สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานวิจัย

ผลกระทบของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

Impacts of a Commercial Protein Based Fat Replacer on Physical and Sensory Quality of Vanilla Flavored Ice Cream

โดย

รศ. ดร. วรรณา ตั้งเจริญชัย

นางสาว ศิรดา สันติศรีวราภรณ์

RCH
TX
495
.T2675

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 64432
วัน,เดือน,ปี 11 ก.ย. 2549

b.11648660x
i.....

โครงการวิจัยเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2548

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไอศกรีมเป็นอาหารว่างที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทาน ปริมาณพลังงานและสารอาหารที่ได้รับจากไอศกรีมขึ้นกับส่วนผสมที่ใช้ ไอศกรีมประกอบด้วยไขมันมากกว่าน้ำนม 3–4 เท่าซึ่งได้จาก ครีม อิมัลซิไฟเออร์ ไอศกรีมมีโปรตีนมากกว่าน้ำนมร้อยละ 12–16 ได้จากน้ำนม ถั่ว ไข่ สารให้ความคงตัว และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าน้ำนม 4 เท่า ซึ่งได้จากน้ำตาลในส่วนผสม (Marshall and Arbuckle, 1996) จึงเห็นได้ว่าไอศกรีมเป็นอาหารที่ให้พลังงานสูงเหมาะสำหรับเด็กและผู้ที่ต้องการเพิ่มน้ำหนักตัว แต่ไม่เหมาะกับผู้ต้องการควบคุมน้ำหนักที่จำเป็นต้องควบคุมปริมาณการบริโภค ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในการดูแลสุขภาพมากขึ้นและเลือกรับประทานอาหารประเภทที่มีไขมันต่ำเพื่อป้องกันโรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากโรคอ้วน ดังนั้นจึงได้มีการนำสารทดแทนไขมันหลายประเภทมาใช้ทดแทนไขมันในอาหารเพื่อลดพลังงานอาหาร เช่น การใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนที่ผ่านกระบวนการ microparticulation ซึ่งทำให้โปรตีนมีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับเม็ดไขมันในไอศกรีมชนิดไขมันต่ำ ไอศกรีมที่ได้จึงมีคุณภาพด้านประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับไอศกรีมที่มีไขมันปกติ มีลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีค่าโอเวอร์รัน (overrun) สูง แต่มีกลิ่นเวย์ (whey) มากกว่าไอศกรีมที่มีไขมันปกติและไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตให้ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมสูงส่งผลให้ไอศกรีมละลายช้าและมีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เรียบเนียน (Ohmes *et al.*, 1998; Schmidt *et al.*, 1993)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของปริมาณสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา
2. ศึกษาผลของปริมาณสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลาทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ รวมถึงผลกระทบต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไขมันต่ำในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

นางสาวศิรดา สันติศรีวราภรณ์ และ รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย
โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520 ; e-mail : ktwanna@kmitl.ac.th

บ ท คั ด ย่ อ

ศึกษาผลกระทบของการใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 7.5, 5.0 และ 2.5 เปรียบเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุม (ไขมันนมร้อยละ 10.0) พบว่า เมื่อใช้ปริมาณของซิมเพลส-100 ในส่วนผสมไอศกรีมมากขึ้นทำให้ค่า consistency index ของส่วนผสมไอศกรีมมากขึ้น ค่าโอเวอร์รันต่ำลง แต่ไม่มีผลต่ออัตราการละลายของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์มีสีขาวปนเหลืองและมีแนวโน้มการมีสีเขียวและสีเหลืองมากขึ้น ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน พบว่า ปริมาณของซิมเพลส-100 ไม่มีผลต่อการรับรู้กลิ่นวานิลลา กลิ่นเนย กลิ่นนม แต่ทำให้การรับรู้กลิ่นคาราเมลและความหวานของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มมากขึ้น ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเรียบเนียนและความเป็นครีมไม่ต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุม ($p>0.05$) คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในทุกด้านของไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 7.5 และร้อยละ 5.0 ไม่ต่างกัน ($p>0.05$) โดยคะแนนอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ไอศกรีมสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 2.5 มีคะแนนความชอบต่ำกว่าสูตรอื่นในทุกด้านของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impacts of a Commercial Protein Based Fat Replacer on Physical and Sensory Quality of Vanilla Flavored Ice Cream

Sirada Suntisriwaraporn and Wanna Tungjaroenchai

Faculty of Agricultural Industry. KingMongkut's Institute of Technology Lardkrabang, Bangkok, 10520, THAILAND. E-mail: ktwanna@kmitl.ac.th

ABSTRACT

Impacts of a protein based fat replacer on physical and sensory qualities of vanilla flavored ice cream were investigated. Reduced fat, light fat, and low fat vanilla flavored ice cream (7.5%, 5.0%, and 2.5% of milk fat, respectively) were made with Simplesse®-100 compared with a control ice cream (10% milk fat). Flow behavior of ice cream mixes containing different fat levels reflected a pseudoplastic nature of ice cream. As Simplesse®-100 level increased, consistency index of ice cream mixes significantly increased, while its overrun decreased. Neither fat nor Simplesse®-100 level affected melting rate of ice cream. Color of ice cream measured by a chroma meter was yellow-white and it was yellow-green when the level of Simplesse®-100 increased. Trained panelists (n=10) conducted descriptive sensory analysis of ice cream containing different levels of the fat replacer. Incorporation of Simplesse®-100 did not show any in difference in vanilla, butter, milky flavor perceptions, however perception of sweet and caramel flavors increased as the amount of Simplesse®-100 increased. Results of acceptance evaluation (n=50) of ice cream showed that the panelists equally preferred all attributes of reduced, low fat and the control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องผลกระทบของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณภาพกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลาได้รับการการสนับสนุนด้วยเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2548 ของโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไอศกรีม

ไอศกรีม หมายถึง ส่วนผสมแช่แข็งที่ประกอบด้วยนม สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว (stabilizers) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) และสารให้กลิ่นรส อาจมีการเติมส่วนผสมอื่น เช่น ไข่ สี หรือสตาร์ชไฮโดรไลเซต (starch hydrolysates) ลงไปในส่วนผสม แล้วนำส่วนผสมไปพาสเจอร์ไรซ์และโฮโมจิไนซ์ก่อนนำไปปั่นเป็นไอศกรีม (freezing) ซึ่งเป็นขั้นตอนให้อากาศเข้าไปในส่วนผสม พร้อมกับทำให้ส่วนผสมเย็นจนได้ไอศกรีมที่นุ่มเนียนและอยู่ในสภาวะแช่แข็ง (Marshall and Arbuckle, 1996)

มาตรฐานของไอศกรีมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2522) กำหนดว่าไอศกรีมนม เป็นไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้นมหรือผลิตภัณฑ์นม ประกอบด้วยไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 และธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก (วรรณา และวิบูลย์ศักดิ์, 2531)

USFDA แห่งประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานของไอศกรีมว่า ต้องประกอบด้วยไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของแข็งทั้งหมดในนม (total milk solid, TMS) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 สารให้ความคงตัวไม่เกินร้อยละ 0.5 (Marshall and Arbuckle, 1996)

สถิติการบริโภคอาหารหวานแช่แข็งของคนอเมริกันในปี ค.ศ. 2000 ระบุว่า ผู้บริโภคนิยมรับประทานไอศกรีมชนิดที่มีไขมันปกติร้อยละ 61 ไอศกรีมชนิดลดไขมัน (reduced fat) และไขมันต่ำ (low fat) ร้อยละ 24 ไอศกรีมโยเกิร์ต (frozen yogurt) ร้อยละ 5 ไอศกรีมปราศจากไขมัน (non fat) ร้อยละ 2 อื่น ๆ ร้อยละ 8 และมีแนวโน้มบริโภคอาหารหวานแช่แข็งมากขึ้น (Marshall *et al.*, 2003) ขณะเดียวกันผู้บริโภคสนใจเรื่องผลของไขมันต่อสุขภาพมากขึ้น ทำให้การผลิตและการขยายตลาดของไอศกรีมไขมันต่ำเพิ่มสูงขึ้นด้วย (White, 1993)

องค์ประกอบของไอศกรีม

โดยทั่วไปส่วนผสมไอศกรีม (ice cream mix) ประกอบด้วย ไขมันนม ธาตุน้ำนมไม่รวมไขมัน สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารให้กลิ่นรส น้ำและอากาศ ซึ่งส่วนผสมแต่ละชนิดนั้นมีหน้าที่แตกต่างกันไป ดังนี้

- **ไขมันนม (milkfat)** เป็นส่วนผสมสำคัญของไอศกรีม การใช้ไขมันนมที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดสูงและลดอัตราการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไอศกรีม (Abd El-Rahman *et al.*, 1997) ปริมาณไขมันนมที่เหมาะสมจะช่วยให้ส่วนผสมมีความสมดุล ตลอดจนช่วยให้กลิ่นรสของไอศกรีมดี มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน แต่มีข้อจำกัดคือ ราคาแพง และมีแคลอรีสูง (Goff, 1997a) โดย Guinard *et al.* (1997) พบว่า การใช้ไขมันนมปริมาณมากขึ้น (ร้อยละ 14 และร้อยละ 18) มีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่นรส ได้แก่ กลิ่นรสเนยคัสตาร์ดหรือไข่ และรสหวานเพิ่มขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีม เช่น ความเป็นครีม (creaminess) การเคลือบภายในปาก (mouth coating) มากขึ้น และมีผลทำให้สีอ่อนลง ผลึกน้ำแข็งลดลง รวมทั้งอัตราการละลายช้าลง เมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุมที่มีปริมาณไขมันนมร้อยละ 10 เช่นเดียวกับการทดลองของ Prindiville *et al.* (2000) ซึ่งพบว่าการใช้ไขมันนมร้อยละ 9 และร้อยละ 6 ทำให้ไอศกรีมมีความเป็นครีมและมีความเรียบเนียนมากขึ้น แต่มีผลให้ความเข้มข้นของกลิ่นโกโก้ลดลงเมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรที่มีไขมันนมร้อยละ 4 และร้อยละ 0.5

- **ธาตุน้ำนมไม่รวมไขมัน (nonfat milk solid, NMS)** เป็นของแข็งที่อยู่ในส่วนผสมของหางนมประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 37 น้ำตาลแลคโตสร้อยละ 55 และแร่ธาตุร้อยละ 8 โดยทั่วไปไอศกรีมมีธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันไม่เกินร้อยละ 15.6 – 18.5 ของของแข็งทั้งหมด (total solid, TS) ของส่วนผสมไอศกรีม เมื่อเพิ่มปริมาณธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันในส่วนผสมไอศกรีมมากขึ้น จะทำให้ผลึกน้ำแข็ง อัตราการละลาย และความรู้สึกเย็น (coldness) ลดลง แต่ช่วยเพิ่มความเป็นครีมและการเคลือบภายในปากสูงขึ้น (Stampononi Koeferli *et al.*, 1996) หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมมีรสเค็ม อาจมีกลิ่นนมต้ม (overcooked) กลิ่นนมข้น (condensed milk) และเสี่ยงต่อการเกิดผลึกแลคโตสในระหว่างการเก็บรักษา (Marshall and Arbuckle, 1996)

- **สารให้ความหวาน (sweeteners)** ช่วยให้เกิดรสหวานของไอศกรีม และใช้ในการปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดของส่วนผสมให้เป็นไปตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังช่วยให้กลิ่นคาราเมลและกลิ่นวานิลลามากขึ้น แต่ส่งผลให้กลิ่นนมลดลง (Stampononi Koeferli *et al.*, 1996) หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้จุดเยือกแข็งของส่วนผสมไอศกรีมลดต่ำลง ต้องใช้เวลานานในการปั่นเป็นไอศกรีม (Goff, 1997a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **สารให้ความคงตัว (stabilizers)** สารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ ได้แก่ เจลาติน กัม คาราจีแนน โลคัสบีนกัม และอื่น ๆ ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำ ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในระหว่างการเก็บรักษา (Goff *et al.*, 1999a; Patmore *et al.*, 2003) ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อเนียนและช่วยให้ไอศกรีมละลายได้อย่างช้า ๆ จากการทดลองของ Sutton and Wilcox (1996) พบว่า โลคัสบีนกัมสามารถยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งซ้ำ (recrystallization) ในระหว่างการเก็บรักษาได้มากกว่ากัวร์กัม และพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวมากขึ้น ทำให้ผลการยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ดีขึ้น หากมีปริมาณสารให้ความคงตัวมากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดสูง ส่งผลให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่นและไม่ละลายขณะรับประทาน (Goff, 1997a; Marshall and Arbuckle, 1996)

- **อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers)** อิมัลซิไฟเออร์มีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการสูญเสียความคงตัวของไขมัน (fat destabilization) ในระหว่างการปั่นเป็นไอศกรีม ทำให้เซลล์อากาศมีขนาดเล็กและกระจายตัวสม่ำเสมอในโครงสร้างไอศกรีมและลดระยะเวลาในการปั่นเป็นไอศกรีม นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความหนืดให้กับไอศกรีมไขมันต่ำ ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลงอีกด้วย ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี (Baer *et al.*, 1997; Davies *et al.*, 2000) หากใช้อิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมละลายช้าและมีเนื้อสัมผัสไม่ดี (Marshall and Arbuckle, 1996)

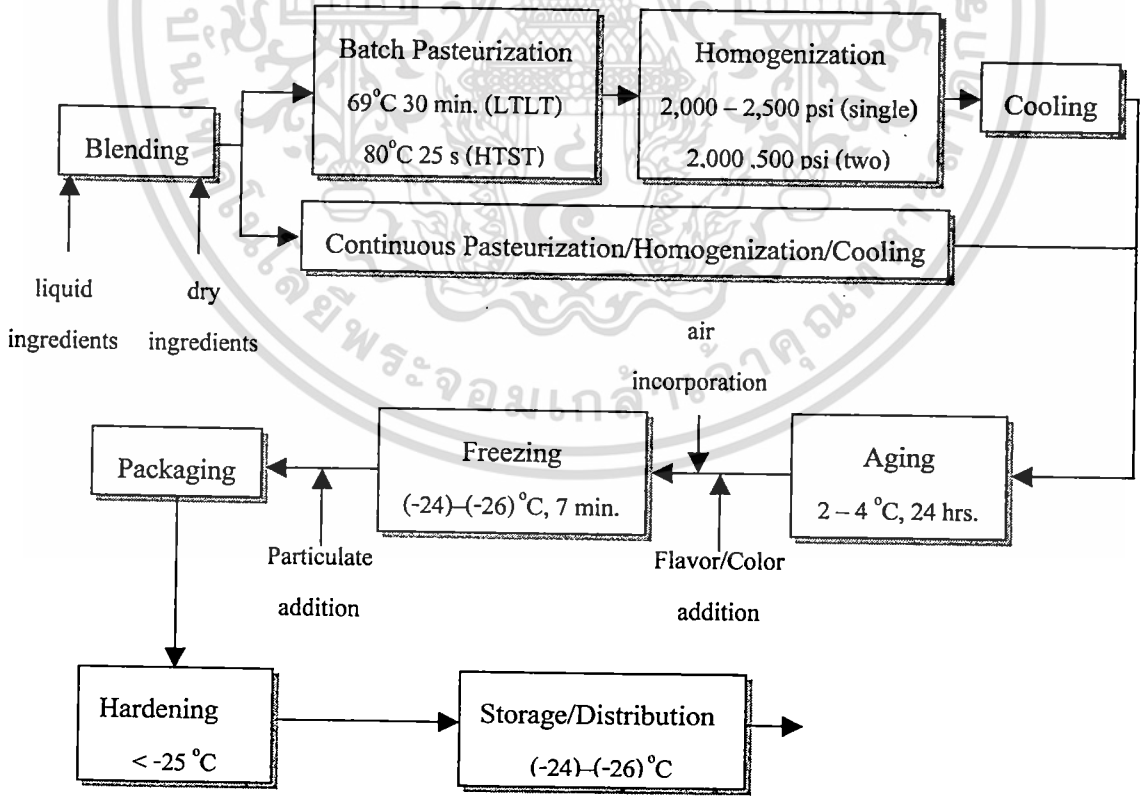
- **น้ำและอากาศ** มีผลต่อการควบคุมคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ โดยน้ำในไอศกรีมอยู่ในสถานะของของเหลวและของแข็ง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น หากผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่กว่า 40–50 ไมครอน จะส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อหยาบและเป็นเกล็ดน้ำแข็ง (Donhowe *et al.*, 1991; Vélez-Ruiz and Barbosa Cánovas, 1997)

- **สารให้กลิ่นรส (flavor)** สารให้กลิ่นรสมีความสำคัญต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมของผู้บริโภค กลิ่นรสที่แพร่หลายและนิยมกันมากได้แก่ กลิ่นวานิลลา ช็อกโกแลต สตรอเบอร์รี่ กาแฟ เป็นต้น โดยกลิ่นวานิลลาเป็นกลิ่นรสที่นิยมใช้ที่สุดในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม (Li *et al.*, 1997; Marshall *et al.*, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม

ขั้นตอนการผลิตไอศกรีมเริ่มจากการคำนวณปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ แล้วนำส่วนผสมที่เป็นของแข็งมาผสมให้เข้ากัน นำไปผสมกับส่วนผสมของเหลวในถังผสม ณ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการละลาย จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (Low temperature Long Time; LTLT) หรือที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วินาที (High Temperature Short Time; HTST) ก่อนโฮโมจีไนซ์เพื่อทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กประมาณ 1–2 ไมครอน ป้องกันการแยกชั้นของครีม สามารถโฮโมจีไนซ์ระบบเดี่ยว (ความดันรวมประมาณ 2,000–2,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว) หรือโฮโมจีไนซ์แบบสองระบบ (ความดันครั้งแรก 2,500–3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว และครั้งที่ 2 ประมาณ 500 ปอนด์/ตารางนิ้ว) แล้วนำไปบ่ม (aging) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4–5 องศาเซลเซียส เพื่อให้สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีขึ้นทำให้การปั่นง่ายขึ้น แล้วจึงนำไปปั่นเป็นไอศกรีม จากนั้นนำไปแช่แข็ง (hardening) ที่อุณหภูมิประมาณ -25 องศาเซลเซียส ทำให้ไอศกรีมมีโครงสร้างแน่นอน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ-25 ถึง -30 องศาเซลเซียสต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 1 (วรรณา และวิบูลย์ศักดิ์, 2531; Marshall and Arbuckle, 1996; Andreasen and Nielsen, 1992)



ภาพที่ 1 ผังการผลิตไอศกรีม

ที่มา : ดัดแปลงจาก Goff (1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารทดแทนไขมัน

สารทดแทนไขมัน (fat replacer) เป็นสารประกอบใด ๆ ที่สามารถใช้ทดแทนไขมันในอาหารหรือทำหน้าที่แทนไขมัน ให้รสชาติและความรู้สึกเหมือนไขมันในอาหาร (อดิศักดิ์, 2542) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

- **fat mimetic** หมายถึง สารประกอบที่ใช้ทดแทนหน้าที่ของไขมันในด้านความรู้สึกภายในปาก รูปร่าง และมวลของไขมัน มีความสามารถในการดูดน้ำหรือพองตัวได้เป็นจำนวนมาก สามารถแบ่งเป็นกลุ่มต่าง ๆ คือ กลุ่มที่ได้จากแป้ง เซลลูโลสและโปรตีน กลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ เดกซ์ทริน โพลีเดกซ์โทรส เป็นต้น การใช้ fat mimetic แทนที่ไขมันในอาหารพลังงานต่ำ มักทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขาดลักษณะบางประการเนื่องจากสารชนิดนี้ไม่สามารถแทนไขมันในลักษณะต่าง ๆ ได้ทั้งหมด (อดิศักดิ์, 2542)
- **fat substitute** หมายถึง สารประกอบที่มีลักษณะทางกายภาพและเคมีใกล้เคียงกับไตรกลีเซอไรด์ มีความคงตัวต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทอดหรือปรุงอาหาร เช่น โอเลสตร้า (Olestra) ซึ่งเป็นซูโครสโพลีเอสเทอร์ (sucrose polyester) ไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย สามารถใช้แทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารหรือใช้แทนน้ำมันสำหรับทอดอาหารได้ดี (อดิศักดิ์, 2542)

สารทดแทนไขมันแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

- **สารทดแทนไขมันประเภทไขมัน (fat – based fat replacer)** สารทดแทนไขมันประเภทนี้อาจเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีพลังงานลดลงหรือไม่ให้พลังงาน ส่วนใหญ่มีการประยุกต์ใช้สารทดแทนไขมันประเภทนี้ในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว และแครกเกอร์ น้ำมันสำหรับปรุงอาหาร เป็นต้น (Roller and Jones, 1996; Giese, 1996)
- **สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate – based fat replacer)** สารทดแทนไขมันประเภทนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เป็นสตาร์ชดัดแปร (modified starch) ซึ่งมีสมบัติทำให้อาหารข้น เมื่อสุกแล้วจะมีลักษณะลื่น เนียน คล้ายไขมัน และกลุ่มที่เป็นเส้นใยอาหารและกัม สามารถเกิดเจล หรือนำมาผสมกับน้ำจะให้ความข้นและความมัน เนื้อเนียนคล้ายไขมัน มีการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์นม ไอศกรีม น้ำสลัด (salad dressings) เป็นต้น (Giese, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน (protein – based fat replacer)** สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนได้มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น นม ไข่ เวย์โปรตีน (whey protein) และโปรตีนจากพืช เช่น โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein) โดยนำโปรตีนบางชนิดมาดัดแปรให้มีสมบัติคล้ายไขมันด้วยการทำให้เข้มข้น และตีปั่นให้มีขนาดอนุภาคเล็ก ๆ เมื่อรับประทานแล้วจะให้ความรู้สึกคล้ายกับไขมัน (อดิศักดิ์, 2542) ตัวอย่างของสารทดแทนไขมันประเภทนี้ ได้แก่

ซิมเพลส (Simplesse®) เป็นโปรตีนจากธรรมชาติ เช่น ไข่ขาว หางนม เวย์ โปรตีนที่ผ่านกระบวนการ microparticulation ทำให้เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก (microparticle) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.001 มิลลิเมตร ให้คุณสมบัติในการรับประทานใกล้เคียงไขมัน สามารถใช้แทนไขมันในอาหารได้หลายชนิด (Singer and Moser, 1993)

ซิมเพลสเป็นสารทดแทนไขมันชนิดแรกที่ได้รับการรับรองจาก USFDA ให้มีสถานภาพเป็น GRAS ในปี ค.ศ. 1990 FDA ได้รับรองให้ซิมเพลสที่เตรียมมาจากไข่ขาวและ/หรือนมขาดมันเนย มีสถานภาพเป็น GRAS สำหรับใช้ใน frozen dairy dessert ต่อมาในปี ค.ศ. 1991 FDA ได้รับรองให้ซิมเพลสที่เตรียมจากเวย์โปรตีนเข้มข้น (ซิมเพลส 100) มีสถานภาพเป็น GRAS สำหรับใช้ในอาหารหลายชนิดได้แก่ เนยแข็ง น้ำสลัด นอกจากนี้ยังมีการใช้ซิมเพลสในอาหารชนิดอื่น ๆ เช่น ไอศกรีม โยเกิร์ต เค้ก เป็นต้น โดยการใช้ซิมเพลส 1 กรัม กับน้ำ 2 กรัม สามารถแทนที่ไขมันได้ถึง 3 กรัม (อดิศักดิ์, 2542; Roller and Jones, 1996)

การใช้สารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

เนื่องจากไขมันนมเป็นองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีผลต่อโครงสร้าง คุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีกลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ดังนั้นการใช้สารทดแทนไขมันเพื่อทดแทนไขมันนมในไอศกรีม จึงส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติและลักษณะต่าง ๆ ของไอศกรีม ดังนี้

- **คุณสมบัติทางกายภาพ**

คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมมีความเกี่ยวข้องกับข้อกำหนดของกฎหมาย เช่น น้ำหนักต่อปริมาตร (ค่าโอเวอร์รัน) ของผลิตภัณฑ์ การละลายต้องไม่ละลายเร็วหรือช้าเกินไป รวมถึงความหนืดของส่วนผสมไอศกรีม ส่งผลต่อการกักเก็บอากาศเข้าไปในส่วนผสมในระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตีปั่น เมื่อความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมสูงขึ้น ซึ่งอาจได้มาจากการเพิ่มปริมาณของสารให้ความคงตัว หรือโปรตีน (Aguilera and Stanley, 1999) ทำให้การตีปั่นอากาศเข้าไปในไอศกรีมลดลง ส่งผลให้ค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมลดลง (Marshall *et al.*, 2003) นอกจากนี้ค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมนั้นขึ้นกับการสูญเสียความคงตัวของไขมัน หากเกิดการสูญเสียความคงตัวของไขมันแล้วเกิดการหลอมรวมบางส่วนได้ดีจะทำให้กักเก็บอากาศได้ดีด้วย (Stanley *et al.*, 1996; Leser and Michel, 1999)

การใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนทดแทนไขมันนมที่เป็นองค์ประกอบหลักของไอศกรีม ทำให้คุณสมบัติด้านรีโอโลจี (rheology property) ของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ไอศกรีมที่มีสารทดแทนไขมันเหล่านี้มีความหนืดสูงกว่าเมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรไขมันปกติ ส่งผลให้ค่าโอเวอร์รันต่ำลง (Adapa *et al.*, 2000) และจากการทดลองของ Schmidt *et al.* (1993) ที่ศึกษาคุณสมบัติด้านการไหล การแช่แข็งและอัตราการละลายของไอศกรีมที่มีสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตได้แก่ เอ็น-ไลท์ ดี (N-Lite D) และสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนซึ่งได้แก่ ซิมเพลส–100 ในไอศกรีมไขมันต่ำที่ระดับร้อยละ 4.8 ทดแทนปริมาณไขมันนมร้อยละ 2.1 สรุปว่าไอศกรีมสูตรที่มีซิมเพลส–100 มีลักษณะใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรไขมันปกติมากกว่าไอศกรีมสูตรที่มีสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนโดยเฉพาะการเกิดอิมัลชั่น การเกิดโฟมและลักษณะการเป็นคอลลอยด์ของ microparticulated protein

- **ลักษณะเนื้อสัมผัส**

ไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการให้คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสและรูปร่าง (body) ของไอศกรีม (Berger, 1997) โดยเฉพาะความเป็นครีมซึ่งเป็นลักษณะที่ได้จากไขมันนม โดยที่สารทดแทนไขมันนั้นสามารถทดแทนได้ยาก การเพิ่มปริมาณไขมันให้มากขึ้น ทำให้ความเป็นครีมและการเคลือบภายในปากมากขึ้น สามารถลดอัตราการละลาย ผลึกน้ำแข็งและความรู้สึกเย็นได้ (Stampanoni Koeferli *et al.*, 1996) เช่นเดียวกับการทดลองของ Guinard *et al.* (1997) ซึ่งพบว่าไอศกรีมที่ปริมาณไขมันสูงจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น ส่วนการลดปริมาณไขมันลงนั้นทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดีเกิดขึ้น เช่น มีเนื้อหยาบ เกิดผลึกน้ำแข็งมากขึ้น และเกิดการหดตัวของไอศกรีม (shrinkage) (Baer *et al.*, 1997)

การที่สารทดแทนไขมันให้ความรู้สึกในการรับประทานได้ใกล้เคียงกับไขมันได้เนื่องจากปกติลิ้นของมนุษย์รับรู้อนุภาคของอาหารที่มีรูปร่างและขนาดแน่นอนได้ในลักษณะที่เป็นอนุภาครวม ๆ มากกว่าเป็นอนุภาคเดี่ยว อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ให้ความรู้สึกลื่นไหลได้ ในขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 3.0 ไมครอน ให้ความรู้สึกเป็นผงหรือเม็ดหยาบ ส่วนอนุภาคที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขนาดระหว่าง 0.1–3.0 ไมครอน เช่น ซิมเพลส ลิ้นจะรับรู้ได้ให้ความรู้สึกคล้ายครีม (Anonymous, 1990)

สารทดแทนไขมันที่ได้จากเวย์โปรตีน ให้คุณสมบัติของไอศกรีมใกล้เคียงกับเม็ดไขมัน เช่นเดียวกับสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่มีอนุภาคเป็นพวกที่ชอบน้ำมัน (lipophilic) (Schirle – Keller and Reineccius, 1992) ซึ่งสารทดแทนไขมันเหล่านี้ทนต่อการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาค โดยพื้นผิวของอนุภาคคล้ายกับไขมันที่อยู่ในสภาพอิมัลชัน และให้ความรู้สึกที่ดีในขณะรับประทาน (Ohmes *et al.*, 1998) นักวิจัยกลุ่มนี้พบว่าการใช้ซิมเพลส-100 แดรี–โล (Dairy–Lo) ในไอศกรีมนั้นให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่ต่างจากไอศกรีมสูตรไขมันปกติ และการใช้โพรโล 11 (Prolo 11) ซึ่งเป็นสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนเช่นเดียวกันนั้นให้การละลายภายในปากช้าที่สุด แต่ให้ความรู้สึกเรียบเนียนและการเคลือบภายในปากมากที่สุด นอกจากนี้การใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนนี้ยังให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมช็อกโกแลตชนิดไขมันต่ำและปราศจากไขมันใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม (Prindiville *et al.*, 2000)

การใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตมาทดแทนไขมันนมในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลาชนิดลดไขมัน เช่น สตาร์ชดัดแปร ทำให้ไอศกรีมสูตรที่มีปริมาณไขมันนมร้อยละ 5.0 ให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุมซึ่งมีไขมันนมร้อยละ 10.0 แต่ไอศกรีมสูตรที่มีปริมาณไขมันนมร้อยละ 2.5 และร้อยละ 0.4 นั้นมีความเรียบเนียนและการเคลือบภายในปากน้อยกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม (Aime *et al.*, 2001) และการแทนที่ไขมันนมในไอศกรีมด้วยเด็กซ์ทริน (dextrin) ทำให้ไอศกรีมเนื้อสัมผัสหยาบขึ้น (coarseness) และความเป็นครีมลดลง (Specter and Setser, 1994) และการใช้มอลโตเด็กซ์ทริน (maltodextrin) ในไอศกรีมที่มีไขมันนมน้อยกว่าร้อยละ 0.5 มีการละลายเร็วกว่าไอศกรีมสูตรควบคุมที่มีไขมันนมร้อยละ 10 (Roland *et al.*, 1999)

การใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน ได้แก่ แดรี–โล และซิมเพลส-100 ในไอศกรีมช็อกโกแลตชนิดไขมันต่ำและปราศจากไขมันนั้น พบว่า ซิมเพลส-100 ทำให้ไอศกรีมมีกลิ่นโกโก้ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากกว่าไอศกรีมสูตรที่มีแดรี–โล (Prindiville *et al.*, 2000)

ดังนั้นการใช้สารทดแทนไขมันประเภทต่าง ๆ ทดแทนไขมันนมในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบจากการมีปริมาณไขมันนมลดลงและมีปริมาณสารทดแทนไขมันเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัส รวมทั้งกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

- นมสดพร่องมันเนยพาสเจอร์ไรซ์ (ตรา ฟาร์มโชคชัย)
- ยูเอชที วิปปิ้งครีม [บริษัท เอ็น แซด มิ้ลค์ โพรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด]
- หางนมผง [บริษัท เอ็น แซด เอ็ม พี (ประเทศไทย) จำกัด]
- น้ำตาลทราย
- กลิ่นวานิลลิน (บริษัท ฟาร์มาเคม จำกัด)
- สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน ซิมเพลส–100 [Simplesse®–100; CP Kelco U.S., Inc., USA ; บริษัท วินเนอร์ กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด]
- สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ (บริษัท อี๊สต์เอเชียติ๊ก จำกัด) ประกอบด้วย

โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์	(E471)
โลคัสบีนกัม (Locust bean gum)	(E410)
กัว กัม (Guar gum)	(E412)
คาราจีแนน (Carageenan)	(E407)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง พิกัดชั่ง 3,100 กรัม (Sartorius; BP 3100S, Germany)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง พิกัดชั่ง 210 กรัม (A&D Company, Limited, Japan)
- เครื่องปั่นผสมอาหาร [บริษัท ฟิลิปส์ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด]
- ตู้แช่เยือกแข็ง (Sanyo, Thailand)
- เครื่องปั่นไอศกรีม ความจุ 3 ลิตร (บริษัท ฟอร์จูนเนท จำกัด)
- เทอร์โมมิเตอร์ (Testo 925, Germany)

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

- เครื่องวัดสี (Chroma Meter, Minolta CR – 300, Japan)
- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Digital Rheometer; Model DV-III)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. การผลิตไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนม

- **การผลิตไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสูตรควบคุม**

ส่วนผสมของไอศกรีมสูตรควบคุมซึ่งมีปริมาณไขมันนมร้อยละ 10.0 ดังนี้

ส่วนผสม	ร้อยละ
นมสดพร่องมันเนย	59.15
ครีม	24.65
หางนมผง	3.80
น้ำตาล	12.00
สารให้ความคงตัว	0.40
วานิลลิน	0.05

นำส่วนผสมที่ได้มาปั่นผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นผสมอาหารนาน 30 วินาที ก่อนพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วินาที ลดอุณหภูมิของส่วนผสมไอศกรีมลงให้เย็นโดยเร็วจนส่วนผสมไอศกรีมมีอุณหภูมิ 4–5 องศาเซลเซียส ก่อนนำส่วนผสมไปบ่มที่อุณหภูมิ 4–5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เติมสารละลายวานิลลิน ปั่นเป็นไอศกรีมด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมประมาณ 25–30 นาที บรรจุไอศกรีมในถ้วยพลาสติกมีฝาปิด นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25 ถึง -30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ดัดแปลงวิธีจาก Marshall and Arbuckle, 1996)

- **การผลิตไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสูตรลดไขมันนม**

ผลิตไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสูตรลดไขมันนมมีปริมาณไขมันนมในสูตรต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 7.5, 5.0 และ 2.5 โดยใช้ซิมเพลส-100 (Simplesse®–100) ทดแทนปริมาณไขมันนม คำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ และผลิตไอศกรีมตามที่กล่าวมาแล้ว

2. ศึกษาผลของปริมาณสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

2.1 ความหนืด

วัดความหนืดของส่วนผสมหลังผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเครื่องวัดความหนืดใช้หัวหมุน (spindle) เบอร์ 18 ที่ความเร็วรอบการหมุนต่าง ๆ ควบคุมอุณหภูมิส่วนผสมที่ 4 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก Li *et al.*, 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัดโอเวอร์รันของไอศกรีมโดยกำหนดปริมาตรคงที่

ชั่งน้ำหนักส่วนผสมไอศกรีมก่อนการปั่นที่บรรจุในถ้วยพลาสติก บันทึกน้ำหนักของส่วนผสมไอศกรีม ชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่ปั่นได้ซึ่งบรรจุในถ้วยพลาสติกที่มีปริมาตรเท่ากัน บันทึกค่าน้ำหนักไอศกรีมที่ได้ คำนวณค่าโอเวอร์รันดังสมการต่อไปนี้ (ดัดแปลงจาก Adapa *et al.*, 2000)

$$\text{โอเวอร์รัน (\%โดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น.น.ต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสม - น.น.ต่อหน่วยปริมาตรของไอศกรีม}}{\text{น.น.ต่อหน่วยปริมาตรของไอศกรีม}} \times 100$$

2.3 การวัดอัตราการละลาย

นำตัวอย่างไอศกรีมที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25 ถึง –30 องศาเซลเซียส ไปแช่แข็งที่ –14±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดอัตราการละลายที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส โดยวางไอศกรีมบนตะแกรงสแตนเลสขนาด 6.3 ช่องต่อตารางเซนติเมตร รองรับไอศกรีมที่ละลายด้วยจานเพาะเชื้อ ชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุก 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง คำนวณน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายเทียบกับน้ำหนักไอศกรีม 100 กรัม เขียนกราฟระหว่างค่าที่ได้กับเวลา รายงานเป็นอัตราการละลาย (ดัดแปลงจาก Muse and Hartel, 2004)

2.4 การวัดสีของไอศกรีม

วัดค่าสีและรายงานค่าสีในระบบ L*a*b* รวมทั้งค่า C*h ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัดสี (Roland *et al.*, 1999)

3. ศึกษาผลของปริมาณสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

3.1 ประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณา (Descriptive test)

ใช้ผู้ประเมินที่ได้รับการฝึกฝนแล้วจำนวน 10 คน โดยทำการฝึกฝนผู้ประเมินให้มีความคุ้นเคยกับวิธีการและตัวอย่างอ้างอิง (reference standards) ที่ใช้ทดสอบ ทำการฝึกฝนจำนวน 7 ครั้ง ครั้งละ 1.5 ชม ลักษณะที่ทำการทดสอบ ได้แก่ กลิ่นรส (กลิ่นวานิลลา ความหวาน กลิ่นคาราเมล กลิ่นเนย กลิ่นนม และกลิ่นเวย์) และลักษณะเนื้อสัมผัส (ความเป็นครีมและความเรียบเนียน) (Guinard *et al.*, 1997; Meilgaard *et al.*, 1999; Stampanoni *et al.* 1996) เตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างไอศกรีมแช่ในตู้แช่แข็งที่มีอุณหภูมิ -14±1 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ข้ามคืนก่อนการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Chung *et al.*, 2003a; Chung *et al.*, 2003b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ (7–point Hedonic scale)

ใช้ผู้ประเมินจำนวน 50 คน ลักษณะที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การละลายในปาก และความชอบโดยรวม

การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) สำหรับการศึกษาข้อ 1-2 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

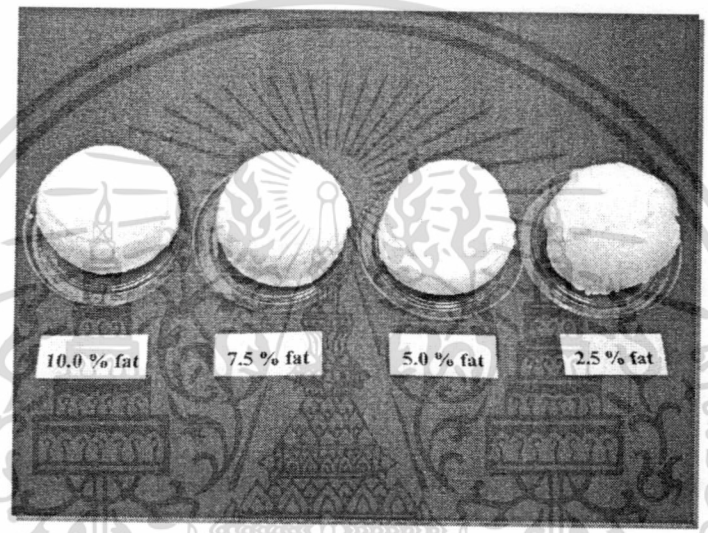
การทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan' s New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 10.0 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การผลิตไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนม

ลักษณะของไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสูตรควบคุม (ไขมันนมร้อยละ 10.0) และสูตรลดไขมันนมที่ระดับไขมันนมร้อยละ 7.5, 5.0, 2.5 แสดงดังภาพที่ 2 โดยมีส่วนผสมไอศกรีมและปริมาณดังระบุในหัวข้อที่ 1 ของวิธีการทดลอง



ภาพที่ 2 ลักษณะของไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนม

2. ผลของปริมาณสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

การใช้ซิมเพลส–100 ทดแทนไขมันนมในไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสูตรลดไขมันนมที่ระดับไขมันนมต่างกันส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมดังแสดงในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

ปริมาณไขมันนมในสูตร(ร้อยละ)	consistency index ($Pa.s^n$)	flow behavior index	โอเวอร์รัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	อัตราการละลาย^{ns} (ร้อยละ/นาที)
สูตรควบคุม (10)	9.33 ± 0.75^c	0.69 ± 0.10	65.09 ± 0.95^a	2.37 ± 0.04
7.5	14.37 ± 0.81^b	0.65 ± 0.13	61.70 ± 1.7^b	2.43 ± 0.09
5.0	17.45 ± 1.08^b	0.62 ± 0.02	46.20 ± 1.92^c	2.43 ± 0.05
2.5	24.97 ± 2.91^a	0.67 ± 0.04	44.10 ± 1.30^c	2.45 ± 0.09

หมายเหตุ

อักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ซิมเพลส-100 มีพฤติกรรมการไหลแบบ shear-thining เมื่อให้อัตราการเฉือน (shear rate) มากขึ้น ทำให้ความหนืดลดลง ดังนั้นซิมเพลส-100 จึงสามารถกระจายตัวในผลิตภัณฑ์อาหารรวมทั้งไอศกรีม (Sanchez and Paguin, 1997) ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของส่วนผสมไอศกรีมทั้งสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนมทั้ง 3 สูตร (ตารางที่ 1) พบว่า ค่า flow behavior index ทั้ง 4 สูตรนั้นมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมไอศกรีมมีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบ Pseudoplastic ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Smith *et al.* (1984) (อ้างอิงจาก Vélez-Ruiz and Barbosa Cánovas, 1997) ซึ่งรายงานว่าส่วนผสมไอศกรีมแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบ Pseudoplastic และค่า flow behavior index อยู่ระหว่าง 0.48 – 0.55 Marshall *et al.* (2003) ระบุว่า การเพิ่มอัตราการเฉือนให้กับส่วนผสมไอศกรีมมีผลให้ความหนืดของไอศกรีมลดลง สำหรับไอศกรีมที่ผ่านการแช่แข็งแล้วมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นแบบ viscoelastic material การเติมสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนชนิดแดรี-โล (Dairy–Lo) จะช่วยเพิ่ม viscous property แต่ไม่ช่วยปรับปรุง elastic property ของไอศกรีม การเพิ่มปริมาณไขมันในไอศกรีมช่วยให้ elastic property ของไอศกรีมเพิ่มขึ้น (Adapa *et al.*, 2000)

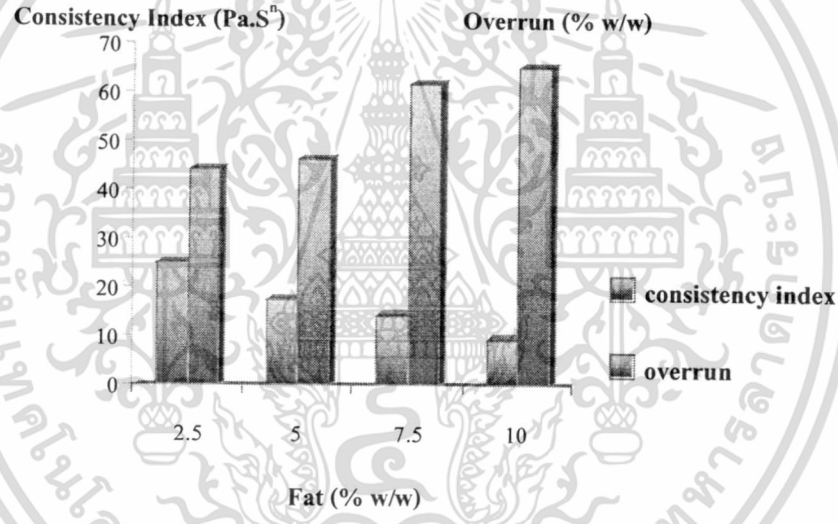
ค่า consistency index ของส่วนผสมไอศกรีมทั้ง 4 สูตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยส่วนผสมไอศกรีมสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 2.5 มีค่า consistency index มากที่สุด (24.97 ± 2.91 $Pa.s^n$) สูตรควบคุม (ไขมันนมร้อยละ 10) มีค่า consistency index น้อยที่สุด (9.33 ± 0.75 $Pa.s^n$) ผลการศึกษาสอดคล้องกับของ Ohmes *et al.* (1998) ซึ่งรายงานว่าส่วนผสมไอศกรีมที่มีซิมเพลส-100 ร้อยละ 5 ของส่วนผสมมีความหนืดสูงกว่าส่วนผสมไอศกรีมที่มีไขมันนมเป็นองค์ประกอบที่ปริมาณร้อยละ 4.8 ของส่วนผสม จากผลการทดลองในตารางที่ 1 ยังพบว่าเมื่อส่วนผสมไอศกรีมมีปริมาณซิมเพลส-100 มากขึ้น เป็นผลให้ค่า consistency index มากขึ้นด้วย เนื่องจากซิมเพลส-100 เป็นเวย์โปรตีนที่ผ่านกระบวนการ microparticulation ทำให้อนุภาคโปรตีนมีลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

64432

ทรงกลมสม่ำเสมอและมีขนาดเล็กมาก (Singer and Moser, 1993; อดิศักดิ์, 2542) พื้นผิวของอนุภาคโปรตีนที่มีหมู่ไฮโดรโฟบิคมีคุณสมบัติในการจับน้ำ (hydration) ได้ดี สามารถอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างของซิมเพลส-100 และเกิดเจลขึ้นทำให้ปริมาณน้ำอิสระของส่วนผสมไอศกรีมลดลง (Marshall *et al.*, 2003; Sanchez and Paguin, 1997) ดังนั้นส่วนผสมไอศกรีมสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 7.5, 5.0 และ 2.5 ซึ่งมีปริมาณซิมเพลส-100 มากขึ้นตามลำดับจึงมีค่า consistency index มากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเกิดเจลของซิมเพลส-100 ในส่วนผสมไอศกรีมมากขึ้น

อิทธิพลของปริมาณซิมเพลส-100 มีผลต่อค่า consistency index ของส่วนผสมไอศกรีมและส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของไอศกรีม (ภาพที่ 3) เมื่อความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมสูงขึ้นจากการเพิ่มปริมาณของสารให้ความคงตัวและโปรตีน (Aguilera and Stanley, 1999) ทำให้การอัดอากาศเข้าไปในโครงสร้างไอศกรีมลดลง ส่งผลให้ค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมลดลง (Marshall *et al.*, 2003)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า consistency index, overrun และปริมาณไขมันนมของไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

ปริมาณของซิมเพลส-100 มีผลต่อค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมกลิ่นวานิลลา (ภาพที่ 3) ไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าโอเวอร์รันมากที่สุด และไอศกรีมสูตรลดไขมันนมทั้ง 3 สูตร มีค่าโอเวอร์รันต่ำกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าโอเวอร์รันมีความสัมพันธ์กับค่า consistency index ของส่วนผสมไอศกรีม เมื่อค่า consistency index สูงขึ้น ค่าโอเวอร์รันต่ำลงเนื่องจากค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมขึ้นอยู่กับเกิดการสูญเสียความคงตัวของไขมัน สารไฮโดรคอลลอยด์และความหนืดของส่วนผสม (Stanley *et al.*, 1996; Leser and Michel, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

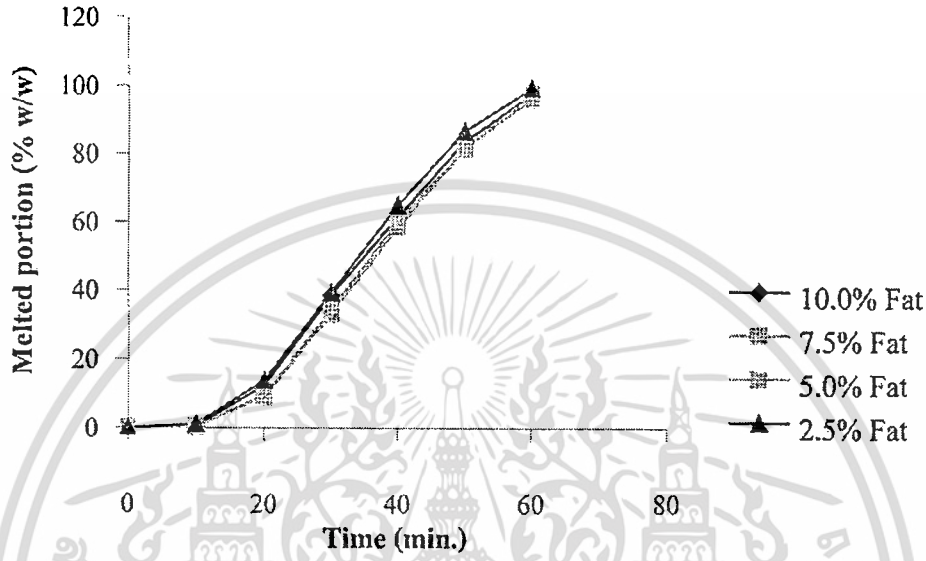
ส่วนผสมไอศกรีมสูตรควบคุมมีเคซีน อิมัลซิไฟเออร์โมเลกุลเล็ก สารลดแรงตึงผิว ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับพื้นผิวของเม็ดไขมันมากกว่าโปรตีนโมเลกุลใหญ่ เช่น เวย์โปรตีน ทำให้พื้นผิวของเม็ดไขมันมีโปรตีนน้อย ประสิทธิภาพในการรักษาความคงตัวโดยโมเลกุลที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟส (steric stabilization) น้อย เมื่อมีการปั่นเป็นไอศกรีมเม็ดไขมันสามารถเข้าใกล้กันมากขึ้นเกิดการหลวมรวมบางส่วนได้ดี และไขมันเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไขมันแข็ง เกิดโครงสร้างร่างแหของเม็ดไขมัน ทำให้สามารถอุ้มอากาศที่ถูกอัดเข้าไปได้ดี (ปาริฉัตร, 2542; Marshall *et al.*, 2003) ทำให้ค่าโอเวอร์รันสูงกว่าไอศกรีมสูตรลดไขมันนมทั้ง 3 สูตร

สำหรับไอศกรีมสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 7.5, 5.0 และ 2.5 มีปริมาณซิมเพลส-100 ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมและมีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้ซิมเพลส-100ถูกดูดซับที่พื้นผิวของเม็ดไขมันได้มาก ทำให้เม็ดไขมันเหล่านี้มีความยืดหยุ่นน้อย เกิดการหลอมรวมบางส่วนน้อยกว่า (Dickinson, 2001) รวมทั้งความสามารถในการเกิดเจลของซิมเพลส-100 ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมมากขึ้น เป็นผลให้การอุ้มอากาศที่ถูกอัดเข้าไปลดลง จึงเห็นได้ว่าเมื่อไอศกรีมสูตรที่มีไขมันนมลดลง (ร้อยละ 7.5, 5.0, 2.5 ตามลำดับ) และมีปริมาณซิมเพลส-100 มากขึ้น จึงมีค่าโอเวอร์รันต่ำลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Goff (1997b) ซึ่งพบว่า อิมัลชั่นมีความคงตัวและต่อต้านการเกิดการหลอมรวมบางส่วนของเม็ดไขมันได้ดี เมื่อมีความเข้มข้นของโปรตีนมากขึ้น และพบว่าความสามารถในการอุ้มอากาศจากการอัดอากาศที่ 5 องศาเซลเซียสของอิมัลชั่นที่มีไขมันนมร้อยละ 20 ลดลงเมื่อมีปริมาณเวย์โปรตีนมากขึ้น และหากปริมาณโปรตีนมากกว่าร้อยละ 0.5 โปรตีนถูกดูดซับที่ผิวของเม็ดไขมันมาก เม็ดไขมันเกิดการหลอมรวมบางส่วนน้อยลง

จากผลการวิเคราะห์อัตราการละลายของไอศกรีมกลิ่นวานิลลาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไอศกรีมทั้ง 4 สูตรมีอัตราการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 1 และภาพที่ 4) ไอศกรีมสูตรควบคุมมีอัตราการละลายร้อยละ 2.37$\pm$0.04 ต่อนาที โดยไอศกรีมสูตรควบคุมมีปริมาณไขมันนมมาก จึงมีปริมาณเม็ดไขมันล้อมรอบเซลล์อากาศมาก ส่งผลให้ปริมาณเซลล์อากาศซึ่งมีส่วนช่วยในการต่อต้านการละลายมีมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ไขมันนมยังช่วยให้โครงสร้างของโฟมนั้นมีความตัวดีด้วย (Marshall *et al.*, 2003) เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมสูตรลดไขมันนมที่ระดับไขมันนมร้อยละ 7.5, 5.0 และ 2.5 ซึ่งมีอัตราการละลายใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุมคือ ร้อยละ 2.43$\pm$0.09, 2.43$\pm$0.09 และ 2.45$\pm$0.09 ต่อนาทีตามลำดับ ต่างจากผลการศึกษาของ Muse and Hartel (2004) และ Hyvönen *et al.* (2003) ซึ่งรายงานว่า ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันนมลดลงส่งผลให้ค่าโอเวอร์รันต่ำและมีอัตราการละลายเร็วขึ้น แสดงว่าซิมเพลส-100 ในไอศกรีมสูตรลดไขมันนมสามารถทำให้ไอศกรีมที่ได้มีอัตราการละลายใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุมซึ่งมีปริมาณไขมันนมสูงกว่าเมื่อมีปริมาณสารให้ความคงตัวเท่ากันทุกสูตร ทั้งนี้เนื่องจากซิมเพลส-100 ถูกดูดซับที่ผิวของเม็ดไขมันเป็นอนุภาคหนาแน่น เมื่อเม็ดไขมันเกิดการหลอมรวมบางส่วนล้อมรอบเซลล์อากาศ ทำให้เซลล์อากาศมีความคงตัวดี ประกอบกับการเกิดเจลของซิมเพลส-100 ทำให้ความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

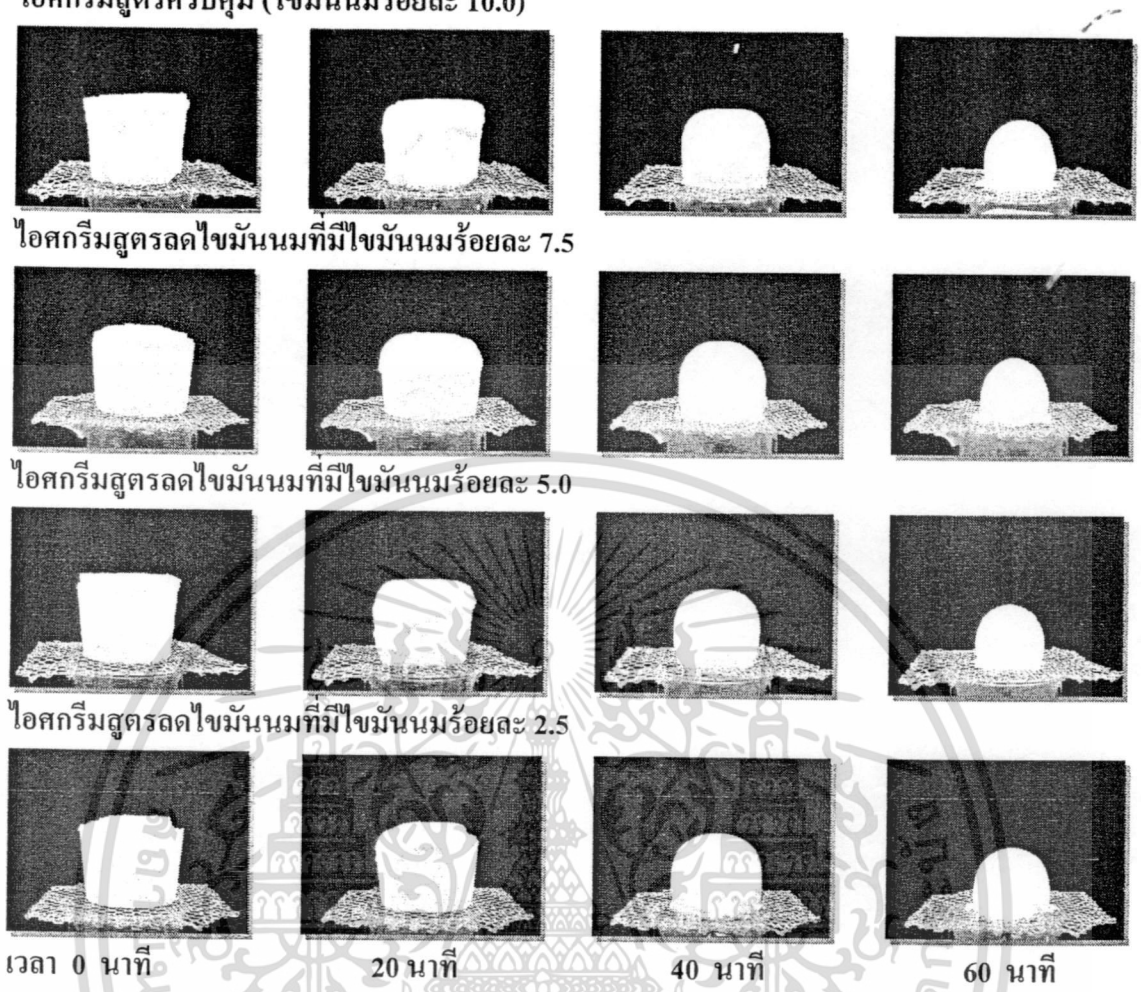
ของแข็งต่อเนื่องสูง สามารถอุ้มเซลล์อากาศได้ดี และผลจากความหนืดสูงสามารถต่อต้านการละลายได้ดีด้วย (Goff and Jordan, 1989) ไอศกรีมสูตรลดไขมันนมจึงมีอัตราการละลายใกล้เคียงกับสูตรควบคุม



ภาพที่ 4 อัตราการละลายของไอศกรีมกลิ่นวานิลลาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาลักษณะการละลายของไอศกรีมทั้ง 4 สูตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงจากภาพที่ 4 และภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาที่ 10 – 20 นาที ไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนมทั้ง 3 สูตรเริ่มมีการละลายอย่างเห็นได้ชัด โดยไอศกรีมสูตรลดไขมันนมทั้ง 3 สูตรยังคงรักษารูปร่างได้ดีเช่นเดียวกับไอศกรีมสูตรควบคุม เนื่องจากซิมเพลส-100 มีคุณสมบัติในการเกิดเจล ทำให้เม็ดไขมันและเซลล์อากาศภายในโครงสร้างไอศกรีมมีความคงตัวดี จึงทำให้ไอศกรีมนั้น สามารถคงรูปร่างขณะที่ไอศกรีมกำลังละลาย ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ซิมเพลส-100 ช่วยให้ไอศกรีมสูตรลดไขมันนมมีลักษณะการละลายและอัตราการละลายใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาของไอศกรีมลดไขมันและไอศกรีมไขมันต่ำที่มักมีอัตราการละลายเร็วกว่าไอศกรีมสูตรไขมันปกติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 การละลายของไอศกรีมกลิ่นวานิลลาเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาค่าสีต่าง ๆ จากตารางที่ 2 พบว่าไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนมมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 92.54±0.32 ถึง 88.35±0.75 มีค่าสีสัน (hue angle) อยู่ในช่วง 102.43± 0.96 ถึง 105.73±1.24 จึงกล่าวได้ว่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมีสีขาวปนเหลือง โดยเมื่อพิจารณาจากทิศของสีเขียว (-a*) และทิศของเหลือง (b*) เห็นได้ว่าไอศกรีมสูตรลดไขมันที่มีปริมาณซิมเพลส-100 มากขึ้นมีแนวโน้มการมีสีเขียวและสีเหลืองมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณไรโบฟลาวิน (riboflavin) ที่มีอยู่ในเวย์โปรตีน (วรรณา และวิบูลย์ศักดิ์, 2531) มากขึ้น โดยมีค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma) มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สีของไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

ปริมาณไขมันนมในสูตร(ร้อยละ)	ค่าสี				
	L*	a *	b *	C*	h
สูตรควบคุม (10.0)	92.54±0.32^{a}	-3.11±0.04^{a}	12.86±0.63^{c}	13.23±0.62^{c}	103.57±0.46^{a}
7.5	91.82±0.63^{a}	-3.40±0.26^{a}	15.46±0.81^{a}	15.83±0.81^{a}	102.43±0.96^{a}
5.0	90.21±0.38^{b}	-3.57±0.29^{ab}	13.97±0.37^{bc}	14.43±0.37^{b}	104.35±1.20^{ab}
2.5	88.35±0.75^{c}	-3.98±0.34^{b}	14.13±0.58^{b}	14.68±0.60^{ab}	105.73±1.24^{b}

หมายเหตุ

อักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. ผลของปริมาณสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

3.1 ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของไอศกรีมกลิ่นวานิลลาแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 6

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

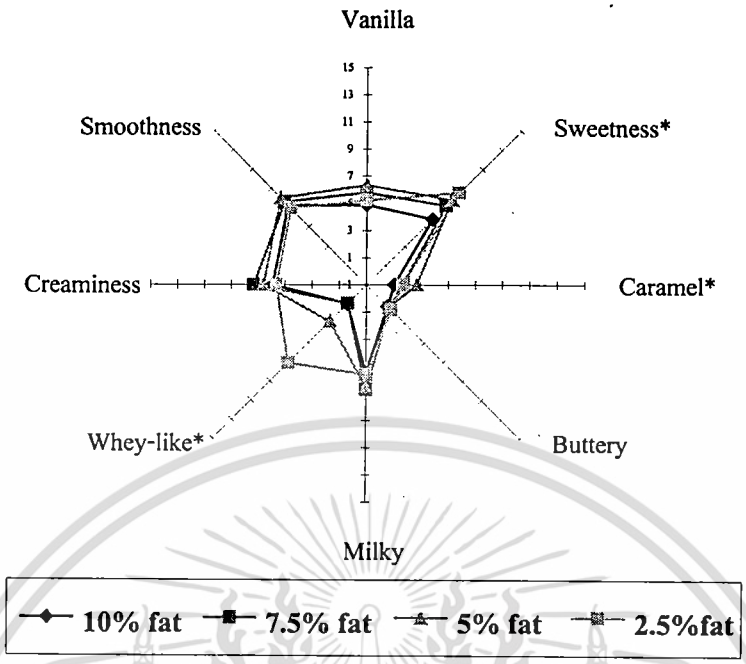
คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณไขมันนมในสูตร (ร้อยละ)			
	สูตรควบคุม (10)	7.5	5.0	2.5
กลิ่นรส				
วานิลลา^{ns}	4.87±2.02	5.78±2.33	6.32±2.43	5.21±3.09
ความหวาน	5.84±2.08^{b}	7.19±1.54^{ab}	7.81±2.74^{a}	8.55±3.31^{a}
คาราเมล	1.06±1.86^{b}	1.66±2.57^{ab}	2.68±3.34^{a}	1.71±2.94^{ab}
เนย^{ns}	1.21±1.47	1.43±2.07	1.36±1.58	1.56±1.83
นม^{ns}	5.53±2.62	6.70±2.06	6.53±3.78	5.58±3.75
เวย์	0.96±1.50^{b}	0.93±1.03^{b}	2.80±1.79^{b}	7.12±3.72^{a}
รูปร่างและลักษณะเนื้อสัมผัส				
ความเป็นครีม^{ns}	5.90±2.91	7.30±2.33	6.60±2.70	5.65±2.66
ความเรียบเนียน^{ns}	7.21±2.64	7.58±1.82	7.98±2.52	6.92±2.45

หมายเหตุ

อักษรที่ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 3 และภาพที่ 6) เห็นได้ว่าไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมสูตรลดไขมันนมทั้ง 3 สูตรมีกลิ่นวานิลลา กลิ่นเนย และกลิ่นนมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าซิมเพลส-100 ไม่มีผลต่อการรับรู้กลิ่นรสดังกล่าว เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Ohmes *et al.* (1998) ที่พบว่าการใช้ซิมเพลส-100 ไม่มีผลต่อการรับรู้กลิ่นวานิลลาซึ่งอาจถูกบดบังด้วยกลิ่นรสอื่น แต่ต่างจากผลการทดลองของ Graf and de Roos (1996) ซึ่งพบว่าไอศกรีมไขมันต่ำมีความแรงของกลิ่นวานิลลาลดลง และจากการทดลองของ Hansen and Heinis (1991) ซึ่งศึกษาผลของเคซีนและเวย์โปรตีนต่อการลดลงของกลิ่นวานิลลินโดยใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเวย์โปรตีนและเคซีนมากขึ้น ความแรงของกลิ่นวานิลลินลดลงเนื่องจากเวย์โปรตีนและเคซีนสูญเสียสภาพธรรมชาติจากกระบวนการผลิต ทำให้กรดอะมิโนที่อยู่ภายในโมเลกุลเกิดอันตรกิริยากับสารให้กลิ่นรสได้

ไอศกรีมสูตรลดไขมันนมมีซิมเพลส-100 ในปริมาณที่ทำให้ผู้ประเมินสามารถรับรู้กลิ่นรสเวย์ได้มากขึ้น โดยกลิ่นเวย์นั้นมาจากสารพวก aldehyde และ ketone ได้แก่ diacetyl, dimethyl sulfide, hexanal ที่มีอยู่ในเวย์โปรตีน (Carunchia Whetstine *et al.*, 2003) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Ohmes *et al.* (1998) ที่พบว่าการใช้ซิมเพลส-100 นั้นส่งผลให้กลิ่นเวย์ของไอศกรีมเพิ่มขึ้น และอาจบดบังการรับรู้กลิ่นเนยและกลิ่นนมของผู้ประเมินทำให้คะแนนของกลิ่นเนยและกลิ่นนมของไอศกรีมทั้ง 4 สูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ประเมินสามารถรับรู้ความหวานได้มากขึ้นเมื่อปริมาณไขมันนมในไอศกรีมลดลง ซิมเพลส-100 ประกอบด้วย β-lactoglobulin ร้อยละ 50 α-lactalbumin ร้อยละ 12 immuno globulin ประมาณร้อยละ 10 และ serum albumin ปริมาณเล็กน้อย (วรรณา และ วิบูลย์ศักดิ์, 2531) ปฏิกิริยาการเกิดคาราเมลจึงเกิดได้มากขึ้น ทำให้เกิดกลิ่นคาราเมลได้มากขึ้น (นิธิยา, 2544) ดังนั้นไอศกรีมสูตรลดไขมันทั้ง 3 สูตรจึงมีกลิ่นคาราเมลแรงกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม

คุณภาพเนื้อสัมผัสด้านความเป็นครีมและความเรียบเนียนของไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนมทุกสูตรมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากซิมเพลส-100 มีอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กประมาณ 0.1-3.0 ไมโครเมตรให้ความเป็นครีมในขณะรับประทาน (Hayakawa *et al.*, 1996) เช่นเดียวกับเม็ดไขมัน รวมทั้งผลจากความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมสูตรลดไขมันนมทั้ง 3 สูตร ช่วยให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก ไอศกรีมที่ได้จึงมีความเรียบเนียนและมีความเป็นครีมใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม (Sanchez and Paguin, 1997) เช่นเดียวกับการทดลองของ Prindiville *et al.* (2000) ที่พบว่าไอศกรีมสูตรที่มีซิมเพลสให้คุณภาพของไอศกรีมทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม ทำนองเดียวกับผลการทดลองของ Ohmes *et al.* (1998) พบว่าไอศกรีมสูตรที่มีซิมเพลส–100 ให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ไม่ต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุม

3.2 ผลการประเมินความชอบของไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

ผลการประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลาที่มีปริมาณซิมเพลส-100 ต่างกันแสดงในตารางที่ 4 และภาพที่ 7

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความชอบของไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

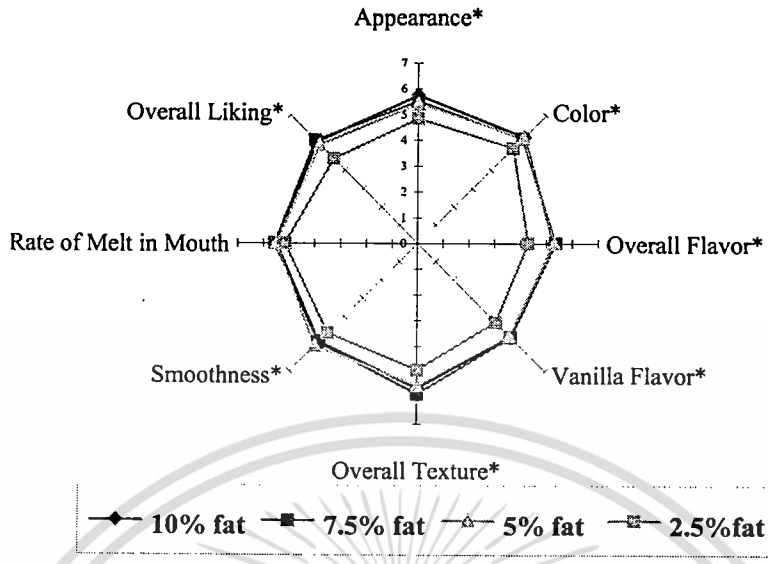
คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณไขมันนมในสูตร (ร้อยละ)			
	สูตรควบคุม(10.0)	7.5	5.0	2.5
ลักษณะปรากฏ	5.74 ± 0.90^{a}	5.52 ± 1.07^{a}	5.42 ± 1.11^{a}	4.84 ± 1.27^{b}
สี	5.82 ± 1.08^{a}	5.72 ± 1.03^{a}	5.78 ± 1.02^{a}	5.20 ± 1.40^{b}
กลิ่นรส	5.28 ± 1.40^{a}	5.34 ± 1.17^{a}	5.30 ± 1.17^{a}	4.28 ± 1.54^{b}
กลิ่นวานิลลา	5.12 ± 1.59^{a}	5.14 ± 1.50^{a}	5.04 ± 1.30^{a}	4.30 ± 1.72^{b}
เนื้อสัมผัส	5.62 ± 1.24^{a}	5.84 ± 0.96^{a}	5.50 ± 1.06^{a}	4.90 ± 1.47^{b}
ความเรียบเนียน	5.38 ± 1.44^{a}	5.42 ± 1.25^{a}	5.62 ± 1.05^{a}	4.90 ± 1.52^{b}
การละลายในปาก^{ns}	5.48 ± 1.42	5.54 ± 1.11	5.48 ± 1.27	5.14 ± 1.20
ความชอบรวม	5.54 ± 1.23^{a}	5.64 ± 1.01^{a}	5.38 ± 1.09^{a}	4.62 ± 1.52^{b}

หมายเหตุ

อักษรที่ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 ผลการประเมินความชอบของไอศกรีมกลิ่นวานิลลา

ผลการประเมินความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในทุกด้านของไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 7.5 และร้อยละ 5.0 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยคะแนนความชอบอยู่ในระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง สามารถสรุปได้ว่าซิมเพลส-100 ที่ทดแทนไขมันนมให้ความรู้สึกในการรับประทานใกล้เคียงกับไขมันนมในไอศกรีม และไอศกรีมสูตรลดไขมันมีความหนืดสูงทำให้ไอศกรีมมีความเรียบเนียนดี ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบไอศกรีมสูตรดังกล่าวไม่แตกต่างกัน

ไอศกรีมสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 2.5 มีคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทุกด้านต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่คุณภาพการละลายในปากไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากการใช้ซิมเพลส-100 ในปริมาณมากขึ้น ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสแน่นเนื่องจากการเกิดเจลของซิมเพลส-100 ไอศกรีมสูตรที่มีไขมันนมร้อยละ 2.5 ประกอบกับมีค่าโอเวอร์รันต่ำ (ร้อยละ 44.10$\pm$1.30 โดยน้ำหนัก) และมีกลิ่นเวย์ที่เด่นชัด มีความเป็นไปได้ที่บดบังกลิ่นวานิลลา นอกจากนี้ไอศกรีมสูตรดังกล่าวมีสีเหลืองมาก ทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบต่ำกว่าไอศกรีมสูตรอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลกระทบของการใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลาสามารถสรุปได้ดังนี้

- ปริมาณของซิมเพลส-100 มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นวานิลลา เมื่อใช้ปริมาณมากขึ้นมีผลทำให้ค่า consistency index ของส่วนผสมไอศกรีมมากขึ้น ค่าโอเวอร์รันต่ำลง แต่ไม่มีผลต่ออัตราการละลายของผลิตภัณฑ์ สีของไอศกรีมกลิ่นวานิลลามีสีขาวปนเหลือง เมื่อปริมาณของซิมเพลส-100 มากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มจะมีสีออกสีเหลือง-เขียวมากขึ้น
- ซิมเพลส-100 มีคุณสมบัติในการเกิดโฟมและจับน้ำได้ดี เกิดเจลในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทำให้ส่วนของของเหลวมีลักษณะแน่น ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
- ปริมาณของซิมเพลส-100 ไม่มีผลต่อการรับรู้กลิ่นวานิลลา กลิ่นเนย กลิ่นนม แต่มีผลทำให้การรับรู้กลิ่นคาราเมลและความหวานของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มมากขึ้น ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเรียบเนียน และความเป็นครีมไม่ต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมที่มีไขมันนมร้อยละ 10.0
- คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในทุกด้านของไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 7.5 และร้อยละ 5.0 ไม่แตกต่างกันโดยคะแนนอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และสูตรลดไขมันนมที่มีไขมันนมร้อยละ 2.5 มีคะแนนความชอบต่ำกว่าสูตรอื่นในทุกด้านของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส แต่การละลายภายในปากไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น.โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 160 หน้า.

ปาริฉัตร หงสประภาส. 2542. เคมีกายภาพของอาหาร: คอลลอยด์ อิมัลชั่น และเจล. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพฯ. 92 หน้า.

วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ 2531. นมและผลิตภัณฑ์นม. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 187 หน้า.

อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ. 2542. อาหารพลังงานต่ำ. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. ที พี เอ็น เพรส. กรุงเทพฯ. 263 หน้า.

Abd El-Rahman, A.M., S.A. Madkor, F.S. Ibrahim, and A. Kilara. 1997. Physical characteristics of frozen desserts made with cream, anhydrous milk fat, or milk fat fractions. J. Dairy Sci. 80 : 1926 – 1935.

Adapa, S., H. Dingeldein, K.A. Schmidt, and T.J. Herald. 2000. Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers. J. Dairy Sci. 83 : 2224 – 2229.

Aguilera, J.M. and D.W. Stanley. 1999. Microstructural Principles of Food Processing and Engineering. 2nd ed., Aspen Publishers, Inc., Maryland. 432 p.

Andreasen, T.G., and H. Nielsen. 1992. Ice Cream and Aerated Desserts. In : the Technology of Dairy Products. Early, R. (ed.) VCH Publisher, Inc., New York. 197 – 220.

Anonymous. 1990. Fat substitute update. Food Technol. 44(3) : 92 – 97.

Aime, D.B., S.D. Arntfield, L.J. Malcolmson, and D. Ryland. 2001. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. Food Res. Int. 34 : 237 – 246.

Baer, R.J., M.D. Wolkow, and K.M. Kasperson. 1997. Effect of emulsifier on the body and texture of low fat ice cream. J. Dairy Sci. 80 : 3123 – 3132.

Berger, K.G. 1997. Ice Cream. In : Food Emulsions. 3rd ed., Revised and Expanded. Friberg, S.E., and K. Larsson (eds.). Marcel Dekker, Inc., New York. 413 – 490.

Bolliger, S., H.D. Goff, and B.W. Tharp. 2000. Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. Int. Dairy J. 10 : 303 – 309.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Carunchia Whetstine, M.E., J.D. Parker, M.D. Drake, and D.K. Larick. 2003. Determining flavor and flavor variability in commercially produced liquid cheddar whey. J. Dairy Sci. 86 : 439 – 448.

Chang, Y., and R.W. Hartel. 2002. Development of air cells in a batch ice cream freezer. J.Food Eng. 55 : 71 – 78.

Chobert, J.M., and T. Haertlé, 1997. Protein-Lipid and Protein-Flavor Interaction In : Food Proteins and Their Applications. Damodaran, S., and A. Paraf (eds.). Marcel Dekker, Inc. New York. 503 – 528.

Chung, S.J., H. Heymann, and I.U. Grün. 2003a. Application of GPA and PLSR in correlating sensory and chemical data sets. Food Qual. Pref. 14 : 485 – 495.

Damodaran, S. 1996. Amino Acids, Peptides, and Proteins. In : Food Chemistry 3rd ed. Fennema, O.R. (ed.). Marcel Dekker, Inc. New York. 321 – 429.

Davies, E., E. Dickinson, and R. Beeb. 2000. Shear stability of sodium caseinate emulsions containing monoglyceride and triglyceride crystals. Food Hydrocolloids. 14 : 145 – 153.

Dickinson, E. 2001. Milk protein interfacial layers and the relationship to emulsion stability and rheology : a review. Colloids Surfaces B. 20 : 197 – 210.

Donhowe, D.P., R.W. Hartel, and Jr. R.L. Bradley. 1991. Determination of ice crystal size distributions in frozen desserts. J. Dairy Sci. 74 : 3334 – 3344.

Friedeck, K.G., Karagül-Yüceer, Y., and M. A. Drake. 2003. Soy protein fortification of a low-fat dairy-based ice cream. J. Food Sci. 68(9) : 2651 – 2657.

Giese, J. 1996. Fats, oils, and fat replacers. Food Technol. 50(4) : 78 – 83.

Goff, H.D. 1997a. Colloidal aspects of ice cream – a review. Int. Dairy J. 7 : 363 – 373.

Goff, H.D. 1997b. Instability and partial coalescence in whippable dairy emulsions. J. Dairy Sci. 80 : 2620 – 2630.

Goff, H.D. 2002. Formation and stabilization of structure in ice-cream and related products. Curr. Opin. Colloid Interface Sci. 7 : 432 – 437.

Goff, H.D. 2000. Ice Cream. http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/icecream.html

Goff, H.D., D. Ferdinando, and C. Schorsch. 1999a. Fluorescence microscopy to study galactomannan structure in frozen sucrose and milk protein solutions. Food Hydrocolloids. 13 : 353 – 362.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Goff, H.D., E. Verespej, and A.K. Smith. 1999b. A study of fat and air structures in ice cream. Int. Dairy J. 9 : 817 – 829.

Goff, H.D., and W.K. Jordan. 1989. Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during the manufacture of ice cream. J. Dairy Sci. 72 : 18 – 29.

Graf, E., and K.B. de Roos. 1996. Perfomance of Vanilla Flavor in Low – Fat Ice Cream. In : Flavor – Food Interactions. McGorrin, R.J., and J.V. Leland (eds.). American Chemical Society, Washington DC. 24 – 35.

Guinard, J.X., C. Zoumas-Morse, L. Mori, B. Uatoni, D. Panyam, and A. Kilara. 1997. Sugar and fat effects on sensory properties of ice cream. J. Food Sci. 62(5) : 1087-1094.

Hansen, A.P., and D.C. Booker. 1996. Flavor Interaction with Casein and Whey Protein. In : Flavor–Food Interactions. McGorrin, R.J., and J.V. Leland (eds.). American Chemical Society, Washington DC. 76 – 89.

Hayakawa, I., Y. Linko, and P. Linko. 1996. Novel mechanical treatments of biomaterials. Lebensm.-wiss. U. Technol. 29 : 395 – 403.

Hyvönen, L., M. Linna, H. Tuorila, and G. Dijksterhuis. 2003. Perception of melting and flavor release of ice cream containing different types and contents of fat. J. Dairy Sci. 86 : 1130 – 1138.

Kalab, M. 1990. Microparticulate protein in foods. J. Am. Coll. Nutr. 9 : 374.

Leser, M.E., and M. Michel. 1999. Aerated milk protein emulsions – new microstructural aspects. Curr. Opin. Colloid Interface Sci. 4 : 239 – 244.

Li, Z., R. Marshall, H. Heymann, and L. Fernando. 1997. Effect of milk fat content on flavor perception of vanilla ice cream. J. Dairy Sci. 80 : 3133 – 3141.

Marshall, R.T., and W.S. Arbuckle. 1996. Ice Cream. 5th ed. International Thomson Publishing, New York. 349 p.

Marshall, R.T., H.D. Goff, and R.W. Hartel. 2003. Ice Cream 6th ed. Kluwer Acedemic/Plenum Publishers, New York. 371 p.

McGorrin, R.J. 1996. Introduction. In : Flavor – Food Interactions. McGorrin, R.J., and J.V. Leland (eds.). American Chemical Society, Washington DC. ix – xii.

Meilgaard, M., G.V. Civille, and B.T. Carr.1999. Sensory Evaluation Techniques, 3rd Edn. CRC Press, Inc., Boca Raton. 387 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Muse, M.R., and R.W. Hartel. 2004. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. J. Dairy Sci. 87 : 1 – 10.

Ohmes, R.L., R.T. Marshall, and H. Heymann. 1998. Sensory and properties of ice cream containing milk fat or fat replacers. J. Dairy Sci. 81 : 1222 – 1228.

O'Neill, T.E. 1996. Flavor Binding by Food Proteins: An Overview. In : Flavor–Food Interactions. McGorrin, R.J., and J.V. Leland (eds.). American Chemical Society, Washington DC. 59 – 74.

Patmore, J.V., H.D. Goff, and S. Fernandes. 2003. Cryo – gelation of galactomannans in ice cream model systems. Food Hydrocolloids 17 : 161 – 169.

Prindiville, E.A., R.T. Marshall, and H. Heymann. 2000. Effect of milk fat, cocoa butter, and whey protein fat replacers on the sensory properties of lowfat and nonfat chocolate ice cream. J. Dairy Sci. 83 : 2216 – 2223.

Roland, A.M., L.G. Phillips, and K.J. Boor. 1999. Effects of fat content on the sensory properties, melting, color, and hardness of ice cream. J. Dairy Sci.82 : 32 – 38.

Roller, S., and S.A. Jones. 1996. Handbook of Fat Replacer. CRC Press LLC, New York. 325 p.

Sanchez, C., and P. Paquin. 1997. Protein and Protein-Polysaccharide Microparticles. In : Food Proteins and Their Applications. Damodaran, S., and A. Paraf (eds.). Marcel Dekker, Inc. New York. 503 – 528.

Schirle–Keller, J.P., and G.A. Reineccius. 1992. Interaction of flavor compounds with microparticulated products. J. Food Sci. 57 : 1448 – 1451.

Schutte, L. 1999. Development and Application of Dairy Flavors. In : Flavor Chemistry : Thirty Years of Progress. Teranishi, R., E.L. Wick, and I. Hornstein (eds.). Kluwer Academic/Plenum Publisher. New York. 155 – 165.

Schmidt, K., A. Lundy, J. Reynolds, and L. N. Yee. 1993. Carbohydrate or protein based fat mimicker effects on ice milk properties. J. Food Sci. 58(4) : 761 – 779.

Singer, N.S., and R.H. Moser. 1993. Microparticulated Proteins as Fat Substitutes. In : Low – Calorie Foods Handbook. Altschul, A.M. (ed.). Marcel Dekker, Inc., New York. 171 – 179.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sostaric, T.,M. C. Boyce, and E.E. Spickett. 2000. Analysis of the volatile components in vanilla extracts and flavorings by solid-phase microextraction and gas chromatography. J. Agric. Food Chem. 48 : 5802-5807.

Sourdet, S., P. Relkin, and B. Cesar. 2003. Effects of milk protein type and pre-heating on physical stability of whipped and frozen emulsions. Colloids Surfaces B. 30 : 55 – 64.

Specter, S.E., and C.S. Setser. 1994. Sensory and physical properties of a reduced-calorie frozen dessert system made with milk fat and sucrose substitutes. J. Dairy Sci. 77 : 708 –717.

Stanley, D.W., H.D. Goff, and A.K. Smith.1996. Texture – structure relationships in foamed dairy emulsions. Food Res. Int. 29:1 – 13.

Sutton, R.L., and J.Wilcox. 1998a. Recrystallization in model ice cream solutions as affected by stabilizers concentration. J. Food Sci. 63(1) : 9 – 11.

Sutton, R.L., and J.Wilcox. 1998b. Recrystallization in ice cream as affected by stabilizers. J. Food Sci. 63(1) : 104 – 107.

Stampanoni Koeferli, C.R., P. Piccinali, and S. Sigrist. 1996. The influence of fat, sugar and non-fat milk solids on selected taste, flavor and texture parameters of a vanilla ice cream. Food Qual. Pref. 7(2) : 69-79.

Vélez-Ruiz, J.F., and G. V. Barbosa Cánovas. 1997. Rheological properties of selected dairy products. Criti. Rev. Food Sci. Nutr. 37(4) : 311 – 359.

Walstra, P., and R. Jenness. 1984. Dairy Chemistry and Physics. John Wiley & sons, Inc., New York. 467 p.

Welty, W.M., R.T. Marshall, I.U. Grün, and M.R. Ellersieck. 2001. Effects of milk fat, cocoa butter, or selected fat replacers on flavor volatiles of chocolate ice cream. J. Dairy Sci. 84: 21 – 30.

White, C.H. 1993. Low-fat Dairy Products. In : Low – Calorie Foods Handbook. Altschul, A.M. (ed.). Marcel Dekker, Inc., New York. 253 – 271.

Wilde, P., A. Mackie, F. Husband, P. Gunning, and V. Morris. 2004. Proteins and emulsifiers at liquid interfaces. Advanced in Colloid and Interface Science.108 – 109 : 63 – 71.

Wildmoser, H., J. Scheiwiller, and E.J. Windhab. 2004. Impact of dispersed microstructure on rheology and quality aspects of ice cream. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technol. 37(8) : 881 – 891.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้