ผลของการใช้เวย์โปรตีนไอโซเลทและอินูลินเป็นสารทดแทนไขมัน ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมไขมันต่ำ

ดร.นภัสสร เพียสุระ[1]
ดร.พรรัตน์ สินชัยพานิช[2]
อนันทิตา แสงสุริยวงษ์[2]

[1]ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : napassorn.pea@ku.ac.th
[2]สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล
รับเมื่อ 29 พฤศจิกายน 2565 **แก้ไขเมื่อ** 27 กุมภาพันธ์ 2566 **ตอบรับเมื่อ** 20 เมษายน 2566

จุดเด่น

- การเติมเวย์โปรตีน 8% ลงในไอศกรีมทำให้อัตราการละลายช้าลงกว่าไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม และเติมอินูลิน 8%
- การเติมสารทดแทนไขมัน คือ อินูลิน สามารถเพิ่มอัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมได้มากที่สุด
- อินูลินทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดมากกว่าการเติมเวย์ และมีสมบัติทางเคมีและกายภาพใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม เหมาะที่จะนำมาพัฒนาสูตรไอศกรีมไขมันต่ำ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้สารทดแทนไขมัน 2 ชนิด คือ เวย์โปรตีนและอินูลิน ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและกายภาพของไอศกรีม เปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม พบว่าไอศกรีมทั้ง 3 สูตร มีสีค่อนข้างเหลือง และไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มมีค่าความสว่างสูงที่สุด เนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง จากนั้นนำมาทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยค่าความแข็งพบว่า ไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีน 8% มีเนื้อสัมผัสแข็งกว่าไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% และไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม อัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% มีอัตราการขึ้นฟูมากที่สุดเท่ากับ 48.93% และมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีน 8% และไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม เมื่อวิเคราะห์ค่าความหนืดพบว่าไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% มีค่าความหนืดมากที่สุด ส่งผลให้อัตราการละลายของไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% มีค่าต่ำและไม่มีความแตกต่างกับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเวย์โปรตีน 8%

คำสำคัญ : ไอศกรีมไขมันต่ำ สารทดแทนไขมัน สมบัติวิทยากระแส

Effect of whey protein isolate and inulin as a fat replacer on physico-chemical properties of low-fat ice cream

Napassorn Peasura[1], Ph.D
Pornrat Sinchaipanit[2], Ph.D
Anantita Sangsuriyawong[2]

[1]Applied Microbiology
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : napassorn.pea@ku.ac.th
[2]Institute of Nutrition, Mahidol University
Received 29 November 2022; **Revised** 27 February 2023; **Accepted** 20 April 2023

Highlights

- Adding 8% whey into ice cream improved the melting rate which were slower than full-fat ice cream and low-fat ice cream contained 8% inulin
- Adding inulin as fat replacer enhanced the highest overrun of ice cream
- Mixing inulin into ice cream promoted viscosity higher than low-fat ice cream containing whey and full-fat ice cream, and had physico-chemical similar to full-fat ice cream. It suitable for low-fat ice cream formulation development

Abstract

This research studied the effect of two types of fat replacers, including whey and inulin on changing physico-chemical properties in ice cream compared with full-fat ice cream. Three ice cream formulations were yellow color, and full-fat ice cream showed the lightest color due to containing high fat content. Then, the result of hardness showed that low-fat 8% whey ice cream presented the higher hardness than low fat 8% inulin ice cream and full-fat ice cream. The highest overrun was found in low-fat 8% inulin ice cream which was 48.93%, and had a significant difference ($p \leq 0.05$) between low-fat 8% whey ice cream and full-fat ice cream. Then, rheology result showed that 8% inulin low-fat ice cream had the highest viscosity. It affected the low melting rate of low-fat 8% inulin ice cream and no significant difference between low-fat ice cream mixed with 8% whey and full-fat ice cream.

Keywords : low-fat ice cream, fat replacer, rheology

บทนำ

ไอศกรีม คือ ผลิตภัณฑ์นมแช่แข็งและเป็นของหวานที่นิยมของคนทั่วไป[1] โดยโครงสร้างของไอศกรีมมีลักษณะเป็นอิมัลชันแบบไขมันกระจายตัวอยู่ในน้ำ ซึ่งประกอบด้วยไขมัน ฟองอากาศ ผลึกน้ำแข็ง สารละลายที่มีความหนืดสูง พอลิ-แซ็กคาไรด์ สารให้ความหวาน และนม[2-3] ส่วนผสมทั้งหมดจะเกิดโครงสร้างของไอศกรีมในระหว่างกระบวนการแช่แข็ง โดยทั่วไปไอศกรีมประกอบด้วยไขมันประมาณ 10-16% ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญ และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ การคงรูปร่าง และอัตราการละลายหลังจากการแช่แข็ง[4]

ปัจจุบันผู้บริโภคมีความสนใจในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น เช่น อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลและไขมันต่ำ เนื่องจากการบริโภคไขมันมากเกินไปจะเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคอ้วน และโรคหลอดเลือดหัวใจ[5] แต่การลดปริมาณไขมันมีผลต่อเนื้อสัมผัสขณะรับประทาน รสชาติ และลักษณะทางกายภาพ ทำให้อาหารมีลักษณะที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่น มีเนื้อสัมผัสที่หยาบ ผลิตภัณฑ์มีความเปราะ[4] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม การลดปริมาณไขมันลงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและกายภาพ ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่น สีของไอศกรีม ความแข็งเนื้อสัมผัสที่เพิ่มขึ้น และละลายเร็วขึ้น[6] ดังนั้นจึงมีการนำสารทดแทนไขมันมาเติมลงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเพื่อทดแทนปริมาณไขมันจากนม

สารทดแทนไขมัน คือ สารที่ใช้ทดแทนไขมันในอาหาร ทำให้อาหารมีคุณสมบัติทางกายภาพและลักษณะเนื้อสัมผัสที่คล้ายคลึงกับอาหารที่มีไขมันแต่ให้แคลอรีน้อยกว่า[7] สารทดแทนไขมันโดยทั่วไปแบ่งออกเป็นสามกลุ่มตามองค์ประกอบ คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน แต่ละชนิดมีคุณสมบัติและการทำงานที่แตกต่างกัน สามารถใช้ได้ทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสม[8-9] โดยทำหน้าที่เพิ่มความข้นหนืด ความเนียน และเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผลิตภัณฑ์[8,10]

สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน โดยทั่วไปผลิตจากเวย์โปรตีนเข้มข้น (WPC) ซึ่งสารทดแทนไขมันนี้ใช้เพื่อเพิ่มกลิ่นรสให้กับอาหารที่มีปริมาณไขมันต่ำ เนื่องจากอนุภาคของเวย์ที่มีขนาดเล็กทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดี มักนิยมใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์จากนม[11] นอกจากนั้นเวย์โปรตีนยังมีคุณสมบัติในการจับน้ำและให้ความข้นหนืด โดยทั่วไปการเติมเวย์โปรตีนลงในไอศกรีมเพื่อทดแทนปริมาณไขมัน ส่งผลให้ส่วนผสมของไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มขึ้น[12-14] นอกจากนั้นการเติมเวย์โปรตีนเป็นสารทดแทนไขมันส่งผลให้ไอศกรีมมีความแข็งของเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น จากการกระจายตัวของอนุภาค ดังงานวิจัยของ Akalin และคณะ[13] ศึกษาความแข็งของเนื้อสัมผัสของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเวย์โปรตีนและอินูลิน เป็นสารทดแทนไขมันปริมาณ 4% พบว่า ไอศกรีมไขมันต่ำเติมเวย์โปรตีน 4% มีค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสสูงกว่าไอศกรีมไขมันต่ำเติมอินูลิน 4% และ

ไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มปกติ การเติมเวย์โปรตีนลงในไอศกรีมไขมันต่ำพบว่า ไม่มีผลต่ออัตราการละลาย เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมปราศจากไขมันที่ไม่ได้ใช้สารทดแทนไขมัน[6] และจากการศึกษาของ Yilsay และคณะ[15] พบว่า การเติมเวย์โปรตีนปริมาณ 6% ในไอศกรีมไขมันต่ำทำให้ค่าการขึ้นฟูลดลง

สารทดแทนไขมันอีกชนิดหนึ่ง คือ อินูลิน จัดเป็นสารทดแทนไขมันจากคาร์โบไฮเดรต เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่สามารถย่อยได้ พบได้ในผักและผลไม้บางชนิด โดยเฉพาะรากชิโครีเป็นคาร์โบไฮเดรตสะสม หรือในจุลินทรีย์บางชนิด เช่น เอ็กโซ-พอลิแซ็กคาไรด์ (EPS) โครงสร้างโมเลกุลของอินูลินประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลมากกว่า 1 ชนิด โดยที่ปลายสายข้างหนึ่งเป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับโอลิโกฟรุกโทส แต่อินูลินมีสายพอลิเมอร์ที่ยาวกว่า ละลายน้ำได้น้อยกว่า และมีความหนืดมากกว่าโอลิโกฟรุกโทส นอกจากนั้นอินูลินยังนิยมใช้เป็นสารทดแทนไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารที่มีไขมันต่ำ เช่น ไอศกรีม ทำให้เนื้อสัมผัสเมื่อรับประทานใกล้เคียงกับไอศกรีมที่มีไขมัน[16-20] จากการศึกษาการเติมอินูลินที่ระดับต่าง ๆ (1-9%) พบว่า อินูลินทำให้ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับไอศกรีมปกติ[21-26] อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Akalin และคณะ[27] การเติมอินูลินเท่ากับ 4% ลงในไอศกรีมสูตรไขมันต่ำไม่ส่งผลต่อความหนืดของส่วนผสมไอศกรีม เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมที่มีไขมันเท่ากับ 10% นอกจากนั้น Ismail และคณะ[28] พบว่า การเติมอินูลินเท่ากับ 2.5% ลงในไอศกรีมไขมันต่ำทำให้ความหนืดมากกว่าไอศกรีมที่ไม่เติมอินูลิน แต่การเพิ่มอินูลินเท่ากับ 5% ลงในไอศกรีมไขมันต่ำ ทำให้ความหนืดลดลง จากการทดลองของ Guinard และคณะ[29] รายงานว่า การใช้สารทดแทนไขมันชนิดที่เป็นคาร์โบไฮเดรตลงในไอศกรีม ทำให้ความแข็งของเนื้อสัมผัสของไอศกรีมไขมันต่ำไม่ต่างกันกับไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม เมื่อเติมอินูลินในปริมาณน้อยเท่ากับ 2%, 3% และ 4% ลงในไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน 2% ส่งผลให้ความแข็งของเนื้อสัมผัสของไอศกรีมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมที่ไม่มีส่วนผสมของอินูลิน และเมื่อเพิ่มปริมาณของอินูลินเป็น 5-9% ยิ่งทำให้ความแข็งของเนื้อสัมผัสของไอศกรีมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)[24] อย่างไรก็ตาม สารทดแทนไขมันที่เติมลงไปในไอศกรีมยังมีผลต่อลักษณะทางเคมีและกายภาพทางอ้อม เช่น อัตราการละลาย จากงานวิจัยของ Akalin และคณะ[21] และ Akbari และคณะ[30] ศึกษาการเติมอินูลินลงในไอศกรีมไขมันต่ำในปริมาณที่แตกต่างกันพบว่า เมื่อความเข้มข้นของอินูลินเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการละลายลดลง หรือละลายช้าลงเมื่อเทียบกับไอศกรีมที่มีไขมันเท่ากับ 10% และไม่เติมอินูลิน นอกจากนั้นการเติมอินูลินลงในโยเกิร์ตก็ยังสามารถลดอัตราการละลายได้อีกด้วย[19,24] จากงานวิจัยของ Akalin และ Erisir[27] พบว่า การเติมอินูลินลงในไอศกรีมไขมันต่ำสามารถเพิ่มค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมประมาณ 2 เท่า ในขณะที่ Akin และคณะ[22] พบว่า การเติมอินูลินไม่มีผลต่อค่าการขึ้นฟู

อย่างไรก็ตามการเติมสารทดแทนไขมันลงในไอศกรีมเพื่อผลิตไอศกรีมไขมันต่ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทดแทนปริมาณไขมันที่มีอยู่ เพื่อยังคงลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมให้ใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม และยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของอินูลินและเวย์ ที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมันที่ปริมาณเท่ากัน เปรียบเทียบกับไอศกรีมที่ไม่ใช้สารทดแทนไขมันต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมไขมันต่ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. กรรมวิธีการเตรียมไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มและไขมันต่ำ

ส่วนผสมของไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มประกอบด้วย นมวัว ครีม นมผงขาดมันเนย น้ำตาล สารให้ความคงตัวและสารอิมัลซัน ส่วนไอศกรีมไขมันต่ำมีส่วนผสมหลัก คือ นมพร่องมันเนย นมผงขาดมันเนย เวย์โปรตีนไอโซเลท และอินูลิน ตามปริมาณดัง Table 1

Table 1 The formulations of full-fat and low-fat ice cream containing 8% whey and 8% inulin

ingredients	full-fat ice cream	low-fat ice cream	
		whey 8%	inulin 8%
milk	58.5	0	0
cream	24	0	0
skim milk	0	74.5	74.5
whey	0	8	0
inulin	0	0	8
skim milk powder	5	5	5
sugar	12	12	12
stabilizer and emulsifier	0.5	0.5	0.5
total	100	100	100

2. สี และการเปลี่ยนแปลงสี

วัดค่าสีของไอศกรีมด้วยเครื่อง colorimeter (ColorFlex EZ, Hunter Associates Laboratory Inc., USA) แสดงค่าเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง จนถึงสีเขียว (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง จนถึงสีน้ำเงิน (b*) วัดที่ตำแหน่งต่างกัน จำนวน 3 ครั้ง และวัดค่าความแตกต่างของสีโดยรวมระหว่างไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม (สูตรควบคุม) และสูตรไขมันต่ำ (สูตรตัวอย่าง) ตามวิธีของ Yuan และคณะ[31] ดังสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L*)^2 + (\Delta a*)^2 + (\Delta b*)^2}$$

โดย ΔL^* คือ ค่า $L^*_{(สูตรควบคุม)} - L^*_{(สูตรตัวอย่าง)}$

Δa^* คือ ค่า $a^*_{(สูตรควบคุม)} - a^*_{(สูตรตัวอย่าง)}$

Δb^* คือ ค่า $b^*_{(สูตรควบคุม)} - b^*_{(สูตรตัวอย่าง)}$

3. การวิเคราะห์ค่าความแข็งของเนื้อสัมผัส (hardness)

วัดค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสไอศกรีมด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT-plus, Stable Micro Systems, UK) ต่อกับหัววัด P/36R cylindrical probe ความเร็วในการทดสอบเท่ากับ 2 m/s ระยะกดลึก 20 mm ทำการทดลอง 5 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์ไขมันและโปรตีน

วิเคราะห์หาปริมาณไขมันและโปรตีนตามวิธีของ Association of Official Analytical Chemists AOAC (2000)[32]

5. การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid)

ชั่งน้ำหนักไอศกรีม 2 กรัม นำไประเหยด้วย water bath ที่อุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100°C นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน desiccators นำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมด ดังสมการ

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด} = \frac{(\text{น้ำหนักถ้วย (กรัม)} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)}) - \text{น้ำหนักถ้วย (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

6. การวิเคราะห์ค่าการขึ้นฟู (% overrun)

วิเคราะห์การขึ้นฟู โดยชั่งน้ำหนักไอศกรีมเหลว และน้ำหนักของไอศกรีมลงในภาชนะปริมาตร 120 มิลลิลิตร ตามวิธีของ Muse และ Hartel[33] คำนวณตามสมการ ดังนี้

$$\text{ค่าการขึ้นฟู (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมมิกซ์} - \text{น้ำหนักไอศกรีมหลังปั่น}}{\text{น้ำหนักไอศกรีมหลังปั่น}} \times 100$$

7. การวิเคราะห์อัตราการละลาย (melting rate)

นำไอศกรีมแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C นาน 24 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนักเท่ากับ 30 กรัม วางลงบนกรวยกรองเหนือกระบอกตวง วัดปริมาตรของไอศกรีมที่ละลายทุก ๆ 5 นาที จนครบเวลา 50 นาที นำน้ำหนักของไอศกรีมที่ละลายมาพล็อตกราฟเทียบกับเวลา

8. การวิเคราะห์สมบัติวิทยากระแส (rheology)

วัดความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มและไขมันต่ำที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4-8°C นาน 24 ชั่วโมง ทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (HAAKE MARS 40, Thermo Fisher Scientific Inc., Karlsruhe, Germany) นำตัวอย่างส่วนผสมไอศกรีมปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ใน coaxial cylinders โดยอุณหภูมิใน

การวัดเท่ากับ 4°C ใช้การทดสอบความเครียด (strain sweep) ในช่วง 0.01-1,000 พาสคาล ความถี่คงที่เท่ากับ 1 Hz

9. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Analysis System (SAS, version 6.0) (SAS Institute, Cary, NC, USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95

ผลการทดลอง

เมื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของไอศกรีมทั้ง 3 สูตร พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณไขมันสูงกว่าไอศกรีมสูตรไขมันต่ำที่เติมเวย์และอินูลิน 8% เท่ากับ 8.51 เท่า ซึ่งไอศกรีมไขมันต่ำทั้งสองสูตร มีปริมาณไขมันเท่ากับ 1.35% นอกจากนั้น ไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีน 8% มีโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 8.95% รองลงมาคือตัวอย่างควบคุมและไอศกรีมไขมันต่ำ สูตรเติมอินูลิน 8% มีค่าเท่ากับ 4.52% และ 1.75% ตามลำดับ (Table 2) ปริมาณของแข็งทั้งหมดของไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีนและอินูลิน 8% มีค่าเท่ากันคือ 25.5 นำส่วนผสมของไอศกรีมทั้ง 3 สูตร มาวัดสมบัติวิทยากระแสที่อุณหภูมิ 4°C พบว่า ส่วนผสมของตัวอย่างควบคุมและไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเวย์ 8% เริ่มเสียสภาพและเปลี่ยนสถานะเป็นของไหล เมื่อความเครียดเท่ากับ 10 Pa และไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมอินูลิน 8% เริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวเมื่อความเครียดมากกว่า 100 Pa (Figure 1)

Table 2 The fat and protein content in full-fat ice cream, low-fat ice cream containing 8% whey and 8% inulin

source	ice cream formulation					
	fat free ice cream		low-fat ice cream (8% whey)		low-fat ice cream (8% inulin)	
	lipid	protein	lipid	protein	lipid	protein
milk	1.90±0.02	1.92±0.02	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00
cream	8.24±0.01	0.85±0.03	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00
skim milk	1.35±0.02	1.75±0.02	1.35±0.01	1.75±0.04	1.35±0.00	1.75±0.02
whey	0±0.00	0±0.00	Trace	7.2±0.01	0±0.00	0±0.00
inulin	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00	trace	trace
total	11.49	4.52	1.35	8.95	1.35	1.75
total solid	17.5		25.5		25.5	

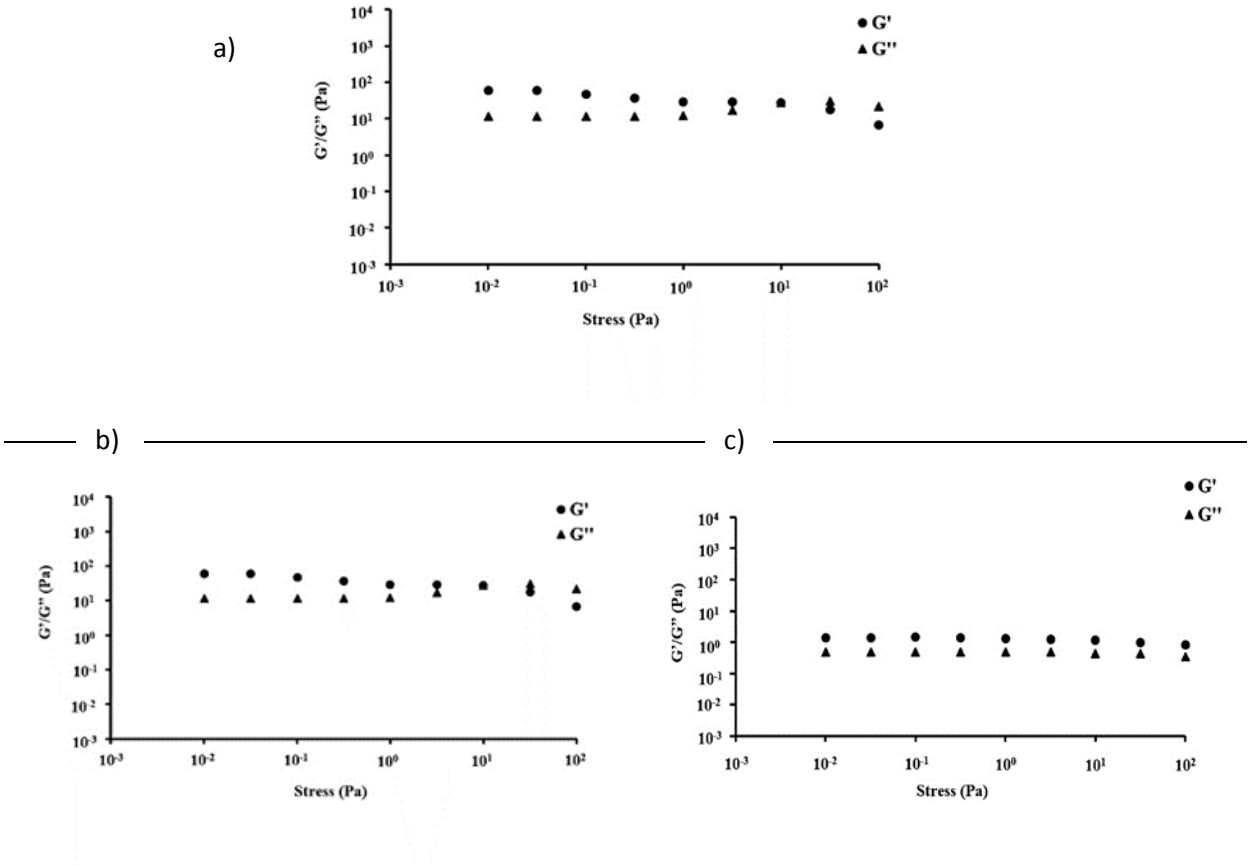

Figure 1 The storage modules (G´) and loss modules (G´´) of a) full-fat ice cream, b) low-fat ice cream containing 8% whey and c) low-fat ice cream containing 8% inulin

เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสีพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีน 8% มีค่าความสว่างสูงที่สุดเท่ากับ 94.08 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) กับตัวอย่างควบคุม (93.95) และไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมอินูลิน 8% มีค่าความสว่างน้อยที่สุดเท่ากับ 92.68 นอกจากนั้นไอศกรีมทุกสูตรมีสีในโทนเขียวเหลือง ซึ่งค่า a* ของไอศกรีมทุกสูตรมีค่าเป็นลบ โดยไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% มีค่า a* มากที่สุด (-2.93) รองลงมาไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีน 8% เท่ากับ -1.54 และตัวอย่างควบคุมมีค่า a* น้อยที่สุดเท่ากับ -0.89 อย่างไรก็ตามไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมเวย์ 8% มีค่า b* น้อยที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างควบคุมและไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมอินูลิน 8% มีค่า b* มากที่สุด เท่ากับ 12.05, 13.71 และ 14.67 ตามลำดับ ซึ่งไอศกรีมทั้ง 3 สูตร มีค่า a* และ b* แตกต่างกันทางสถิติ (p≤ 0.05) ผลค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมพบว่า ไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมอินูลิน 8% มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05) กับไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมเวย์ 8% เท่ากับ 2.6 และ 1.78 ตามลำดับ ดัง Table 3

Table 3 Effect of whey and inulin on color changing (L*, a*, b* และ ΔE) of ice cream

formulations	color			
	L*	a*	b*	ΔE
full-fat ice cream	93.95^{a}±0.04	-0.89^{a}±0.02	13.71^{b}±0.02	0^{c}±0.00
low-fat ice cream (8% whey)	94.08^{a}±0.03	-1.54^{b}±0.01	12.05^{c}±0.01	1.78^{b}±0.04
low-fat ice cream (8% inulin)	92.68^{b}±0.03	-2.93^{c}±0.03	14.67^{a}±0.03	2.6^{a}±0.05

Note: Values are means of three replicates. Different letters show significantly difference at $p \leq 0.05$

และเมื่อนำตัวอย่างไอศกรีมมาวัดค่าความแข็งของเนื้อสัมผัส (hardness) พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสมากที่สุดเท่ากับ 24,329 kg force และมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับไอศกรีมสูตรไขมันต่ำที่เติมเวย์และอินูลิน 8% เท่ากับ 9,420 kg force และ 4,577 kg force ตามลำดับ (Table 2) และเมื่อวัดค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม (overrun) พบว่าไอศกรีมสูตรไขมันต่ำที่เติมอินูลิน 8% มีค่าสูงสุดเท่ากับ 48.93% และตัวอย่างควบคุมมีค่าการขึ้นฟูต่ำที่สุดเท่ากับ 25.05% และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเวย์โปรตีน 8% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27.46% (Table 4)

Table 4 Effect of whey and inulin on hardness and overrun of ice cream

formulations	hardness	overrun
full-fat ice cream	2,2329^{c}±0.03	25.05^{b}±0.02
low-fat ice cream (8% whey)	2,9420^{a}±0.05	27.46^{b}±0.04
low-fat ice cream (8% inulin)	2,4577^{b}±0.02	48.93^{a}±0.01

Note: Values are means of three replicates. Different letters show significantly difference at $p \leq 0.05$

จากนั้นนำตัวอย่างไอศกรีมทั้ง 3 สูตร มาวัดอัตราการละลาย (melting rate) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปไอศกรีมทุกสูตรมีอัตราการละลายเพิ่มมากขึ้น โดยไอศกรีมสูตรไขมันต่ำมีอัตราการละลายสูงสุด ส่วนไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมเวย์ และอินูลิน 8% มีอัตราการละลายไม่แตกต่างกันที่ช่วงเวลา 0-35 นาที หลังจากนั้นไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมเวย์ 8% มีอัตราการละลายสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ กับไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมอินูลิน 8% แสดงดัง Figure 2 สอดคล้องกับค่าความหนืดของไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% มีค่าความหนืดสูงกว่าไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมเวย์ 8%

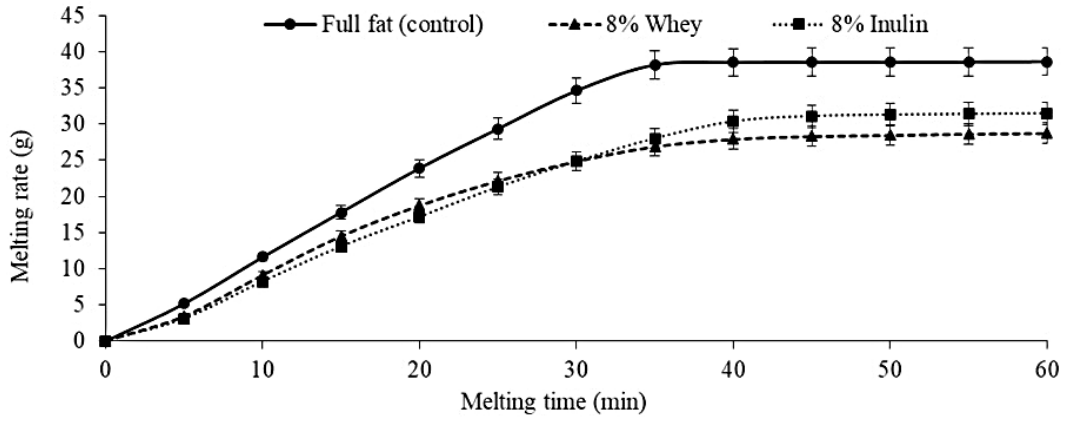

Figure 2 The melting rate of low-fat ice cream containing 8% whey and 8% inulin compared with full-fat ice cream.

วิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของเวย์และอินูลิน ที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมันในการผลิตไอศกรีมไขมันต่ำ เปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีม โดยไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มมีปริมาณไขมันจากนมรวมเท่ากับ 11.49% ซึ่งแหล่งของไขมันจากส่วนประกอบที่เป็นนมวัวเท่ากับ 1.9% ไขมันจากครีมเท่ากับ 8.24% และไขมันจากนมผงขาดมันเนยเท่ากับ 1.35% ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดขององค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration, FDA) ระบุว่า ปริมาณไขมันจากนมในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมต้องไม่น้อยกว่า 10% และมีปริมาณไขมันที่ไม่ใช่จากนมไม่เกิน 10% ส่วนไอศกรีมสูตรไขมันต่ำ (low fat) ใช้นมพร่องมันเนยไขมัน 0% และนมผงขาดมันเนยที่มีปริมาณไขมันเท่ากับ 1.35% ตามที่ระบุในข้อกำหนด FDA ระบุไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันจากนมเท่ากับ 2-5% จัดเป็นไอศกรีมชนิดไขมันต่ำและเติมเวย์โปรตีนเท่ากับ 8% และอินูลินเท่ากับ 8% ในสูตรไขมันต่ำเพื่อทดแทนปริมาณไขมันจากนมวัวและครีมจากสูตรปกติ

เมื่อนำส่วนผสมไอศกรีมทั้ง 3 สูตร มาหาค่าสมบัติวิทยากระแสโดยหาค่าความสัมพันธ์ของ G′ และ G′′ ซึ่งบ่งบอกถึงค่า elastic และ viscous ตามลำดับ กับค่าความเครียดที่อยู่ในช่วง 0.01-1,000 Pa โดยในช่วงเริ่มต้นมีค่า G′ สูงกว่า G′′ โดยค่า G′ ของไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มและไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีน 8% มีค่า G′ เท่ากัน ส่วนไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% มีค่า G′ เริ่มต้นต่ำกว่า เนื่องมาจากอินูลินซึ่งเป็นสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำมากกว่าเวย์โปรตีน ซึ่งจัดเป็นสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน[12] จึงทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมอินูลิน 8% มีลักษณะเหลวกว่าไอศกรีมสูตรอื่น และเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มและไขมันต่ำเติมเวย์โปรตีน 8% มีค่า elastic ลดลง ในขณะเดียวกันมี

ค่า viscous เพิ่มขึ้น ส่วนไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมอินูลิน 8% ที่มีค่า elastic และ viscous ใกล้เคียงกันตั้งแต่เริ่มต้น ซึ่งการเติมอินูลินทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเหลวกว่าการเติมเวย์โปรตีน มีค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสต่ำกว่า แต่มีอัตราการละลายใกล้เคียงกันกับไอศกรีมเวย์โปรตีน

ลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม สีเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคและยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น องค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัส เป็นต้น[33] เมื่อนำตัวอย่างไอศกรีมทั้ง 3 สูตร มาวัดค่าสีและค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ซึ่งแสดงเป็นค่าของ L* a* b* และ ΔE โดยค่า L* แสดงถึงค่าความสว่าง มีค่า (+) และมืดมีค่า (-) ค่า a* แสดงถึงค่าสีแดง (+) และค่าสีเขียว (-) และค่า b* แสดงถึงค่าสีเหลือง (+) และค่าสีน้ำเงิน (+) โดยไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มมีค่าความสว่างสูงที่สุด เนื่องมาจากปริมาณไขมันในส่วนผสมของไอศกรีม คือ นมและครีม ส่วนไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมเวย์ 8% มีสีเหลืองสว่าง

โดยทั่วไปค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสไอศกรีมจะขึ้นกับปริมาณของไขมันและปริมาณของแข็งทั้งหมด ไอศกรีมที่มีไขมันในปริมาณสูงจะมีค่าความแข็งเนื้อสัมผัสที่ต่ำกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันน้อย[27] และไอศกรีมที่ปริมาณของแข็งสูงส่งผลปริมาณน้ำในการแข็งตัวลดลง ทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมนุ่มขึ้น[34] ซึ่งเป็นลักษณะที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค นอกจากนั้นยังขึ้นกับปริมาณโปรตีนในไอศกรีมอีกด้วย จากผลการทดลองพบว่า ไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมเวย์และอินูลิน 8% มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากัน แต่มีค่ามากกว่า

ไอศกรีมสูตรไขมันต่ำเติมเวย์โปรตีนและอินูลิน 8% ที่มีปริมาณไขมันต่ำแต่มีค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสสูงกว่าไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณของโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบในไอศกรีม โดยโปรตีนชนิด β-lactoglobulin ที่พบมากในน้ำนมวัวจะสร้างเครือข่ายขนาดใหญ่ ทำให้มีค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสสูงกว่าไอศกรีมสูตรปกติที่มีปริมาณไขมันสูงกว่า นอกจากนั้นปริมาณโปรตีนยังส่งผลต่อค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม ซึ่งจากผลการทดลองไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีน 8% มีค่าการขึ้นฟูสูงกว่าไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มเนื่องจากสมบัติการเป็นอิมัลชันของโปรตีนทำให้โฟมมีความคงตัว[27] มากกว่าไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม แต่จากการทดลองไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% มีค่าการขึ้นฟูสูงที่สุด ในขณะที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าไอศกรีมไขมันต่ำ สูตรเติมเวย์โปรตีน 8% อาจเป็นผลทางอ้อมมาจากการเติมอินูลินในไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีความหนืดสูงกว่าไอศกรีมทั้ง 2 สูตร โดยความหนืดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดฟองอากาศในส่วนผสมไอศกรีมมีขนาดเล็กลง[35-36] ทำให้ค่าการขึ้นฟูจึงสูงขึ้นในระหว่างการแช่แข็ง เมื่อพิจารณาผลของสารทดแทนไขมันทั้ง 2 ชนิด ต่ออัตราการละลายพบว่า โดยทั่วไปไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันสูงจะมีอัตราการละลายที่ต่ำ เนื่องมาจากไขมันมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ แต่จากผลการทดลองไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีน 8% มีอัตราการละลายต่ำสุด ซึ่งมีปริมาณ

ไขมันต่ำกว่าไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็มเนื่องมาจากการทำหน้าที่ของโปรตีนในการเป็นสารลดแรงตึงผิว ทำให้โฟมเกิดความคงตัวและเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ อย่างไรก็ตามไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% มีปริมาณไขมันเท่ากับไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมเวย์โปรตีน 8% แต่มีอัตราการละลายสูงกว่า เนื่องมาจากผลของอินูลินที่ทำหน้าที่เป็นสารทดแทนไขมันส่งผลให้ไอศกรีมมีความหนืดสูงกว่าสูตรอื่น ทำให้มีอัตราการละลายสูงกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณโปรตีนสูง และอีกปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีม คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในไอศกรีม โดยไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งและปริมาณไขมันสูงกว่าจะละลายเร็วกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งและไขมันต่ำ เนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้น ทำให้จุดเยือกแข็งลดลงกว่าปกติ[27]

บทสรุป

จากการทดลองพบว่า ชนิดของสารทดแทนไขมันที่เติมลงในไอศกรีม มีผลต่อลักษณะทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมที่ต่างกัน ซึ่งไอศกรีมไขมันต่ำสูตรเติมอินูลิน 8% มีสมบัติทางเคมีและกายภาพ คือ สี เนื้อสัมผัส อัตราการขึ้นฟู และความหนืด คล้ายคลึงกับไอศกรีมนมสูตรไขมันเต็ม แต่มีอัตราการละลายที่ต่ำกว่า โดยผลจากการทดลองสามารถนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อประยุกต์ใช้สารทดแทนไขมัน คือ เวย์โปรตีนและอินูลินร่วมกันในอัตราส่วนต่างกัน เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมไขมันต่ำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Kurt A, Atalar I. Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream. Food Hydrocolloids. 2018;1(82):186-95.
2. Goff HD. Colloidal aspects of ice cream—a review. International Dairy Journal. 1997;7(6-7):363-73.
3. Marshall RT, Goff HD, Hartel RW. Ice cream. Springer Science & Business Media; 2003.
4. Mahdian E, Karazhian R. Effects of fat replacers and stabilizers on rheological, physicochemical and sensory properties of reduced-fat ice cream. Journal of Agricultural Science and Technology. 2013;15(6):1163-1174.
5. Akalın AS, Erişir D. Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. Journal of food science. 2008;73(4):184-188.
6. Roland AM, Phillips LG, Boor KJ. Effects of fat replacers on the sensory properties, color, melting, and hardness of ice cream. Journal of Dairy Science. 1999;82(10):2094-2100.
7. Zoulias EI, Oreopoulou V, Tzia C. Textural properties of low-fat cookies containing carbohydrate-or protein-based fat replacers. Journal of Food Engineering. 2002;55(4):337-342.
8. Lucca PA, Tepper BJ. Fat replacers and the functionality of fat in foods. Trends in Food Science & Technology. 1994;5(1):12-19.
9. Ognean CF, Darie N, Ognean M. Fat replacers: review. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies. 2006;12(2):433-442.

10. Brennan CS, Tudorica CM. Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: comparative study of the utilisation of barley beta-glucan, guar gum and inulin. International journal of food science & technology. 2008;43(5):824-833.
11. Kew B, Holmes M, Stieger M, Sarkar A. Review on fat replacement using protein-based microparticulated powders or microgels: A textural perspective. Trends in food science & technology. 2020;106:457-468.
12. Adapa S, Dingeldein H, Schmidt KA, Herald TJ. Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers. Journal of dairy science. 2000;83(10):2224-2229.
13. Akalın AS, Karagözlü C, Ünal G. Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. European Food Research and Technology. 2008;227(3):889-895.
14. Ohmes RL, Marshall RT, Heymann H. Sensory and physical properties of ice creams containing milk fat or fat replacers. Journal of dairy science. 1998 May 1;81(5):1222-8.
15. Yilsay TÖ, Yilmaz L, Bayizit AA. The effect of using a whey protein fat replacer on textural and sensory characteristics of low-fat vanilla ice cream. European Food Research and Technology. 2006;222(1):171-175.
16. Bayarri S, Chuliá I, Costell E. Comparing λ-carrageenan and an inulin blend as fat replacers in carboxymethyl cellulose dairy desserts. Rheological and sensory aspects. Food Hydrocolloids. 2010;24(6-7):578-587.
17. Devereux HM, Jones GP, McCormack L, Hunter WC. Consumer acceptability of low fat foods containing inulin and oligofructose. Journal of food science. 2003;68(5):1850-1854.
18. González-Tomás L, Bayarri S, Costell E. Inulin-enriched dairy desserts: Physicochemical and sensory aspects. Journal of Dairy Science. 2009;92(9):4188-4199.
19. Niness KR. Inulin and oligofructose: what are they?. The Journal of nutrition. 1999;129(7):1402-1406.
20. Sangeetha PT, Ramesh MN, Prapulla SG. Recent trends in the microbial production, analysis and application of fructooligosaccharides. Trends in food science & technology. 2005;16(10):442-457.
21. Akalın AS, Erişir D. Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. Journal of food science. 2008;73(4):184-188.
22. Akın MB, Akın MS, Kırmacı Z. Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. Food chemistry. 2007;104(1):93-99.
23. Aykan V, Sezgin E, Guzel-Seydim ZB. Use of fat replacers in the production of reduced-calorie vanilla ice cream. European Journal of Lipid Science and Technology. 2008;110(6):516-520.
24. El-Nagar G, Clowes G, Tudorică CM, Kuri V, Brennan CS. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. International Journal of Dairy Technology. 2002;55(2):89-93.
25. Karaca OB, GÜVEN M, Yasar K, Kaya S, Kahyaoglu T. The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers. International Journal of Dairy Technology. 2009;62(1):93-99.
26. Soukoulis C, Lebesi D, Tzia C. Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. Food Chemistry. 2009;115(2):665-671.
27. Akalın AS, Karagözlü C, Ünal G. Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. European Food Research and Technology. 2008;227(3):889-895.
28. Ismail EA, Al-Saleh AA, Metwalli AA. Effect of inulin supplementation on rheological properties of low-fat ice cream. Life Science Journal. 2013;10(3):1742-1746.
29. Guinard JX, Zoumas-Morse C, Mori L, Uatoni B, Panyam D, Kilara A. Sugar and fat effects on sensory properties of ice cream. Journal of food science. 1997;62(5):1087-1094.

30. Akbari M, Eskandari MH, Niakosari M, Bedeltavana A. The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. International Dairy Journal. 2016;57:52-55.
31. Yuan B, Danao MGC, Lu M, Weier SA, Stratton JE, Weller CL. High pressure processing (HPP) of aronia berry puree: Pilot scale processing and a shelf-life study. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2018;47:241-248.
32. AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International, Maryland, USA, 2000.
33. Muse MR, Hartel RW. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. Journal of dairy science. 2004;87(1):1-10.
34. Therkelsen GH, Carrageenan. In RL. Whistler and JN. BeMiller (eds). Industrail Gums: Polysaccharides and Their Derivatives. 3rd ed. San Diego: Academic Press Inc; 1993.
35. Samakradhamrongthai RS, Jannu T, Supawan T, Khawsud A, Aumpa P, Renaldi G. Inulin application on the optimization of reduced-fat ice cream using response surface methodology. Food Hydrocolloids. 2021;119:106873.
36. VanWees SR, Rankin SA, Hartel RW. The microstructural, melting, rheological, and sensorial properties of high-overrun frozen desserts. Journal of texture studies. 2020;51(1):92-100.