร้อยละ 75

E2H3 หมายถึง เจลอิโนลินที่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชัน 10,000 รอบ/นาที ที่ระดับการทดแทนไขมัน ร้อยละ 75

E3H1 หมายถึง เจลอิโนลินที่ไม่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชันที่ระดับการทดแทนไขมัน ร้อยละ 100

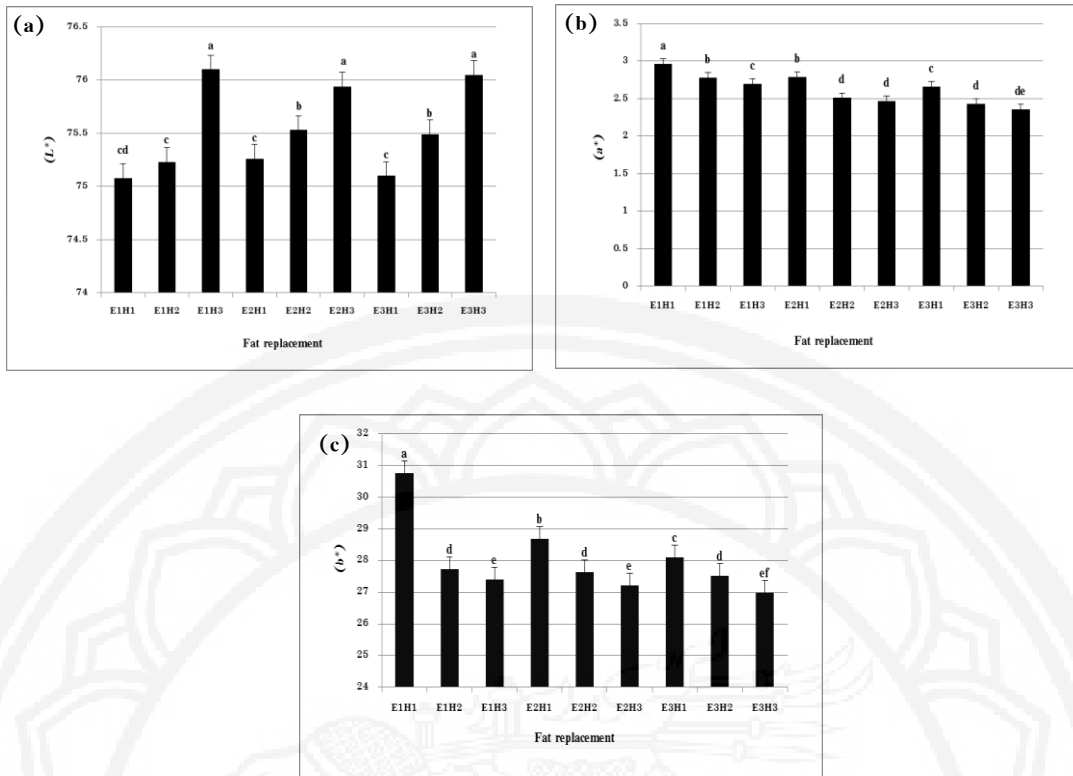
E3H2 หมายถึง เจลอิโนลินที่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชัน 5,000 รอบ/นาที ที่ระดับการทดแทนไขมัน ร้อยละ 100

E3H3 หมายถึง เจลอิโนลินที่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชัน 10,000 รอบ/นาที ที่ระดับการทดแทนไขมัน ร้อยละ 100

## 2.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้ก (Butter Cake) หลังอบ

คุณภาพด้านสี พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนด้วยเจลอิโนลินที่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็วรอบสูงขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง

( $b^*$ ) และค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) สำหรับค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากเจลอิโนลินมีลักษณะเป็นสีครีมสีขาว ดังนั้นเมื่อมีการนำมาทดแทนเนยซึ่งมีสีเหลืองย่อมส่งผลให้ความสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2 ค่าสีของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เด็กที่มีการทดแทนด้วยเจลาตินลินที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชัน (a) คือ ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) (b) คือ ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และ(c) คือ ค่าสีเหลือง ( $b^*$ )

<sup>a-f</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน คือค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อนำเจลาตินลินที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชัน (H1)มาใช้เป็นสารทดแทนไขมันโดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทน (E1H1, E2H1, E3H1) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เด็กมีความแข็ง ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเจลาตินลินที่นำมาใช้ทดแทนในสูตร (E1H1, E2H1, E3H1) มีลักษณะเป็นเนื้อเจลที่กระจายตัวในเฟสของน้ำ มีความหนืดและความคงตัวของเจลด้า (รูปที่ 1d) ดังนั้นการนำมาทดแทนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจึงเปรียบเสมือนการเพิ่มของเหลวในระบบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การที่น้ำในระบบเพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้โมเลกุลของเม็ดแป้งไม่สามารถดูดซับน้ำเพื่อเกิดการพองตัวเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงแสดงลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความแข็งลดลง และเมื่อทดแทนด้วยเจลาตินลินที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็วรอบที่สูงขึ้น (E1H2, E1H3, E2H2, E2H3, E3H2, E3H3) ผลิตภัณฑ์กลับมีค่า

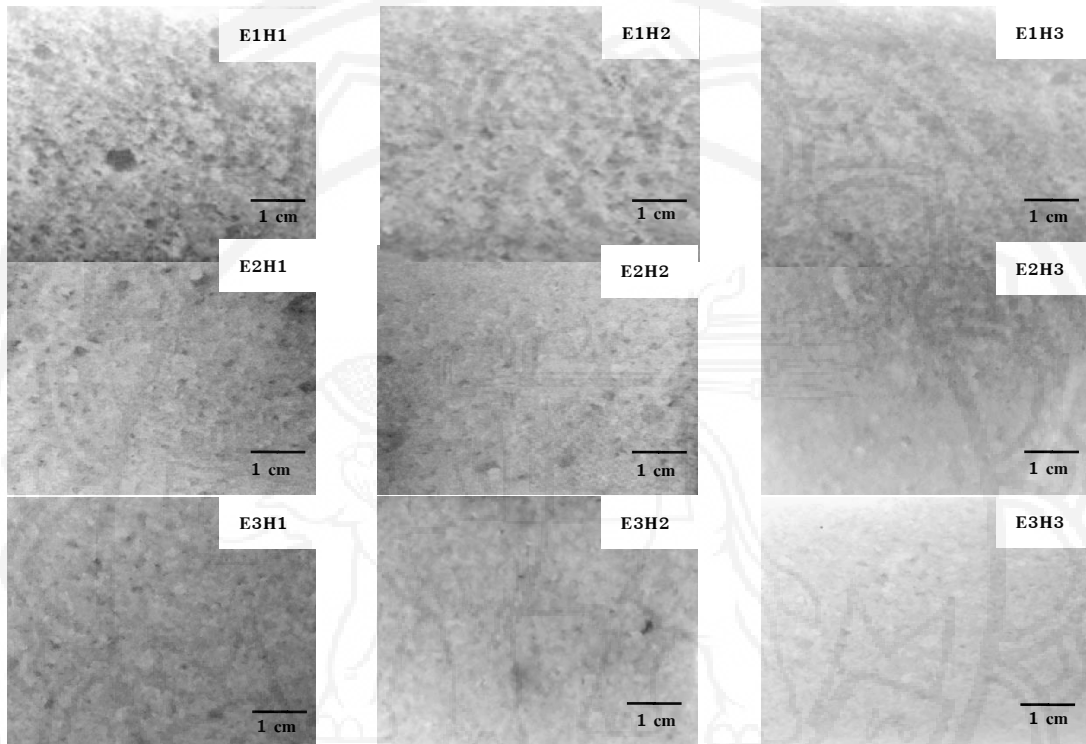
ความแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดย (Garcia, Puig, Salvador, & Hernando, 2012) กล่าวว่า การที่เนื้อเค้กมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์กับลักษณะของรูอากาศที่กระจายบนเนื้อเค้ก ซึ่งการเพิ่มการทดแทนด้วยเจลาตินลินจะส่งผลให้จำนวนรูอากาศภายในเนื้อเค้กลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3 เนื้อเค้กมีการอัดแน่นของรูอากาศซึ่งมีขนาดเล็กและมีปริมาณลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการโฮโมจิไนซ์เซชันจะทำให้เจลาตินลินมีความคงตัวและมีเนื้อเจลที่แข็งมากขึ้น (รูปที่ 1f และ 1h) ประกอบกับเจลาตินลินจัดเป็นสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตเมื่อมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นจึงเปรียบเสมือนการเพิ่มส่วนที่เป็นของแข็งในระบบ โดยเจลาตินลินอนุภาคขนาดเล็กที่มีความคงตัวนี้จะแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างระหว่างคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการเคี้ยว โดยพบว่ามีค่าลดลงเมื่อทดแทนด้วยเจลาตินลินที่ไม่ผ่านการโฮโมจิ



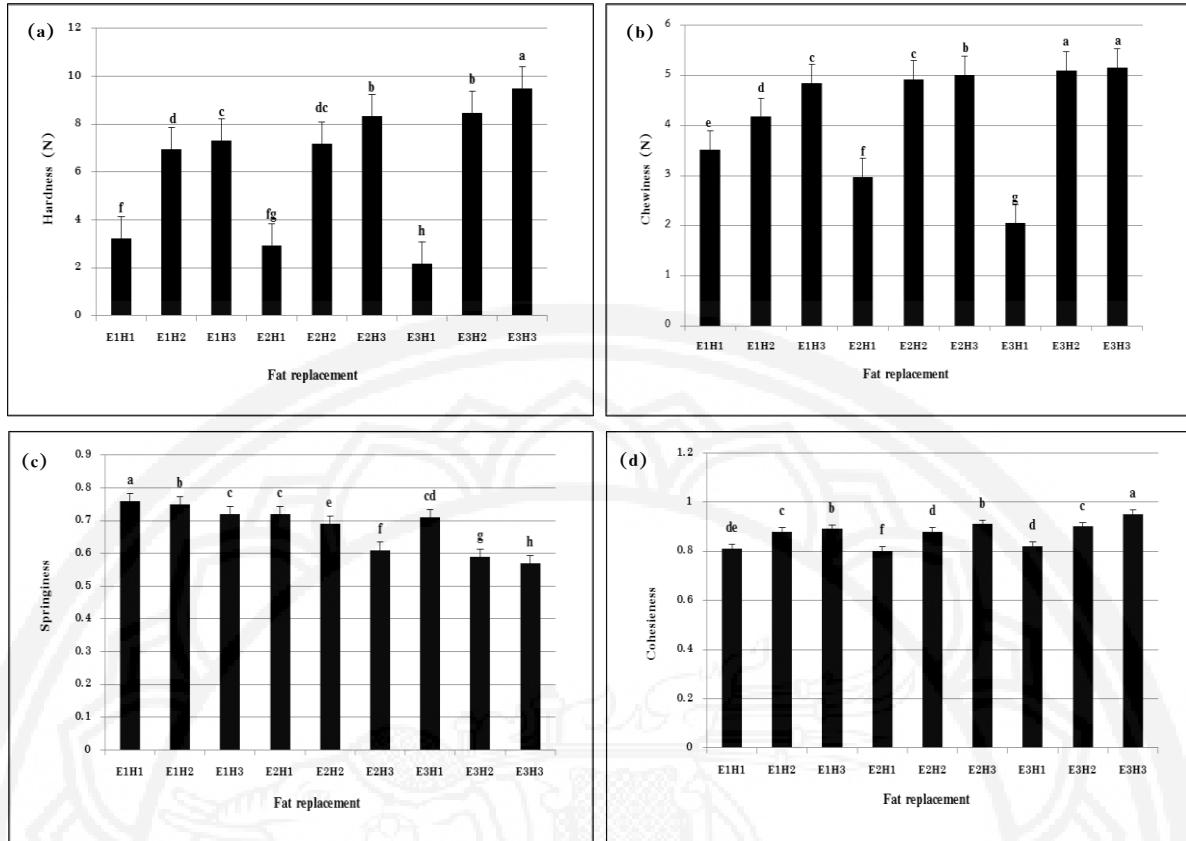


ไนซ์เซชัน (E1H1, E2H1, E3H1) และจะมีค่าเพิ่มขึ้นขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนด้วยเจลอิโนลินที่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็วรอบที่สูงขึ้น (E1H2, E1H3, E2H2, E2H3, E3H2, E3H3) โดยสูตรที่มีความความแข็งแรงและค่าความสามารถในการเคี้ยวสูงที่สุดคือ (E3H3) ค่าการเกาะรวมตัว พบว่ามีค่าที่เพิ่มขึ้น

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงถึงการที่ตัวอย่างรวมตัวกันแน่นมากขึ้นรูอากาศภายในเนื้อเค้กจึงลดลง จึงส่งผลให้ค่าการสปริงตัวของผลิตภัณฑ์จึงลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้ค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการลดลงของจำนวน รูอากาศภายในเนื้อเค้กด้วยเช่นกัน (Cervera, Salvador, & Sanz, 2015)



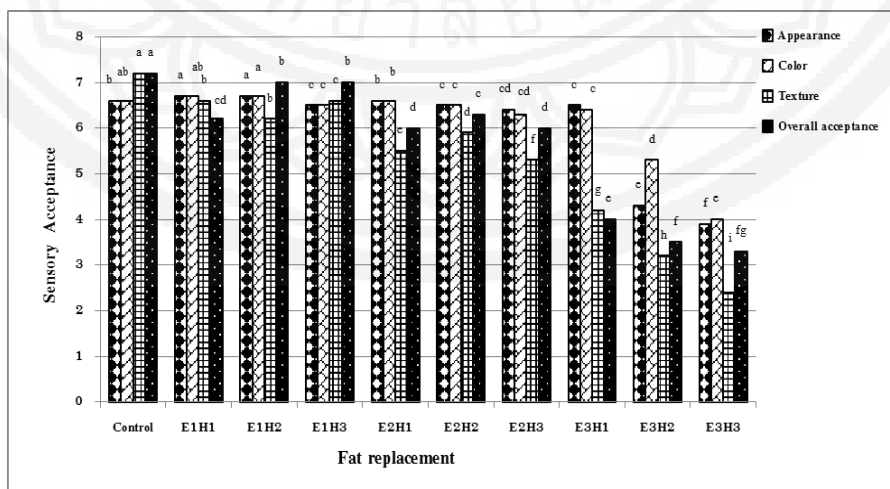
รูปที่ 3 ลักษณะปรากฏของโครงสร้างบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เค้กที่ทดแทนด้วยเจลอิโนลินที่ผ่านการไฮโมจิไนซ์เซชัน



รูปที่ 4 ค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กที่มีการทดแทนด้วยเจลาตินลินที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชัน (a) ค่าความแข็ง (Hardness) (b) ค่าการเคี้ยว (Chewiness) (c) ค่าการสปริงตัว (Springiness) และ (d) ค่าการเกาะรวมตัว (Cohesiveness)  
<sup>a-h</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน คือค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีค่าคะแนนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนด้วยเจลาตินลินที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็วรอบสูงขึ้นไปทั้งนี้พบว่าเมื่อทดแทนด้วยเจลาตินลินที่ผ่านการโฮโมจิ

ไนซ์เซชันด้วยความเร็ว 5,000 และ 10,000 รอบต่อ นาที ในอัตราส่วนร้อยละ 50 (E1H2 และ E1H3) ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบใกล้เคียงกับสูตรควบคุม โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.0)



รูปที่ 5 คะแนนเฉลี่ยด้านความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กที่ทดแทนด้วยเจลาตินลินที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน  
<sup>a-h</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน คือค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



## สรุปผลการศึกษา

จากการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพของเจลอินูลินเพื่อนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เค้ก โดยการนำสารละลายอินูลินความเข้มข้นร้อยละ 20 มาผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 0 ไปเป็น 10,000 รอบต่อนาที และเก็บที่อุณหภูมิ  $10 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะทำให้ได้เจลอินูลินที่มีลักษณะเป็นเนื้อครีมสีขาวที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงและมีความคงตัว และเมื่อนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เค้กที่ได้มีความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าเนื้อสัมผัสต้านแข็ง ความสามารถในการเคี้ยว และการเกาะรวมตัวเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าการสปริงตัว และปริมาตรของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ส่งผลให้ผู้บริโภคมีคะแนนความชอบในผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ทั้งนี้พบว่า หากต้องการที่จะนำเจลอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เค้กสามารถนำเจลอินูลินที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที และนำมาทดแทนไขมันที่ระดับร้อยละ 50 จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เค้กที่มีค่าคุณภาพใกล้เคียงกับสูตรควบคุม

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

## เอกสารอ้างอิง

AACC. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (10th ed.). Method 61-02. The Association: St. Paul, Minnesota.

AOAC. (2000). *Official Method of Analysis of AOAC International* (18th ed.), The Association of official Analytical Chemists: Arlington, Virginia.

Bath, D. E., Shelke, K., & Hosney, R. C. (1992). Fat replacers in high-ratio layer cakes. *Cereal Foods World*, 37(7), 495-500.

Cervera, S. M., Salvador, A., & Sanz, T. (2015). Cellulose ether emulsions as fat replacers in muffins: Rheological, thermal and textural properties. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 1083-1090.

Chiewchan, N., Phungamngoen, C., & Siriwattanayothin, S. (2006). Effect of homogenizing pressure and sterilizing condition on quality of canned high fat coconut milk. *Journal of Food Engineering*, 73, 38-44.

Franck, A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87, 287- 291.

Franck, A., & De Leenheer, L. (2005). Inulin. In A. Steinbuchel, & S. K. Rhee (Eds.), *Polysaccharides and polyamides in the food industry: properties, production, and patents* (pp. 281-321.). Weinheim: Wiley-VCH.

Garcia, J. R., Laguna, L., Puig, A., Salvador, A. & Hernando, I. (2013). Effect of fat replacement by inulin on textural and structural properties of short dough biscuits. *Food Bioprocess Technology*, 6, 2739-2750.

Garcia, J. R., Puig, A, Salvador, A., & Hernando, I. (2012). Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure, physicochemical, and sensory properties. *Journal of Food Science*, 77(2), 189-197.

García, J. R., Sahi, S. S., & Hernando, I. (2014). Functionality of lipase and emulsifier in low-fat cakes with inulin. *Food Science and Technology*, 58, 173-182.



- Giarnetti, M., Paradiso, V. M., Caponio, F., Summo, C., & Pasqualone, A. (2015). Fat replacement in shortbread cookies using an emulsion filled gel based on inulin and extra virgin olive oil. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 339–345.
- Hennelly, P. J., Dunne, P. G., Sullivan, M., & Riordan, E. M. (2006). Textural rheological and microstructure properties of imitation chesses containing inulin. *Journal of Food Engineering*, *75*, 388–395.
- Ipsen, R., Otte, J., Lozahic, G., & Qvist, K. B. (2001). Microstructure and viscosity of yoghurt with inulin added as a fat replacer. *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, *9*, 59–62.
- Kim, Y., Faqih, M. N., & Wang, S. S. (2001) Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers*, *46*, 135–145.
- Lourencetti, R. E., Benossi, L., Marques, D. R., Joia, B. M., & Monteiro, A. R. G. (2013). Development of biscuit type cookie with partial replacement of fat by inulin. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *2*(5), 261–265.
- Mendoza, E., Garcia, M. L., Casas, C., & Selgas, M. D. (2001). Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. *Meat Science*, *57*(4), 387–393.
- Niness, K. (1999). Breakfast foods and the health benefits of inulin and oligofructose. *Cereal Food Word*, *44*(2), 79–81.
- Psimouli, V., & Oreopoulou, V. (2013). The effect of fat replacers on batter and cake properties. *Journal of Food Science*, *78*(10), 1495–502.
- Ratanadilok, P. (Ed.). (2011). *Cake Passion* (pp. 70–73). Bangkok (Thailand): Sangdad Publishing.
- Roberfroid, M. (1993). Dietary fiber, inulin and oligofructose a review comparing their physiological effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *33*, 103–148.
- Ronkart, S. N., Paquot, M., Deroanne, C., Fougnes, C., Besbes, S., & Blecker, C. S. (2010). Development of gelling properties of inulin by microfluidization. *Food Hydrocolloids*, *24*(4), 318–324.
- Sabatel, S. A., Maranon, I. M., & Arboleya, J. C. (2015). Impact of high pressure homogenization (HPH) on inulin gelling properties, stability and development during storage. *Food Hydrocolloids*, *44*, 333–344.
- Srikhampha, W. (2008). *Inulin in Jerusalem artichoke: extraction, determination and effect on physical and chemical properties of low fat cake*. (Master's thesis). Khon Kaen University, Khon Kaen.
- Srithunma, S. (2002) *Effects fat content and homogenization pressure on apparent viscosity of coconut milk*. (Master's thesis). King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
- Turabi, E., Sumnu, G., & Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cake formulates with different gums and emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, *22*, 305–316.
- Wongjunpen, P. (1998). *Utilization of carbohydrate based fat replacer and emulsifier in the production of low-calorie butter cake*. (Master's thesis). Chulalongkorn University, Bangkok.



Yoo, B., Lee S. M., & Chang, Y. H. (2001). Rheological properties of *Kochujang* as affected by particle size of red pepper powder. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 10(3), 311-314.

Zahn, S., Pepke, F., & Rohm, H. (2010). Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory

properties of muffins. *International Journal of Food Science and Technology*, 5(12), 2531 – 2537.

Zbikowska, A., & Rutkowska, J. (2008). Possibility of partial replacement of fat by inulin cookies in order to decrease their caloric value. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 58(1), 113-117.

