

ผลของการทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัส ของบราวนี่

ชฎาภา ขำตา¹, ณัฐธิดา ได้เปรียบ¹ และ สินี หนองเต่าคำ^{1*}

¹ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

*nongtaodum_s@su.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสของบราวนี่ โดยใช้เจลอินนูลินทดแทนไขมันที่ระดับ 0, 25, 35, 50, 65, 75 และ 100% (โดยน้ำหนักของไขมัน) จากการศึกษาพบว่า การทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินส่งผลให้ความหนืดของแบทเทอร์ลดลง ในทางตรงกันข้ามความหนาแน่นของแบทเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ปริมาตรจำเพาะและความสูงของบราวนี่ที่ใช้เจลอินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ค่า Water activity (a_w) ของบราวนี่ที่ใช้เจลอินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันมีค่าอยู่ในช่วง 0.7776 ถึง 0.8280 บราวนี่ที่ใช้เจลอินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันที่ระดับ 100% มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดเท่ากับ 2.11% (ฐานแห้ง) ค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อมันบราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินมีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 36.57 ถึง 38.14 ค่าความแข็งของบราวนี่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารทดแทนไขมันจากเจลอินนูลิน จากการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าบราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินที่ระดับ 25% มีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) โดยมีคะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.91 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง)

คำสำคัญ: บราวนี่ อินนูลิน สารทดแทนไขมัน สมบัติ

Effects of fat replacement with inulin gel on the physicochemical and sensory properties of brownies

Chadapa Kumta¹, Nattida Daipreab¹ and Sinee Nongtaodum^{1*}

¹Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

*nongtaodum_s@su.ac.th

Abstract

The objective of this research was to investigate the effects of fat replacement with inulin gel on the physicochemical and sensory properties of brownies, with fat substitution at levels of 0, 25, 35, 50, 65, 75, and 100% (w/w). The replacement of fat with inulin gel resulted in a significant decrease in batter viscosity, whereas batter density significantly increased ($p \leq 0.05$). The specific volume and height of the brownies with inulin gel as a fat replacer were significantly lower than those of the control ($p \leq 0.05$). The water activity (a_w) values of brownies with inulin gel as a fat replacer ranging from 0.7776 to 0.8280. Brownies with 100% fat replacement using inulin gel exhibited the lowest fat content at 2.11% (dry basis). The lightness (L^*) of brownie crumbs formulated with inulin gel as a fat replacer significantly increased ($p \leq 0.05$), with values ranging from 36.57 to 38.14. The hardness of the brownies increased with increasing levels of inulin gel as a fat replacer. Sensory evaluation results indicated that brownies with 25% fat replacement using inulin gel showed no significant differences in appearance, color, flavor, taste, texture, and overall liking compared to the control ($p > 0.05$). The mean overall liking score for this formulation was 6.91 (like slightly to like moderately).

Keywords: Brownies, Inulin, Fat replacer, Properties

1. บทนำ

บราวนี่ (Brownie) จัดเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ แป้งสาลี ไข่ ไขมัน น้ำตาล และช็อกโกแลต หรือโกโก้ บราวนี่มีเนื้อสัมผัสทั้งแบบเนื้อเค้ก (Cakey) หรือแบบเนื้อหนึบฉ่ำ (Fudgy) บราวนี่ได้รับความนิยมบริโภคกันอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภคทุกวัย ทั้งนี้เนื่องจากบราวนี่มีสีสันทึมน่ารับประทาน กลิ่นหอมที่โดดเด่น รสชาติที่หวานละมุน และเนื้อสัมผัสที่ไม่ฟูจนเกินไป แต่ทั้งนี้บราวนี่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลักจึงส่งผลให้บราวนี่มีค่าพลังงานที่สูงมาก และตลอดจนมีใยอาหารที่ต่ำ [1] ในการบริโภคไขมันในปริมาณสูงจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และนำไปสู่การพัฒนาของโรคเรื้อรังบางชนิด เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน ระดับคอเลสเตอรอลสูง ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ เป็นต้น ดังนั้นทางเลือกทางโภชนาการเพื่อนำไปสู่การลดโรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการรับประทานผลิตภัณฑ์อาหาร คือ การลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารลง [2]

อินนูลิน (Inulin) จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตสายยาวหรือพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทฟรุคแทน (Fructan) ที่สกัดได้จากพืชธรรมชาติ สามารถสร้างโครงสร้างเจลที่มีลักษณะคล้ายครีมเมื่อจับกับน้ำ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้น และสามารถรักษาความฉ่ำเนียน (Creaminess) ของเนื้อสัมผัสไว้ได้คล้ายกับการมีไขมัน นอกจากนี้อินนูลินยังมีคุณสมบัติอื่นๆ อีกมากมาย

จัดเป็นใยอาหารประเภทที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) และมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic) ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร [3, 4] หลายปีที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่มีความเป็นไปได้ในการใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันทั้งในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปประเภทไส้กรอก และลูกชิ้น [5, 6] ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต [7] ผลิตภัณฑ์คุกกี้ [8] และผลิตภัณฑ์มัฟฟิน [9] เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินที่ระดับ 0, 25, 35, 50, 65, 75 และ 100% (โดยน้ำหนักของไขมัน) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสของบราวนี่

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบ ได้แก่ แป้งสาลี (แป้งอเนกประสงค์ ตราวัว) ผงโกโก้ (ตราทิวลิป) น้ำตาลทรายขาว (ตรามิตรผล) เนยสดชนิดจืด (ตราลารี่) ไข่ไก่สดเบอร์ 2 (ตราเคซีเอฟ) ผงฟูดับเบิลแอดดิง (ตราเบสท์ฟู้ด) เกลือป่น (ตราปรุ้งทิพย์) อินนูลิน (บริษัท Beneo) กลิ่นวนิลา (ตรา เบสท์ โอเดอร์) และ เนยขาว (ตราโอพี)

2.2 ขั้นตอนการผลิตบราวนี่

- การเตรียมเจลอินนูลิน โดยใส่อินนูลินและน้ำดื่มที่อัตราส่วน 40:60 (ความเข้มข้น 40% โดยน้ำหนัก) ลงในหม้อ คนให้เข้ากัน และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที แล้วเทเจลอินนูลินที่ได้ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเย็น หลังจากนั้นนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำเจลอินนูลินมาทดแทนไขมันในบราวนี่

- นำส่วนผสมแห้ง ได้แก่ แป้งสาลี (14.94%) ผงฟู (0.18%) โกโก้ (8.15%) ร่อนเข้าด้วยกันด้วยตะแกรงร่อนจำนวน 2 รอบ แล้วพักไว้ ตีผสมไข่ไก่สด (20.38%) น้ำตาลทราย (32.60%) และเกลือป่น (0.43%) เข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสม (Kitchenaid; Model 5K5SS, USA) ที่ความเร็วระดับ 6 เป็นเวลา 4 นาที แล้วปรับความเร็วเป็นระดับ 4 แล้วเติมเนยสด (23.09%) ลงไป สลับกับการเติมเจลอินนูลิน (ตามการทดแทนอินนูลินที่ระดับ 0, 25, 35, 50, 65, 75 และ 100% โดยน้ำหนักของไขมัน) ตีผสมต่อเป็นระยะเวลา 3 นาที ปรับความเร็วเป็นระดับ 2 แล้วค่อย ๆ เติมส่วนผสมที่ผ่านการร่อนแล้ว และกลิ่นวนิลา (0.20%) ตีผสมต่อเป็นเวลา 3 นาที นำแบทเทอร์ (Batter) น้ำหนัก 160 กรัม เทใส่ถาดที่ทาเนยขาวบาง ๆ บนถาดแล้ว (ขนาดถาด 3.5x3.5 นิ้ว) นำเข้าเตาอบ ทำการอบที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส (ทั้งไฟบนและไฟล่าง) เป็นระยะเวลา 27 นาที พักบราวนี่ให้เย็นในถาดนาน 40 นาที แล้วเคาะบราวนี่ออกจากถาด นำมาวางบนพักตะแกรงประมาณ 5 นาที แล้วใส่ถุงพลาสติก (Polypropylene; PP) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของแบทเทอร์บราวนี่

2.3.1 ความหนืดของแบทเทอร์ (Batter) บราวนี่

วัดค่าความหนืดของแบทเทอร์บราวนี่ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบราง (Bostwick Consistometer; Endecotts, England) โดยชั่งน้ำหนักแบทเทอร์ 70 กรัม ใส่ในถ้วยตวงพลาสติก แล้วเทแบทเทอร์ลงใน Bostwick Consistometer ที่มีแผ่นล้อยกขึ้นไว้ เปิดแผ่นล้อยกออก แล้ววัดระยะทางการไหลของแบทเทอร์ในเวลา 120 วินาที บันทึกระยะทางการไหลของแบทเทอร์ในหน่วยเซนติเมตร

2.3.2 ความหนาแน่นแบทเทอร์ (Batter) บราวน์

วัดความหนาแน่นของแบทเทอร์บราวน์ ดัดแปลงตามวิธีของ Majzoobi et al. [10] โดยใช้ถ้วยตวงพลาสติก (ทราบปริมาตรแน่นอน) แล้วนำแบทเทอร์เทลงในถ้วยตวงพลาสติก ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า คำนวณความหนาแน่นดังสมการ

$$\text{ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักแบทเทอร์ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรถ้วยตวง (มิลลิลิตร)}} \quad (1)$$

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของบราวน์

2.4.1 ความสูงของชั้นบราวน์

วัดค่าความสูงของชั้นบราวน์ โดยวัดความสูงที่บริเวณตรงกลางของชั้นบราวน์ด้วยดิจิตอลเวอร์เนีย

2.4.2 ปริมาตรจำเพาะของบราวน์

นำตัวอย่างบราวน์มาตัดเป็นชิ้นให้มีขนาด 4x4x4 เซนติเมตร และวัดปริมาตรจำเพาะด้วยการแทนที่น้ำ ดัดแปลงจาก Dadali and Elmaci [11]

2.4.3 วัดค่า Water activity (a_w) ของบราวน์

นำตัวอย่างบราวน์มาบดให้ละเอียด แล้วนำไปวัดค่า Water activity (a_w) ด้วยเครื่อง Water activity meter (Aqualab รุ่น Series4TE)

2.4.4 ปริมาณไขมันของบราวน์

วัดปริมาณไขมันของบราวน์ด้วยเครื่องสกัดไขมัน (Soxtec extraction unit; Foss Analytical A/S, Denmark) โดยนำตัวอย่างบราวน์มาบดให้ละเอียด แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2.5±0.2 กรัม ใส่ลงในกระตาด مخروط Whatman เบอร์ 1 แล้วใส่ลงใน Thimble ของชุดสกัดไขมัน (Soxhlet) เติมน้ำมันละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ แล้วให้ความร้อนเพื่อสกัดไขมันประมาณ 6 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไประเหยตัวทำละลายออก แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักไขมันที่ได้แล้วคำนวณดังสมการ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{[\text{น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)}]}{[\text{น้ำหนักบราวน์ (กรัม)}]} \times 100 \quad (2)$$

2.4.5 ค่าสีของเนื้อมบราวน์

นำตัวอย่างเนื้อมบราวน์ไปวัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Color-view spectrophotometer (BYK Gardner Model 9000) ในระบบสี CIE $L^* a^* b^*$

2.4.6 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบราวน์

นำตัวอย่างบราวน์มาตัดเป็นชิ้นให้มีขนาด 1x1x1 นิ้ว แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer TAXT2i โดยวัดด้วยหัววัด P/50 กำหนดค่า Pre-test speed 1 mm/sec, Test speed 5 mm/sec Post-test speed 10 mm/sec และ Trigger-Force 60% Strain บันทึกค่า Hardness, Cohesiveness, Gumminess, Springiness และ Chewiness ดัดแปลงจาก Premi and Sharma [12]

2.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของบราวน์

นำตัวอย่างบราวน์มาตัดเป็นชิ้นให้มีขนาด 1 x 1 x 1 นิ้ว แล้วนำมาบรรจุใส่ถ้วยชิม โดยเสิร์ฟตัวอย่างพร้อมน้ำดื่ม ทำการทดสอบโดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 100 คน ด้วยแบบทดสอบ 9-point hedonic scale โดยช่วงคะแนน 1

=ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9=ชอบมากที่สุด คุณลักษณะที่ทดสอบได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพ และ Randomized Completely Block Design (RCBD) สำหรับทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลของการทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินต่อความหนืด และความหนาแน่นของแบทเทอร์บราวนี่

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 1) พบว่า เมื่อทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินในปริมาณที่มากขึ้น ค่าบอสวิก (Bostwick number) จะเพิ่มขึ้นจาก 7.01 เซนติเมตร (ตัวอย่างควบคุม; 100% ไขมัน) เป็น 12.36 เซนติเมตร (ทดแทนด้วย 100% เจลอินนูลิน) เนื่องจากค่าบอสวิก (Bostwick number) มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) กับค่าความหนืด การทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินในปริมาณที่มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความหนืดของแบทเทอร์บราวนี่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) ทั้งนี้เนื่องจากเจลอินนูลินซึ่งมีความเข้มข้น 40% โดยน้ำหนัก (เตรียมจากอินนูลินและน้ำดื่มที่อัตราส่วน 40:60) ส่งผลทำให้แบทเทอร์บราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลิน มีอัตราส่วนของเหลว (น้ำ) ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินในปริมาณที่มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณน้ำในแบทเทอร์บราวนี่เพิ่มขึ้นตามลำดับ จึงส่งผลให้ความหนืดของแบทเทอร์บราวนี่ลดลง และเมื่อทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของแบทเทอร์บราวนี่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) โดยแบทเทอร์บราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินทั้งหมด (100% เจลอินนูลิน) มีค่าความหนาแน่นสูงสุด ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.117 กรัม/มิลลิลิตร ทั้งนี้เนื่องจากว่าในระหว่างการผลิตผสม ไขมันจะมีหน้าที่ช่วยกักเก็บและสร้างความเสถียรให้กับฟองอากาศ ดังนั้นบราวนี่สูตรที่มีไขมันต่ำจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นสูงขึ้น [13]

ตารางที่ 1 ค่า Bostwick number และความหนาแน่นของแบทเทอร์บราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลิน

ตัวอย่าง	Bostwick number (เซนติเมตร) ที่ 120 วินาที	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)
ควบคุม	7.01±0.24 ^f	1.049±0.002 ^f
อินนูลิน 25%	7.96±0.43 ^e	1.077±0.006 ^e
อินนูลิน 35%	8.81±0.50 ^d	1.068±0.007 ^d
อินนูลิน 50%	9.70±0.57 ^c	1.093±0.006 ^c
อินนูลิน 65%	10.50±0.52 ^b	1.096±0.005 ^c
อินนูลิน 75%	10.70±0.78 ^b	1.104±0.003 ^b
อินนูลิน 100%	12.36±0.25 ^a	1.117±0.008 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 ผลของการทดแทนไขมันด้วยอินนูลินต่อความสูง ปริมาตรจำเพาะของบราวนี่ Water activity (a_w) และ ปริมาณไขมันของบราวนี่

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 2) พบว่า ค่าความสูงของบราวนี่มีแนวโน้มลดลงเมื่อทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินใน ปริมาณที่มากขึ้น โดยบราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินทั้งหมด (100% เจลอินนูลิน) มีค่าความสูงต่ำที่สุด (25.95 มิลลิเมตร) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) โดยมีค่าเท่ากับ 31.01 มิลลิเมตร ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodriguez-Sandoval et al. [13] รายงานว่า ค่าความสูงของมัฟฟิน (Muffins) ลดลงเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified cassava starch) เป็นสารทดแทนไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการทดแทนไขมันที่มากกว่า 8% ขึ้นไป และเมื่อ ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของบราวนี่มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่บราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินที่ระดับ 25% มีค่าปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($p > 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Belorio et al. [14] รายงานว่า เค้กเลเยอร์ (Layer cakes) ที่ได้ทดแทนไขมันด้วยไซเลียม (Psyllium) เมื่อทดแทนไขมันในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาตรจำเพาะของ เค้กเลเยอร์มีค่าลดลง สำหรับค่า Water activity (a_w) ของบราวนี่ที่ใช้เจลอินนูลินทดแทนไขมัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทดแทน ไขมันด้วยเจลอินนูลินในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.7776 ถึง 0.8280 ส่วนปริมาณไขมันของบราวนี่มีค่า ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลิน โดยบราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วย เจลอินนูลินที่ระดับ 100% จะมีปริมาณไขมันต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.11% (ฐานแห้ง) เมื่อเปรียบเทียบกับ ตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) โดยมีค่าเท่ากับ 22.36% (ฐานแห้ง)

ตารางที่ 2 ความสูง ปริมาตรจำเพาะ Water activity (a_w) และปริมาณไขมันของบราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลิน

ตัวอย่าง	ความสูง (มิลลิเมตร)	ปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตร/กรัม)	Water activity (a_w)	ปริมาณไขมัน % (ฐานแห้ง)
ควบคุม	31.01±0.36 ^a	1.944±0.073 ^a	0.7135±0.0025 ^e	22.36±0.57 ^a
เจลอินนูลิน 25%	28.28±0.89 ^b	1.915±0.173 ^a	0.7788±0.0050 ^d	14.94±1.39 ^b
เจลอินนูลิน 35%	29.51±1.17 ^b	1.740±0.105 ^b	0.7776±0.0068 ^d	14.18±1.56 ^b
เจลอินนูลิน 50%	29.71±1.78 ^{ab}	1.723±0.179 ^b	0.7865±0.0046 ^c	12.74±0.09 ^b
เจลอินนูลิน 65%	29.08±0.86 ^b	1.703±0.033 ^b	0.7906±0.0042 ^c	10.02±0.40 ^c
เจลอินนูลิน 75%	28.24±1.25 ^b	1.684±0.143 ^b	0.7965±0.0053 ^b	8.91±1.21 ^c
เจลอินนูลิน 100%	25.95±1.43 ^c	1.565±0.229 ^b	0.8280±0.0042 ^a	2.11±0.76 ^d

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

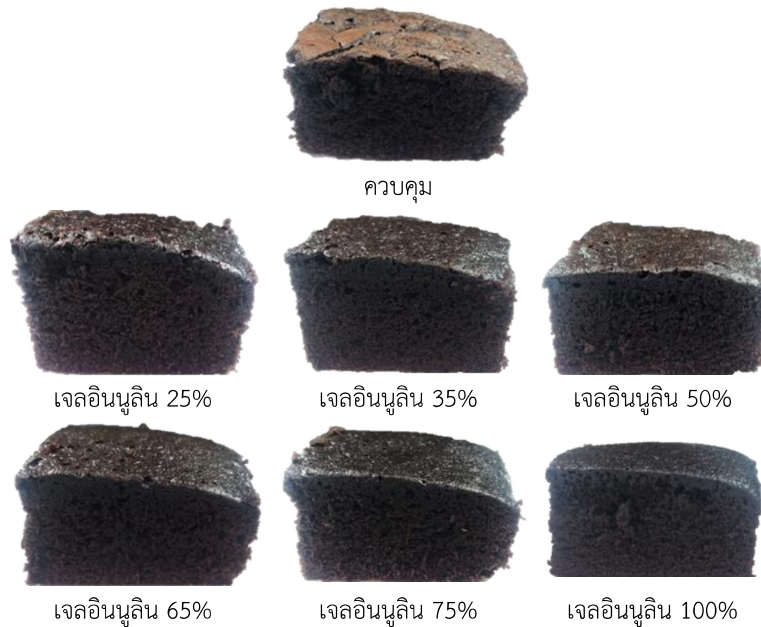
3.3 ผลของการทดแทนไขมันด้วยอินนูลินต่อค่าสีเนื้อของบราวนี่

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 3 และภาพที่ 1) พบว่า เมื่อใช้เจลอินนูลินทดแทนไขมันในบราวนี่ ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อ บราวนี่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) ทั้งนี้เนื่องจากว่าอินนูลินเมื่อรวมตัว กับน้ำจะเกิดเป็นเจลสีขาวจึงส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อบราวนี่มีค่าสูงขึ้น สำหรับค่าสี a^* และ ค่าสี b^* มีแนวโน้ม สูงขึ้นเมื่อทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินในปริมาณที่มากขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.87 ถึง 6.61 และ 0.62 ถึง 1.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าสีเนื้อของบราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลิน

ตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*
ควบคุม	34.37±1.60 ^b	5.56±0.42 ^c	0.74±0.11 ^{cd}
เจลอินนูลิน 25%	36.57±1.10 ^a	6.20±0.38 ^b	0.90±0.15 ^{bc}
เจลอินนูลิน 35%	36.73±0.70 ^a	6.14±0.26 ^b	1.20±0.21 ^a
เจลอินนูลิน 50%	37.86±1.81 ^a	6.61±0.11 ^a	1.20±0.21 ^a
เจลอินนูลิน 65%	37.10±1.13 ^a	5.92±0.38 ^{bc}	0.89±0.07 ^{bc}
เจลอินนูลิน 75%	37.60±1.67 ^a	5.87±0.25 ^{bc}	0.62±0.12 ^d
เจลอินนูลิน 100%	38.14±0.12 ^a	6.14±0.31 ^b	0.98±0.05 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 1 ภาพตัดขวางของเนื้อมันบราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลิน

3.3 ผลของการทดแทนไขมันด้วยอินนูลินต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบราวนี่

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 4) พบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) คือ ค่าแรงที่สูงที่สุดที่เกิดขึ้นระหว่างการเคี้ยวครั้งแรก เมื่อทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินในระดับ 100% จะทำให้ค่าความแข็งมีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3,928.52 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากว่าไขมันช่วยทำให้เกิดการกักเก็บอากาศในระหว่างกระบวนการตีผสม และช่วยยับยั้งการรวมตัวกันของฟองอากาศ ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างเนื้อขนม (Crumb) มีความโปร่ง ละเอียด และนุ่มฟู [15] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kardy et al. [16] รายงานว่า เมื่อลดไขมันลงโดยใช้เจลเมล็ดเจีย (Chia gel) เป็นสารทดแทนไขมันในปริมาณที่เพิ่มขึ้นในเค้ก จะทำให้เนื้อเค้กมีค่าความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้น สำหรับค่า Springiness คือ ค่าการคืนตัวหลังจากที่มีการสูญเสียรูปร่างครั้งแรก ซึ่งบราวนี่ที่ใช้เจลอินนูลินทดแทนไขมันจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.653 ถึง 0.708 และค่า Cohesiveness คือ ค่าพลังที่ยึดเกาะกันภายในชิ้นอาหาร ซึ่งบราวนี่ที่ใช้เจลอินนูลินทดแทนไขมันจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.408 ถึง 0.432 โดยทั้งค่า Springiness และค่า Cohesiveness ของบราวนี่ที่ใช้เจลอินนูลินทดแทนไขมันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับตัวอย่าง

ควบคุม (100% ไขมัน) สำหรับค่า Gumminess คือ ค่าพลังงานที่แยกออกจากกันจนสามารถกลืนลงไปได้ และค่า Chewiness คือ ค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว โดยบรวนนีที่ใช้เจลอินนูลินทดแทนไขมันจะมีค่า Gumminess (972.74 ถึง 1,650.85 กรัม) และค่า Chewiness (695.37 ถึง 1,097.52 กรัม) มากกว่าตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบรวนนีที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลิน

ตัวอย่าง	Hardness (g)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g)
ควบคุม	1,928.15±179.83 ^e	0.726±0.006 ^a	0.400±0.019 ^a	772.91±111.18 ^d	561.56±85.73 ^c
เจลอินนูลิน 25%	2,277.23±171.27 ^d	0.708±0.048 ^a	0.428±0.020 ^a	972.74±123.79 ^c	695.37±129.29 ^{bc}
เจลอินนูลิน 35%	2,320.47±39.61 ^d	0.707±0.012 ^a	0.432±0.006 ^a	999.10±38.48 ^c	707.05±14.92 ^{bc}
เจลอินนูลิน 50%	2,417.06±328.92 ^{cd}	0.699±0.019 ^a	0.418±0.012 ^a	1,012.71±30.14 ^c	708.01±39.66 ^{bc}
เจลอินนูลิน 65%	2,614.76±25.43 ^c	0.684±0.066 ^a	0.427±0.036 ^a	1,111.63±98.66 ^c	762.53±138.80 ^{bc}
เจลอินนูลิน 75%	3,221.44±12.40 ^b	0.662±0.073 ^a	0.408±0.030 ^a	1,309.98±89.04 ^b	878.61±166.30 ^{bc}
เจลอินนูลิน 100%	3,928.52±110.05 ^a	0.653±0.009 ^a	0.419±0.007 ^a	1,650.85±29.06 ^a	1,097.52±0.70 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.5 ผลของการทดแทนไขมันด้วยอินนูลินต่อคะแนนเฉลี่ยของการประเมินทางประสาทสัมผัสของบรวนนี

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 5) พบว่า การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 100 คน ซึ่งเป็นชาย 26 คน (26%) และเป็นหญิง 74 คน (74%) โดยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีคะแนนเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้เจลอินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันในบรวนนี จะส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม) มีแนวโน้มลดลงจากตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) แต่เมื่อใช้เจลอินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันที่ระดับ 25% จะส่งผลให้บรวนนีมีคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) โดยบรวนนีที่ใช้เจลอินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันที่ระดับ 25% มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.91 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง)

ตารางที่ 5 คะแนนเฉลี่ยของการประเมินทางประสาทสัมผัสของบรวนนีที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลิน (N=100)

ตัวอย่าง	ความชอบ					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	โดยรวม
ควบคุม	7.10±1.48 ^a	7.18±1.44 ^a	6.80±1.63 ^a	6.98±1.63 ^a	6.62±1.69 ^a	6.94±1.54 ^a
เจลอินนูลิน 25%	7.01±1.36 ^{ab}	7.15±1.36 ^a	6.80±1.44 ^a	6.92±1.44 ^a	6.68±1.49 ^a	6.91±1.47 ^a
เจลอินนูลิน 35%	6.82±1.45 ^{abc}	7.12±1.32 ^a	6.43±1.55 ^{ab}	6.67±1.44 ^a	6.68±1.49 ^a	6.50±1.55 ^b
เจลอินนูลิน 50%	6.80±1.49 ^{abc}	6.92±1.39 ^{ab}	6.24±1.51 ^b	6.28±1.71 ^b	6.13±1.75 ^b	6.41±1.65 ^b
เจลอินนูลิน 65%	6.79±1.51 ^{abc}	6.90±1.45 ^{ab}	6.11±1.69 ^{bc}	6.12±1.73 ^{bc}	5.85±1.67 ^{bc}	6.02±1.78 ^c
เจลอินนูลิน 75%	6.71±1.54 ^{bc}	6.90±1.38 ^{ab}	5.84±1.64 ^c	5.83±1.60 ^c	5.63±1.66 ^c	5.89±1.60 ^c
เจลอินนูลิน 100%	6.49±1.77 ^c	6.68±1.60 ^b	5.05±1.83 ^d	5.24±1.50 ^d	4.74±2.04 ^d	5.16±1.82 ^d

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. สรุป

การใช้เจลอินนูลินทดแทนไขมันในบราวนี่ ทำให้แบทเทอร์ของบราวนี่มีความหนืดลดลง แต่ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าความสูง ปริมาตรจำเพาะ และปริมาณไขมันของบราวนี่ลดลง ส่วนค่าความสว่าง (L^*) และค่าความแข็ง (Hardness) มีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้เจลอินนูลินทดแทนไขมันในปริมาณที่สูงขึ้น ทั้งนี้บราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินที่ระดับ 25% มีคะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม (100% ไขมัน) ดังนั้นบราวนี่ที่ทดแทนไขมันด้วยเจลอินนูลินที่ระดับ 25% จึงเป็นทางเลือกของผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เพราะนอกจากเป็นบราวนี่ที่ลดพลังงานแล้ว ยังมีใยอาหารและมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่มาจากเจลอินนูลิน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] Petka, K., & Topolska, K. (2025). Vegetable-enriched brownies: A healthier twist on a classic treat. *Nutrients*, 17(1), Article 184. <https://doi.org/10.3390/nu17010184>
- [2] Miličević, N., Sakač, M., Hadnađev, M., Skrobot, D., Sarić, B., Dapčević-Hadnađev, T., Jovanov, P., & Pezo, L. (2020). Physico-chemical properties of low-fat cookies containing wheat and oat bran gels as fat replacers. *Journal of Cereal Science*, 95, Article 103056. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103056>
- [3] Ahmed, W., & Rashid, S. (2019). Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355775>
- [4] Li, J., Cui, H., Xu, X., Li, J., Lu, M., Guan, X., Zhu, D., & Liu, H. (2022). Effect of fat replacement by inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat margarine. *Food Hydrocolloids*, 133, Article 107868. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107868>
- [5] Glisic, M., Baltic, M., Glisic, M., Trbovic, D., Jokanovic, M., Parunovic, N., Dimitrijevic, M., Suvajdzic, B., Boskovic, M., & Vasilev, D. (2018). Inulin-based emulsion-filled gel as a fat replacer in prebiotic- and PUFA-enriched dry fermented sausages. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(3), 772-780. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13997>
- [6] Idyryshev, B., Muratbayev, A., Tashybayeva, M., Spanova, A., Amirkhanov, S., Serikova, A., Serikov, Z., Bakirova, L., Jumazhanova, M., & Bepeyeva, A. (2025). Development and characterization of emulsion gels with pine nut oil, inulin, and whey proteins for reduced-fat meat products. *Foods*, 14(6), Article 962. <https://doi.org/10.3390/foods14060962>
- [7] Costa, M.P., Rosario, A.I.L.S., Silva, V.L.M., Vieira, C.P., & Conte-Junior, C.A. (2022). Rheological, physical and sensory evaluation of low-fat cupuassu goat milk yogurts supplemented with fat replacer. *Food Science of Animal Resources*, 42(2), 210-224. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e64>
- [8] Paciulli, M., Littardi, P., Carini, E., Paradiso, V.M., Castellino, M., & Chiavaro, E. (2020). Inulin-based emulsion filled gel as fat replacer in shortbread cookies: Effects during storage. *LWT*, 133,



- Article 109888. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109888>
- [9] Ng, F.S.K., Chiang, J.H., Ng, G.C.F., Lee, C.S.H., & Henry, C.J. (2021). Influence of inulin-konjac suspension as a fat replacer in baked muffins and its impact on textural and oxidative stability upon storage. *Journal of Food Process Engineering*, 45(10), Article e15769. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15769>
- [10] Majzoobi, M., Karambakhsh, G., Golmakani, M.T., Mesbahi, G., & Farahnaky, A. (2020). Effects of level and particle size of date fruit press cake on batter rheological properties and physical and nutritional properties of cake. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(1), 121-133. <https://doi.org/20.1001.1.16807073.2020.22.1.19.5>
- [11] Dadali, C., & Elmaci, Y. (2019). Reduction of sucrose by inhomogeneous distribution in cake formulation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 2563-2570. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00176-7>
- [12] Premi, M., & Sharma, H.K. (2018). Effect of drumstick leaves powder on the rheological, microstructural and physico-functional properties of sponge cake and batter. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(1), 11-21. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9612-4>
- [13] Rodriguez-Sandoval, E., Prasca-Sierra, I., & Hernandez, V. (2017). Effect of modified cassava starch as a fat replacer on the texture and quality characteristics of muffins. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1630-1639. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9543-0>
- [14] Belorio, M., Sahagún, M., & Gómez, M. (2019). Psyllium as a fat replacer in layer cakes: Batter characteristics and cake quality. *Food and Bioprocess Technology*, 12(12), 2085-2092. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02361-4>
- [15] Lindarte-Artunduaga, J., & Gutiérrez, L.F. (2019). Effects of replacing fat by betaglucans from *Ganoderma lucidum* on batter and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 451-461. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3507-1>
- [16] Kadry, M.M., Salama, A., & Ammar, M.S. (2021). Chia gel as fat substitute for producing low fat cake. *Archives of Agriculture Sciences*, 4(1), 9-24. <https://doi.org/10.21608/aasi.2021.67619.1058>