ผลของความเข้มข้น และสภาวะการเตรียมที่มีต่อคุณสมบัติของเจลอินูลิน เพื่อนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก

Effect of Concentration and Preparation Condition on Properties of Inulin Gel for using as a Fat Replacer in Chiffon Cake Product

ศุรัฐนันท์ คงวรรณ* พรทวี ศรีมงคล และ ภณิตา จันทรางศุ

Surathanan Kongwan* Ponthawee Semongkon and Panita Jantarangsu

ภาควิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

Department of Innovation and Product Development Technology, Faculty of Agro-industry,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok Prachinburi Campus

Received : 8 May 2017

Accepted : 10 October 2017

Published online : 25 October 2017

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้น และสภาวะการเตรียมที่มีต่อคุณสมบัติของเจลอินูลิน เพื่อนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^3 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในการศึกษาความเข้มข้นของอินูลิน ร้อยละ 10 (C10) และ 20 (C20) โดยน้ำหนัก นำมาผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็ว 0 (H0) และ 5,000 (H5) รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที เก็บในภาชนะปิดสนิทเป็นเวลา 0 ชั่วโมง (T0) และ 24 ชั่วโมง ในตู้แช่ที่มีอุณหภูมิ 10±1 องศาเซลเซียส (T24) จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้น กระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน และสภาวะในการเก็บ ส่งผลให้เจลอินูลินมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความหนืดและค่าความแข็งของเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยจะได้เจลอินูลินที่มีลักษณะเป็นเนื้อครีมสีขาวที่มีขนาดอนุภาคเล็กและมีความคงตัว จากนั้นนำเจลอินูลินมาใช้ทดแทนน้ำมันพืช ร้อยละ 50 ในผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก พบว่าส่วนผสมของแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบ มีค่าความสว่าง ค่าความคงตัวของอิมัลชันที่เพิ่มขึ้นและมีค่าความหนืดที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม จึงทำให้คุณภาพชิฟฟอนเค้กหลังการอบมีความสว่าง เนื้อสัมผัสด้านแข็ง ความสามารถในการเคี้ยว และการเกาะรวมตัวของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าการสปริงตัวและปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คุณภาพข้างต้นส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคมีค่าเพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กที่มีการนำเจลอินูลินที่เตรียมจากความเข้มข้น ร้อยละ 20 เก็บโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 10±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทดแทนน้ำมันพืช ร้อยละ 50 ผู้บริโภคมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.4) ซึ่งมากกว่าตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ: เจลอินูลิน สารทดแทนไขมัน ชิฟฟอนเค้ก

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

Abstract

The objective of this research were to study the effect of concentration and preparation condition on properties of inulin gel for using as a fat replacer in chiffon cake product. The experiment was conducted by 2^3 full factorial in completely randomized design to study the effect of concentration at 10% and 20% (w/w) of inulin, various level of homogenization speed at 0(H0) and 5,000(H5) rpm and storage temperature at 10±1 °C for 0 (T0) and 24 hour (T24).The results indicated that lightness *(L*)*, viscosity and gel strength of inulin gel significantly increased ($P \leq 0.05$) when concentration, speed of homogenization and storage time increased. As a result inulin gel have a white cream which has small particle and steady. Then, the inulin gel replacement ratio at 50% (w/w) of chiffon cake. The results showed that lightness, emulsion stability of cake batters increase and viscosity decrease when compared to the control product. Moreover lightness, hardness, chewiness and cohesiveness of chiffon cake increased with replacement of inulin gel, while springiness and specific volume of chiffon cake significantly decreased ($P \leq 0.05$). Sensory analysis showed that overall liking scale of consumers in the product increased. However, using 20% (w/w) of inulin gel and storage temperature at 10±1 °C for 24 hour at 50% of fat replacement gave like moderately (7.4) of consumers higher than when compared to the control product.

Keyword: inulin gel, fat replacer, chiffon cake

บทนำ

อินูลิน จัดอยู่ในประเภทของคาร์โบไฮเดรตที่พบในพืช โดยจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลฟรุกโตส 2-60 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะบีต้า 2-1 ไกลโคซิดิก และที่บริเวณปลายของสายฟรุกแทนประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุลเชื่อมต่อสายฟรุกโตสแทนด้วยพันธะแอลฟา 2-1 ไกลโคซิดิก (Niness,1999) อินูลินมีคุณสมบัติเมื่อรวมกับน้ำจะสามารถสร้างเนื้อสัมผัสและความรู้สึกในปากเหมือนอาหารที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบหลัก (Kim *et al.,* 2001) ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ (Mendoza *et at*., 2001) ผลิตภัณฑ์นม (Ipsen *et al*., 2001) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เบเกอรีถือเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีการนำอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานสูง อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์เค้ก (Garcia *et al.,* 2014; Garcia *et al.,* 2012; Psimoli & Oreopoulou, 2013; Zahn *et al*., 2010) ผลิตภัณฑ์บิสกิต (Garcia *et al.,* 2013; Lourencetti *et al.,* 2013) และผลิตภัณฑ์คุกกี้ (Zbikowska & Rutkowska, 2008; Giarnetti *et al.,* 2015) แต่ทั้งนี้สำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรีประเภทผลิตภัณฑ์เค้ก การนำอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันนั้นอาจต้องพิจารณาถึงลักษณะของไขมันที่จะทดแทนในผลิตภัณฑ์เค้กแต่ละชนิดซึ่งถือเป็นเงื่อนไขในการเตรียมอินูลินให้เหมาะสม โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กเป็นผลิตภัณฑ์ที่มิได้มีการใช้ไขมันเนยแต่เป็นการใช้น้ำมันพืชในส่วนผสม ดังนั้นการเตรียมอินูลินเพื่อนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันจะต้องสามารถคงลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

จากการค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยเบื้องต้น พบว่าการนำอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพนั้นอาจต้องพิจารณาหลายส่วนประกอบกัน เช่น ความยาวของสาย ความเข้มข้น และวิธีการเตรียม (Ronkart *et al*., 2010) โดยจากการศึกษาของ (Franck & Leenheer, 2005) พบว่า การเตรียมอินูลินที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นสารทดแทนไขมันควรอยู่ในรูปของเจล ซึ่งต้องใช้อินูลินความยาวของสายมากกว่า 23 และความเข้มข้นมากกว่า ร้อยละ15

นำมาผ่านความร้อนและลดอุณหภูมิจะเกิดการเกาะกันเป็นโครงข่ายของเจล ส่งผลให้เกิดลักษณะปรากฏที่มีสีขาวข้นคล้ายครีม (Roberfroid,1993) แต่ทั้งนี้ พบว่าการเตรียมเจลอินูลินด้วยวิธีดังกล่าวอาจยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นสารทดแทนไขมัน เนื่องจากเนื้อเจลที่เกิดขึ้นมาจากการเกาะกันเป็นโครงข่ายเท่านั้น ซึ่งขนาดอนุภาคของเจลยังคงมีขนาดใหญ่ จึงทำให้เนื้อสัมผัสของเจลไม่เรียบเนียนซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ (Frack, 2002) ได้แนะนำวิธีการเตรียมเจลอินูลินเพื่อให้มีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนโดยอาจต้องนำมาผ่านกระบวนการเพื่อทำให้ขนาดอนุภาคของเจลมีขนาดที่เล็กลง เช่น การผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง หรือการโฮโมจิไนซ์เซชัน ซึ่งมีงานวิจัยที่สนับสนุนข้อมูลดังกล่าว ได้แก่ (Ronkart *et al.,* 2010) ได้นำสารละลายอินูลินที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 2, 7 และ 15 นำมาผ่านเครื่องลดขนาดอนุภาค (Microfluidizer) ที่ความดัน 30 เมกะพาสคาล พบว่าทุกระดับความเข้มข้นเจล อินูลินมีขนาดอนุภาคที่เล็กลง มีความหนืดและความคงตัวที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้น ร้อยละ 15 ให้ลักษณะเนื้อเจลเรียบเนียนคล้ายมาร์การีน ซึ่งสอดคล้องกับ (Sabatel *et al.,* 2015) ได้ศึกษาการเตรียมเจลอินูลินที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 6, 9 และ 12 โดยนำมาผ่านความดันที่ระดับ 103, 207 และ 296 เมกะพาสคาล พบว่า ความดันสูงสามารถเปลี่ยนสารละลายอินูลินความเข้มข้นต่ำให้กลายเป็นเจลอินูลินที่มีความคงตัวที่เพิ่มมากขึ้นและมีขนาดของอนุภาคของเจลที่เล็กลง จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการนำอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันนั้นต้องพิจารณาสภาวะการเตรียมให้เหมาะสม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้น กระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันและสภาวะการเก็บที่มีต่อคุณสมบัติของเจลอินูลินเพื่อนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาผลของความเข้มข้น และสภาวะการเตรียมต่อคุณสมบัติของเจลอินูลิน

การเตรียมเจลอินูลินและการตรวจสอบคุณภาพ โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^3 ในแผนการทดลองแบบสมบูรณ์ ปัจจัยที่ 1 คือ ความเข้มข้นของอินูลิน ร้อยละ 10 (C10) และ 20 (C20) โดยน้ำหนัก จากอินูลินผงชนิดสายยาว (Orafti® HP, DP≥23 จากบริษัท Beneo) ปัจจัยที่ 2 คือ กระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน ได้แก่ ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน (H0) และ ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน ความเร็ว 5,000 (H5) รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ปัจจัยที่ 3 คือ ระยะเวลาในการเก็บ เป็นเวลา 0 ชั่วโมง (T0) และ 24 ชั่วโมง ในตู้แช่ที่มีอุณหภูมิ 10±1 องศาเซลเซียส (T24) และนำมาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ ค่าสีระบบ CIE L^* a^* b^* โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Color Flex EZ โดยรายงานค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าสีแดง (a^*) ตรวจสอบขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิวจำเพาะของเจลอินูลิน ด้วยเทคนิค Dynamic Light Scattering ตามวิธีการของ (Ronkart *et al.,* 2010) วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield รุ่น RVDV-II+Pro ควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 25± 2 องศาเซลเซียส และวัดค่าความแข็งของเจล (Gel strength) ด้วยเครื่อง T.A. Analyzer โดยใช้หัวบอล P/2.5 เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีแรงกดเพื่อให้ตัวอย่างเสียรูปร่างร้อยละ 50 ดัดแปลงวิธีการวัดค่าจากวิธีการของ (Kim *et al.,* 2001)

2. การศึกษาผลของการทดแทนน้ำมันด้วยเจลอินูลินต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก

2.1 การเตรียมส่วนผสมชิฟฟอนเค้ก

สูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก ดัดแปลงจากวิธีการของ (Ratanadilok, 2011) ประกอบด้วย ไข่ไก่ ร้อยละ 39.27 แป้งเค้ก ร้อยละ 23.56 น้ำตาลทรายละเอียด ร้อยละ 15.71 น้ำมันพืช ร้อยละ 11.78 นมสดชนิดจืดร้อยละ 7.86 กลิ่นวานิลา ร้อยละ 0.98 ผงฟู ร้อยละ 0.52 และเกลือป่น ร้อยละ 0.32 โดยนำเจลอินูลินมาใช้เป็นสารทดแทนน้ำมันพืชในผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก ในอัตราส่วนการทดแทนที่ ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีการผลิต แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ผสมไข่แดง น้ำตาลทรายขาว นมสด น้ำมันพืช และเจลอินูลิน ให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหารยี่ห้อ Panasonic รุ่น MK-GB1W ที่ระดับความเร็วปานกลาง เป็นเวลา 3 นาที ส่วนที่ 2 ผสมไข่ขาวกับน้ำตาลทรายโดยใช้เครื่องผสมอาหารยี่ห้อ Panasonic รุ่น MK-GB1W ที่ระดับความเร็วสูง จนกระทั่งไข่ขาวมีความคงตัว จากนั้นนำทั้ง 2 ส่วนผสมเข้าด้วยกันจนส่วนผสมทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน และนำส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake batter) ที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพก่อนอบ และนำส่วนผสมใส่ในพิมพ์ทรงสี่เหลี่ยมคางหมู ปริมาณ 700 กรัม อบที่อุณหภูมิ 180$\pm$ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พักให้เย็น บรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน เตรียมสำหรับตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กที่ได้หลังการอบ

2.2 คุณภาพของส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบ ได้แก่ ความคงตัวของอิมัลชัน โดยการนำส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบ ปริมาณ 30 กรัม นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ยี่ห้อ Hettich รุ่น Rotina 35R ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 25$\pm$ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นคำนวณค่าร้อยละความคงตัวของอิมัลชัน โดยนำปริมาณน้ำมันที่แยกชั้นหารด้วยปริมาณน้ำมันทั้งหมดในส่วนผสมจากนั้นนำค่าที่ได้ไปลบออกจาก 1 แล้วคูณด้วย 100 ดัดแปลงวิธีการวัดค่าจากวิธีการของ (Turabi *et al.,* 2008) และวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield รุ่น RVDV-II+Pro ควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 25$\pm$ 2 องศาเซลเซียส ทำการวัดค่าทั้งหมด 3 ซ้ำ วิธีการดัดแปลงจาก (Garcia *et al.,* 2012)

2.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กหลังการอบ

1) คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีระบบ CIE *L* a* b** โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Color Flex EZ โดยรายงานค่าความสว่าง (*L**) ค่าสีเหลือง (*b**) และค่าสีแดง (*a**) วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ วัดปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์หลังอบ โดยวิธีแทนที่ด้วยเมล็ดงา ตามวิธีการของ AACC. (2000) วัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง T.A. Analyzer โดยใช้หัววัดชนิด cylindrical probe ขนาด 50 มิลลิเมตร (P/50) โดยมีแรงกด 50 นิวตัน เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 มิลลิเมตร/วินาที มีระยะทางที่ผลิตภัณฑ์เสียรูปร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์และบันทึกค่าความแข็ง (Hardness) การสปริงตัว (Springiness) การเกาะรวมตัว (Cohesiveness) และความสามารถในการเคี้ยว (Chewiness) ดัดแปลงวิธีการวัดค่าจากวิธีการของ (Garcia *et al.,* 2014)

2) คุณภาพทางเคมี คือ วัดปริมาณความชื้น โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียด จำนวน 3 กรัม มาอบที่อุณหภูมิ 105$\pm$2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะได้น้ำหนักที่คงที่และคำนวณความชื้นจากปริมาณน้ำที่หายไป รายงานในหน่วยร้อยละ ตามวิธีการของ AOAC (2000)

3) คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 point hedonic scale ตามคุณลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยจัดสิ่งทดลองตามผังมาตรฐานแผนการทดลองแบบบล็อกไม่สมบูรณ์แบบสมดุล(Balance Incomplete Block Design: BIB, t=9, k=2, r=8, b=36, λ=1)(Oupadissakoon, 1994)ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 108 คน เพศหญิง จำนวน 62 คน และเพศชาย จำนวน 46 คน อายุระหว่าง 15-59 ปี จัดลำดับการเสิร์ฟตัวอย่างเพื่อให้มีความสมดุลผู้ทดสอบแต่ละคนจะทดสอบตัวอย่าง 2 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองจะถูกทดสอบ 16 ครั้ง

3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

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

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. คุณภาพของเจลอินูลิน

จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้น กระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน และสภาวะในการเก็บต่างส่งผลต่อคุณภาพด้านสีและคุณสมบัติของเจลอินูลิน สำหรับคุณภาพด้านสี พบว่าที่ความเข้มข้น C10 และ C20 เมื่อเก็บในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 10±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (T24) สารละลายอินูลินจะเปลี่ยนจากสารละลายสีเหลืองใสไปเป็นสารละลายสีขาวขุ่น และเมื่อผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันสารละลายสีขาวขุ่นจะมีลักษณะคล้ายครีม แสดงดังภาพที่ 1 และมีค่าคุณภาพดังแสดงในตารางที่ 1 โดยเจลอินูลินมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ทั้งนี้เป็นผลมาจากคุณสมบัติของเจลอินูลินที่มีค่า DP (degree of polymerization) มากกว่า 23 เมื่อผ่านความร้อนและลดอุณหภูมิจะเกิดการเกาะกันเป็นโครงข่ายของเจล ส่งผลให้เกิดลักษณะปรากฏที่มีสีขาว (Roberfroid, 1993) อีกทั้งความดันจากกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันจะส่งผลให้อนุภาคมีขนาดที่เล็กลงทำให้มีการกระเจิงแสงที่มาก (Ronkart *et al*., 2010) เจลอินูลินจึงมีความสว่างเพิ่มมากขึ้น

นอกจากกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันจะส่งผลต่อคุณภาพด้านสีแล้วนั้น ยังส่งผลต่อคุณสมบัติของเจลอินูลิน คือส่งผลให้เจลอินูลินมีขนาดอนุภาคที่เล็กลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งขนาดอนุภาคที่เล็กลงนั้นส่งผลให้มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ค่าความหนืด และความแข็งของเจลที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันเป็นการลดขนาดอนุภาคของเหลวที่ความดันและความเร็วสูง โดยการให้แรงเฉือนแก่สารละลายอินูลินขนาดอนุภาคจึงเล็กลงและมีการกระจายตัวในเฟสของน้ำมากขึ้น จึงส่งผลให้เจลอินูลินเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้เนื้อเจลมีความหนืดและคงตัว (Ronkart *et al*., 2010) ซึ่งสอดคล้องกับ (Srithunma, 2002) ได้ศึกษาผลของปริมาณไขมันและความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนซ์เซชันต่อค่าความหนืดของน้ำกะทิ โดยพบว่า ความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนซ์เซชันไม่มีผลต่อค่าพฤติกรรมการไหลแต่ส่งผลให้ความหนืดและความคงตัวของน้ำกะทิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) นอกจากนี้ (Yoo *et al*., 2001) กล่าวว่า การเพิ่มความดันในการโฮโมจิไนซ์เซชันทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคภายในน้ำมีค่าลดลง และการเคลื่อนที่น้อยลงระยะห่างระหว่างขนาดอนุภาคอยู่ใกล้จะสร้างปฏิสัมพันธ์ที่ส่งผลในการเพิ่มขึ้นของความหนืด และจากการทดลองเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บเป็น 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 10±1 องศาเซลเซียส (T24) พบว่าเจลอินูลินมีขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในขณะที่ค่าความหนืด และความแข็งของเจลมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเจลอินูลินทั้ง 2 ระดับความเข้มข้นในทุกสภาวะการเตรียม พบว่าที่ระดับความเข้มข้น C10 เจลอินูลินมีขนาดอนุภาคที่เล็ก และมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่มาก มีความหนืดและคุณสมบัติในการเกิดเจลที่ต่ำในขณะที่ความเข้มข้น C20 เมื่อผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน และเพิ่มระยะเวลาในการเก็บจะส่งผลให้เกิดเจลอินูลินที่มีความหนืด และมีความคงตัว โดยที่สภาวะ C20H5T24 เจลอินูลินมีลักษณะเป็นครีมข้นสีขาว มีความหนืด และมีความแข็งของเจลสูงที่สุด แสดงดังภาพที่ 1 โดย Roberfroid (1993) กล่าวว่า สารละลายอินูลินที่มีความเข้มข้นต่ำไม่สามารถทำให้เกิดเจลได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 25 น้ำหนักต่อปริมาตร จะสามารถทำให้เกิดโครงข่ายของเจลจากการให้ความร้อนและทำให้เย็น ซึ่งสอดคล้องกับ Kim *et al*. (2001) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลอินูลิน พบว่า เมื่อนำสารละลายอินูลินความเข้มข้น ร้อยละ 30 ละลายในน้ำอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและลดอุณหภูมิลง 15 องศาเซลเซียส สารละลายอินูลินเริ่มเกิดเป็นเจลที่มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวคล้ายครีม แต่ทั้งนี้จะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายอินูลิน โดยสารละลายอินูลินที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ไม่สามารถทำให้เกิดเจลได้

ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเจลอินูลินที่เตรียมจากสภาวะที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ: C คือ ความเข้มข้นของอินูลิน: ร้อยละ 10 (C10) และ ร้อยละ 20 (C20)

H คือ การนำไปผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน: ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชัน (H0) และผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที (H5)

T คือ เวลาในการเก็บ: เก็บเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (T0) และเก็บเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (T24)

ตารางที่ 1 คุณภาพด้านสีของเจลอินูลินมีความเข้มข้นและสภาวะการเตรียมที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าสี		
	*L**	*a**	*b**
C10H0T0	51.66±0.89^{f}	-0.74±0.06^{b}	1.44±0.14^{b}
C10H0T24	47.23±0.05^{fg}	-0.54±0.04^{a}	0.15±0.04^{d}
C10H5T0	53.05±1.90^{e}	-0.70±0.07^{b}	1.99±0.49^{a}
C10H5T24	74.81±1.88^{cd}	-0.53±0.02^{a}	0.74±0.10^{e}
C20H0T0	47.58±1.32^{fg}	-0.52±0.08^{a}	1.09±0.19^{bc}
C20H0T24	79.59±0.20^{c}	-0.69±0.02^{b}	0.65±0.04^{c}
C20H5T0	81.06±2.17^{b}	-1.16±0.07^{c}	1.47±0.48^{f}
C20H5T24	92.71±0.34^{a}	-0.58±0.01^{a}	0.94±0.14^{c}

หมายเหตุ $^{a-g}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เครื่องหมาย $\pm$ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(ตัวอักษรและตัวเลข หมายถึง สิ่งทดลองตามรายละเอียดดังภาพที่ 1)

ตารางที่ 2 ค่าคุณภาพของเจลอินูลินที่มีความเข้มข้นและสภาวะการเตรียมที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตร/กรัม)	ค่าความหนืด (เซนติพอยด์)	ความแข็งของเจล (กรัม)
C10H0T0	19.32±0.68^{d}	0.81±0.00^{d}	10.99±0.89^{f}	ND
C10H0T24	23.75±0.03^{c}	0.75±0.00^{e}	13.33±0.06^{e}	7.30±0.36^{ef}
C10H5T0	2.30±0.00^{h}	4.37±0.00^{a}	20.83±0.15^{d}	10.12±0.65^{e}
C10H5T24	4.79±0.00^{fg}	1.57±0.00^{b}	33.67±4.69^{cd}	19.19±0.12^{d}
C20H0T0	28.67±0.02^{b}	0.73±0.00^{e}	13.90±0.46^{e}	ND
C20H0T24	57.16±1.20^{a}	0.62±0.00^{f}	37.13±9.20^{c}	23.33±0.44^{c}
C20H5T0	4.93±0.00^{f}	1.59±0.00^{b}	254.00±3.61^{d}	49.31±0.25^{b}
C20H5T24	9.44±0.33^{e}	1.07±0.01^{c}	1,632.00±102.24^{a}	55.49±0.65^{a}

หมายเหตุ $^{a-g}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เครื่องหมาย $\pm$ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ND หมายถึง ไม่ปรากฏผลการทดลอง (ตัวอักษรและตัวเลข หมายถึง สิ่งทดลองตามรายละเอียดดังภาพที่ 1)

2. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กที่มีการทดแทนการใช้น้ำมันพืชด้วยเจลอินูลิน

2.1 คุณภาพของส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบ

จากการศึกษาคุณภาพด้านความหนืด และร้อยละการแยกชั้นของน้ำมันซึ่งแสดงถึงความคงตัวของอิมัลชันในส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อทดแทนด้วยเจลอินูลิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเจลอินูลินที่ได้จากการเตรียม คือ หากทดแทนด้วยเจลอินูลินที่เตรียมจากความเข้มข้น C10 ในทุกระดับการโฮโมจิไนซ์เซชัน และทุกสภาวะการเก็บ ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่ต่ำส่งผลให้ส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1,678.67 - 2,339.67 เซนติพอยด์ แต่เมื่อทดแทนด้วยเจลอินูลินที่เตรียมจากความเข้มข้น C20 นำมาผ่านการโฮโมจิไนซ์เซชันและเก็บด้วยการลดอุณหภูมิเป็นระยะเวลานาน 24 ชั่วโมง ส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบจะมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2,368.67- 2,583.67 เซนติพอยด์ สาเหตุที่ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากของเหลวซึ่งก็คือน้ำมันในระบบลดลงอันเป็นผลมาจากเนื้อเจลอินูลินที่มีค่าคงตัวที่เพิ่มขึ้นเข้าไปแทนที่ และการที่ระบบมีของเหลวที่ลดลงยังแสดงให้เห็นถึงค่าร้อยละการแยกชั้นของน้ำมันที่ลดลงซึ่งอธิบายถึงความคงตัวของอิมัลชันที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 57.21-63.49

ตารางที่ 3 คุณภาพของส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบที่มีการทดแทนน้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินจากสภาวะการเตรียมที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)	การแยกชั้นของน้ำมัน (ร้อยละ)
ตัวอย่างควบคุม	3,389.67± 73.11[a]	65.88± 2.47[a]
P1	1,678.67±18.50[g]	63.49±2.92[ab]
P2	2,235.67±28.82[f]	61.71±1.90[abc]
P3	2,253.33±18.23[f]	61.73±0.68[abc]
P4	2,339.67±6.81[ef]	61.48±2.34[abc]
P5	2,368.67±94.11[def]	60.18±2.03[bcd]
P6	2,398.00±117.94[def]	58.30±3.57[bcde]
P7	2,568.00±11.53[bcde]	57.25±1.56[cde]
P8	2,583.67±79.03[bcd]	57.21±1.75[cde]

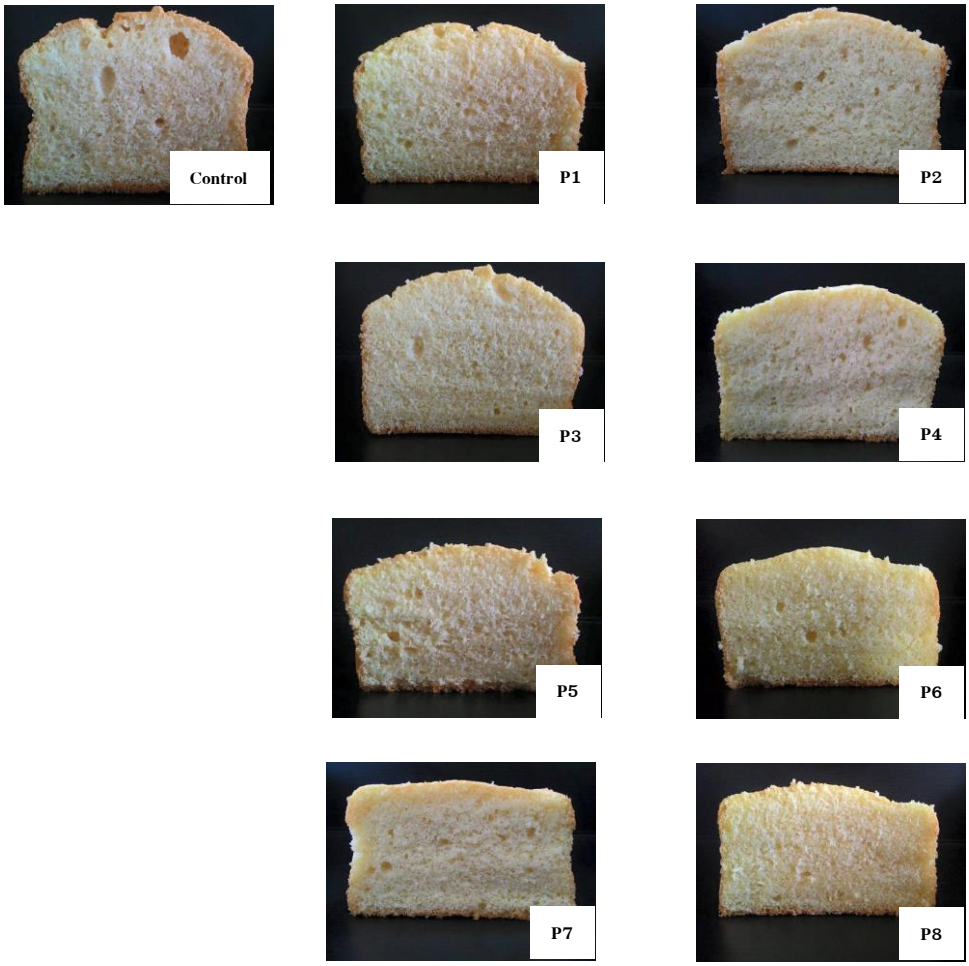
หมายเหตุ [a-f] คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เครื่องหมาย $\pm$ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

P1 หมายถึง ส่วนผสมแบตเตอร์ที่ทดแทนด้วยเจลอินูลิน C10-H0-T0
P2 หมายถึง ส่วนผสมแบตเตอร์ที่ทดแทนด้วยเจลอินูลิน C10-H0-T24
P3 หมายถึง ส่วนผสมแบตเตอร์ที่ทดแทนด้วยเจลอินูลิน C10-H5-T0
P4 หมายถึง ส่วนผสมแบตเตอร์ที่ทดแทนด้วยเจลอินูลิน C10-H5-T24
P5 หมายถึง ส่วนผสมแบตเตอร์ที่ทดแทนด้วยเจลอินูลิน C20-H0-T0
P6 หมายถึง ส่วนผสมแบตเตอร์ที่ทดแทนด้วยเจลอินูลิน C20-H0-T24
P7 หมายถึง ส่วนผสมแบตเตอร์ที่ทดแทนด้วยเจลอินูลิน C20-H5-T0
P8 หมายถึง ส่วนผสมแบตเตอร์ที่ทดแทนด้วยเจลอินูลิน C20-H5-T24

2.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กหลังการอบ

จากการศึกษาการทดแทนน้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินต่อคุณภาพด้านสี ปริมาตรจำเพาะ และความชื้นของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กหลังการอบ ดังแสดงในตารางที่ 4 คุณภาพด้านสี พบว่าการทดแทนน้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินส่งผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะของเจลอินูลินที่นำมาทดแทนซึ่งจะเปลี่ยนจากสารละลายสีเหลืองใสไปเป็นเนื้อครีมสีขาวเมื่อผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันและการลดอุณหภูมิในการเก็บรักษา ดังนั้นเมื่อมีการนำมาทดแทนน้ำมันพืชซึ่งมีสีเหลืองจึงส่งผลให้ความสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์หลังการอบที่มีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดคือ P8 แต่ทั้งนี้การนำเจลอินูลินมาทดแทนน้ำมันพืชไม่ส่งผลต่อค่าสีแดง (a^*) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 2.66-3.29 และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าอยู่ระหว่าง 28.3-31.13 สำหรับปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์หลังอบ พบว่าจะมีค่าลดลงเมื่อทดแทนด้วยเจลอินูลินที่มีค่าความแข็งของเจลที่สูง ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยอาจมีความสัมพันธ์กับค่าความคงตัวของอิมัลชันที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งแสดงถึงในระบบมีปริมาณของแข็งที่มากโดยการที่ระบบมีของเหลวที่ต่ำอาจส่งผลให้โมเลกุลของเม็ดแป้งไม่สามารถดูดซับน้ำเพื่อเกิดการพองตัวเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับ Wongjunpen (1998) ได้ศึกษาการใช้สารทดแทนไขมันที่มีคาร์โบไฮเดรตในการ

ผลิตเค้กเนยแคลอรีต่ำพบว่า เมื่อไขมันถูกแทนที่ในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรลดลง สำหรับค่าความชื้น พบว่ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีการทดแทนด้วยเจลอินูลิน



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กที่ทดแทนการใช้น้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินจากสภาวะการเตรียมที่แตกต่างกัน (หมายเหตุ: หมายเลข P1-P8 หมายถึง สิ่งทดลองตามรายละเอียดในตารางที่ 3)

ตารางที่ 4 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กที่ทดแทนการใช้น้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินจากสภาวะการเตรียมแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ปริมาตรจำเพาะ	ปริมาณความชื้น
	L^*	a^{*ns}	b^{*ns}	(ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)	(ร้อยละ)
ตัวอย่างควบคุม	74.32±0.77^{bc}	3.09±0.09	30.76±0.12	3.64±0.09^{a}	40.96±3.89^{cd}
P1	74.21±0.16^{bc}	2.66±0.26	28.33±0.54	3.45±0.01^{b}	38.06± 2.14^{d}
P2	74.56±0.28^{bc}	3.14±0.14	30.81±0.19	3.30±0.08^{c}	43.96±2.14^{c}
P3	75.09±0.11^{a}	3.13±0.17	29.61±0.23	3.32±0.09^{bc}	43.42±9.83^{c}
P4	75.23±0.43^{a}	3.29±0.07	31.12±0.14	3.29±0.06^{c}	43.90±0.62^{c}
P5	73.79±0.21^{c}	3.10±0.08	29.17±0.43	3.20±0.10^{cd}	45.14±0.14^{b}
P6	75.02±0.10^{a}	2.99±0.26	28.78±0.58	3.19±0.09^{cd}	46.13±4.66^{a}
P7	74.87±0.16^{bc}	2.79±0.14	28.68±0.21	3.20±0.04^{cd}	45.31±0.36^{b}
P8	75.23±0.30^{a}	2.78±0.11	29.43±0.43	3.10±0.08^{d}	46.26±0.52^{a}

หมายเหตุ $^{a-d}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เครื่องหมาย $\pm$ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
(หมายเลข P1-P8 หมายถึง สิ่งทดลองตามรายละเอียดในตารางที่ 3)

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ประกอบด้วย ความแข็ง ความยืดหยุ่น การเกาะรวมตัว และความสามารถในการเคี้ยว ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กมีค่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็งที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อทดแทนน้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินที่เตรียมจากความเข้มข้น C20 นำมาผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชัน และเก็บในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาวะดังกล่าวจะส่งผลทำให้เจลอินูลินมีลักษณะคล้ายครีมและมีความคงตัวที่สูงขึ้น ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ทดแทนน้ำมันพืชซึ่งเป็นของเหลวจึงส่งผลให้ส่วนผสมแบตเตอร์ (Cake Batter) ก่อนอบมีความหนืดที่เพิ่มขึ้น โดยการที่ความหนืดเพิ่มขึ้นนี้แสดงให้เห็นถึงมีปริมาณของแข็งในระบบที่มากเมื่อนำมาทำให้สุกด้วยการอบน้ำในโครงสร้างที่น้อยไม่สามารถรวมกับแป้งและเกิดเจลเพื่อเป็นโครงสร้างให้กับผลิตภัณฑ์ จึงส่งผลให้ชิฟฟอนเค้กมีความแข็งที่เพิ่มมากขึ้น ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Luo *et. al*. (2017) ได้ทำการศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณอินูลินในแป้งสาลีต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด พบว่า การเพิ่มปริมาณอินูลินลงไปในแป้งสาลีส่งผลให้แป้งมีค่าความหนืดสูงสุดที่ลดต่ำลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการพองตัวเพื่อเกิดความหนืดที่ลดลง โดยความแข็งเพิ่มมากขึ้นยังส่งผลให้ชิฟฟอนเค้กมีค่าการยืดหยุ่นที่ลดลงและค่าความสามารถในการเคี้ยวที่เพิ่มขึ้น ตามไปด้วย สำหรับค่าการเกาะรวมกันของผลิตภัณฑ์พบว่า การทดแทนน้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินที่ได้จากการเตรียมในแต่ละสภาวะไม่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.85-0.88 และไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของเจลอินูลินต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก พบว่า เจลอินูลินที่เตรียมจากความเข้มข้น C20 ในทุกระดับการโฮโมจิไนซ์เซชันและการเก็บรักษาจะมีลักษณะเป็นเนื้อครีม เมื่อนำมาทดแทนน้ำมันพืชจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กมีเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง และความสามารถในการเคี้ยวมากกว่าในขณะที่ค่าความยืดหยุ่นมีค่าต่ำกว่าการทดแทนด้วยเจลอินูลินที่เตรียมจากความเข้มข้น C10 ในทุกระดับการโฮโมจิไนซ์เซชันและระยะเวลาการเก็บ โดยสิ่งทดลอง P6 มีค่าคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสในทุกๆคุณลักษณะไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 5 ค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กที่ทดแทนการใช้น้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินจากสภาวะการเตรียมแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าความแข็ง (กรัม)	ค่าความสามารถในการเคี้ยว	ค่าความยืดหยุ่น (เซนติเมตร)	ค่าการเกาะรวมตัว ^{ns}
ตัวอย่างควบคุม	169.65±27.70^{ab}	99.93±16.93^{abcd}	0.69±0.07^{ab}	0.86±0.02
P1	117.90±34.66^{d}	78.53±23.76^{def}	0.75±0.07^{a}	0.88±0.02
P2	118.38±21.68^{d}	61.37 ±18.98^{f}	0.71±0.07^{a}	0.88±0.03
P3	130.29±44.39^{cd}	81.16±27.24^{cdef}	0.71±0.05^{a}	0.88±0.02
P4	131.37±25.97^{cd}	73.63±17.44^{df}	0.61±0.08^{c}	0.87±0.02
P5	155.33±36.00^{abc}	94.87±24.04^{bcde}	0.75±0.06^{a}	0.86±0.02
P6	160.12±46.40^{abc}	99.41±25.76^{abcd}	0.62±0.06^{a}	0.87±0.01
P7	170.41±34.54^{ab}	104.93±30.57^{bcd}	0.61±0.10^{c}	0.87±0.02
P8	174.77±32.24^{a}	110.43±19.37^{a}	0.57±0.09^{d}	0.88±0.03

หมายเหตุ $^{a-d}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เครื่องหมาย $\pm$ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
(หมายเลข P1-P8 หมายถึง สิ่งทดลองตามรายละเอียดในตารางที่ 3)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า การทดแทนน้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินที่ได้จากการเตรียมในทุกๆสภาวะไม่ส่งผลต่อคะแนนความชอบในลักษณะปรากฏ และสีของผลิตภัณฑ์ แต่ส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านความนุ่มและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ โดยสิ่งทดลองที่ P6 ผู้บริโภคมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ในระดับชอบปานกลาง (7.4) ซึ่งสูงกว่าระดับคะแนนความชอบโดยรวมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 6 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กที่ทดแทนการใช้น้ำมันพืชด้วยเจลอินูลินจากสภาวะที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	ความนุ่ม	ความชอบโดยรวม
ตัวอย่างควบคุม	6.2±1.8	7.0±1.2	6.1±1.1^{de}	6.4±1.8^{d}
P1	6.3±1.5	6.8±1.1	6.7±1.5^{bc}	6.8±1.3^{bc}
P2	6.5±1.5	6.9±0.8	6.9±1.1^{b}	6.9±0.9^{b}
P3	6.2±1.4	7.1±0.9	6.7±1.4^{bc}	6.7±1.1^{bc}
P4	6.2±1.6	7.1±1.2	6.3±1.7^{d}	6.6±1.2^{c}
P5	6.1±1.6	6.7±1.4	7.0±1.3^{b}	7.0±1.0^{b}
P6	6.3±1.1	7.2±0.8	7.1±0.9^{ab}	7.4±0.8^{a}
P7	6.5±1.6	7.1±1.1	6.9±1.5^{b}	7.0±1.4^{b}
P8	6.2±1.4	6.7±1.1	6.8±1.5^{bc}	6.8±1.1^{bc}

หมายเหตุ $^{a-d}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เครื่องหมาย $\pm$ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
(หมายเลข P1-P8 หมายถึง สิ่งทดลองตามรายละเอียดในตารางที่ 3)

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพทางกายภาพของเจลอินูลินที่เตรียมจากความเข้มข้นร้อยละ 20 ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชันที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาทีและเก็บเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 10$\pm$1 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้เจลอินูลินที่มีลักษณะเป็นเนื้อครีมสีขาวที่มีขนาดอนุภาคเล็กและมีความคงตัว และเมื่อนำมาใช้ทดแทนน้ำมันพืช ร้อยละ50 ในผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก พบว่าส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความสว่างเพิ่มขึ้น เนื้อสัมผัสด้านแข็ง ความสามารถในการเคี้ยวและการเกาะรวมตัวเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าการสปริงตัวและปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง อย่างไรก็ตามคุณภาพข้างต้นส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคมีค่าเพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กที่มีการนำเจลอินูลินที่เตรียมจากความเข้มข้น ร้อยละ 20 เก็บโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 10±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทดแทนน้ำมันพืช ร้อยละ 50 ผู้บริโภคมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.4) ซึ่งมากกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าเจลอินูลินสามารถใช้เป็นสารทดแทนน้ำมันในผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กได้ซึ่งนอกเหนือจากจะทำให้มีปริมาณไขมันลดลงยังสามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสโดยผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

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

Franck, A. & Leenheer, D.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.

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

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.

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.

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.

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.

Luo, D., Li, Y., Xu, B., Ren, G., Li, P., Li, X., Han, S. & Lui, J. (2017). Effects of inulin with different degree of polymerization on gelatinization and retrogradation of wheat starch. *Food Chemistry*, *229*, 35–43.

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.

Oupadissakoon, S. (1994). *Statistic and Experimental Design* volume 2. Bangkok Thailand.

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*. Sangdad Publishing: Bangkok (Thailand), 70-73.

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., Fougnies, 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.

Srithunma, S. (2002) *Effects fat content and homogenization pressure on apparent viscosity of coconut milk*. Master's Thesis, Department of Food Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.

Wongjunpen, P. (1998). *Utilization of carbohydrate based fat replacer and emulsifier in the production of low-calorie butter cake*. Master's Thesis, Department of Food Technology. Chulalongkorn University Bangkok.

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.