การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช

นางสาวฉนอมดวง แซ่ลิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2549

PRODUCT DEVELOPMENT OF MODIFIED ICE CREAM FROM SOY PROTEIN AND VEGETABLE LIPIDS

Thanomduang Saeli

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Food Technology

Suranaree University of Technology

Academic Year 2006

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ กาสลัก)
ประธานกรรมการ

_____

(อาจารย์ ดร.ศุกฤตย์ ไทยอุดม)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล)
กรรมการ

_____

(อาจารย์ ดร.วิลัศนา โพธิ์ศรี)
กรรมการ

_____

(รองศาสตราจารย์ ดร.เสาวณีย์ รัตนพานี)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

_____

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ถนอมดวง แซ่ลิ : การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช (PRODUCT DEVELOPMENT OF MODIFIED ICE CREAM FROM SOY PROTEIN AND VEGETABLE LIPIDS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.สุกฤตย์ ไทยอุดม, 111 หน้า.

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาสูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช 2) ศึกษาผลของโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืชที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม โดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) และน้ำมันปาล์ม (palm oil; PO) หรือมาร์การีน (margarine/ hydrogenated fat; HF) ทดแทนโปรตีนและไขมันนมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีม โดยแปรปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ร้อยละ 5 6 และ 7 โดยน้ำหนัก และไขมันพืชที่ร้อยละ 8 10 และ 12 โดยน้ำหนัก ตามแผนการทดลองแบบ Central Composite Design ขนาด 13 สิ่งทดลอง และเทคนิคการหาพื้นที่การตอบสนองซึ่งใช้ค่าคุณลักษณะของไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ได้แก่ 1) ขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม 2) ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม 3) อัตราการละลายและ 4) ค่าสีของไอศกรีม (hunter system L a b) เป็นต้นแบบในการหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิต การศึกษาปริมาณโปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันและโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมใช้เทคนิค sodium dodecyl sulfate-polyacylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องผ่าน ตามลำดับ ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย 2 กลุ่ม (1. กลุ่มหญิงที่มีอายุอยู่ในช่วงก่อนและช่วงวัยหมดประจำเดือน และ 2. กลุ่มผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุในช่วง 18 - 28 ปี) ต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้โดยใช้สเกลความชอบ 9 จุด

สูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมถั่วเหลืองสูตรที่ใช้น้ำมันปาล์ม (ice cream from soy protein and palm oil; SPO) ประกอบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มร้อยละ 4.8 และ 11.0 โดยน้ำหนักตามลำดับ และไอศกรีมถั่วเหลืองสูตรที่ใช้มาร์การีน (ice cream from margarine; SHF) ประกอบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนร้อยละ 5.2 และ 8.6 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และคะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายทั้งกลุ่ม 1 และ 2 ต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SPO เท่ากับ 4.25 (ไม่ชอบเล็กน้อย - เฉยๆ) และ 3.79 (ไม่ชอบปานกลาง - ไม่ชอบเล็กน้อย) ตามลำดับ ขณะที่ไอศกรีม SHF มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 5.53 (เฉยๆ - ชอบเล็กน้อย) และ 5.56 (เฉยๆ - ชอบเล็กน้อย) ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมถั่วเหลืองที่ได้ทั้ง 2 สูตรนี้มีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำกว่าไอศกรีมนมสูตรควบคุม จากการศึกษาปริมาณโปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมพบว่า ชนิดและคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

ของไขมันพืชที่ใช้ในส่วนผสมมีผลต่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน โดยส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้มาร์การีนเป็นส่วนประกอบมีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันมากกว่าน้ำมันปาล์ม จากผลการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องผ่านพบว่า โครงสร้างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมประกอบด้วยเม็ดไขมัน กลุ่มก้อนของเม็ดไขมันที่เสียความคงตัวบางส่วน และโปรตีนถั่วเหลืองที่กระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของซีรัมและรอบเม็ดไขมัน ต้นทุนรวมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SPO เท่ากับ 33.62 บาท/กิโลกรัม และไอศกรีม SHF เท่ากับ 35.00 บาท/กิโลกรัม ซึ่งถูกกว่าไอศกรีมนมสูตรทางการค้าเกือบ 2 เท่าตัว ซึ่งมีต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 63.28 บาท/กิโลกรัม

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

THANOMDUANG SAELI : PRODUCT DEVELOPMENT OF MODIFIED ICE CREAM FROM SOY PROTEIN AND VEGETABLE LIPIDS
THESIS ADVISOR : SUKRIT THAIUDOM, Ph.D. 111 PP.

MODIFIED ICE CREAM/SOY PROTEIN/VEGETABLE LIPIDS/ OPTIMAL FORMULATION/PHYSICAL CHARACTERISTICS

The objectives of this study were 1) to optimize the ice cream formulation from soy protein and vegetable lipids and 2) to study the effect of soy protein and vegetable lipids on the structure of ice cream and its physical characteristics. The substitution of milk protein and milk fat with soy protein isolated (SPI) and two different vegetable lipids (palm oil; PO and margarine; HF), respectively, was studied in the ice cream product. The contents of SPI (5%, 6% and 7% w/w) and vegetable lipids (8%, 10% and 12%w/w) were optimized according to the Central Composite Design (CCD) (13 experimental design points) and Response Surface Methodology (RSM). The characteristics studied were 1) fat droplet size in the ice cream mix 2) ice cream mix viscosity 3) melting rate and 4) color (L a b). These characteristics were determined and compared with those of milk ice cream (commercial recipe) for optimizing the contents of SPI and vegetable lipids. The protein coverage on the surface of fat droplets and microstructure of ice cream mixes were determined using sodium dodecyl sulfate-polyacylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) and transmission electron microscope (TEM), respectively. Also, the consumer tests of two target groups (1) pre- and post-menopausal women and (2) general consumers aged 18 – 28 years were studied using a 9 - point hedonic scale.

The optimal formulation of palm oil ice cream (SPO) contained 4.80% (w/w) SPI and 11.0% (w/w) PO, while the optimal formulation of margarine ice cream (SHF) contained SPI and HF at 5.20 and 8.60% (w/w), respectively. The overall acceptance scores of target groups 1 and 2 of SPO ice cream were 4.25 (between the categories of dislike slightly and neither like nor dislike) and 3.79 (between the categories of dislike moderately and dislike slightly), respectively, while those of SHF ice cream were 5.53 (between the categories of neither like nor dislike and like slightly) and 5.56 (between the categories of neither like nor dislike and like slightly), respectively. These scores were less than those of milk ice cream, which was used as control. The results of protein coverage on the surface of fat droplets in the ice cream mixes indicated that the chemical and physical properties of fat affected the protein coverage on the surface of fat droplets. The protein coverage on the surface of fat droplets from margarine in the SHF ice cream mix was higher than that of palm oil in the SPO ice cream mix. Transmission electron micrographs of these ice cream mixes showed that microstructure of ice cream mixes was comprised of fat droplets and partially coalesced fat droplets. In addition, the dispersion of soy protein in the serum phase and on the surface of partially coalesced fat droplets was also observed. The total product costs of SPO, SHF and milk ice cream were 33.62, 35.00 and 63.28 Baht/kg, respectively, showing that the cost of ice cream from SPI was less than that of milk ice cream.

School of Food Technology Student's Signature _____

Academic Year 2006 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้เงินทุนสนับสนุน และอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ศุกฤตย์ ไทยอุดม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ ช่วยเหลือในการศึกษาวิจัยด้วยดียิ่งตลอดมา รวมถึงให้คำแนะนำในการเขียนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ กาสลัก ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล และอาจารย์ ดร.วิลัศนา โพธิ์ศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น กราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ด้านวิชาการตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในรั้ว มทส.

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือ 3 และศูนย์เครื่องมือ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดการดำเนินการวิจัย ขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมเรียนระดับปริญญาโท และผู้ช่วยวิจัย สาขาเทคโนโลยีอาหารที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ท้ายนี้ ขอกราบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้การเลี้ยงดู อบรม และส่งเสริมการศึกษาอย่างดีตลอดมาในอดีต จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

ถนอมดวง แซ่ลิ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....ค

กิตติกรรมประกาศ.....จ

สารบัญ.....ฉ

สารบัญตาราง.....ซ

สารบัญภาพ.....ฎ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....ฐ

บทที่

1. บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....5

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....5

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....5

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....6

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....6

2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....8

2.1 ไอศกรีม.....8

2.2 ความรู้เรื่องถั่วเหลือง.....22

2.3 ความรู้เรื่องไขมันพืช.....26

2.4 มาตรฐานของไอศกรีมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 222 (พ.ศ.2544).....30

3. วัสดุและวิธีการ.....32

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....32

3.2 วัตถุดิบ.....32

3.3 สูตรส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม.....33

3.4 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและตัวอย่างไอศกรีมแช่แข็ง.....33

3.5 การศึกษาและทดสอบคุณลักษณะของไอศกรีม.....34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส.....37
3.7 การศึกษาปริมาณและชนิดของโปรตีนที่ล้อมรอบบริเวณผิวของเม็ดไขมัน.....38
3.8 การศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังบ่ม.....38
3.9 การศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังบ่ม.....38
3.10 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไอศกรีม.....39
3.11 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล.....39
4. ผลการทดลองและการวิจารณ์.....40
4.1 ผลการศึกษาเพื่อหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่สามารถใช้ผลิตไอศกรีม.....40
4.2 ผลการทดสอบเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมจาก
โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืช.....42
4.3 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SPO และ SHF
จากสูตรที่เหมาะสม.....61
4.4 ผลการศึกษาโครงสร้างไอศกรีมในระดับจุลภาค.....68
4.5 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต.....78
5. สรุปและข้อเสนอแนะ.....81
5.1 บทสรุป.....81
5.2 ข้อเสนอแนะ.....82
รายการอ้างอิง.....83
ภาคผนวก.....91
ประวัติผู้เขียน.....111

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบของไอศกรีมชนิดต่างๆ....8
2.2 หน้าที่ของส่วนประกอบของไอศกรีม....9
2.3 ชนิดของสารให้ความคงตัวที่ใช้กันทั่วไปในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม....14
2.4 ระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่ใช้ในกระบวนพาสเจอไรซ์ส่วนผสมไอศกรีมตาม มาตรฐานกฎหมายของสหรัฐอเมริกา (United States Public Health Service)....17
2.5 ปริมาณโปรตีนและราคาของถั่วและเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ....23
2.6 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่แนะนำให้บริโภคแต่ละวัน และปริมาณกรดอะมิโน ที่มีในโปรตีนถั่วเหลือง....23
2.7 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่างๆ....27
2.8 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันบางชนิด....28
2.9 Solid Fat Index ของไขมันและน้ำมันบางชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ....28
4.1 แสดงค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมที่ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) ต่างๆ....40
4.2 แสดงปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันที่ใช้ในแต่ละสูตรตามแผนการทดลอง แบบ Central composite design (CCD) ขนาด 13 สิ่งทดลอง....42
4.3 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมนมสูตรทางการค้า (Commercial ice cream)....43
4.4 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SPO 45
4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนตัวแปรอิสระในพจน์ของ linear quadratic และ interaction ต่อค่าการตอบสนองของไอศกรีม SPO....46
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการโพลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนอง ของไอศกรีม SPO....47
4.7 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการโพลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนอง ของไอศกรีม SPO หลังผ่านการวิเคราะห์แบบ Stepwise regression....48
4.8 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SHF….....54
4.9 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ (ANOVA) ของตัวแปรอิสระในพจน์ของ linear quadratic และ interaction ต่อค่าการตอบสนองของไอศกรีม SHF....55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.10 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการโพลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนองของไอศกรีม SHF....56
4.11 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการโพลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนองของไอศกรีม SHF หลังผ่านการวิเคราะห์แบบ Stepwise regression....57
4.12 ค่าการทำนายจากสมการรีเกรสชันและค่าจริงจากการทดลองของค่าการตอบสนองต่างๆ ที่สูตรที่เหมาะสมของไอศกรีม SPO และ SHF....60
4.13 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 1 ที่ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม....62
4.14 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 2 ที่ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม....62
4.15 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 1ที่ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม....63
4.16 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 2 ที่ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม....64
4.17 คะแนนการยอมรับของกลุ่มเป้าหมาย 1 (หญิงที่มีอายุอยู่ในช่วงก่อนวัยหมดประจำเดือนและหญิงที่มีอายุในช่วงวัยหมดประจำเดือน ซึ่งมีอายุ 35 ปีขึ้นไป จำนวน 40 คน)....66
4.18 คะแนนการยอมรับของกลุ่มเป้าหมาย 2 (ผู้บริโภควัยรุ่นชายและหญิงที่มีอายุช่วง 18 – 28 ปี จำนวน 48 คน)....67
4.19 ค่าสัมประสิทธิ์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนทั้งหมดที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน (mg. m^{-2}) กับปริมาณ SPI (X_1) และปริมาณไขมัน (X_2)สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF....68
4.20 การประมาณต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตไอศกรีม SPO….....79
4.21 การประมาณต้นทุนในการผลิตไอศกรีม SHF….....79
4.22 การประมาณต้นทุนในการผลิตไอศกรีมนมสูตรควบคุม (สูตรทางการค้า)....80
ตารางภาคผนวกที่ 1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่พบในตัวอย่างไขมัน....95
ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณโปรตีนที่เกาะบนผิวเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF....98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนม สูตรควบคุม 99

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ของไอศกรีมที่เติมสารให้ความคงตัวชนิดต่างๆ (Sucrose: SUC; 20 DE corn syrup: CS; 42 DE CS; high fructose corn syrup: HFCS) ในสภาวะการเก็บที่ -15.2 ^{o}C หน้าที่ของส่วนประกอบของไอศกรีม.....12

2.2 โครงร้างทางกายภาพของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม และผลิตภัณฑ์ไอศกรีม.....15

2.3 กระบวนการผลิตไอศกรีมแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch-type system).....16

2.4 ผลของความดันในการโฮโมจีไนซ์เม็ดไขมันในส่วนผสมของไอศกรีม.....19

2.5 อิมัลซิไฟเออร์และโปรตีนนมที่ถูกดูดซับที่ผิวเม็ดไขมัน และการตกผลึกของไขมันระหว่างกระบวนการบ่ม.....20

4.1 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของขนาดเม็ดไขมัน (ก่อนบ่ม) สำหรับไอศกรีม SPO…...50

4.2 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำ (ก่อนบ่ม) ไอศกรีม SPO 50

4.3 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย สำหรับไอศกรีม SPO….....51

4.4 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่าความหนืดในส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม สำหรับไอศกรีม SHF.....58

4.5 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย สำหรับไอศกรีม SHF….....58

4.6 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่า L a และ b สำหรับไอศกรีม SHF.....59

4.7 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของปริมาณโปรตีนที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดไขมัน สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO.....71

4.8 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของปริมาณโปรตีนที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดไขมัน สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF.....71

4.9 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO (หลังการบ่ม) จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด6% และน้ำมันปาล์ม 7.17% 10% และ 12.83% ที่กำลังขยาย 2 ระดับ คือ 1000 เท่า และ 5000 เท่า.....74

4.10 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF(หลังการบ่ม) จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด6% และมาร์การีน 7.17% 10% และ 12.83% ที่กำลังขยาย 2 ระดับคือ 1000 เท่า และ 5000 เท่า.....75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.11 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO ที่ประกอบด้วย 5% SPI+ 8% PO, 7% SPI+ 8% PO, 5% SPI+ 12% PO และ 7% SPI+ 12% PO ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....76

4.12 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF ที่ประกอบด้วย 5%SPI + 8%HF, 7%SPI + 8%HF, 5%SPI + 12%HF และ 7%SPI + 12 %HF ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....77

ภาพภาคผนวกที่ 1 รูปแบบการเกิดผลึกของไขมัน ด้วยเครื่อง DSC ที่อัตราการลดอุณหภูมิ 5 ^{o}C/min.....96

ภาพภาคผนวกที่ 2 รูปแบบการหลอมเหลวของไขมัน ด้วยเครื่อง DSC ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 ^{o}C/min.....96

ภาพภาคผนวกที่ 3 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนมสูตรควบคุม (สูตรทางการค้า) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ก) และ 5,000 เท่า (ข).....101

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ANOVA	Analysis of variance
β_0	Regression coefficient for intercept or center point (0,0)
β_1, β_2	Regression coefficient for linear term
β^2_1, β^2_2	Regression coefficient for quadratic term
β_{12}	Regression coefficient for interaction term
X_1	Soy protein isolate concentration (%w/w)
X_2	Vegetable lipid/ fat concentration (%w/w)
BF_3	Boron trifluoride
^oC	Degree Celsius
CCD	Central Composite Design
cfu	Colonies forming unit
CMC	Carboxymethyl cellulose
cP	Centipoise
CS	Corn syrup
$d_{3,2}$	area-volume mean diameter
DE	Dextrose eqivalent
DSC	Differential scanning calorimetry
^oF	Degree Fahrenheit
FAO	Food and Agriculture Organization
FBN	Food and Nutrition Board
FDA	Food and Drug Administration of the United states

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

g	Gram
×g	Gravitational acceleration
HF	Margarine/ Hydrogenated fat
HFCS	High fructose corn syrup
HLB	Hydrophllic-lipophillic balance
I.N.	Iodine number
ID	Internal diameter
L	Liter
LBG	Locust bean gum
M	Molar
min	Minute
mL	Mililiter
MPa	Mega Pascal
N	Normality
NMS	Nonfat milk solid
p	Probability
pH	Negative logarithm of H^+ concentration
PO	Palm oil
psi	Pound per square inch
R^2	Coefficient of determination
S	Sedimentation rate
S.N.	Saponification number

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

SD	Standard deviation
SDS	Soduim dodecyl sulfate
SDS-PAGE	Soduim dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis
SHF ice cream	Ice cream from soy protein and margarine or hydrogenated fat
SMP	Skim milk powder
SPI	Soy protein isolate
SPO ice cream	Ice cream from soy protein and palm oil
TEM	Transmission electron microscope
T_f	Freezing point temperature
T_g	Glass transition temperature
Tr	Treatment
WHO	World Health Organization
μL	Microliter
μm	Micrometer

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไอศกรีม (ice cream) ถือเป็นของหวานที่ได้รับความนิยมทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตภูมิประเทศที่มีอากาศร้อน ดังเช่นประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากรสชาติหอมหวานและความเย็นของไอศกรีมที่สามารถดับกระหายและคลายร้อนได้ดี ดังนั้นไอศกรีมจึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นวัยเด็กหรือวัยผู้ใหญ่ล้วนแล้วแต่ชอบรับประทานไอศกรีมเพื่อคลายร้อนกันแทบทั้งสิ้น ปัจจุบันไอศกรีมเป็นของหวานที่มีวางขายกันทั่วไป ทั้งที่มีลักษณะเป็นร้านในห้างสรรพสินค้า หรือไอศกรีมรถเข็นที่ตระเวนขายตามท้องถนน และแนวโน้มทางการตลาดของไอศกรีมในประเทศไทยมีอัตราขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งจะเห็นได้จากมูลค่าการตลาดไอศกรีมในประเทศไทยในปี 2547 มีมูลค่าถึง 9,100 ล้านบาท เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2546 เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 ซึ่งนับว่าเป็นอัตราการขยายตัวของตลาดที่อยู่ในเกณฑ์สูง (ธนาคารกรุงไทย, สำนักงานวิจัยธุรกิจ, www, 2548) ทั้งนี้ตลาดไอศกรีมในประเทศไทยยังมีโอกาสขยายตัวได้อีกมากถึงแม้ว่าจะมีการแข่งขันที่รุนแรง จากการเทียบปริมาณการบริโภคไอศกรีมต่อคนต่อปีของคนไทยกับต่างประเทศแล้วพบว่าอัตราการบริโภคของคนไทยยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำมากกล่าวคือ คนไทยบริโภคไอศกรีมเพียง 0.599 ลิตรต่อคนต่อปี ในขณะที่ประเทศเพื่อนบ้านอย่างมาเลเซียมีอัตราการบริโภค 3 ลิตรต่อคนต่อปี ญี่ปุ่น 7 ลิตรต่อคนต่อปี ออสเตรเลีย 18 ลิตรต่อคนต่อปี และสหรัฐอเมริกา 24 ลิตรต่อคนต่อปี (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, www, 2547) นอกจากนี้ธุรกิจไอศกรีมในประเทศไทยยังมีช่องว่างทางการตลาดเปิดกว้าง โดยเฉพาะตลาดไอศกรีมในต่างจังหวัด นอกจากการขยายตัวของตลาดในประเทศแล้ว ผู้ประกอบการไอศกรีมในประเทศไทยยังมีการส่งออกไอศกรีมไปจำหน่ายยังต่างประเทศ โดยตลาดส่งออกไอศกรีมนั้นนับว่าเป็นตลาดที่น่าจับตามอง แม้ว่าในปัจจุบันมูลค่าการส่งออกจะยังไม่อยู่ในเกณฑ์สูงเมื่อเทียบกับสินค้าส่งออกหลักของประเทศ แต่อัตราการขยายตัวอยู่ในเกณฑ์ก้าวกระโดดในช่วงระยะ 4-5 ปีที่ผ่านมา กล่าวคือ ในปี 2546 ปริมาณการส่งออกไอศกรีมเท่ากับ 13,848 ตัน มูลค่า 720.76 ล้านบาท เมื่อเทียบกับในปี 2545 ซึ่งมีการส่งออกเพียง 10,473 ตัน มูลค่า 491.83 ล้านบาท ทั้งปริมาณและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 32.2 และ 46.5 ตามลำดับ จากเดิมที่ปี 2540-2543 การส่งออกไอศกรีมนั้นมีมูลค่าเพียง 50 ล้านบาท และคาดว่าในปี 2549 ประเทศไทยจะมีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 800 ล้านบาท (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, www, 2549) ซึ่งไทยมีปัจจัยเกื้อหนุนหลายประการในการที่จะ

ก้าวขึ้นไปเป็นศูนย์กลางการผลิตไอศกรีมในภูมิภาคนี้ในอนาคต เนื่องจากมีกำลังการผลิตที่เพียงพอ มีวัตถุดิบหลากหลาย ต้นทุนการผลิตอยู่ในเกณฑ์ต่ำ รวมทั้งประเทศในแถบนี้ยังมีความต้องการบริโภคไอศกรีมเพิ่มขึ้น ซึ่งเท่ากับว่ามีตลาดรองรับอยู่ ทำให้มีนักลงทุนต่างประเทศหลายรายเข้ามาลงทุนตั้งโรงงานผลิตไอศกรีมในประเทศไทย และมีแผนที่จะผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการส่งออกไอศกรีมของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, www, 2549)

โดยทั่วไปส่วนประกอบหลักของไอศกรีม ได้แก่ นม ไขมันนม และสารให้ความหวาน (sweeteners) หรือน้ำตาล นมในไอศกรีมเป็นแหล่งของโปรตีน แร่ธาตุและวิตามินต่างๆที่เป็นประโยชน์ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินดี และวิตามินบีสอง นอกจากนี้ในไอศกรีมยังมีการเติมสารให้ความคงตัว (stabilizer) และอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) สารปรุงแต่งกลิ่นรส และส่วนผสมอื่นๆ อีก เช่น ผลิตภัณฑ์จากไข่ สี แป้งดัดแปร ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวต่างจากผลิตภัณฑ์อาหารหวานแช่แข็งชนิดอื่น องค์ประกอบต่างๆในไอศกรีมจะเป็นตัวที่ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันไป เช่น นมซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบหลักในไอศกรีมจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสหอมหวานที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว ไขมันนมจะช่วยให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อโครงสร้างของไอศกรีม และเนื้อสัมผัสที่เนียนนุ่มลิ้น รวมถึงการเพิ่มกลิ่นรสของนมและลักษณะการละลายที่ดีให้กับไอศกรีม (Goff, 1997; Adapa, Dingeldein, and Schmidt, 2000) ส่วนโปรตีนที่พบในนม เช่น เคซีน (casein) และ โปรตีนเวย์ (whey protein) จะช่วยให้ระบบอิมัลชันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ice cream mix) มีความคงตัวมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนนมเหล่านี้สามารถเกิดเป็นฟิล์มล้อมรอบเม็ดไขมันและฟองอากาศทำให้เม็ดไขมันและฟองอากาศไม่เกิดการรวมตัวและแยกชั้นกับส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัว (serum) ในระบบอิมัลชันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Segall and Goff, 1999, 2002; Zhang and Goff, 2004) นอกเหนือจากส่วนประกอบทั้งสองชนิดนี้แล้วยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อีกที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพของไอศกรีม ซึ่งได้แก่ สารให้ความหวาน เช่น น้ำตาลและไซรับ (syrup) ประเภทต่างๆ ที่เติมลงในส่วนผสมของไอศกรีม สารเหล่านี้นอกจากจะให้ความหวานและรสชาติที่กลมกล่อมแก่ไอศกรีมแล้วยังเป็นตัวช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ช่วยให้ขนาดของเม็ดน้ำแข็งในไอศกรีมมีขนาดเล็กและป้องกันการเกิดการรวมตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็งที่ละลาย (recrystallization) ของไอศกรีม โดยสารให้ความหวานเหล่านี้จะช่วยเพิ่มความหนืดในส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัวของไอศกรีม (Goff, McCurdy, and Fulford, 1990; Miller-Livney and Hartel, 1997) นอกจากสารให้ความหวานแล้ว สารให้ความคงตัวยังเป็นอีกส่วนประกอบหนึ่งที่ทำให้ไอศกรีมนั้นมีคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สารให้ความคงตัวที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ โลกัสบีนกัม (locust bean gum; LBG) กัวกัม(guar gum) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose; CMC)

แซนแทนกัม (xanthan gum) โซเดียมแอลจีเนต (sodium alginate) คาร์ราจีแนน (carrageenan) เจลาติน (gelatin) เป็นต้น สารให้ความคงตัวเหล่านี้เป็นสารประกอบพอลีแซคคาไรด์ประเภทกัม (gum) ซึ่งจะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและส่วนที่ไม่แข็งตัวในไอศกรีม (unfrozen phase) เช่นเดียวกับ สารให้ความหวาน

นอกเหนือจากส่วนประกอบที่กล่าวมาข้างต้นนั้นแล้ว น้ำตาลแล็กโทสที่พบในน้ำนม ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญก็มีผลทำให้ไอศกรีมที่ผลิตได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติแตกต่างกันไป โดยถ้าปริมาณน้ำตาลแล็กโทสมากจะทำให้ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่หยาบคล้ายเม็ดทราย (sandiness) ลักษณะดังกล่าวเกิดจากผลึกของน้ำตาลแล็กโทสในไอศกรีม ซึ่งถือเป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ทำให้คุณภาพของไอศกรีมด้อยลงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้น้ำตาลแล็กโทสยังก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบการย่อยของผู้บริโภคบางกลุ่มที่ขาดเอนไซม์แล็กเตส ซึ่งทำให้เกิดอาการแพ้ที่เรียกว่า lactose intolerance อันได้แก่ อาการเวียนศีรษะ ท้องอืดเนื่องจากเกิดแก๊สในกระเพาะ แน่นท้อง เสียดท้อง และท้องร่วงหลังจากบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลแล็กโทส (NIDDK, www, 2002) ซึ่งเป็นผลทำให้ผู้บริโภคกลุ่มนี้ปฏิเสธที่จะบริโภคนมและผลิตภัณฑ์จากนมรวมถึงไอศกรีมด้วย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายนมแต่ปราศจากน้ำตาลแล็กโทสจึงเกิดขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ปราศจากน้ำตาลแล็กโทสนั้นมีราคาค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากกระบวนการที่ใช้การสกัดเพื่อแยกเอาน้ำตาลแล็กโทสออกนั้นต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิต ดังนั้นการผลิตไอศกรีมที่ปราศจากน้ำตาลแล็กโทสจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อราคาต้นทุนที่สูงขึ้น และอาจส่งผลต่อราคาของผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นด้วย การใช้วัตถุดิบชนิดอื่นที่ถือได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารประเภทโปรตีนและแร่ธาตุสูงจากพืช เช่น พืชตระกูลถั่วจึงเป็นทางออกหนึ่งที่สามารถช่วยให้ต้นทุนในการผลิตมีราคาไม่สูงมากนัก เช่น การใช้น้ำนมถั่วเหลืองที่ให้สารอาหารประเภทโปรตีนในระดับที่สูงกว่านมในระดับการบริโภคเดียวกันแต่มีราคาถูกกว่านมมาก (NIDDK, www, 2002) ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนในการผลิตไอศกรีมต่ำลงด้วย

ถั่วเหลืองจัดเป็นพืชตระกูลถั่วที่ให้โปรตีนประมาณร้อยละ 40 และให้น้ำมันประมาณร้อยละ 21 ซึ่งถือว่าเป็นระดับของโปรตีนและไขมันที่สูงมาก (Joseph, 2001) โปรตีนถั่วเหลืองเป็นหนึ่งในพืชอาหารที่มีงานวิจัยกันมากที่สุด ถือว่าเป็น “functional foods” ซึ่งหมายถึงอาหารที่ให้ประโยชน์ไม่เพียงเฉพาะสารอาหารที่จำเป็นเท่านั้น แต่ยังอาจให้สิ่งอื่นๆที่เป็นประโยชน์อย่างโดดเด่นมากต่อร่างกายอีกด้วย ได้แก่ พอลีฟีนอล (polyphenols) ไอโซฟลาโวนส์ (isoflavones) สารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitors) และซาพอนิน (saponins) เป็นต้น ทำให้ผู้ที่บริโภคอาหารที่ทำจากถั่วเหลืองเป็นประจำไม่ค่อยมีประวัติเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจ และมะเร็งบางประเภท ซึ่งสารกลุ่มพอลีฟีนอลในถั่วเหลืองถูกสร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดในเซลล์ เป็นไฟโตอะเลคซิน (phytoalexin) หรือสารที่ใช้ป้องกันแมลงศัตรูพืชมากัดกินเมล็ดถั่ว เนื่องจาก

ในโครงสร้างของสารกลุ่มพอลีฟีนอลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จึงสามารถป้องกันการเกิดอันตรายจากสารอนุมูลอิสระที่ก่อให้เกิดโรคบางชนิดเช่น โรคหัวใจและโรคต้อกระจก ข้อเสื่อมและโรคมะเร็งได้ (มลศิริ วีโรทัย, 2545) ไอโซฟลาโวนส์เป็นสารอีกกลุ่มหนึ่งที่มีประโยชน์และพบมากในถั่วเหลืองประมาณ 1-4 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง ประกอบด้วย ไดซีน (daidzein) จีนิสตีน (genistein) และไกลซินิน (glycitin) จากการศึกษาพบว่าสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเหมือนเอสโตรเจนที่มาจากพืช (phytoestrogen หรือ estrogenlike) สามารถจับกับส่วนที่จับเอสโตรเจน (estrogen receptors) ทำให้มีผลเหมือนกับมีฮอร์โมนเอสโตรเจน สามารถป้องกันการเกิดโรคกระดูกพรุนในหญิงวัยหมดประจำเดือน และโรคมะเร็งที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมน เช่น มะเร็งเต้านม (Joseph, 2001) ส่วนสารยับยั้งทริปซินที่พบในโปรตีนถั่วเหลืองถือเป็นสารที่สามารถขัดขวางการดูดซึมหรือการนำไปใช้ประโยชน์ของโปรตีนถั่วเหลือง ดังนั้นในการแปรรูปถั่วเหลืองจะต้องกำจัดสารดังกล่าวออก มิฉะนั้นจะทำให้ร่างกายไม่สามารถย่อยสลายโปรตีนถั่วเหลืองในทางเดินอาหารได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้พบว่าสารยังยั้งทริปซินมีคุณสมบัติในการยับยั้งเซลล์มะเร็งได้ (anticarcinogen activity) (มลศิริ วีโรทัย, 2545) นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคในการช่วยควบคุมน้ำหนักตัวเพื่อให้มีสุขภาพดีได้อีกด้วย (AFIC, www, 2004)

โปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีนหลัก 2 ส่วน คือ เบต้า-คอนไกลซินิน (β-conglycinin หรือ 7S globulin) และไกลซินิน (glycinin หรือ 11S globulin) ซึ่งมีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ (Renkema, 2001) ลักษณะโครงสร้างตาข่ายของเจลที่เกิดขึ้นน่าจะมีประโยชน์ในการช่วยให้ไอศกรีมมีความคงตัวต่อการละลายมากขึ้น เนื่องจากลักษณะโครงสร้างตาข่ายเจลน่าจะช่วยลดการเคลื่อนที่ของเม็ดไขมันและผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กไม่ให้เกิดการแยกชั้นและป้องกันการรวมตัวกันใหม่ (recrystallization) ของผลึกน้ำแข็งที่ละลายจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการเก็บและการขนส่ง ส่งผลให้การเกิดการโตและการรวมกันของผลึกน้ำแข็งลดลง ไอศกรีมที่ได้จึงมีคุณลักษณะและคุณภาพที่ดีใกล้เคียงกับคุณภาพของไอศกรีมที่เสร็จจากกระบวนการผลิตใหม่ๆ นอกจากนี้คุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนถั่วเหลืองได้มีการศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก (Puppo and Añón, 1999; Kim, Renkenma, and van Vleit., 2001; Mitidieri and Wagner, 2002; Roesch and Corredig, 2002; 2003) จากการศึกษาของ Mitidieri and Wagner (2002) พบว่าระบบอิมัลชันที่มีโปรตีนถั่วเหลืองนั้นสามารถป้องกันการรวมตัวของเม็ดไขมัน (coalescence) ได้ดี แสดงว่าโปรตีนถั่วเหลืองสามารถลดแรงตรึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันได้ดี หรือมีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ที่ดีได้ ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มล้อมรอบเม็ดไขมันกั้นไม่ให้เม็ดไขมันเกิดการชนและรวมตัวกันใหม่ (Roesch and Corredig, 2003)

ในขณะเดียวกันการใช้ไขมันพืชทดแทนไขมันนม เช่น การใช้ไขมันปาล์ม ถั่วเหลือง และ/หรือมะพร้าว ในการผลิตไอศกรีม ไม่เพียงแต่จะตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในผู้ที่แพ้

น้ำตาลแล็กโทสเท่านั้น แต่ยังสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในกลุ่มที่บริโภคมังสวิรัติหรืออาหารเจและผู้ที่ไม่บริโภคนมได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันพืชทดแทนโปรตีนและไขมันนมอาจจะส่งผลให้คุณลักษณะและคุณภาพของไอศกรีมที่ได้แตกต่างจากเดิมที่ใช้โปรตีนและไขมันนม ซึ่งได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เช่น สี กลิ่น เนื้อสัมผัส ดังนั้นการศึกษาเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดังกล่าวให้มีคุณลักษณะและคุณภาพใกล้เคียงกับไอศกรีมที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันนม และให้ได้ลักษณะที่ต้องการของผู้บริโภค จึงน่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเก็บเป็นฐานข้อมูลเชิงวิชาการ และนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงในการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาสูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันจากพืช เพื่อให้ได้ลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมที่ผลิตจากโปรตีนและไขมันนมและสอดคล้องกับการยอมรับของผู้บริโภค

1.2.2 เพื่อให้เข้าใจผลของชนิดและปริมาณของไขมันที่มีต่อลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลือง

1.2.3 เพื่อให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช ในปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกัน และทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะและคุณภาพกับไอศกรีมที่ใช้โปรตีนและไขมันนม

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1.3.1 ชนิดและปริมาณของโปรตีนที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมจะมีผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพของไอศกรีมที่ได้

1.3.2 ชนิดและปริมาณของไขมันที่แตกต่างกันจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและระดับการยอมรับของไอศกรีมที่ได้

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ไอศกรีมนมสูตรควบคุม ดัดแปลงมาจากไอศกรีมสูตรทางการค้า (economic formula) (Marshall, Goff and Hartel, 2003) ประกอบด้วย ไขมันเนย (butter fat) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก นมผงปราศจากไขมัน (skim milk powder) ร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนัก น้ำตาลทรายขาว (sucrose) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก 42 DE กลูโคส ซีรับ (glucose syrup) ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

โลกัสบีนกัม ร้อยละ 0.275โดยน้ำหนัก แคปปา-คาราจีแนน (κ- carrageenan) ร้อยละ 0.025 และทะวีน 80 (tween 80) ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 36 โดยน้ำหนัก

1.4.2 ในการพัฒนาสูตรไอศกรีม ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) และไขมันพืช 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม และมาร์การีนจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวโดยกรรมวิธีการเติมหมู่ไฮโดรเจนหรือไฮโดรจิเนต

1.4.3 ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ผลิตเป็นไอศกรีมที่มีปริมาณการขึ้นโฟม (% overrun) อยู่ในช่วง 30 - 50

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เน้นการพัฒนาสูตรไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช เพื่อให้ได้คุณลักษณะและคุณภาพที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันนม และให้ได้ลักษณะของไอศกรีมที่สอดคล้องกับความต้องการและการยอมรับของผู้บริโภค โดยจะศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมที่ได้โดยเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม ดังนี้

- ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ice cream mixes)
- ขนาดของเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม
- ปริมาณการขึ้นโฟมของไอศกรีม
- ความคงตัวต่อการละลายของไอศกรีมแช่แข็ง
- สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้
- คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส อันได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนนุ่มลิ้น ความแน่นเนื้อ การละลายของผลิตภัณฑ์ในปาก และการยอมรับโดยรวมของผู้ทดสอบชิมในระดับผู้บริโภค

และการศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ได้โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope; TEM) และศึกษาปริมาณโปรตีนที่ล้อมรอบหรือถูกดูดซับที่ผิวของเม็ดไขมัน (surface protein coverage) โดยเทคนิค SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate-polyacyalmide gel electrophoresis) เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการแปรผลของผลการใช้ชนิดและปริมาณโปรตีนที่ต่างกันต่อคุณลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้รับองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลือง กระบวนการวิธีในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอน

1.6.2 สามารถนำความรู้ด้านปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโดยใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืชทดแทนโปรตีนและไขมันนม มาประยุกต์ใช้ต่อในระดับอุตสาหกรรม

1.6.3 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำองค์ความรู้และกระบวนการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช พัฒนาสู่อุตสาหกรรมไอศกรีม โดยสร้างความร่วมมือทางด้านงานวิจัย

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไอศกรีม

ไอศกรีม หมายถึง ผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่ประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ เช่น อากาศ น้ำ ไขมันนม ส่วนของของแข็งในนมที่ไม่ใช่ไขมัน (nonfat milk solid; NMS) สารให้ความหวาน (sweeteners) สารให้ความคงตัว (stabilizers) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) และสารให้กลิ่นรส (flavoring) ส่วนส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ice cream mix) หมายถึง ส่วนผสมทั้งหมดของไอศกรีมยกเว้นอากาศและสารให้กลิ่นรสที่ยังไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (Marshall et al., 2003) ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสามารถแบ่งได้หลายประเภทขึ้นกับสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบในไอศกรีม (ตารางที่ 2.1) ซึ่งแต่ละองค์ประกอบนั้นส่งผลให้คุณลักษณะของไอศกรีมที่ได้แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของไอศกรีมชนิดต่างๆ

Product	Milk fat	Non fat milk solid	Sweeteners[a]	Stabilizers[b] and emulsifiers	Total solid
Nonfat ice cream (hard)	<0.7	12-14	18-22	1.0	35-37
Low fat ice cream (hard)	2-4	12-14	18-21	0.8	35-38
Light ice cream (hard)	5-6	11-12	18-20	0.5	35-38
Reduce fat ice cream (hard)	7-9	10-11	18-19	0.4	36-39
Soft-serve ice cream	3-4	12-14	13-16	0.4	29-31
Economy ice cream	10-11	10-11	14-17	0.3	35-37
Trade brand ice cream	11-12	10-11	14-17	0.3	37-39
Deluxe ice cream	13-14	8-9	13-17	0.3	39-40
Premium ice cream	14-16	7-8	13-17	0.3	40-41
Super premium ice cream	17-20	6-8	16-17	0.2	42-44
Frozen yogurt	3.3-6	8.3-13	16-20	0.5	30-33
Low fat frozen yogurt	2-4	8.3-13	17-21	0.6	29-32
Nonfat frozen yogurt	<0.7	8.3-14	17-21	0.6	28-31
Sherbet	1-3	1-3	26-35	0.5	28-36
Ice	-	-	26-35	0.5	26-35

หมายเหตุ: [a] Includes sucrose, glucose, fructose, corn syrup, maltodextrins, polydextrose, and other bulking agents, some of which contribute little or no sweetness

[b] Includes cellulose gum and cellulose gel

แหล่งที่มา: Marshall et al. (2003)

2.1.1 ส่วนประกอบของไอศกรีมและคุณสมบัติหน้าที่

วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตไอศกรีมนั้นมีหลายชนิด แบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ วัตถุดิบที่มาจากส่วนประกอบของน้ำนมหรือผลิตภัณฑ์นม และวัตถุดิบที่ไม่ใช่ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์นม โดยทั่วไปแล้ววัตถุดิบที่มาจากผลิตภัณฑ์นมเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญ และเป็นส่วนประกอบพื้นฐานในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ส่วนประกอบเหล่านี้ ได้แก่ ไขมันนม ส่วนของของแข็งในนมที่ไม่ใช่ไขมัน ซึ่งได้มาจาก นมสด นมผง หางนมผง ส่วนวัตถุดิบที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ น้ำ น้ำตาล สารให้ความคงตัว และอิมัลซิไฟเออร์ ส่วนประกอบของไอศกรีมและหน้าที่ของส่วนประกอบสรุปไว้ในตารางที่ 2.2 จะเห็นว่าส่วนประกอบต่างๆในไอศกรีมมีบทบาทหน้าที่และคุณสมบัติต่อคุณลักษณะของไอศกรีมต่างกัน

ตารางที่ 2.2 หน้าที่ของส่วนประกอบของไอศกรีม

ส่วนประกอบ	หน้าที่หลัก
ไขมัน	ให้กลิ่นรส เนื้อ เนื้อสัมผัส และความรู้สึกในปาก
ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน	ให้ เนื้อ เนื้อสัมผัส ความหวาน และอากาศที่แทรกอยู่
สารให้ความหวาน	ให้ความหวาน และปรับปรุงเนื้อสัมผัส
สารให้ความคงตัว	ปรับปรุงความหนืด อากาศที่แทรกอยู่ เนื้อสัมผัส และคุณสมบัติทางด้านจุดหลอมเหลว
สารให้กลิ่นรส	ให้กลิ่นรสที่ไม่ได้มาจากผลิตภัณฑ์นม
สี	ปรับปรุงคุณลักษณะปรากฏและส่งเสริมให้กลิ่นรสเด่นชัดขึ้น
อิมัลซิไฟเออร์	ปรับปรุงคุณลักษณะในการตีฟู และเนื้อสัมผัส
ส่วนประกอบที่ช่วยเพิ่มมูลค่า	เสริมกลิ่นรส และส่งเสริมลักษณะปรากฏ

แหล่งที่มา: อรพิน ชัยประสพ (2544)

ก. ไขมัน (Fat)

ไขมันเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญในไอศกรีม การใช้ไขมันในปริมาณที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่จะเป็นการสมดุลสูตรของส่วนผสมในไอศกรีมเท่านั้นแต่ยังเกี่ยวข้องกับมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดอีกด้วย ไขมันในส่วนผสมจะช่วยให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อโครงสร้างของไอศกรีม และเนื้อสัมผัสที่เนียนนุ่มลิ้น รวมถึงการเพิ่มกลิ่นรสและลักษณะการละลายที่ดีให้กับไอศกรีม (Goff, 1997; Adapa et al., 2000) เนื่องจากการเกิดการรวมตัวกันบางส่วนของเม็ดไขมัน (fat partial coalescence) ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ice cream mix) เป็นโครงข่ายสามมิติ (three-dimensional network) ล้อมรอบฟองอากาศในโครงสร้างของไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีความคงตัวมากขึ้น (Goff, Verespej, and Smith, 1999) และจากการศึกษาของ

Bolliger, Goff, and Tharp (2000) พบว่าการเพิ่มปริมาณการรวมตัวกันบางส่วนของเม็ดไขมันในโครงสร้างไอศกรีมจะส่งผลให้ให้มีความคงตัวต่อการละลายมากขึ้นด้วย

ไขมันที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม คือไขมันนม ทั้งนี้เนื่องจากไขมันนมจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นที่พอใจ และยังเกี่ยวข้องกับกลิ่นรสที่ซับซ้อนและเป็นตัวช่วยเสริมกลิ่นรสที่เติมลงไปได้ดี แต่การใช้ไขมันนมจะทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงและก่อให้เกิดปัญหาในด้านสุขภาพของผู้บริโภค เพราะไขมันนมมีปริมาณโคเลสเตอรอลสูง และปัญหาการแพ้โปรตีนและน้ำตาลแล็กโทสที่พบในน้ำนม ดังนั้นจึงมีการนำไขมันพืชมาใช้แทนไขมันนม แต่จะต้องคำนึงถึงชนิดและคุณสมบัติของไขมันที่นำมาใช้ โดยเฉพาะจุดหลอมเหลวและส่วนประกอบ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมระหว่างการเก็บรักษา และลักษณะการละลายของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ดังนั้นไขมันพืชที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและของหวานแช่เยือกแข็ง คือ ไขมันหรือน้ำมันมะพร้าว และไขมันหรือน้ำมันปาล์ม ซึ่งไขมันเหล่านี้จำเป็นต้องผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนตบางส่วนจนมีจุดหลอมเหลว 30-35 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวของไขมันนมและทำให้เนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับไอศกรีมที่ทำมาจากไขมันนม (อรพิน ชัยประสพ, 2544)

ข. ส่วนของของแข็งในนมที่ไม่ใช่ไขมัน (Nonfat milk solid)

ส่วนของแข็งในนมที่ไม่ใช่ไขมัน (NMS) ประกอบด้วยน้ำตาลแล็กโทส เคซีน เวย์ โปรตีนวิตามิน เกลือแร่ กรด เอนไซม์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มเนื้อ (body) และเนื้อสัมผัส (texture) เพิ่มค่าการขึ้นโฟมให้กับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนนมในส่วนของของแข็งมี่ไม่ใช่ไขมันมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ มีความสามารถในการเกิดโฟม (whipping ability) และความสามารถในการจับตัวกับน้ำได้ดี (water holding capacity) (Marshall et al., 2003) นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีนนมช่วยให้ฟองอากาศในโครงสร้างไอศกรีมคงสภาพได้ดี ซึ่งฟองอากาศเป็นส่วนสำคัญและมีผลต่อความคงตัวของโครงสร้างไอศกรีม นอกจากนี้การศึกษาคุณลักษณะหรือพฤติกรรมที่รอยต่อระหว่างผิวหน้า (interfacial behavior) ของโปรตีนนมในระบบอิมัลชันของไอศกรีมทั้งบนผิวอากาศและเม็ดไขมัน (Schockker, Bos, Kuijpers, Wijnen, and Walstra, 2002; Segall and Goff, 2002; Rodríguez Niño, Carrera Sánchez, Ruíz-Henestrosa, and Rodriguez Patíno, 2005) พบว่าโปรตีนนมสามารถเคลื่อนที่และถูกดูดซับบนผิวอากาศและเม็ดไขมันได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของโปรตีนประกอบด้วยทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำในโครงสร้างจะเกิดอันตรกิริยากับผิวของอากาศและเม็ดไขมันได้ดี (Damodaran, 2005)

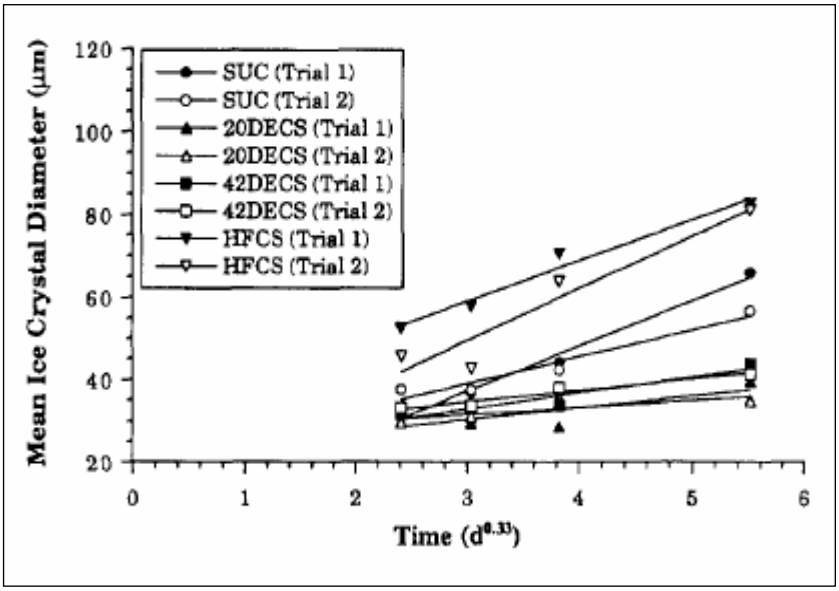
น้ำตาลแล็กโทสที่พบในส่วนของของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันเป็นตัวที่จำกัดปริมาณของของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน โดยจะใช้ได้เพียงร้อยละ 10-11 เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลแล็กโทสละลายได้ต่ำ ถ้าใช้ในปริมาณที่สูงกว่านี้ ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหมือนทราย (sandiness) ซึ่งให้ความรู้สึกสากลิ้นเมื่อรับประทาน

ค. สารให้ความหวาน (Sweeteners)

สารให้ความหวานที่เติมในส่วนผสมไอศกรีม ถือเป็นปัจจัยที่ช่วยให้เกิดการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น โดยสารให้ความหวานจะช่วยเพิ่มกลิ่นรส และความกลมกล่อมให้กับผลิตภัณฑ์ และยังช่วยเพิ่มความหนืดและปริมาณของของแข็งทั้งหมด (total solid) ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ice cream mix) ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณเนื้อและเนื้อสัมผัสที่ดีให้กับไอศกรีม ปริมาณของของแข็งทั้งหมดในส่วนผสมพร้อมทำไม่ควรเกินร้อยละ 42 หรือไม่ควรมีปริมาณน้ำตาลเกินร้อยละ 16 ทั้งนี้ถ้าปริมาณของแข็งทั้งหมดหรือปริมาณน้ำตาลมากกว่านี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะที่อ่อนนุ่ม หรือ แน่น หรือ แข็งเกินไป ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสารให้ความหวานที่ใช้ (Marshall et al., 2003) โดยทั่วไปแล้วสารให้ความหวานจะทำให้จุดเยือกแข็งของไอศกรีมลดต่ำลง ซึ่งจะทำให้ไอศกรีมมีคุณลักษณะที่อ่อนนุ่ม

น้ำตาลซูโครสเป็นสารให้ความหวานที่ใช้กันมากเพราะมีราคาถูก โดยอาจใช้เพียงอย่างเดียวหรือใช้ผสมกับคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น เช่น กลูโคสซีรับ (glucose syrup) สารให้ความหวานจากการย่อยสลายข้าวโพดหรือน้ำเชื่อมข้าวโพด (corn syrup) ซึ่งจะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม แต่จะแตกต่างกันไปตามค่า DE (dextrose equivalent) ของน้ำเชื่อมที่นำมาใช้ จากงานวิจัยของ Hagiwara and Hartel (1996) ซึ่งทำการศึกษาผลของการเติมสารให้ความหวานชนิดต่างๆ (น้ำตาลซูโครส น้ำเชื่อมข้าวโพด 20 DE น้ำเชื่อมข้าวโพด 42 DE และน้ำเชื่อมข้าวโพดฟรักโทสสูง 42 DE) และผลการเติมสารให้ความคงตัวต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งและการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ (recrystallization) ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมระหว่างแช่เยือกแข็งและการเก็บ พบว่าน้ำเชื่อมข้าวโพดที่ 20 DE จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ไม่เติมสารให้ความคงตัวมีขนาดผลึกน้ำแข็งที่เล็กกว่าที่ 42 DE และ น้ำเชื่อมข้าวโพดฟรักโทสสูงทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว มีขนาดผลึกน้ำแข็งใหญ่ที่สุดที่สภาวะการเก็บเดียวกัน (ภาพที่ 2.1) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเชื่อมข้าวโพด 20 DE ให้ค่าอุณหภูมิเยือกแข็ง (freezing point temperature) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูงที่สุด (-1.68 ^{o}C) เมื่อเปรียบเทียบกับ น้ำเชื่อมข้าวโพด 42 DE (-2.33 ^{o}C) และน้ำเชื่อมข้าวโพดฟรักโทสสูง (-4.03 ^{o}C) (Miller-Livney and Hartel, 1997) ร่วมกับน้ำเชื่อมข้าวโพด 20 DE มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่า จึงทำให้ค่าความหนืดระดับจุลภาค (microviscosity) หรืออัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในส่วนที่ไม่แข็งตัว (unfrozen phase) ของ

ไอศกรีมมีมากกว่า (Miller-Livney and Hartel, 1997) จึงส่งผลผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมีขนาดผลึกน้ำแข็งที่เล็กกว่า และอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ต่ำกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีเนื้อสัมผัสและคุณภาพที่ดีกว่า



ภาพที่ 2.1 อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ของไอศกรีมที่เติมสารให้ความคงตัวชนิดต่างๆ (Sucrose: SUC; 20 DE corn syrup: CS; 42 DE CS; high fructose corn syrup: HFCS) ในสภาวะการเก็บที่ -15.2°C

แหล่งที่มา: Hagiwara และ Hartel (1996)

ง. อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers)

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่ทำให้เกิดอิมัลชัน เนื่องจากมีความสามารถในการลดแรงตึงผิวของของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน และเพิ่มความคงตัวให้กับอิมัลชันไม่ให้เกิดการแยกชั้นของของเหลว นอกจากนี้อิมัลซิไฟเออร์ยังเป็นตัวเหนี่ยวนำให้อิมัลชันของไขมันเสียความคงตัวระหว่างการแช่แข็งของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Bear, Wolkow, and Kasperson, 1997) สำหรับบทบาทหน้าที่ของอิมัลซิไฟเออร์ในไอศกรีมนั้น ได้แก่ 1) เพิ่มค่าการขึ้นโฟมของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม เนื่องจากคุณสมบัติความไม่มีขั้วของอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งเข้ากันได้กับผิวอากาศ (air-interface) ที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกัน เป็นผลให้ขนาดของฟองอากาศมีขนาดเล็กและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อไอศกรีม 2) ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่เนียนแห้งง่ายต่อการขึ้นรูป 3) ลดอัตราการหลอมละลาย 4) ลดอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่และทำให้ผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากหน้าที่ของอิมัลซิไฟเออร์ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนั้น

ไม่ได้ต้องการให้ระบบอิมัลชันของไอศกรีมเกิดความคงตัว แต่จะเข้าไปแทนที่โปรตีนเวย์ และเคซีน บนผิวเม็ดไขมัน เมื่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวไขมันลดลง และค่าแรงตึงผิวที่ลดลงจากการแทนที่ของอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้เยื่อผิวของเม็ดไขมันอ่อนแรงลง (Koxholt, Eisenmann, and Hinrichst, 2001) จากนั้นเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจะเสียความคงตัว (destabilized) ทำให้เกิดการจับกันเป็นกลุ่มก้อนของเม็ดไขมัน (agglomerate) เป็นโครงข่ายสามมิติในระดับที่เหมาะสม (Marshall et al.; 2003) ซึ่งแนวโครงข่ายสามมิติของไขมันในไอศกรีมจะเป็นตัวป้องกันการรวมกันของผลึกน้ำแข็ง โดยเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการเก็บเป็นเหตุให้ผลึกน้ำแข็งละลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและรวมตัวกันใหม่เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง

จ. สารให้ความคงตัว (Stabilizers)

สารให้ความคงตัวที่ใช้กันทั่วไปในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสามารถแบ่งชนิดได้ดังตารางที่ 2.3 โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของการเติมสารให้ความคงตัวเติมลงในส่วนผสมไอศกรีมนั้นเพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส และปรับปรุงความคงตัวของไอศกรีมระหว่างการเก็บรักษา โดยชะลอการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ จากรายงานพบว่าไอศกรีมที่มีการเติมสารให้ความคงตัวมีขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เล็กกว่าไอศกรีมที่ไม่ได้เติมสารให้ความคงตัวเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น (Hagiwara and Hartel, 1996; Miller-Livney and Hartel, 1997) เมื่อเกิดความแปรปรวนของอุณหภูมิระหว่างการเก็บและขนย้าย ทั้งนี้เนื่องจากสารให้ความคงตัวจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำในส่วนที่ไม่แข็งตัวในโครงสร้างไอศกรีม ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากไฮโดรเจนอะตอมที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารให้ความคงตัว ซึ่งจะตรึงโมเลกุลน้ำไม่ให้เคลื่อนที่โดยเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน อีกส่วนหนึ่งเกิดจากโครงข่ายสามมิติของสารให้ความคงตัวเป็นผลให้ความหนืดในส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัวในโครงสร้างไอศกรีมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โครงข่ายสามมิติของสารให้ความคงตัวอาจจะเข้าไปล้อมรอบผลึกน้ำแข็งและอาจจะทำให้ผลึกน้ำแข็งเกิดการเปลี่ยนรูปผลึกเป็นผลให้อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ลดลง (Hartel, 1992) ส่วนผลของสารให้ความคงตัวต่อคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic properties) ของไอศกรีม เช่น ผลต่ออุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงเฟส (glass transition temperature; T_g) และ อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (freezing point temperature; T_f) นั้นได้มีการศึกษากันค่อนข้างมาก (Goff, Caldwell, Stanley, and Maurice, 1993; Hagiwara and Hartel, 1996; Miller-Livney and Hartel, 1997) ทำให้ทราบว่าสารให้ความคงตัวที่เติมลงในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ไม่มีการเติมและเติมสารให้ความคงตัว แต่ไม่ได้ทำให้ค่า

อุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงเฟสเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากปริมาณสารให้ความคงตัวที่เติมลงในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีความเข้มข้นต่ำมาก (ร้อยละ 0.3-0.6)

ปริมาณและชนิดของสารให้ความคงตัวที่ใช้ในส่วนผสมของไอศกรีมนั้นจะขึ้นกับปริมาณและประเภทของส่วนผสมในสูตร ระยะเวลา อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในกระบวนการผลิต อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บผลิตภัณฑ์ ซึ่งโดยทั่วไปนั้นปริมาณสารให้ความคงตัวที่ใช้จะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.25-0.1 โดยน้ำหนัก ขึ้นกับชนิดของสารให้ความคงตัวที่ใช้

ตารางที่ 2.3 ชนิดของสารให้ความคงตัวที่ใช้กันทั่วไปในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

Types	Stabilizers
Proteins	gelatin
Plant exudates	arabic, ghatti, karaya, and tragacanth gums
Seed gums	locust (carob) bean gum, psyllium, starch and modified
Miicrobial gums	starch
Seaweed extract	xanthan
Pectins	agar, alginates, and carrageenan
Cellulose	low and high methoxyl
	sodium carboxymethylcellulose, microcrystalline
	cellulose, methyl and methylethyl cellulose,
	hydroxypropyl and hydroxypropyl- methyl cellulose

แหล่งที่มา: Marshall et al. (2003)

ฉ. สารให้กลิ่นรสและสี (Flavors and colors)

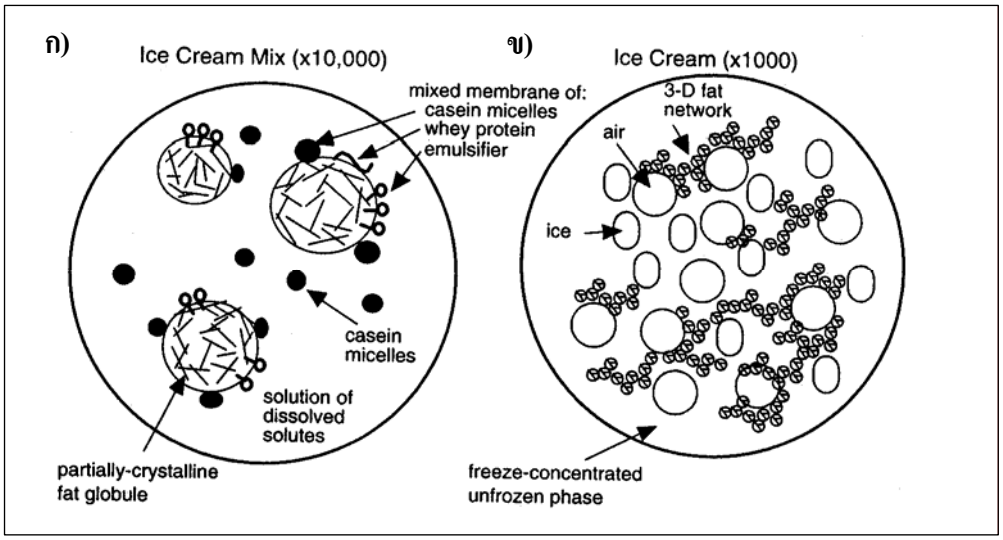
สารให้กลิ่นรสและสีที่เติมลงในไอศกรีมจะมีผลอย่างมากการต่อความรู้สึกและการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค สารให้กลิ่นรสสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) สารให้กลิ่นรสที่ละลายในไขมัน (fat-soluble flavors) และ 2) สารให้กลิ่นรสที่ละลายในน้ำ (water-soluble flavors) ซึ่งสารให้กลิ่นรสแต่ละชนิดก็จะมีผลต่อความรู้สึกของผู้บริโภคแตกต่างกัน คือสารให้กลิ่นรสที่ละลายในน้ำจะสลายตัวได้เร็วเมื่อรับประทาน แต่สารให้กลิ่นรสที่ละลายในไขมันจะสลายตัวช้ากว่า นอกจากนี้สารให้กลิ่นรสยังสามารถแบ่งประเภทแหล่งที่มาได้ดังนี้ คือ สารให้กลิ่นรสที่ได้จากธรรมชาติ สารให้กลิ่นรสสังเคราะห์ และสารให้กลิ่นรสกึ่งสังเคราะห์ สารให้กลิ่นรสที่นิยมเติมลงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมได้แก่ กลิ่นรสวนิลา กลิ่นรสช็อคโกแลต กลิ่นรส-สตรอเบอร์รี่

สีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจะมีผลต่อความรู้สึกและการยอมรับของผู้บริโภคต่อกลิ่นรสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เป็นอย่างมาก เช่น ไอศกรีมกลิ่นรสวนิลาควรมีสีเหลืองเล็กน้อย

ไอศกรีมช็อคโกแลตก็ควรจะมีสีน้ำตาล และส่วนไอศกรีมกลิ่นรสผลไม้ก็ควรจะมีสีตามกลิ่นรสของผลไม้ชนิดนั้นเพื่อเพิ่มความรู้สึกและการยอมรับในการรับประทาน

2.1.2 โครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีม

โครงสร้างของไอศกรีมเป็นระบบทางเคมี-กายภาพ (physicochemical system) ที่ซับซ้อน สำหรับโครงสร้างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ภาพที่ 2.2 ก) ประกอบด้วยอนุภาคเม็ดไขมันที่เกิดผลึกบางส่วน (partially crystalline fat globules) เคซีนไมเซลล์ที่กระจายตัวอยู่ในส่วนของของเหลวหรือสารละลายของน้ำตาล เกลือ เวย์โปรตีนและสารให้ความคงตัว และบนผิวของเม็ดไขมันจะมีบางส่วนของเคซีนไมเซลล์ เวย์โปรตีน และอิมัลซิไฟเออร์ถูกดูกซับอยู่ สำหรับโครงสร้างของไอศกรีม (ภาพที่ 2.2 ข) ประกอบด้วย ผลึกน้ำแข็ง เซลล์อากาศ (air cell) โครงข่าย 3 มิติของเม็ดไขมัน (3-D fat network or partially coalesced fat globules) ที่กระจายตัวอยู่ในส่วนผสมที่เป็นของเหลว และโครงข่ายสามมิติของเม็ดไขมันจะล้อมรอบเซลล์อากาศและผลึกน้ำแข็ง (Marshall et al., 2003) โครงข่าย 3 มิติของไอศกรีมจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการบ่มและการแช่เยือกแข็ง เซลล์อากาศในไอศกรีมที่ผลิตด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch freezer) และแบบต่อเนื่อง (continuous type freezer) มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 5-300 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 60 ไมครอน เซลล์ที่มีขนาดเล็กจะถูกล้อมรอบด้วยชั้นของผลึกไขมัน เซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสคล้ายเกล็ดหิมะ ขณะที่เซลล์อากาศที่มีขนาดเล็กจะให้เนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน ดังนั้นค่าเฉลี่ยของเซลล์อากาศที่ 60-100 ไมครอน จะเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับไอศกรีมเกือบทุกชนิด (อรพิน ชัยประสพ, 2544; Marshall et al., 2003)

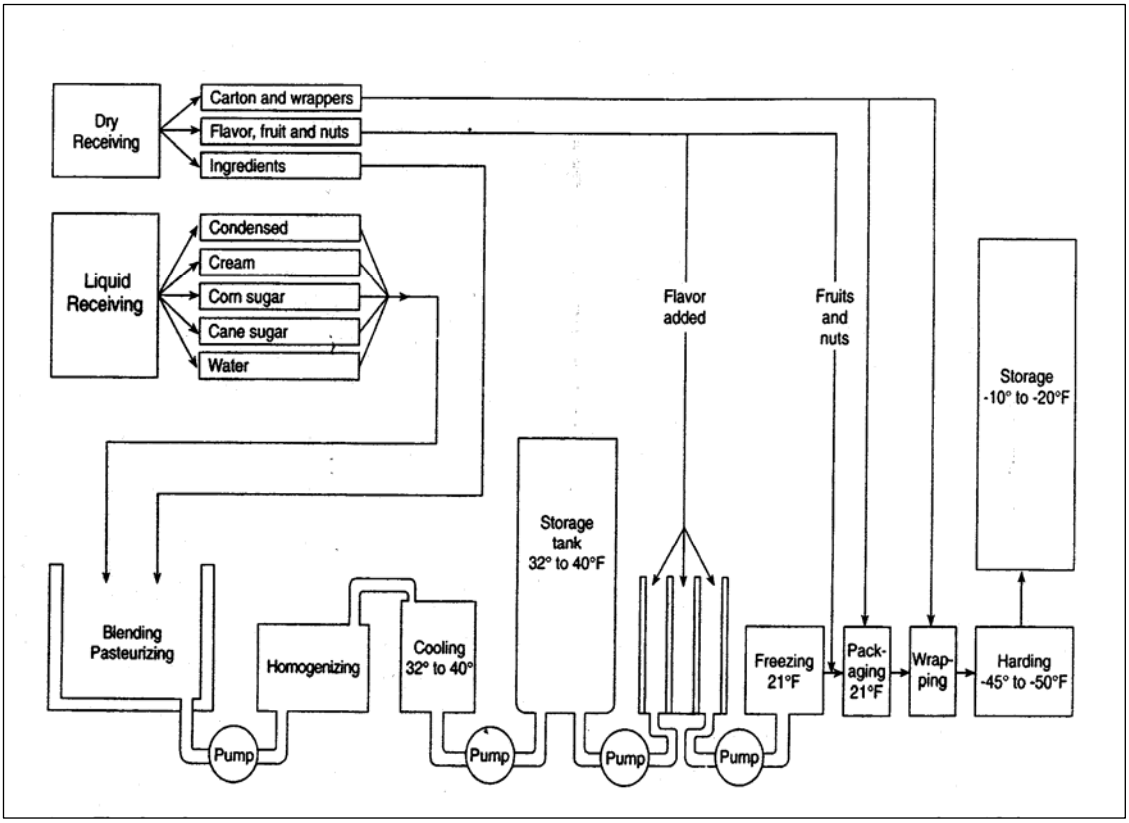


ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางกายภาพของ ก) ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม และ ข) ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม
แหล่งที่มา: Marshall et al. (2003)

ส่วนปริมาณของน้ำที่กลายเป็นน้ำแข็งในไอศกรีมจะแตกต่างกันขึ้นกับอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส ขณะที่ออกจากเครื่องแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการปั่น จะมีปริมาณน้ำที่เป็นน้ำแข็งประมาณร้อยละ 50 และประมาณร้อยละ 95 ที่อุณหภูมิบ่มแข็ง (hardening) ที่ -30 องศาเซลเซียส และประมาณร้อยละ 70 ที่อุณหภูมิ ห้องเก็บ -11 องศาเซลเซียส ส่วนขนาดของผลึกน้ำแข็งจะมีการแปรผันตามอุณหภูมิการเก็บผลิตภัณฑ์ โดยเฉลี่ยผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดประมาณ 40-50 ไมครอน ขนาดผลึกน้ำแข็งยังมีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมด้วย กล่าวคือ ไอศกรีมที่มีขนาดผลึกน้ำแข็งเฉลี่ยที่เล็กกว่า 50 ไมครอน จะทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียน แต่ถ้าผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ (มากกว่า 50 ไมครอน) จะทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่หยาบไม่น่ารับประทาน (Donhowe, Hartel, and Bradley, 1991)

2.1.3 กระบวนการผลิตไอศกรีม

กระบวนการพื้นฐานในการผลิตไอศกรีมประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ซึ่งมีกระบวนการดังนี้



ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตไอศกรีมแบบไม่ต่อเนื่อง (batch-type system)

แหล่งที่มา: Marshall et al. (2003)

ก. การเตรียมส่วนผสม (Mix preparation)

การออกแบบกระบวนการผสมจะผันแปรไปขึ้นกับ วัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือผง หรือจะใช้การผสมแบบเย็นหรือร้อน ส่วนผสมที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ นม ครีม และไขมันเหลว จะเติมลงในหม้อผสมโดยตรง ส่วนผสมที่เป็นของแห้ง เช่น น้ำตาล สารให้ความคงตัว และนมผง จะมีปัญหาในการกระจายตัว บางครั้งอาจต้องเตรียมให้เป็นของเหลวข้นก่อนจะทำให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดีขึ้น ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ การมีอากาศปะปนเข้าไปในส่วนผสม ระหว่างการผสมอาจก่อให้เกิดปัญหาระหว่างกระบวนการพาสเจอไรซ์ (pasteurization)โฮโมจีไนซ์ (homogenization) และการบ่ม (aging) โดยอาจเกิดการไหม้ที่ก้นภาชนะ หรือเกิดการแยกชั้นของส่วนผสม

ข. การพาสเจอไรซ์ (Pasteurization)

โดยทั่วไปแล้วการให้ความร้อนกับส่วนผสมของไอศกรีม จะใช้ในระดับที่สามารถทำลายเซลล์จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค แต่อย่างไรก็ตามจำนวนจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อโรคก็จะลดลงด้วย โดยปกติปริมาณจุลินทรีย์สูงสุดที่ยอมให้มีได้ในไอศกรีมหลังการละลาย เท่ากับ 100,000 cfu ต่อกรัมตัวอย่าง และเป็นโคลิฟอร์มแบคทีเรียสูงสุดได้ 100 cfu ต่อกรัมตัวอย่าง และระดับความร้อนต่ำสุดที่ใช้จะแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่ใช้ในกระบวนพาสเจอไรซ์ส่วนผสมไอศกรีมตามมาตรฐานกฎหมายของสหรัฐอเมริกา (United States Public Health Service)

Method	Time	Temperature (^{o}C/^{o}F)
Batch	30 min	69/155
High-Temperature Short-Time (HTST)	25 s	80/175
High-Heat Short-Time (HHST)	1-3 s	90/194
Ultra-High Temperature (UHT)	$\geq$ 2 s	138/280

แหล่งที่มา: 21CRF 135 and Grad A Pasteurized Milk Ordinance, 1993 Revision, U.S. Public Health Service .

ในระหว่างการพาสเจอไรซ์ อิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความคงตัวที่ต้องอาศัยความร้อนในการละลาย จะละลายและเปลี่ยนเป็นสารแขวนลอย คุณสมบัติในการอิมัลซิไฟด์และการให้ความคงตัวจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเสียสภาพธรรมชาติของโมเลกุลโปรตีน ซึ่งเดิมจะอยู่ในลักษณะที่ขดตัว จะคลายออก โมเลกุลที่เป็นไลโปฟิลิก ซึ่งขดตัวอยู่ด้านในจะออกมาอยู่ด้านนอกและทำหน้าที่ลดแรงตรึงผิวที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำและน้ำมันในส่วนผสม การเสียสภาพธรรมชาติจะให้ผลดีต่อคุณภาพของไอศกรีม ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเป็นครีมมากขึ้น เนื้อสัมผัสเรียบเนียน

การเสียสภาพของโปรตีนอย่างสมบูรณ์จะต้องอาศัยความร้อนที่รุนแรง แต่การใช้ความร้อนที่มากเกินไปจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสจนไม่เป็นที่ยอมรับ เช่น กลิ่นคาราเมลหรือกลิ่นไหม้ขึ้น ดังนั้นรสชาติจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จำกัดอุณหภูมิและเวลาในระหว่างการพาสเจอไรซ์ (อรพิน ชัยประสพ, 2544)

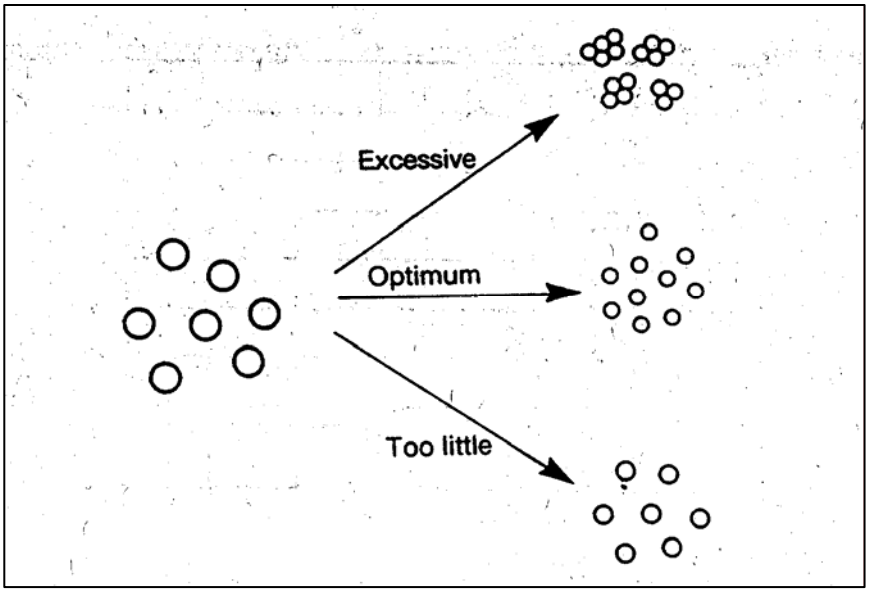
ค. การโฮโมจีไนซ์ (Homogenization)

จุดประสงค์หลักในการโฮโมจีไนซ์ คือการลดขนาดของเม็ดไขมันให้มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน และทำให้อิมัลชันของส่วนผสมไอศกรีมมีความคงตัว นอกจากนี้ยังทำให้อิมัลซิไฟเออร์ที่เติมในส่วนผสมกระจายตัวอยู่ในส่วนผสมและที่ผิวหน้าสัมผัสของเม็ดไขมันที่เกิดขึ้นใหม่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งการโฮโมจีไนซ์เป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตไอศกรีมอย่างมาก เนื่องจากการโฮโมจีไนซ์จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีม โดยช่วยเพิ่มอัตราการขึ้นโฟมในขณะปั่นไอศกรีม และช่วยยับยั้งการโตของผลึกน้ำแข็งระหว่างการเก็บ (Ruger, Bear, and Kasperson, 2002) ช่วยปรับปรุงพฤติกรรมการหลอมละลาย (meltdown behavior) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม (Koxholt et al., 2001) ซึ่งจะทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่เนียนนุ่มลิ้น

อุณหภูมิของส่วนผสมขณะทำการโฮโมจีไนซ์ควรอยู่ในช่วง 62.8 - 76.7 องศาเซลเซียส/ หรือ 145 - 147 องศาฟาเรนไฮต์ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะทำให้เม็ดไขมันจับกันเป็นก้อน มีความหนืดสูง และต้องใช้เวลานานในการปั่นส่วนผสม ส่วนผสมที่ผ่านการพาสเจอไรซ์แล้วจะถูกทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 65.5 องศาเซลเซียส/ 150 องศาฟาเรนไฮต์ ส่วนความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนซ์ขึ้นอยู่กับความหนืดของส่วนผสม ความคงตัวของส่วนผสม และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ความดันรวมประมาณ 2,000-2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) สำหรับการโฮโมจีไนซ์ระบบเดี่ยว (single-stage homogenizer) และสำหรับการโฮโมจีไนซ์ระบบสองระดับความดัน (two-stage homogenizer)จะใช้ความดันประมาณ 2,500-3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ระดับแรก และ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในระดับที่สอง จากการศึกษาผลของความดันในการโฮโมจีไนซ์ส่วนผสมไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 10 ต่อการเสียความคงตัวของเม็ดไขมันและหลอมละลายของไอศกรีม โดย Koxhlot et al. (2001) พบว่า ระดับความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนซ์ส่วนผสมอย่างน้อยที่ 10 MPa หรือ 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ระดับความดันแรก และที่ 3.45 MPa หรือ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ความดันระดับที่สอง จะทำให้ไอศกรีมมีโครงสร้างทางกายภาพที่เหมาะสมและคงตัว ในการผลิตไอศกรีมนั้นไม่ต้องการลดขนาดเม็ดไขมันจนมีขนาดเล็กที่สุด และการโฮโมจีไนซ์ที่มากเกินไปเป็นสิ่งที่ผิดปกติ ถ้าใช้ความดันที่สูงเกินไป เม็ดไขมันจะจับตัวกันเป็นก้อน และเกิดการเปลี่ยนสถานะกลับระหว่างการแช่เยือกแข็ง ในทางตรงกันข้าม ถ้าใช้ความดันไม่เพียงพอ ก็จะไม่เกิดการกระจายตัวที่เหมาะสมของเม็ดไขมัน ดังแสดงในภาพที่ 2.4

ง. การบ่มส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Aging mixes)

หลังการพาสเจอไรซ์และโฮโมจีไนซ์แล้วส่วนผสมจะถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการบ่มต่อในห้องเย็นที่ 4-5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4-24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของส่วนผสมดังนี้



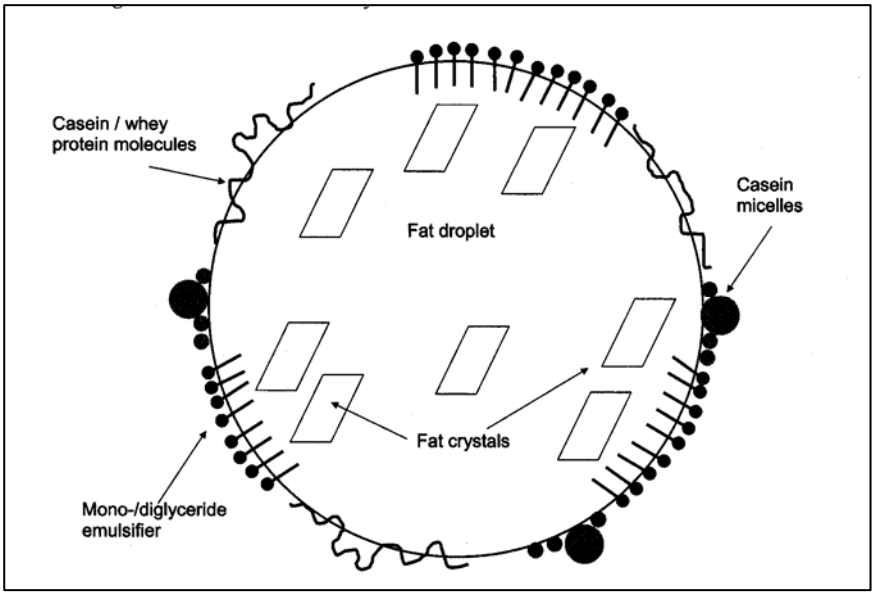
ภาพที่ 2.4 ผลของความดันในการโฮโมจีไนซ์เม็ดไขมันในส่วนผสมของไอศกรีม
แหล่งที่มา: อรพิม ชัยประสพ (2544)

1.) ส่วนผสมที่เป็นของแห้งจะดูดซับน้ำอย่างสมบูรณ์ แม้ว่าในระหว่างการผสมส่วนผสมที่เป็นของแห้งจะละลายแล้วก็ตาม แต่ส่วนผสมแห้งและสารให้ความคงตัวต้องการเวลาเพื่อจับกับน้ำอย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีผลต่อความข้นหนืดของส่วนผสม และสิ่งที่ตามมา คือ ความมีเนื้อ ความมัน ความต้านทานการละลาย และความคงตัวของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาไว้

2.) อิมัลซิไฟเออร์ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจะถูกดูดซับที่ผิวของเม็ดไขมันโดยเข้าไปแทนที่โปรตีนนม (ภาพที่ 2.5) เนื่องจากในช่วงระยะเวลาในการบ่ม อิมัลซิไฟเออร์ (โมโน-/ได-กลีเซอร์ไรด์) เริ่มตกผลึก เป็นผลให้อิมัลซิไฟเออร์มีความเป็นไลโปฟิลิกมากขึ้น จึงถูกดูดซับที่ผิวเม็ดไขมันได้ดีกว่าโปรตีน ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดไขมันมีความเป็นไลโปฟิลิกจึงเข้ากันได้ดีกับอิมัลซิไฟเออร์ แต่อิมัลซิไฟเออร์ที่เข้าไปแทนที่โปรตีนนั้นทำให้ส่วนของเยื่อผิว (surface membrane) เม็ดไขมันไม่แข็งแรงทำให้อิมัลชันเสียความคงตัว และเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวของเม็ดไขมันขึ้น

3.) การตกผลึกของไขมัน (crystallization of fat) เม็ดไขมันในส่วนผสมจะเริ่มตกผลึกอย่างช้าๆ โดยไตรกลีเซอร์ไรด์กลุ่มที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าจะตกผลึกก่อน และอยู่ชิดผิวหน้า

ของเม็ดไขมัน การตกผลึกจะดำเนินต่อไปและสร้างชั้นหรือเปลือกของเม็ดไขมันหลายๆชั้น โดยที่ใจกลางยังคงเป็นไขมันเหลว ผลึกไขมันที่เกิดขึ้นจะทิ่มแทงผิวเม็ดไขมันและเกิดการเชื่อมติดกันบางส่วน (partially-coalesced) ระหว่างเม็ดไขมันที่อยู่ใกล้กันและเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของเม็ดไขมันเกิดเป็นโครงข่ายสามมิติ ถ้าเวลาการบ่มไม่เพียงพอก็จะไม่เกิดกระบวนนี้ขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการการแช่เยือกแข็ง โดยจะส่งผลให้การตีปั่นเอาอากาศเข้าในโครงสร้างไม่ดี ปริมาณอัตราการขึ้นโฟมต่ำและทำให้ฟองอากาศในไอศกรีมไม่คงตัว และยังส่งผลให้ไอศกรีมมีคุณภาพและความคงตัวในการเก็บรักษาต่ำ



ภาพที่ 2.5 อิมัลซิไฟเออร์และโปรตีนนมที่ถูกดูดซับที่ผิวเม็ดไขมัน และการตกผลึกของไขมันระหว่างกระบวนการบ่ม
แหล่งที่มา: Clarke (2004)

จ. การแช่เยือกแข็ง (Freezing)

ขั้นตอนการแช่เยือกแข็งไอศกรีมที่ผลิตในทางการค้า มีสองขั้นตอน คือ ขั้นที่หนึ่งเป็นขั้นตอนการลดอุณหภูมิในเครื่องแช่เยือกแข็งโดยมีการกวน การเติมอากาศ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอากาศแทรกอยู่ภายใน อาจเรียกขั้นตอนนี้ว่าการปั่นให้แข็งหรือ dynamic freezing ขั้นตอนที่สอง เป็นขั้นตอนที่ช้ามาก ไม่มีการเติมอากาศ และการแช่เยือกแข็งจะเกิดในสภาวะที่สงบนิ่งภายในห้องแช่เยือกแข็งเพื่อทำให้เนื้อไอศกรีมแข็งตัวทั้งหมดอย่างรวดเร็ว เรียกขั้นตอนนี้ว่า การบ่มแข็ง (hardening หรือ static freezing) ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งทั้งการกระจายตัวของฟองอากาศและการจัดเรียงตัวใหม่ของเม็ดไขมันจะเกิดขึ้น ทำให้เกิดโครงสร้างของไอศกรีมที่

ประกอบด้วย ผลึกน้ำแข็ง เซลล์อากาศ โครงข่ายสามมิติของเม็ดไขมัน ส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัว ซึ่งมีโปรตีน สารให้ความคงตัว น้ำตาล และเกลือละลายอยู่

1.) ขั้นตอนการปั่นให้แข็ง ส่วนผสมไอศกรีม สารปรุงแต่งกลิ่นรส สี เนื้อผลไม้ หรือนัท จะถูกบรรจุลงในเครื่องแช่เยือกแข็ง ในขั้นตอนนี้อากาศจะถูกเติมเข้าไปในส่วนผสมพร้อมๆกับการทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งโดยทั่วไปไอศกรีมควรจะมีอากาศแทรกอยู่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร จากการทำงานของเครื่องแช่เยือกแข็งที่หมุนกระแทกกับผนัง ทำให้ฟองอากาศแตกตัวเป็นฟองที่มีขนาดเล็กประมาณ 50 ไมครอน นอกจากนี้ยังทำให้เสียความคงตัว หรือเกิดการเชื่อมติดกันบางส่วน (partial coalescence) ของเม็ดไขมัน ซึ่งมีผลดีต่อการตีปั่นให้อากาศเข้าไปในไอศกรีม เนื่องจากเม็ดไขมันที่เสียความคงตัวจะล้อมรอบเซลล์อากาศและทำให้เซลล์อากาศในโครงสร้างไอศกรีมมีความคงตัว ส่วนปริมาณอากาศที่ตีเข้าไปในระหว่างการแช่เยือกแข็งไอศกรีม เรียกว่า อัตราการขึ้นโฟม (overrun) ซึ่งสามารถคำนวณได้ทั้งในหน่วยปริมาตรและน้ำหนักดังสมการที่ 1 และ 2

หน่วยปริมาตร

$$\text{ร้อยละอัตราการขึ้นโฟม} = \frac{\text{ปริมาตรของไอศกรีม} - \text{ปริมาตรของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม}}{\text{ปริมาตรของส่วนผสมไอศกรีม}} \times 100 \quad (1)$$

หมายเหตุ: ไอศกรีมและส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้ในการคำนวณจะต้องมีน้ำหนักเท่ากัน

หน่วยน้ำหนัก

$$\text{ร้อยละอัตราการขึ้นโฟม} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม} - \text{น้ำหนักของไอศกรีม}}{\text{น้ำหนักของไอศกรีม}} \times 100 \quad (2)$$

หมายเหตุ: ไอศกรีมและส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้ในการคำนวณจะต้องมีปริมาตรเท่ากัน

ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการปั่นให้แข็งนั้นจำเป็นต้องมีขนาดเล็ก เพราะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมจะพิจารณาจากขนาดของผลึกน้ำแข็ง ไอศกรีมที่มีขนาดผลึกน้ำแข็งเล็กจะให้เนื้อสัมผัสที่เนียนนุ่มลิ้น ไอศกรีมเมื่อออกจากเครื่องแช่เยือกแข็งควรมีอุณหภูมิประมาณ -5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า และน้ำประมาณร้อยละ 50 ในส่วนผสมจะแข็งตัวเป็นผลึกน้ำแข็ง

2.) ขั้นตอนการบ่มแข็ง ไอศกรีมหลังจากออกจากเครื่องแช่เยือกแข็งที่ -5 องศาเซลเซียส แล้วจำเป็นต้องแช่เยือกแข็งต่อไป เพื่อรักษาเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของไอศกรีมที่เกิดขึ้นในขั้นตอนกานปั่นแข็ง โดยการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วจนถึง -30 หรือ -40 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาน้อยที่สุด จึงจะทำให้ไอศกรีมที่ได้มีเนื้อสัมผัสและคุณภาพที่ดี ในระหว่างการบ่มแข็งจะเกิดโครงสร้างที่แข็ง ซึ่งจะขัดขวางการรวมตัวของเซลล์อากาศ และยังช่วยลดการเกิดเนื้อสัมผัสที่หยาบเนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่

ช. การเก็บรักษาไอศกรีม (Storage)

ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมควรเก็บในอุณหภูมิที่คงที่ การแปรปรวนของอุณหภูมิการเก็บจะนำไปสู่การเคลื่อนที่และการรวมตัวของน้ำ และเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่หลังการแข็งตัวอีกครั้ง (Donhowe and Hartel, 1996a, 1996b; Hagiwara and Hartel, 1996; Flores and Goff, 1999) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นานๆ ควรมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงเฟส (glass transition temperature; Tg) ของผลิตภัณฑ์ (Hagiwara and Hartel, 1996) เพื่อป้องการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่หรือการโตของผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ หรือเก็บที่อุณหภูมิในช่วง -20 ถึง -25 องศาเซลเซียส ถ้าต้องการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นานๆ สำหรับระหว่างการขนย้ายและการจัดจำหน่ายในเวลาสั้นสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ -13 ถึง -18 องศาเซลเซียสได้ (อรพิม ชัยประสพ, 2544)

2.2 ความรู้เรื่องถั่วเหลือง

2.2.1 ลักษณะทางวิทยาศาสตร์และแหล่งปลูก

ถั่วเหลืองมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine Max. (L) Merrill.* มีแหล่งกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออก (Renkema, 2001) ในปัจจุบันอเมริกาเป็นผู้ผลิตถั่วเหลืองรายใหญ่ที่สุดในโลก โดยมีผลผลิตกว่าร้อยละ 60 ของตลาดโลก (คมสัน หุตะแพทย์ และ วารี ยินดีชาติ, 2542) และประเทศไทยเป็นผู้ผลิตอันดับที่ 10 รองจากประเทศสหรัฐอเมริกา บราซิล อาร์เจนตินา จีน อินเดีย ปารากวัย แคนาดา อินโดนีเซีย และอิตาลี โดยแหล่งผลิตถั่วเหลืองในประเทศไทยมีเกือบทุกภาคของประเทศ จากการพยากรณ์โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในปี 2544/45 พบว่า ภาคเหนือมีพื้นที่การปลูกถั่วเหลืองมากที่สุด คือ 1,030,549 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 69.66 รองลงมาได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 17.31 11.73 และ 1.3 ตามลำดับ และในปี 2548 มีปริมาณการผลิต 2.4 แสนตัน (กรมวิชาการเกษตร, www, 2549)

2.2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง (Chemical composition)

ถั่วเหลืองมีส่วนประกอบทางเคมีโดยเฉลี่ย ได้แก่ โปรตีนประมาณร้อยละ 40 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 35 ไขมันร้อยละ 20 และเถ้าร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแห้ง (Macrae, Robinson, and Sadler, 1993) ทั้งนี้ผันแปรตามปัจจัยต่างๆ เช่น สายพันธุ์ สภาวะแวดล้อม ฤดูกาล และสภาพภูมิประเทศ เป็นต้น (Liu, 1997) ถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนสูงและมีราคาถูกเมื่อเทียบกับโปรตีนจากถั่วชนิดอื่นๆ และเนื้อสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และยังประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 ปริมาณโปรตีนและราคาของถั่วและเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ

ชนิดของถั่ว/เนื้อสัตว์	โปรตีน (ร้อยละ)	ราคา (บาท/กิโลกรัม)
ถั่วเหลือง	34.0-44.0	15-20
ถั่วเขียว	23.4	24-25
ถั่วลิสง	29.7	38-40
เนื้อหมู (เนื้อแดง)	19.6	85-95
เนื้อไก่	22.0	50-60
ปลาช่อน	20.5	50-60
ปลาทู	20.0	55-60

แหล่งที่มา: ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ (2542)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่แนะนำให้บริโภคแต่ละวัน และปริมาณกรดอะมิโนที่มีในโปรตีนถั่วเหลือง

Essential	FAO/WHO			FNB	Defatted	Soy protein	
Amino acid	2 - 5	10 - 12	Adult	pattern [a]	flours/grits	Concentrates	Isolates
				(mg/g protein)			
Hisdidic	19	19	16	17	26	25	28
Isoleucine	28	28	13	42	46	48	49
Leucine	66	44	19	70	78	79	82
Lysine	58	44	16	51	64	64	64
Methionine + cystine	25	22	17	26	26	28	26
Phenylalanine + tyrosone	63	22	19	73	88	89	92
Threonine	34	28	9	35	39	45	38
Typtophan	11	9	5	11	14	16	14
Valine	35	25	13	48	46	50	50

หมายเหตุ: [a] Food and Nutrition Board, National Academy of Science.

แหล่งที่มา: Joseph (2001)

โปรตีนถั่วเหลืองสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ อัลบูมิน (albumin) ร้อยละ 10 ซึ่งสามารถสกัดได้ด้วยน้ำเปล่า และโกลบูลิน (globulin) ร้อยละ 90 ซึ่งสามารถสกัดออกได้ด้วยสารละลายเกลือเจือจาง ส่วนของโกลบูลิน ประกอบด้วยโปรตีน 4 กลุ่มย่อย (fraction) คือ 2S (ร้อยละ 15) 75 (ร้อยละ 34) 11S (ร้อยละ 41.9) และ 15S (ร้อยละ 9.1) ตามอัตราการตกตะกอน

(sedimentation rate) ของโปรตีนในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.5 M ionic strength, pH 7.6 (Koshiyama, 1969) ส่วนของ 11S และ 15S เป็นโปรตีนบริสุทธิ์ ที่เรียกว่าไกลซินิน (glycinin) และสายพอลิเมอร์ของไกลซินิน ตามลำดับ ส่วน 7S เป็นส่วนผสมของเบต้า-คอนไกลซินิน (β-conglycinin) แกมมา-คอนไกลซินิน (γ-conglycinin) ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) แอลฟา-อะไมเลส (α-amylases) และฮีแมกกลูตินิน (hemagglutenin) หรือ เลคติน (lectins) สำหรับ 2S ประกอบด้วย สารยับยั้งโบวแมน-เบิร์ก (Bowman-Birk inhibitor) สารยับยั้งคูนิซท์-ทริปซิน (Kunizt typsin inhibitors) ไซโตโครม-ซี (cytochrome C) และแอลฟา-คอนไกลซินิน (α-conglycinin) (Catsimpoolas and Ekenstam, 1969; Wolf, 1970)

2.2.3 ประโยชน์ของโปรตีนถั่วเหลืองต่อสุขภาพ

โปรตีนถั่วเหลืองเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีคุณประโยชน์ต่อผู้บริโภคอย่างมาก จะเห็นได้จากที่คณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration of the United States; FDA) ได้ออกมายืนยันและกล่าวอ้างถึงประโยชน์ของโปรตีนถั่วเหลืองต่อสุขภาพ ในวันที่ 26 ตุลาคม ค.ศ. 1999 และรณรงค์ให้ประชาชนรับประทานโปรตีนถั่วเหลือง 25 กรัมต่อวัน ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจได้ และในปัจจุบันมีการศึกษาและวิจัยค่อนข้างมากเกี่ยวกับสารในโปรตีนถั่วเหลือง พบว่ามีสารที่มีฤทธิ์ต่อต้านสารก่อมะเร็ง (anticarcinogens) ทั้งสิ้น 5 กลุ่ม ได้แก่ ไอโซฟลาโวนส์ (isoflavones) ซาพอนิน (saponin) ไฟเตท (phytate) สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส (protease inhibitor) และไฟโตสเตอรอล (phytosterols) (Messina and Bames, 1991) โดยสารในกลุ่มไอโวฟลาโวนส์ ที่พบในถั่วเหลือง เช่น จีนิสติน และไดซีน นั้นมีการศึกษาวิจัยในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับโรคมะเร็งอย่างมาก จากการศึกษาของ Messina, Persky, Setchell, and Barnes (1994) พบว่าสารกลุ่มไอโซฟลาโวนส์ มีฤทธิ์เป็นเอสโตรเจนจากพืช (phytoestrogen) สามารถต้านฤทธิ์เอสโตรเจนในร่างกายได้โดยแย่งจับกับรีเซ็บเตอร์ของเอสโตรเจน ส่งผลให้ความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งที่เกิดจากการกระตุ้นของเอสโตรเจน เช่น มะเร็งเต้านม ลดลง (อธิดา จารุโชติกมล, 2544) ส่วนสารในกลุ่ม ซาพอนิน ไฟเตท และสารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส พบว่าสารกลุ่มซาพอนินมีฤทธิ์ต้านปฏิกริยาออกซิเดชัน สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ สารกลุ่มไฟเตท สามารถจับกับแร่ธาตุ เช่น แคลเซียมและเหล็ก จึงถือว่าเป็นตัวยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งได้ นอกจากนี้ยังสามารถต้านโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ (Liu, 2000) ส่วนสารยังยั้งเอนไซม์โปรติเอส จะยับยั้งการย่อยโปรตีน สามารถป้องกันการกระตุ้นฤทธิ์ของสารก่อมะเร็ง จากผลการศึกษาในสัตว์ทดลอง พบว่า สารนี้จะกดการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งหลายชนิด (Troll and Kennedy, 1989;

Kennedy, 1995) แต่สารในกลุ่มนี้จะถูกทำลายได้โดยความร้อนทำให้พบในอาหารจากถั่วเหลืองที่ผ่านการแปรรูปในปริมาณน้อย

นอกจากความสามารถในการต้านมะเร็งและยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งชนิดต่างๆ แล้ว การบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารจากโปรตีนถั่วเหลืองยังสามารถช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลายชนิด เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน ภาวะโรคกระดูกพรุนในหญิงวัยก่อนและหลังหมดประจำเดือน (Fabien, Peter, Dimitra, Barry, and Helena, 2003) และยังมีการนำโปรตีนถั่วเหลืองมาใช้เป็นอาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมปริมาณแคลอรีสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน

2.2.4 การใช้โปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์อาหาร

โปรตีนถั่วเหลืองมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนาคุณลักษณะของอาหารหลายอย่างที่คล้ายคลึงกับโปรตีนนม อันได้แก่ คุณสมบัติการละลาย (solubility) ความสามารถในการจับกับน้ำ (water absorption and binding) การเพิ่มความหนืด (viscosity) การเกิดเจล (gelation) การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsification) ความสามารถในการจับกับไขมัน (fat absorption) ความสามารถในการจับกับสารให้กลิ่นรส (flavor-binding) คุณสมบัติบนพื้นผิว (surface properties) และความสามารถในการเกิดโฟม (foaming ability) เป็นต้น คุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้ ดังนั้นการนำโปรตีนถั่วเหลืองมาทดแทนโปรตีนนมในการผลิตผลิตภัณฑ์นม (dairy analogs products) เช่นไอศกรีม จึงน่าจะมีความเป็นไปได้

Webb, Maeem, and Schmidt (2002) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (functionality) ของโปรตีนข้าวสาลี โปรตีนนม โปรตีนถั่วเหลือง และแคลเซียมเคซีเนต ได้แก่ ความสามารถในการละลาย (solubility) คุณสมบัติบนพื้นผิว คุณสมบัติการเกิดโฟม (foaming properties) คุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsification properties) และความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) พบว่าโปรตีนทั้งสี่ชนิดนี้แสดงคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าโปรตีนถั่วเหลืองจะมีความสามารถในการละลายและความสามารถในการเกิดโฟมที่ต่ำกว่า แต่มีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่สูงกว่าโปรตีนชนิดอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Utsumi, Matasumur, and Mori (1997) พบว่าโปรตีนถั่วเหลือง โดยเฉพาะเบต้า-คอนไกลซินิน มีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีกว่าโปรตีนนม

Rodriguez Nino et al. (2005) ได้ศึกษาคุณสมบัติระหว่างพื้นผิวของอากาศและน้ำ (air-water interface) ของโปรตีนนม (เบต้า-เคซีน เคซีเนต และ โปรตีนเวย์) และโปรตีนถั่วเหลือง (เบต้า-คอนไกลซินิน และไกลซินิน) ซึ่งได้แก่ ความสามารถในการคลายตัวของโปรตีน

และดูดซับของโปรตีนที่รอยต่อระหว่างอากาศและน้ำ พบว่าโปรตีนทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะที่สภาวะ pH เท่ากับ 7 นอกจากคุณสมบัติบนพื้นผิวระหว่างอากาศกับน้ำแล้ว ยังมีผู้ทำการศึกษาคุณสมบัติบนพื้นผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำของโปรตีนถั่วเหลืองในระบบอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) ด้วย จากการศึกษาพบว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดสามารถป้องกันการแยกชั้นของน้ำมันและน้ำมันในระบบอิมัลชันได้โดยที่โปรตีนถั่วเหลืองจะสร้างโครงสร้างตาข่ายเจล (gel network) ล้อมรอบผิวเม็ดไขมัน นอกจากนี้ลักษณะโครงสร้างตาข่ายเจลโปรตีนที่เกิดขึ้นยังช่วยเพิ่มความหนืดในระบบอิมัลชัน ทำให้เม็ดไขมันเคลื่อนที่เข้ามารวมตัวกันได้ยากขึ้น ส่งผลให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น (Liu, Lee, and Demodaran, 1999; Rodriguez Patino, Molina, Carrera, Rodriguez Niño, and Añón, 2003; Rodriguez Nino et al., 2005) นอกจากการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลืองแล้ว ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโปรตีนถั่วเหลืองมาใช้เป็นส่วนผสม หรือใช้ทดแทนโปรตีนนมในการผลิตผลิตภัณฑ์จากนม เช่น โยเกิร์ต ไอศกรีม ชีส เป็นต้น Drake and Gerard (2000) และ Drake, Chen, Tamarapu, and Leenanon (2003) ได้ศึกษาการใช้โปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ทำให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์นมที่มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบนั้นได้รับความสนใจอย่างมาก ถึงแม้ว่าคุณลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม นอกจากนี้การนำโปรตีนถั่วเหลืองมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง เช่น ไอศกรีมก็ได้มีการศึกษาอย่างมาก (Abdullah, Saleem-ur-Rehman, Zubair, Saeed, Kousar, and Shahid, 2003; Friedeck, Karagul-Yuceer, and Drake, 2003; Teh, Dougherty and Camire, 2005; Camire, Dougherty, and Teh, 2006) Abdullah et al. (2003) ศึกษาผลของนมผงขาดมันเนยและน้ำนมถั่วเหลืองต่อคุณภาพของไอศกรีม พบว่าที่ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 20 ผสมกับนมผงขาดมันเนยร้อยละ 80 จะให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี รสชาติ กลิ่น และการยอมรับโดยรวมดีที่สุด และจากการศึกษาของ Friedeck et al. (2003) ที่ศึกษาถึงคุณสมบัติทางเคมีและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไขมันมันต่ำจากโปรตีนถั่วเหลือง พบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมลงในผลิตภัณฑ์จะไปเพิ่มความหนืด กลิ่น และความเข้มของสี ลักษณะการเคลือบปากและลิ้น (mouth coating) เพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น แต่ความหวานและกลิ่นรสของนมจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วเหลือง

2.3 ความรู้เรื่องไขมันพืช

2.3.1 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มได้จากผลของต้นปาล์มซึ่งเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Palmae เช่นเดียวกับมะพร้าว จาก และระกำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* jacq ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจ สำคัญของภาคใต้รองจากยางพารานิยมปลูกมากในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง ผลของปาล์มน้ำมัน (fruit) จะถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำมัน โดยน้ำมันที่ได้จากผลปาล์มจะมี 2 ชนิด คือ น้ำมันที่ได้จากชั้นเปลือก (mesocarp) เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (palm oil) และน้ำมันที่ได้จากเมล็ด เรียกว่า น้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) น้ำมันทั้งสองชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณกรดไขมันที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.7 ส่งผลให้น้ำมันทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.8 และ 2.9

ตารางที่ 2.7 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	ปริมาณกรดไขมัน (%)			
		น้ำมันปาล์ม	น้ำมันเมล็ดปาล์ม	เนย (ไขมันนม)	น้ำมันมะพร้าว
Butyric	C4:0	-	-	3.8	-
Caproic	C6:0	-	0.3	2.3	0.5
Caprylic	C8:0	-	3.9	1.1	8.0
Capric	C10:0	-	4.0	2.0	6.4
Undecanoic	C11:0	-	-	0.1	-
Lauric	C12:0	0.3	49.6	3.1	48.5
Tridecanoic	C13:0	-	-	0.1	-
Myristic	C14:0	1.1	16.0	11.7	17.6
Myristoleic	C14:1	-	-	0.8	-
Pentadecanoic	C15:0	-	-	1.6	-
Palmitic	C16:0	45.1	8.0	26.2	8.4
Palmitoleic	C16:1	0.1	-	1.9	-
Margaric	C17:1	-	-	0.7	-
Margaroleic	C17:1	-	-	0.2	-
Steric	C18:0	4.7	2.4	12.5	2.5
Oleic	C18:1	38.8	13.7	28.2	6.5
Linoleic	C18:2	9.4	-	2.9	1.5
Linolenic	C18:3	0.3	-	0.5	-
Arachidic	C20:0	0.2	0.1	-	0.1
Gadoleic	C20:1	-	-	0.2	-
Arachidonic	C20:4	-	-	0.1	-

แหล่งที่มา: จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล (2541)

ตารางที่ 2.8 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันบางชนิด

ไขมันและน้ำมัน	จุดหลอมเหลว (^oC)	ความถ่วงจำเพาะ ที่ 25 ^oC	S.N. (mg KOH/g)	I.N.
น้ำมันปาล์ม	33-40	0.921-0.925	190 – 209	50 – 55
น้ำมันเมล็ดปาล์ม	24-26	0.860-0.873	230 – 254	14 – 21
น้ำมันมะพร้าว	23-26	0.917-0.919	248 – 265	6 – 11
เนย (ไขมันนม)	28-35	0.865-0.870	210 – 233	26 – 42

หมายเหตุ: - ค่า S.N. เป็นตัวบ่งชี้ขนาดของโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันหรือน้ำมัน ถ้า S.N. มีค่าสูงแสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

- ค่า I.N. เป็นตัวบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้า I.N. มีค่าสูงแสดงว่ามีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวมาก

แหล่งที่มา: นิธิยา รัตนาปนนท์ (2548)

ตารางที่ 2.9 Solid Fat Index ของไขมันและน้ำมันบางชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ

ไขมันและน้ำมัน	Solid Fat Index ที่อุณหภูมิต่างๆ					จุดหลอมเหลว ^oC
	10 ^oC	21 ^oC	27 ^oC	33 ^oC	38 ^oC	(capillary)
น้ำมันปาล์ม	34	12	9	6	4	39
น้ำมันเมล็ดปาล์ม	49	33	13	0	0	29
น้ำมันมะพร้าว	55	27	0	0	0	26
เนย (ไขมันนม)	32	12	9	3	0	36
เนยเทียม (มาร์การีน)	28	16	12	3	0	38

แหล่งที่มา: นิธิยา รัตนาปนนท์ (2548)

น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์มจะเหมือนน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่บริโภคได้โดยทั่วไป ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยกลีเซอรอล (glycerol) และกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic) หรือกรดไขมัน

2.3.2 มาร์การีน (Margarine)

มาร์การีน หรือเนยเทียมเป็นผลิตภัณฑ์ไขมันชนิดหนึ่งที่ผลิตขึ้นมาทดแทนเนยที่ผลิตมาจากไขมันนม จึงมีลักษณะทางกายภาพ เช่น สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และส่วนประกอบ

คล้ายกับเนย มาร์การีนผลิตได้โดยการนำน้ำมันหรือไขมันพืชมาผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (hydrogenation) เพื่อเปลี่ยนสถานะของไขมันหรือน้ำมันเหลวเป็นไขมันกึ่งแข็ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสและความแข็งตัวที่เหมาะสม สามารถแผ่ออก (spread) ได้ น้ำมันที่นำมาผลิตมาร์การีนอาจเป็นน้ำมันพืชหลายๆ ชนิดผสมกัน หรือน้ำมันพืชผสมกับไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ไขวัว หรือไขแกะ เป็นต้น โดยปกติแล้วน้ำมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันจะมีกรดไขมัน ทรานส์ไอโซเมอร์ (trans-isomers) ปนอยู่ด้วย

มาร์การีนโดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบเหมือนกับเนย คือ มีไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 แต่จะไม่มากกว่าร้อยละ 90 ดังนั้นการผลิตมาร์การีนจึงใช้น้ำมันผสมกับไขมันแล้วเติมน้ำหรือส่วนผสมที่ละลายได้ในน้ำลงไป ซึ่งอาจจะเป็นน้ำนมปราศจากไขมัน น้ำเกลือ อิมัลซิไฟเออร์ สี วิตามิน เพื่อทำให้เกิดเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันเช่นเดียวกับเนย

2.3.3 การใช้ไขมันพืชในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

Wan Rosnani and Nor Aini (nd) ศึกษาการนำน้ำมันปาล์ม (palm oil) และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) มาประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมแทนการใช้ไขมันนม พบว่าคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม (อัตราการขึ้นโฟม และร้อยละการเสียสภาพของไขมัน: % fat destabilization)ที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์ม และน้ำมันเมล็ดในปาล์มใกล้เคียงกับไอศกรีมที่ได้จากการใช้ไขมันนม โดยที่น้ำมันปาล์มเหมาะสำหรับนำมาผลิตไอศกรีมเนื้อแข็ง (hard ice cream) เนื่องจากความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีค่ามาก ส่วนน้ำมันเมล็ดในปาล์มเหมาะสำหรับการผลิตไอศกรีมเนื้อนุ่ม (soft ice cream) เนื่องจากความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีค่าต่ำ และไอศกรีมที่ได้มีอัตราการหลอมละลายที่เร็ว

Granger, Leger, Barey, Langerdroff, and Cansell (2005) ศึกษาการนำไขมันมะพร้าวไฮโดรจิเนต น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ผสมระหว่างโมโนและได-กลีเซอร์ไรด์ 2 ชนิด คือชนิดที่มีกรดไขมันอิ่มตัวและไขมันไม่อิ่มตัวในการผลิตไอศกรีมนม พบว่า ชนิดของไขมันมีผลต่อขนาดเม็ดไขมันในไอศกรีม น้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงและมีกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ จะทำให้ขนาดของเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่และเสียความคงตัวได้ง่าย

อรพิน ชัยประสพ (2548) ได้ทำการศึกษาการใช้ไขมันปาล์มไฮโดรจิเนตในการผลิตไอศกรีมกะทิเนื้อนุ่มแทนไขมันจากกะทิ พบว่าการใช้ไขมันปาล์มไฮโดรจิเนตทำให้ไอศกรีมที่ได้มีคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสดีขึ้น โดยไอศกรีมมีอัตราการเกิดโฟมเพิ่มขึ้นและมีอัตราการละลายลดลงตามปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไขมัน

ไฮโดรจิเนต ที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้นั้นไม่ควรเกินร้อยละ 10 เพราะจะทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมด้อยลง

2.4 มาตรฐานของไอศกรีมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 222 (พ.ศ. 2544)

ประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไว้ดังนี้

1. ให้ไอศกรีมเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

(1) ไอศกรีมนม ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้นมหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม

(2) ไอศกรีมดัดแปลง ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้ไขมันชนิดอื่นแทนมันเนยทั้งหมดหรือแต่บางส่วน หรือไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันแต่ผลิตภัณฑ์นั้นมิใช่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม

(3) ไอศกรีมผสม ได้แก่ ไอศกรีมนม หรือไอศกรีมดัดแปลงแล้วแต่กรณี ซึ่งมีผลไม้หรือวัตถุอื่นที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย

(4) ไอศกรีมนม ไอศกรีมดัดแปลง หรือ ไอศกรีมผสมชนิดเหลว หรือแห้ง หรือผง

(5) ไอศกรีมหวานเย็น ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้น้ำและน้ำตาล หรืออาจมีวัตถุอื่นที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย ไอศกรีมดังกล่าวอาจใส่วัตถุแต่งกลิ่น รส และสีด้วยก็ได้

2. ไอศกรีมทุกชนิด ยกเว้นไอศกรีมชนิดแห้งหรือผงต้องผ่านกรรมวิธีตามลำดับ ดังต่อไปนี้

(1) ผ่านกรรมวิธีให้ความร้อนโดยกรรมวิธีหนึ่งวิธีใด ดังนี้

(1.1) ทำให้ร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 68.5 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 30 นาที หรือ

(1.2) ทำให้ร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 25 วินาที และจะต้องมีเครื่องวัดอุณหภูมิพร้อมด้วยเครื่องบันทึกอัตโนมัติแสดงอุณหภูมิเวลา ที่ใช้จริง หรือ

(1.3) ทำให้ร้อนโดยกรรมวิธีอื่นตามที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาเห็นชอบด้วย

(2) ทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้

(3) ปั่น กวน หรือผสม แล้วแต่กรณีและทำให้เยือกแข็งที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า -2.2 องศาเซลเซียส ก่อนบรรจุลงในภาชนะบรรจุเพื่อจำหน่าย และต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า -2.2 องศาเซลเซียส

3. ไอศกรีม ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) ไอศกรีมนม ต้องมีมันเนยเป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และมีธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก

(2) ไอศกรีมดัดแปลง ต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(3) ไอศกรีมผสม ต้องมีมาตรฐานเช่นเดียวกับไอศกรีมนม หรือไอศกรีมดัดแปลง แล้วแต่กรณี ทั้งนี้โดยไม่นับรวมน้ำหนักของผลไม้หรือวัตถุที่เป็นอาหารอื่นผสมอยู่

(4) ไอศกรีมหวานเย็นและไอศกรีมนม ไอศกรีมดัดแปลง หรือไอศกรีมผสมต้องไม่มีกลิ่นหืน ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาล นอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยให้ใช้วัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหารของ FAO WHO หรือ Codex ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร ไม่มีการใช้วัตถุกันเสีย มีปริมาณแบคทีเรียได้ไม่เกิน 600,000 ในอาหารหนึ่งกรัม ต้องตรวจไม่พบ *Escherichia coli* ในอาหาร 0.01 กรัม ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

(5) ไอศกรีมชนิดเหลว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตาม (1) (2) หรือ (3) แล้วแต่กรณี และต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตาม (4) ด้วย

(6) ไอศกรีมชนิดแห้ง หรือผง ต้องไม่มีกลิ่นหืน มีกลิ่นตามลักษณะเฉพาะของไอศกรีมชนิดนั้น มีลักษณะไม่เกาะเป็นก้อน ผิดไปจากลักษณะที่ทำขึ้น ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาล นอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยให้ใช้วัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหารของ FAO WHO หรือ Codex ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร ไม่มีวัตถุกันเสีย มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก มีแบคทีเรียได้ไม่เกิน 100,000 ในอาหารหนึ่งกรัม ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตตรียมตัวอย่าง วิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติทั้งหมด ดังนี้

3.1.1 เครื่องลดขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันระบบสองระดับความดัน (Homogenizer รุ่น 15 MR-8TA, APV Gaulin Inc., Massachusetts, USA)

3.1.2 เครื่องปั่นไอศกรีม (Freezer Model 103, Taylor Company, Illinois, USA)

3.1.3 ห้องแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส (PTV19T/43, Montecchio, Italy)

3.1.4 ตู้แช่แข็งที่ -40 องศาเซลเซียส (ULT2540-5V36, Kendro Laboratory Products, USA)

3.1.5 ห้องแช่แข็งที่ -21 องศาเซลเซียส (NT34T/404/43, Montecchio, Italy)

3.1.6 เครื่องวัดค่าความหนืด (Brookfield DV-III Ultra, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Massachusetts, USA)

3.1.7 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Laser light scattering, Mastersizer S, Malvern Instruments, Worcestershire, UK)

3.1.8 เครื่องวัดสี (Minolta CR-300, Osaka, Japan)

3.1.9 อุปกรณ์ชุดตรวจสอบโปรตีน (Soduim dodacylsulfate-Polyacylamide gel electrophoresis: SDS-PAGE)

3.1.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องผ่าน (TEM-2010, JEOL, Japan)

3.1.11 เครื่อง Differential scanning calorimeter (Pyris Diamond DSC, Perkin Elmer, Connecticut, USA)

3.1.12 เครื่อง Gas chromatography – FID detector (HP6890 gas chromatograph; Hewlett-Packard Co, Rolling Avondele, Pennsylvania, USA)

3.2 วัตถุดิบ

3.2.1 โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy protein isolated: SPI) ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 90 จาก บริษัท Solae Company, สหรัฐอเมริกา

3.2.2 ไขมันพืช 2 ชนิด น้ำมันปาล์ม (PO) และ มาร์การีน (โดยกรรมวิธีการเติมหมู่ไฮโดรเจนของน้ำมันปาล์มร้อยละ 55 และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 27) (HF) จาก บริษัทล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), ประเทศไทย

3.2.3 นมผงขาดมันเนย (Skim milk powder: SMP) ปริมาณโปรตีนร้อยละ 99 จาก บริษัท Murray Goulburn Co-operative Co., Ltd., ออสเตรเลีย

3.2.4 ไขมันเนย ปริมาณไขมันร้อยละ 99.9 จาก บริษัท Murray Goulburn Co-operative Co., Ltd., ออสเตรเลีย

3.2.5 น้ำตาลทรายขาว จากบริษัทรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด, ประเทศไทย

3.2.6 กลูโคสซีรับ (42 DE) จาก บริษัทคอร์นโปรดักส์ อะมาร์ดาส (ประเทศไทย) จำกัด, ประเทศไทย

3.2.7 สารให้ความคงตัว โลกัสบีนกัม (Locust bean gum) และ แคปปา-คาราจีแนน (κ-carrageenan) จาก บริษัท SKW Biosystems, ฝรั่งเศส

3.2.8 อิมัลซิไฟเออร์ (Tween80) จาก บริษัท SEPPIC S.A., ฝรั่งเศส

3.3 สูตรส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

สูตรส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนมสูตรทางการค้าที่ใช้เป็นสูตรต้นแบบในการเปรียบเทียบ ดัดแปลงจากสูตรไอศกรีมนมทางการค้า (Marshall and Arbuckle, 1996) ประกอบด้วย ไขมันเนยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก นมผงขาดมันเนย ร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนัก น้ำตาลทรายขาว ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก 42 DE กลูโคสซีรับ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โลกัสบีนกัม ร้อยละ 0.275 โดยน้ำหนัก แคปปา-คาราจีแนน ร้อยละ 0.025 และ ทะวีน 80 ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 35-37 โดยน้ำหนัก

สำหรับสูตรส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วย ไขมันพืชในช่วงร้อยละ 8-12 โดยน้ำหนัก โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) ในช่วงร้อยละ 5-8 โดยน้ำหนัก สำหรับส่วนประกอบอื่นจะกำหนดให้คงที่ระดับเดียวกับสูตรไอศกรีมนมทางการค้า

3.4 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและตัวอย่างไอศกรีมแช่แข็ง ดัดแปลงจากวิธีการของ Marshall and Arbuckle (1996) และ Goff, Verespej, and Smith (1999)

ละลายนมผงปราศจากไขมัน หรือ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด ในน้ำเปล่า จากนั้นนำไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงเติมส่วนผสมแห้งของน้ำตาลทราย โลกัสบีนกัม แคปปา-คาราจีแนน ลงไป ทำการผสมให้ส่วนผสมแห้งละลาย เพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 75 องศาเซลเซียส จึงเติม 42 DE กลูโคสซีรัป และไขมันลงไป ตามลำดับและทำการพลาสเจอไรซ์ส่วนผสมทั้งหมดที่ 75 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จึงเติม ทะวีน 80 ลงในส่วนผสมและคนให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันด้วยเครื่องโอโมจีไนเซอร์ 2 ระดับความดัน (15 MR-8TA, APV Gaulin Inc, Massachusetts, USA) โดยความดันแรกเท่ากับ 2,500

ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และความดันที่สองเท่ากับ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้เย็นโดยเร็วในภาชนะในอ่างน้ำแข็ง แล้วนำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมไปบ่มในห้องแช่เย็น (PTV19T/43, Montecchio, Italy) ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ส่วนการเตรียมตัวอย่างไอศกรีมแช่แข็ง ทำได้โดยนำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วเข้าเครื่องปั่นไอศกรีม (Model 103, Taylor Company, Illinois, USA) เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงบรรจุไอศกรีมที่ได้ลงในภาชนะและเก็บในตู้แช่แข็ง (ULT2540-5V36, Kendro Laboratory Products, USA) ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงย้ายไปเก็บในห้องแช่แข็ง (NT34T/404/43, Montecchio, Italy) ที่อุณหภูมิ-21 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบต่อไป

3.5 การศึกษาและการทดสอบคุณลักษณะของไอศกรีม

3.5.1 การทดสอบหาสูตรเบื้องต้นในการผลิตไอศกรีมจากผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืช

กำหนดส่วนประกอบต่างๆ ของไอศกรีมรวมทั้งปริมาณไขมันที่ระดับคงที่ ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และแปรความเข้มข้นของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้ ที่ 5 ระดับ คือ ที่ร้อยละ 5.0 6.0 7.0 7.5 และ 8.0 โดยน้ำหนัก โดยให้น้ำหนักรวมของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเท่ากับ 2 กิโลกรัม ส่วนกระบวนการผลิตไอศกรีมผลิตตามกระบวนการมาตรฐานการผลิตของ Marshall and Arbuckle (1996) ซึ่งจะสอดคล้องกับแผนการทดลองแบบ CRD (Complete Randomized Design) ขนาด 5 สิ่งทดลองและจำนวน 3 ซ้ำ ทำการวัดคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมดังนี้

3.5.1.1 วัดค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

นำตัวอย่างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผ่านการบ่มที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของแต่ละสูตร ปริมาตร 11 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะบรรจุของชุด minisample วัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield (DV-III Ultra, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Massachusetts, USA) ที่อุณหภูมิ 5$\pm$1 องศาเซลเซียส แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ซ้ำ

3.5.1.2 การวัดค่าอัตราการขึ้นโฟมของไอศกรีม (%overrun) หลังผ่านกระบวนการผลิตไอศกรีม ตามวิธีของ Marshall and Arbuckle (1996)

นำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาบรรจุใส่กล่องพลาสติกที่ชั่งและทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ชั่งน้ำหนักของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม (Freezer Model 103,

Taylor Company, Illinois, USA) นาน 15 นาที หลังจากนั้นตักไอศกรีมที่ผ่านการปั่นแล้วบรรจุลงในกล่องพลาสติกเดิม ชั่งหาน้ำหนักของไอศกรีมที่ได้ และคำนวณหาค่าการขึ้นโฟมของไอศกรีมจากสมการที่ 2 (บทที่ 2) แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ซ้ำ

3.5.1.3 วัดค่าการคงตัวต่อการละลาย หรืออัตราการละลายของไอศกรีม ดัดแปลงจากวิธีการของ Koxholt et al. (2001)

ตักไอศกรีมด้วยช้อนตักไอศกรีมให้ได้ลักษณะทรงกลม (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร และน้ำหนักประมาณ 50 กรัม) ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง บันทึกเป็นน้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น จากนั้นวางก้อนไอศกรีมบนตะแกรงสแตนเลส ที่มีรูตะแกรงขนาด 42 รูต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ชั่งน้ำหนักไอศกรีมส่วนที่ละลายทุกๆ 10 นาที และนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละการละลายของไอศกรีมดังสมการที่ 3

$$\text{ร้อยละการละลาย (\% melting)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมส่วนที่ละลาย}}{\text{น้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3)$$

จากนั้นนำร้อยละการละลายที่คำนวณได้ที่แต่ละช่วงเวลาไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลาเพื่อหาอัตราการละลาย (meltdown rate) ของไอศกรีม (แต่ละตัวอย่างวัดค่า 3 ซ้ำ)

3.5.1.4 การคัดเลือกปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมเบื้องต้น

คัดเลือกปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใกล้เคียงกับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ค่าอัตราการขึ้นโฟมมากที่สุดของไอศกรีมหลังการปั่นแข็ง และค่าความคงตัวต่อการละลายใกล้เคียงไอศกรีมนมสูตรทางการค้าที่สุด เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบหาสูตรที่เหมาะสมต่อไป

3.5.2 การทดสอบหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช

ศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมโดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืชแทนโปรตีนและไขมันนมโดยใช้แผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ขนาด 13 สิ่งทดลอง โดยแปรชนิดของปริมาณของไขมัน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม และมาร์การีน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 10 และ 12 และแปรปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้ให้ครอบคลุมปริมาณที่ได้จากการทดสอบสูตรเบื้องต้นในข้อ 3.3.1 โดยให้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้นเป็นจุดกึ่งกลาง จากนั้นจึงแปรชนิดของไขมัน โดยประเมินจากการวัดค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมดังนี้

3.5.2.1 วัดขนาดเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม

ทำการเจือจางตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมด้วยน้ำกลั่น 1000 เท่า จากนั้นนำตัวอย่างที่เจือจางแล้วไปวัดขนาดเม็ดไขมันด้วยเครื่อง Laser light scattering (Mastersizer S, Malvern Instruments, Worcestershire, UK) ที่ 632.8 นาโนเมตร รายงานผลเป็นค่า $d_{3,2}$ (area-volume mean diameter)

3.5.2.2 วัดค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม ตามข้อที่ 3.5.1.1

3.5.2.3 วัดค่าอัตราการขึ้นโฟมของไอศกรีม ตามข้อที่ 3.5.1.2

3.5.2.4 วัดค่าการคงตัวต่อการละลาย หรืออัตราการละลายของไอศกรีมแช่แข็ง ตามข้อที่ 3.5.1.3

3.5.2.5 วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมแช่แข็งในระบบ Hunter (L a b)

นำตัวอย่างไอศกรีมที่ผ่านการแช่แข็งเป็นระยะเวลา 8 วัน มาวัดค่าสีในระบบ Hunter (L a b) ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta CR-300, Osaka, Japan) 9 ครั้งต่อตัวอย่าง (3 ครั้งต่อ 1 บรรจุภัณฑ์จำนวน 3 บรรจุภัณฑ์) ปรับเทียบค่าเครื่อง (calibrate) ด้วยแผ่นสีมาตรฐาน (white tail; L = 97.26; a = 0.05; b = 1.71) ก่อนการวัดทุกครั้ง

3.5.2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีม

นำค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมหรือค่าการตอบสนอง (response) ที่ได้จากการทดสอบ มาสร้างความสัมพันธ์กับตัวแปร (ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณไขมันพืช) โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (multiple regression) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS system for window 6.12 (SAS Institute Inc., North Carolina, USA) และ SPSS V 13.0 (SPSS Inc., Illinois, USA) สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวต่อค่าการตอบสนองตามแบบสมการพอลีโนเมียลอันดับสอง ดังแสดงในสมการที่ 1 และใช้สมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวในการสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง (Response surface plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistica V 5.0 (StatSoft, Inc., Oklahoma, USA)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta^2_1 X_1^2 + \beta^2_2 X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \qquad (4)$$

เมื่อ β_0 คือ ค่าคงที่ ณ จุดกึ่งกลางการทดลอง (0, 0); β_1 และ β_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อันดับหนึ่ง (linear); β^2_1 และ β^2_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อันดับสอง

(quadratic) และ β_{12} คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระทั้งสอง (interaction); X_1 คือ ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (%w/w) และ X_2 คือ ปริมาณไขมันพืช (%w/w)

สำหรับการหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองและปริมาณไขมันพืชที่เหมาะสมที่สุด จะใช้ค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมนมสูตรทางการค้าเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบความใกล้เคียงของคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืช สูตรที่เหมาะสมที่สุดสามารถทำนายได้จากการนำสมการพอลีโนเมียลที่ได้จากการศึกษา มาแก้สมการ (differentiation) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (optimum prediction) ในการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืชที่ให้คุณภาพและคุณลักษณะใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้ามากที่สุด

3.5.2.7 การยืนยันผลการทำนายสูตรที่เหมาะสม

ทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลองจริงโดยใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืชจากสูตรที่เหมาะสม กับค่าการตอบสนองที่ได้จากการแทนค่าในสมการแบบจำลองรีเกรสชันที่ใช้ในการทำนายหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช

3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบการยอมรับ (acceptance test) ของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ อันได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ ความแน่นเนื้อ การละลายของผลิตภัณฑ์ในปาก และลักษณะโดยรวม ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีคุณลักษณะทางกายภาพที่ดีที่ได้จากการทดสอบในข้อ 3.5.2 โดยการทดสอบแบบ hedonic test ใช้สเกลความชอบ 9 จุด ซึ่งจะทำการแปรค่าระดับความรู้สึกของผู้ทดสอบชิมเป็นตัวเลข เช่น ชอบมากที่สุดมีคะแนนเป็น 9 และไม่ชอบมากที่สุดมีคะแนนเป็น 1 เพื่อหาระดับการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมถั่วเหลืองของผู้บริโภค 2 กลุ่ม คือ กลุ่มหญิงที่มีอายุอยู่ในช่วงก่อนและช่วงวัยหมดประจำเดือน และกลุ่มผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุในช่วง 18-28 ปี จำนวนกลุ่มละ 40 คน

3.7 การศึกษาปริมาณของโปรตีนที่ถูกดูดซับและล้อมรอบบริเวณผิวของเม็ดไขมัน (surface protein coverage) ดัดแปลงจากวิธีของ Roesch and Corredig (2002)

นำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผ่านการบ่มที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แยกส่วนที่เป็นครีม (ไขมัน) ออกจากส่วนที่เป็นซีรัม โดยการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ระดับ 19,000 x g นาน 30 นาที ที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อไอศกรีมเกิดการแยกชั้นแล้วแยกเอาส่วนที่เป็นครีมออกมาละลายในสารละลาย โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50

มิลลิโมลต่อลิตร pH 7.5 โดยใช้ส่วนที่เป็นครีม 5 กรัม ต่อสารละลายบัฟเฟอร์ 50 กรัม และทำการปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่สภาวะเดิม จนเกิดการแยกชั้นของครีมอีกครั้งจึงตักส่วนที่เป็นครีมออกมาผึ่งบนกระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 1) เพื่อให้กระดาษซับส่วนที่เป็นของเหลวไว้ ส่วนซีรัมที่ใช้ในการวิเคราะห์จะนำจากส่วนที่ผ่านการปั่นเหวี่ยงครั้งแรกโดยใช้ไมโครปิเปตดูดออกจากหลอดอย่างระมัดระวัง จากนั้นจึงนำส่วนของครีมและซีรัมที่แยกไว้ไปละลายใน สารละลายอิเล็คโตรโฟรีซิสบัฟเฟอร์ (25 mL 0.5 mol/L Tris-HCl, pH 6.8; 4 g SDS /100 mL; 0.01g bromophenol blue/100 mL; 10 g 2-mercaptoethanol/100mL; 20 g glycerol/100mL) และนำตัวอย่างสารละลายผสมไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เพื่อให้โปรตีนเสียสภาพ หลังจากนั้นนำสารละลายผสมไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง ที่ 15,000 x g นาน 1.5 นาที แล้วจึงปิเปตตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงใน 12.5% อะคริลาไมด์เจล ด้วยไมโครปิเปต และทำการส่งกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ขนาด 120 โวล์ตผ่านเจล จากนั้นจึงนำเจลที่ได้ไปวัดความเข้มของแถบโปรตีนด้วย Densitometer (Labworks^{TM} Image Acquisition and Analysis Software, UVP Inc., Upland, CA) และคำนวณหาปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับและล้อมรอบเม็ดไขมันจากการเปรียบเทียบค่าความเข้มและความกว้างของแถบโปรตีนมาตรฐาน (bovine serum albumin) ที่ทราบปริมาณโปรตีนที่แน่นอน โดยปริมาณโปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันที่ได้เป็นเพียงค่าประมาณการเพื่อใช้ในศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของโปรตีนถั่วเหลืองบนผิวเม็ดไขมันของน้ำมันปาล์มและมาร์การีนในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่ม

3.8 การศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังบ่ม

ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องผ่าน ตามวิธีของ Thaiudom and Goff (2003)

เตรียมตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค agar rod sleeve ตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผ่านการบ่มที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงจะถูกดูดเข้าไปในหลอดที่ทำขึ้นจากอะการ์ (agar) ให้มีความยาวของหลอดอะการ์ประมาณ 7 มิลลิเมตร จากนั้นจึงปิดปลายหัวท้ายของหลอดอะการ์ที่มีส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมด้วยอะการ์เหลว รอจนอะการ์แข็งตัวจึงนำหลอด อะการ์ดังกล่าวจุ่มลงใน 2% glutaraldehyde เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จุ่มหลอดอะการ์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จำนวน 3 ครั้งโดยทิ้งห่างครั้งละ 10 นาที และแช่ทิ้งไว้ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เป็นเวลา 1 คืน จึงนำออกจากฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ทำให้แห้งและกำจัดน้ำ (dehydrate) ออกจากตัวอย่างด้วยการแช่ในเอทานอลที่ลำดับความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 60 70 80 90 และ 95 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นละ 10 นาที จากนั้นจึงทำการกำจัดน้ำออกที่สมบูรณ์ โดยแช่ในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก 2 ครั้งครั้งละ 15 นาที และแช่ในโพรพิลีนออกไซด์ (propylene oxide) เข้มข้น 2 ครั้ง ครั้งละ 15 นาที แล้วจึงนำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายผสมระหว่าง

โพรพิลีนออกไซด์และ embedding medium ในอัตราส่วน 1:1 โดย embedding medium ประกอบด้วย Jembed 812 Resin ร้อยละ 49.76 โดยน้ำหนัก, dodecenyl succinic anhydride ร้อยละ 24.49 โดยน้ำหนัก, Nadic methyl anhydride ร้อยละ 24.02 โดยน้ำหนัก, tri-(dimethylaminomethyl) phenol ร้อยละ 1.73 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นจึงแช่ตัวอย่างในสารละลายผสมระหว่าง propylene oxide และ embedding medium ในอัตราส่วน 1:2 2 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องแล้วแช่ใน embedding medium เข้มข้นร้อยละ 100 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ผ่านการตรึงแล้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ก่อนนำตัวอย่างข้างต้นมาตัดให้มีความหนา 90 นาโนเมตร ด้วยเครื่องตัดตัวอย่างบางพิเศษ (Ultramicrotrom Model MTX 75500) ติดตัวอย่างบน gold grid จากนั้นย้อมตัวอย่างด้วย ซิลเวอร์ โปรติเนท (silver proteinate) ตามด้วย ยูรานิล อะซิเตด (uranyl acetate) และ เลด ซิเตด (lead citrate) จึงนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน แบบส่องผ่าน (TEM-2010, JEOL, Japan) โดยกำหนดให้ความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 80 กิโลโวล์ต

3.9 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไอศกรีม

คำนวณและเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช กับไอศกรีมนมสูตรควบคุม (สูตรทางการค้า) ตามวิธีการคำนวณต้นทุนการผลิตของจิรพรรณ และคณะ (2525)

3.10 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร ห้องปฏิบัติการเคมีอาหาร ห้องพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ณ อาคารเครื่องมือ 3 และฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาเพื่อหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่สามารถใช้ผลิตไอศกรีม

จากการทดสอบกระบวนการผลิตไอศกรีม เพื่อหาสูตรเบื้องต้นซึ่งใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม ในการทดสอบควบคุมปริมาณน้ำมันปาล์มที่ใช้ในสูตรให้คงที่ที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทำให้ทราบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่สามารถผลิตไอศกรีมได้โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้ ที่มีลักษณะโดยรวมใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้า คือที่ร้อยละ 8.0 7.5 7.0 6.0 และ 5.0 โดยน้ำหนัก และให้ไอศกรีมที่มีคุณลักษณะทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมที่ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) ต่างๆ

ปริมาณ SPI (% w/w)	Ice cream mix viscosity (before aging; cP)	% Overrun	Melting rate (g/min)
8.0	167.50 + 10.95 ^{a}	22.28 $\pm$ 1.46 ^{d}	0.989 + 0.06 ^{d}
7.5	120.00 + 10.00 ^{b}	23.83 $\pm$ 1.87 ^{cd}	1.091 + 0.10 ^{c}
7.0	75.83 + 5.85 ^{c}	24.18 $\pm$ 1.99 ^{c}	1.121 + 0.19 ^{c}
6.0	34.17 + 2.58 ^{d}	31.33 $\pm$ 2.41 ^{a}	1.362 + 0.03 ^{b}
5.0	24.17 + 8.47 ^{e}	28.02 $\pm$ 1.26 ^{b}	1.392 + 0.04 ^{b}
Control*	21.25 + 1.37 ^{e}	30.52 + 2.62 ^{a}	1.549 + 0.02 ^{a}

หมายเหตุ: - * เป็นไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ใช้เป็นชุดควบคุมและต้นแบบ

- a, b, c, d เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมระหว่างไอศกรีมนมสูตรทางการค้าที่ใช้โปรตีนและไขมันนม กับสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม พบว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก มีค่าความหนืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากสูตรไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ($p \leq 0.05$) ซึ่งหมายถึง

ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ความเข้มข้นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนักจะให้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้าหรือชุดควบคุม แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการขึ้นโฟมของไอศกรีมหลังการปั่น จะเห็นว่าไอศกรีมที่มีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก ให้ค่าอัตราการขึ้นโฟมสูงที่สุดและมีค่าไม่แตกต่างจากไอศกรีมนมสูตรทางการค้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้อัตราการขึ้นโฟมของไอศกรีมจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ใช้ในสูตรลดลง แต่ที่ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก มีค่าการขึ้นโฟมของไอศกรีมต่ำกว่าที่ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าการขึ้นโฟมของไอศกรีมระหว่างการปั่นแข็งน้อยลงนั้น เนื่องจากโปรตีนที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้เกิดลักษณะโครงสร้างตาข่ายของโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.1) ส่งผลให้ความสามารถในการแทรกตัวเข้าสู่เนื้อไอศกรีมของอากาศระหว่างการตีปั่นลดลง จึงส่งผลให้ค่าการขึ้นโฟมของไอศกรีมที่ได้ต่ำลง ส่วนไอศกรีมสูตรที่มีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก มีค่าการขึ้นโฟมของไอศกรีมต่ำกว่าที่ร้อยละ 6.0 นั้น อาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนที่ใช้น้อยลง ทำให้มีปริมาณโปรตีนที่จะฟอร์มตัวเป็นแผ่นฟิล์มรอบล้อมฟองอากาศลดลง จึงเก็บกักอากาศไว้ในโครงสร้างไอศกรีมได้น้อย

จากคุณสมบัติอัตราการละลายของไอศกรีมสูตรต่างๆ (ตารางที่ 4.1) พบว่า อัตราการละลายของไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะลดลงตามปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างตาข่ายของโปรตีนถั่วเหลืองในไอศกรีมแข็งแรงขึ้นและทำให้ไอศกรีมที่ได้มีความคงตัวต่อการละลายมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไอศกรีมที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองและโปรตีนนม จะเห็นว่าไอศกรีมที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองจะมีอัตราการหลอมละลายต่ำหรือมีความคงตัวต่อการละลายสูงกว่าไอศกรีมจากโปรตีนนมอย่างชัดเจน อาจเนื่องมาจากโครงร่างตาข่ายของเจลที่เกิดจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ล้อมรอบฟองอากาศมีความแข็งแรงมากกว่าโปรตีนนม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rodríguez Niño et al. (2005) ที่พบว่าความหนาของโปรตีนฟิล์มที่ล้อมรอบฟองอากาศในชั้นโมโนเลเยอร์ (monolayer) ที่เกิดจากโปรตีนถั่วเหลืองมีความหนามากกว่าโปรตีนนม ส่งผลให้โฟมหรืออิมัลชันที่มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบมีความคงตัวมากกว่า

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของไอศกรีมที่ได้ทั้ง 3 คุณลักษณะ (ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม ค่าอัตราการขึ้นโฟม และค่าอัตราการละลายของไอศกรีมแช่แข็ง) จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ให้ไอศกรีมมีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้ามากที่สุด คือ ระดับความเข้มข้นร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงเลือกปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก เป็นจุดกึ่งกลางของแผนการทดลองแบบ CCD โดยให้ครอบคลุมปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในช่วง ร้อยละ 5.0 ถึง 7.0 โดยน้ำหนัก เพื่อทำการทดสอบหาสูตรที่เหมาะสมต่อไป

4.2 ผลการทดสอบเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืช

ในการทดสอบเพื่อหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณไขมันพืชที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีคุณลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ใช้แผนการทดลองแบบ CCD จำนวน 13 สิ่งทดลอง โดยแปรปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในช่วงร้อยละ 5.0 ถึง 7.0 โดยน้ำหนัก และแปรปริมาณไขมันพืชในช่วงร้อยละ 8.0-12.0 โดยน้ำหนัก ดังแสดงใน ตารางที่ 4.2 ซึ่งให้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก และปริมาณไขมันพืชที่ร้อยละ 10.0 โดยน้ำหนักเป็นจุดกึ่งกลาง (center point) ในการทดสอบ

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันที่ใช้ในแต่ละสูตรตามแผนการทดลองแบบ Central composite design (CCD) ขนาด 13 สิ่งทดลอง

Formulation Number	Experimental and code value			
	SPI (% w/w)	Code	Vegetable oils (%w/w)	Code
Tr1	5	-1	8	-1
Tr2	7	1	8	-1
Tr3	5	-1	12	1
Tr4	7	1	12	1
Tr5	4.586	-1.414	10	0
Tr6	7.414	1.414	10	0
Tr7	6	0	7.172	-1.414
Tr8	6	0	12.830	1.414
Tr9	6	0	10	0
Tr10	6	0	10	0
Tr11	6	0	10	0
Tr12	6	0	10	0
Tr13	6	0	10	0

หมายเหตุ: ในการทดสอบแปรชนิดไขมันพืช 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (PO) และมาร์การีน (HF)

สำหรับการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม จะใช้คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมนมสูตรทางการค้า (ตารางที่ 4.3) ที่ได้จากการทดสอบเป็นค่าต้นแบบหรือคุณลักษณะที่ต้องการในการเปรียบเทียบเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมของไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม (SPO ice cream) และไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีน (SHF ice cream)

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมนมสูตรทางการค้า (Commercial ice cream)

คุณลักษณะทางกายภาพ	
ค่าอัตราการขึ้นโฟม (%Overrun)	41.23 $\pm$ 3.04
ค่าอัตราการละลาย (Melting rate); g/min	0.43 $\pm$ 0.02
ค่าความหนืดของ mixes ก่อนบ่ม (cP)	328.89 $\pm$ 58.58
ขนาดเม็ดไขมันของ mixes ก่อนบ่ม: $d_{3,2}$ (μm)	1.62 $\pm$ 0.14
ค่าสี (value)	
L	93.68 $\pm$ 0.22
a	-3.97 $\pm$ 0.38
b	16.66 $\pm$ 0.17

4.2.1 ผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มต่อคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SPO

ตารางที่ 4.4 แสดงถึงผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มต่อคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SPO ที่ได้ ซึ่งได้แก่ขนาดเม็ดไขมันและความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม และค่าอัตราการขึ้นโฟม อัตราการละลาย และค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม (L a b) จากนั้นนำค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์จำแนกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าการตอบสนองดังแสดงในตารางที่ 4.5 และทำการตัดบางปัจจัยที่ไม่มีความสำคัญต่อการทำนายค่าการตอบสนองออกทีละปัจจัย (stepwise deletion) เพื่อให้ได้สมการแบบจำลองที่เหมาะต่อนำไปใช้ทำนายผลลัพธ์ (อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล, 2544) จากนั้นจึงสร้างสมการความสัมพันธ์ตามแบบจำลองแบบพอลีโนเมียลอันดับสอง ตามสมการที่ 1 (บทที่ 3) และประมาณค่าความแม่นยำของการนำสมการไปทำนายผลลัพธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ซึ่งโดยทั่วไปสมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจอย่างน้อย 0.75 (อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล, 2544) และพิจารณาระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการพอลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนองต่างๆ (ตารางที่ 4.6) หลังจากการวิเคราะห์

เมื่อนำผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มต่อค่าการตอบสนองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ทั้งในพจน์ของตัวแปรอันดับหนึ่ง (linear) ตัวแปรอันดับสอง (quadratic) และอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองตัวแปร (interaction) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มมีอิทธิพลต่อขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) และอัตราการละลาย

ของไอศกรีมมาก เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่ามากกว่า 0.75 ส่วนค่าการตอบสนองอื่นๆ อันได้แก่ อัตราการขึ้นโฟม และค่าสีของไอศกรีม มีอิทธิพลจากปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มน้อย ($R^2 < 0.75$) เมื่อพิจารณาจากค่า Sum of square จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนยังพบว่าทั้งสองค่าการตอบสนอง (อัตราการขึ้นโฟม และค่าสี) ของไอศกรีม ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นสมการความสัมพันธ์ที่ได้ของค่าการตอบสนองทั้งสามนี้ จึงไม่สามารถใช้เป็นสมการแบบจำลองในการทำนายค่าการตอบสนองที่ถูกต้องได้

แต่เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์รีเกรสชันตามสมการแบบจำลองพอลีโนเมียลอันดับสอง (ตารางที่ 4.6) ของค่าการตอบสนองแต่ละคุณลักษณะ พบว่าสมการแบบจำลองความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) และอัตราการละลายของไอศกรีม ไม่มีพจน์ของปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อค่าการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ยกเว้นสมการแบบจำลองของขนาดเม็ดไขมัน อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของขนาดเม็ดไขมัน (ตารางที่ 4.6) ขัดแย้งกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 4.5) ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมพบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณน้ำมันปาล์ม ทั้งในพจน์ของตัวแปรอันดับหนึ่ง อันดับสอง และอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองตัวแปรมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ต่อขนาดเม็ดไขมัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของแบบจำลองนี้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.10$) ต่อค่าขนาดเม็ดไขมัน ได้แก่ ปริมาณน้ำมันปาล์มในพจน์ตัวแปรอันดับสอง และพจน์อิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองตัวแปรเท่านั้น จะเห็นว่าค่าที่ได้มีความขัดแย้งกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์และคำนวณผลใหม่ด้วยเทคนิค Stepwise regression เพื่อให้ได้สมการแบบจำลองที่มีความแม่นยำในการทำนายค่าการตอบสนองมากขึ้น (ตารางที่ 4.7)

จากสมการแบบจำลอง Y_1 ในตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าพจน์ตัวแปรอันดับสองของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (β^2_1) มีอิทธิพลเชิงบวก พจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของปริมาณน้ำมันปาล์ม (β_2) มีอิทธิพลเชิงลบ ส่วนพจน์ตัวแปรอันดับสองของปริมาณน้ำมันปาล์ม (β^2_2) มีอิทธิพลเชิงบวก และพจน์อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม (β_{12}) มีอิทธิพลเชิงลบต่อขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำ (ก่อนบ่ม) และจากสมการแบบจำลองค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำ (Y_2) พบว่าพจน์ที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืด ได้แก่ พจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งและสองของปริมาณน้ำมันปาล์ม (β_2 และ β^2_2) ซึ่งมีอิทธิพลในเชิงลบและบวกตามลำดับ ส่วนพจน์อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม (β_{12}) มีอิทธิพลในเชิงบวก

ตารางที่ 4.4 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SPO

ตัวอย่าง	ตัวแปรอิสระ		ค่าการตอบสนอง						
	SPI (%w/w)	PO (%w/w)	ความหนืด (cP)	ขนาดเม็ดไขมัน $d_{3,2}$ (μm)	Overrun (%)	อัตราการละลาย (g/min)	ค่าสีของไอศกรีม L	a	b
Tr1	5	8	177.22±0.96^{h}	1.59±0.02^{ef}	23.96±2.87^{f}	1.78±0.01^{b}	83.93±0.96^{i}	-0.33±0.08^{fg}	10.78±0.68^{de}
Tr2	7	8	420.00±19.22^{e}	1.65±0.03^{c}	28.52±0.38^{cd}	1.99±0.01^{a}	86.55±0.73^{fg}	-0.18±0.04^{e}	11.82±0.45^{ab}
Tr3	5	12	242.26±6.35^{fg}	1.83±0.01^{b}	25.42±2.73^{ef}	0.73±0.05^{h}	88.17±0.77^{c}	-0.31±0.03^{f}	10.30±0.24^{f}
Tr4	7	12	808.33±54.82^{b}	1.64±0.01^{cd}	32.21±1.53^{ab}	1.13±0.10^{g}	87.10±0.97^{def}	0.09±0.08^{a}	11.83±0.68^{ab}
Tr5	4.586	10	145.55±3.85^{h}	1.65±0.02^{c}	29.62±0.56^{bcd}	0.80±0.02^{h}	86.96±0.43^{ef}	-0.39±0.07^{g}	9.75±0.23^{g}
Tr6	7.414	10	746.11±18.36^{b}	1.66±0.01^{c}	33.83±0.95^{a}	1.59±0.01^{cd}	90.91±0.72^{a}	-0.28±0.06^{f}	9.79±0.36^{g}
Tr7	6	7.172	316.67±24.55^{f}	1.63±0.03^{cde}	30.64±1.82^{bc}	1.62±0.02^{c}	87.34±0.51^{de}	0.06±0.10^{b}	10.75±0.21^{de}
Tr8	6	12.83	1282.78±9.76^{a}	1.94±0.07^{a}	27.13±0.42^{de}	0.81±0.17^{h}	84.89±0.59$_{h}$	0.07±0.03^{b}	12.16±0.37^{a}
Tr9	6	10	530.56±17.66^{cd}	1.66±0.01^{c}	29.43±1.10^{bcd}	1.34±0.04^{ef}	85.90±0.34^{g}	0.15±0.03^{a}	11.93±0.38^{ab}
Tr10	6	10	438.33±6.01^{e}	1.60±0.02^{def}	29.82±0.92^{bcd}	1.58±0.03^{cd}	87.10±1.10^{def}	-0.11±0.07^{de}	11.11±0.53^{cd}
Tr11	6	10	544.44±20.02^{c}	1.58±0.00^{f}	28.66±1.11^{cd}	1.45±0.03^{de}	86.56±0.80^{fg}	-0.18±0.19^{e}	11.89±0.50^{ab}
Tr12	6	10	436.11±34.00^{e}	1.54±0.00^{g}	30.25±1.84^{bc}	1.22±0.05^{fg}	87.80±0.72^{cd}	-0.05±0.08^{cd}	11.53±0.38^{bc}
Tr13	6	10	462.22±15.48^{de}	1.60±0.01^{ef}	31.39±0.46^{abc}	1.42±0.19^{e}	89.98±0.76^{b}	0.01±0.06^{bc}	10.62±0.53^{ef}

หมายเหตุ: - a, b, c, d, e, f, g, h, i เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- SPO คือ ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนตัวแปรอิสระในพจน์ของ linear quadratic และ interaction ต่อค่าการตอบสนองของไอศกรีม SPO

Source	Df	Sum of square						
		Fat droplet size	Mix viscosity	% Overrun	Melting rate	Color		
						L	a	b
Regression	5	0.1225***	912690**	49.7847	1.5776***	18.6700	0.2703*	5.5660
Linear	2	0.0575***	757552***	37.4340	1.5400***	6.2610	0.0128	0.1503
Square	2	0.0494**	129009	11.1075	0.0286	9.0050	0.2519**	5.1452**
Interaction	1	0.0156**	26129	1.2432	0.0090	3.4040	0.0056	0.2704
Residual error	7	0.0192	203978	35.9570	0.2585	22.7201	0.1085	3.4239
Lack-of-fit	3	0.0117	64439***	31.8500**	0.1872	19.6215	0.0887	3.3183**
Pure error	4	0.0075	10660	4.1070	0.0713	3.0986	0.0199	0.1056
Total	12	0.1417	1116668	85.7418	1.8361	41.3902	0.3788	8.9899
R^2		0.8647	0.8173	0.5306	0.8592	0.4511	0.7135	0.6191

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$, 0.05 และ 0.10 ตามลำดับ

- SPO: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการพอลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนองของไอศกรีม SPO

Independent variables	Regression coefficient (β)						
	Fat droplet size	Mix viscosity	% Overrun	Melting rate	Color		
					L	a	b
Constant	2.167	619.886	11.021	0.467	47.327	-7.701**	-28.090
X_1	0.072	655.198	-3.180	0.613	-0.351	2.463*	11.689**
X_2	-0.190	-658.729	4.376	-0.119	7.635	0.038	0.837
X_1^2	0.019	-71.002	0.213	-0.053	0.486	-0.186***	-0.854**
X_2^2	0.021***	26.499	-0.302	-0.011	-0.239	0.003	-0.003
$X_1 X_2$	-0.031**	40.411	0.279	0.012	-0.461	-0.019	-0.130

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$, 0.05 และ 0.10 ตามลำดับ

- SPO: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการพอลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนองของไอศกรีม SPO หลังผ่านการวิเคราะห์แบบ Stepwise regression

Independent variables	Regression coefficient (β)						
	Fat droplet size (Y_1)	Mix viscosity (Y_2)	% Overrun (Y_3)	Melting rate (Y_4)	Color		
					L (Y_6)	a (Y_7)	b (Y_8)
Constant	2.444***	2381.306*	11.021	0.442**	47.327	-7.701**	-28.090
X_1	-	-	-3.180	0.130***	-0.351	2.463*	11.689**
X_2	-0.203*	-632.695**	4.376	-	7.635	0.038	0.837
X_1^2	0.023**	-	0.213	-	0.486	-0.186***	-0.854**
X_2^2	0.021***	30.87*	-0.302	-0.0051***	-0.239	0.003	-0.003
$X_1 X_2$	-0.030**	21.115***	0.279	-	-0.461	-0.019	-0.130
R^2	0.86	0.78	0.53	0.89	0.45	0.71	0.62
Model significance	0.002	0.003	0.206	0.000	0.417	0.067	0.157

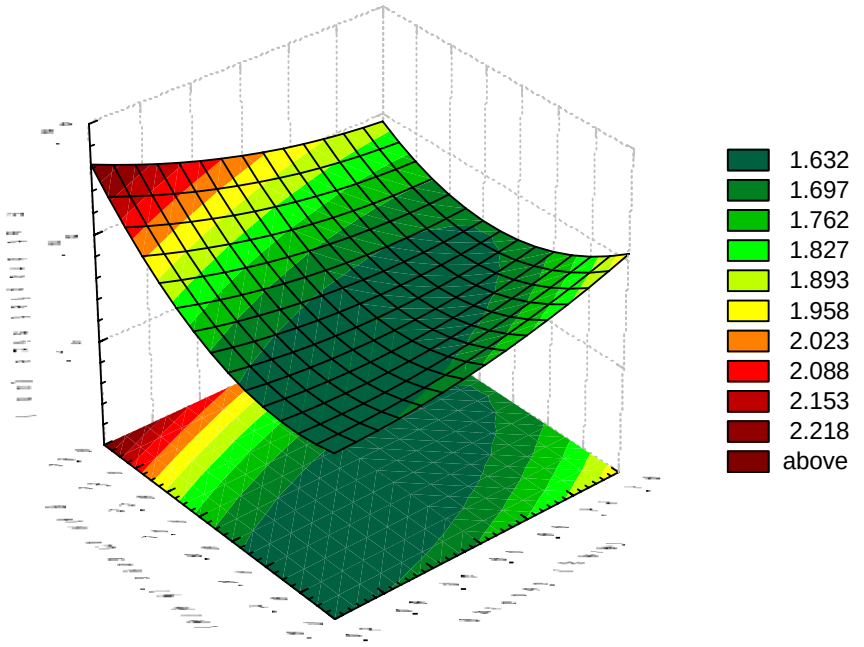
หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$, 0.05 และ 0.10 ตามลำดับ

- SPO: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม

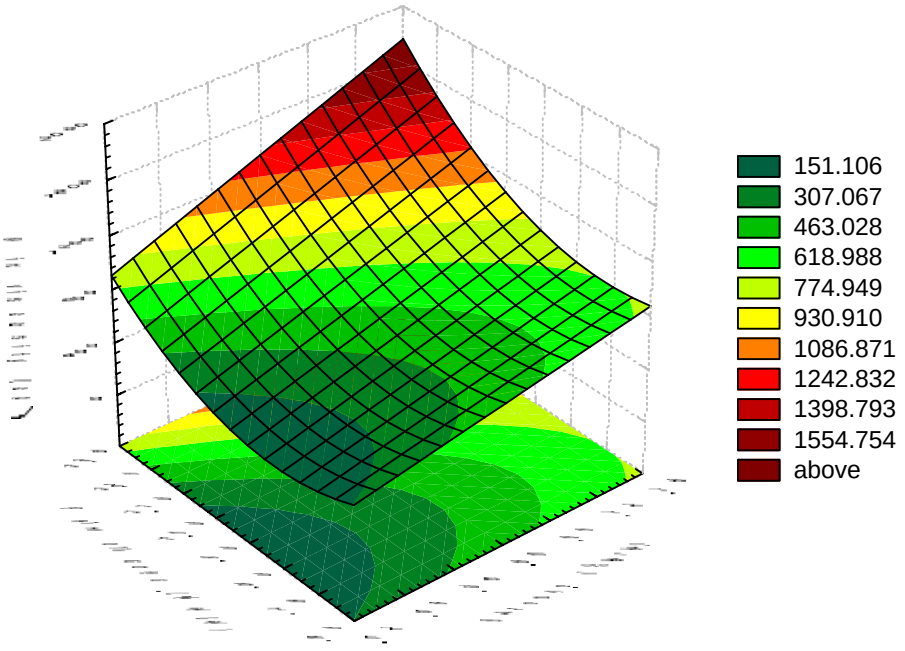
เมื่อนำสมการแบบจำลองของขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Y_1) และแบบจำลองค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Y_2) มาสร้างโครงร่างพื้นที่การตอบสนอง ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 จะเห็นว่าทั้งขนาดเม็ดไขมันและค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าทั้งสองจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีผลต่อความสามารถในการลดขนาดเม็ดไขมันในระหว่างกระบวนการโฮโมจีไนซ์ นั่นคือ ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีความหนืดสูงทำให้ความสามารถในการลดขนาดเม็ดไขมันลดลง เม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจึงมีโอกาสในการถูกลดขนาดน้อยลง นอกจากนี้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มขึ้นด้วย (Renkenma and van Viet, 2004) ทำให้โครงร่างตาข่ายของเจลโปรตีนถั่วเหลืองในโครงสร้างไอศกรีมเพิ่มมากขึ้น (Renkenma, 2001; Renkenma and van Viet, 2004) เป็นผลให้แรงต้านการไหลเพิ่มขึ้น

สำหรับอัตราการละลายของไอศกรีม SPO (สมการแบบจำลอง Y_4) พบว่าพจน์ตัวแปรที่มีอิทธิพลมีเพียงสองพจน์ คือ พจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (β_1) และ พจน์ตัวแปรอันดับสองของปริมาณน้ำมันปาล์ม (β^2_2) ซึ่งมีอิทธิพลเชิงบวกและลบตามลำดับ เมื่อพิจารณาโครงร่างพื้นที่การตอบสนองอัตราการละลายของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม (ภาพที่ 4.3) พบว่า อัตราการละลายของไอศกรีมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะ การละลายของไอศกรีม SPO นั้นไม่ได้ละลายในลักษณะของหยดเช่นเดียวกับไอศกรีมนม แต่การละลายเป็นลักษณะของก้อนเจลโปรตีนที่รวมตัวกันและไหลผ่านตะแกรงสแตนเลส จึงทำให้อัตราการละลายของไอศกรีมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันปาล์มอัตราการละลายของไอศกรีมกลับลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณโครงร่างตาข่ายของน้ำมันปาล์ม (fat network) ที่เกิดจากกระบวนการเสียความคงตัว (destabilized) ของเม็ดไขมันในโครงสร้างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทำให้การจับกับเป็นกลุ่มก้อนบางส่วน (partially-coalesced) เกิดมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการคงรูปของโครงสร้างไอศกรีมยังคงอยู่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น (Koxholt et al., 2001; Marshall et al., 2003; Muse and Hartel, 2004) โดยโครงร่างตาข่ายของน้ำมันปาล์มนั้นจะช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในโครงสร้างทำให้ผลึกน้ำแข็งละลายได้ช้าลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Koxholt et al. (2001) และการศึกษาของ Marshall et al. (2003) ซึ่งพบว่าโครงสร้างไอศกรีมที่มีปริมาณโครงร่างตาข่ายของไขมันมากส่งผลให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายลดลง โดยโครง-

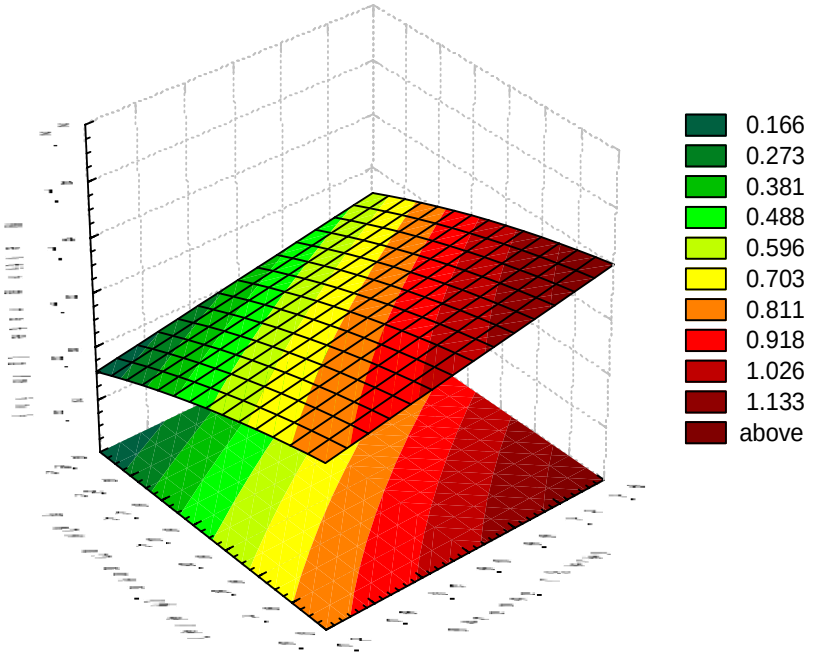
ร่างตาข่ายของไขมันจะล้อมรอบฟองอากาศและผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างไอศกรีม ทำให้ฟองอากาศมีความคงตัวต่อการไหลออกจากโครงสร้างและยังช่วยป้องกันการยุบตัว (collapse) ของฟองอากาศด้วย



ภาพที่ 4.1 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของขนาดเม็ดไขมัน (ก่อนบ่ม) สำหรับไอศกรีม SPO



ภาพที่ 4.2 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำ (ก่อนบ่ม) ไอศกรีม SPO



ภาพที่ 4.3 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย สำหรับไอศกรีม SPO

4.2.2 ผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนต่อคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SHF

จากตารางที่ 4.8 แสดงถึงผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีน (น้ำมันปาล์มร้อยละ 55 และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 27) ต่อคุณลักษณะทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ขนาดเม็ดไขมันและความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม และค่าอัตราการขึ้นโฟม อัตราการละลาย และค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF จากนั้นนำค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลองมาหาความสัมพันธ์ตามสมการแบบจำลองแบบพอลีโนเมียลอันดับสอง และประมาณค่าความแม่นยำของการนำสมการไปทำนายผลลัพธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) เป็นตัวตัดสิน จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 4.9) พบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนมีอิทธิพลต่อความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) อัตราการละลาย และค่าสี (L a b) ของไอศกรีม เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่ามากกว่า 0.75 ส่วนค่าการตอบสนองอื่นๆ ซึ่งได้แก่ ขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) และอัตราการขึ้นโฟมของไอศกรีม SHF มีอิทธิพลจากปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มน้อย ($R^2 < 0.75$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (ตารางที่ 4.10) ยังพบว่าทั้งสองค่าของการตอบสนองนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$)

ในทุกๆ พจน์ ดังนั้นสมการแบบจำลองความความสัมพันธ์ที่ได้ของค่าการตอบสนองทั้งสองนี้ไม่สามารถใช้เป็นสมการแบบจำลองในการทำนายค่าการตอบสนองที่ถูกต้องได้

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 4.9) และผลของค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (ตารางที่ 4.10) ของอัตราการละลายของไอศกรีม SHF พบว่าไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นเพื่อให้สมการแบบจำลองการตอบสนองของอัตราการละลายที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ผลและคำนวณใหม่โดยเทคนิค Stepwise regression ได้สมการแบบจำลองรีเกรสชันของอัตราการละลายดังสมการ Y_{12} (ตารางที่ 4.11) ส่วนสมการแบบจำลองรีเกรสชันของความหนืดส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) และค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF (สมการ Y_{10} Y_{14} Y_{15} และ Y_{16} ตามลำดับ) ได้มาจากการแทนค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (ตารางที่ 4.10) ลงในแบบจำลองแบบพอลีโนเมียลอันดับสอง (สมการ 4 ในบทที่ 3) เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการทำนายผลลัพธ์ของค่าการตอบสนอง และหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีม SHF ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้า (สูตรควบคุม)

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนต่อความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม (สมการ Y_{10}) พบว่าพจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของทั้งสองตัวแปร (ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การีน: β_1 และ β_2) มีอิทธิพลเชิงลบ ส่วนพจน์ตัวแปรอับดับสองของทั้งสองตัวแปร (β^2_1 และ β^2_2) และพจน์อิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองตัวแปร(β_{12}) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อค่าความหนืด ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนจากโครงร่างพื้นที่การตอบสนองของความหนืดดังภาพที่ 4.4โดยค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่มเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับแนวโน้มค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่มของไอศกรีม SPO (ภาพที่ 4.2) แต่เมื่อพิจารณาอัตราการละลาย (สมการ Y_{12}) พบว่าพจน์ที่มีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีม SHF คือ พจน์ตัวแปรอันดับสองและอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีน (β^2_1 β^2_2 และβ_{12}) และจากโครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย (ภาพที่ 4.5) จะเห็นว่าเมื่อระดับปริมาณมาร์การีนสูงกว่าร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนัก ค่าอัตราการละลาย ของไอศกรีมมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและคงที่ที่ 0.261 กรัมต่อนาที เมื่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ระดับปริมาณมาร์การีนสูงๆ โอกาสของการเกิดโครงร่างตาข่ายของไขมันในโครงสร้างไอศกรีมมีมากขึ้น จึงส่งผลให้โครงสร้างของไอศกรีมมีความคงตัวมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามที่ระดับปริมาณมาร์การีนน้อยกว่า ร้อยละ 8.5 โดยน้ำหนัก ค่าอัตราการละลายของไอศกรีม SHF จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

โครงร่างตาข่ายของเม็ดไขมันในโครงสร้างไอศกรีมน้อยลงในขณะที่โครงสร้างตาข่ายของโปรตีนถั่วเหลืองมีมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นฉนวนกันความร้อนที่เกิดจากโครงร่างตาข่ายของไขมันไม่สามารถต้านละลายของผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างไอศกรีมได้ จึงเกิดการยุบตัวของไอศกรีมส่งผลให้อัตราการละลายของไอศกรีมเพิ่มขึ้น

สำหรับสมการแบบจำลองค่าสีของไอศกรีม SHF ทั้งค่า L a และ b จะเห็นว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่สูงมากคือ 0.89 0.98 และ 0.94 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสมการแบบจำลองของค่า L (สมการ Y_{14}) พบว่าพจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การีน (β_1 และ β_2) มีอิทธิพลเชิงบวก ส่วนพจน์ตัวแปรอันดับสอง และพจน์อิทธิพลร่วมของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การีน (β^2_1 β^2_2 และβ_{12}) มีอิทธิพลเชิงลบ แต่สำหรับค่า b (สมการ Y_{15}) จะเห็นว่าพจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีน (β_1 และ β_2) มีอิทธิพลเชิงบวก และพจน์ตัวแปรอันดับสองของปริมาณโปรตีนและมาร์การีน (β^2_1 และ β^2_2) มีอิทธิพลเชิงลบ ส่วนค่า a (สมการ Y_{16}) พจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งและพจน์อิทธิพลร่วมของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การีน (β_1 β_2 และ β_{12}) มีอิทธิพลเชิงลบ ส่วนพจน์ตัวแปรอันดับสองของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การีน (β^2_1 และ β^2_2) มีอิทธิพลเชิงบวก เมื่อพิจารณาโครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่า L a b ดังแสดงในภาพที่ 4.6 ก ข และ ค จะเห็นว่าที่ระดับร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และที่ระดับร้อยละ 10.0 โดยน้ำหนักของมาร์การีน เป็นจุดที่ทำให้ค่า L และ a สูงสุด และทำให้ค่า b ต่ำสุด นั่นหมายความว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและเนยเทียมมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF มาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของสีจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีน

ตารางที่ 4.8 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SHF

ตัวอย่าง	ตัวแปรอิสระ		ค่าการตอบสนอง						
	SPI (%w/w)	PO (%w/w)	ความหนืด (cP)	ขนาดเม็ดไขมัน $d_{3,2}$ (μm)	Overrun (%)	อัตราการละลาย (g/min)	ค่าสีของไอศกรีม L	a	b
MTr1	5	8	339.45±7.52^{g}	1.48±0.00^{g}	40.31±0.85^{cd}	0.45±0.04^{c}	89.48±0.77^{cd}	-5.74±0.05^{d}	18.97±0.51^{e}
MTr2	7	8	1200.44±20.55^{d}	1.56±0.01^{g}	40.00±0.49^{d}	1.48±0.12^{b}	88.30±0.80^{e}	-5.39±0.08^{c}	20.15±0.91^{d}
MTr3	5	12	1115.56±179.62^{d}	2.57±0.02^{e}	42.45±0.68^{ab}	0.15±0.01^{ef}	90.52±0.79^{ab}	-6.40±0.11^{f}	24.68±0.24^{c}
MTr4	7	12	2997.78±247.14^{a}	5.06±0.00^{b}	34.75±0.58^{f}	0.00±0.00^{g}	87.37±1.11^{f}	-6.00±0.24^{e}	23.14±0.40^{a}
MTr5	4.586	10	669.44±26.48^{ef}	1.65±0.02^{g}	32.71±0.44^{g}	0.29±0.00^{de}	90.69±1.10^{ab}	-6.98±0.09^{h}	19.48±1.19^{d}
MTr6	7.414	10	2722.22±73.13^{b}	3.41±0.01^{d}	33.28±0.53^{fg}	1.64±0.28^{a}	87.95±1.52^{ef}	-6.35±0.07^{f}	21.93±0.49^{b}
MTr7	6	7.172	500.56±9.18^{fg}	1.64±0.02^{g}	41.60±0.27^{bc}	1.78±0.03^{a}	89.60±0.66^{cd}	-6.47±0.11^{f}	20.06±0.01^{d}
MTr8	6	12.83	2128.89±100.30^{c}	4.88±0.03^{b}	40.53±0.46^{cd}	0.08±0.01^{fg}	89.24±0.58^{d}	-6.85±0.13^{g}	22.68±0.25^{a}
MTr9	6	10	1120.00±30.87^{d}	5.60±0.51^{a}	34.55±1.31^{f}	0.22±0.04^{def}	90.16±0.88^{bc}	-1.90±0.08^{ab}	16.34±0.31^{f}
MTr10	6	10	1007.78±21.69^{d}	3.50±0.02^{d}	34.48±0.42^{f}	0.23±0.04^{def}	90.17±0.42^{bc}	-1.81±0.06^{a}	16.07±0.43^{fg}
MTr11	6	10	1121.11±179.89^{d}	3.89±0.02^{c}	41.18±1.34^{bcd}	0.22±0.01^{def}	91.19±0.48^{a}	-1.85±0.06^{ab}	15.65±0.40^{gh}
MTr12	6	10	1079.44±204.11^{d}	1.74±0.03^{g}	38.18±0.34^{e}	0.35±0.00^{cd}	90.13±0.47^{bc}	-1.90±0.06^{ab}	16.50±0.53^{f}
MTr13	6	10	795.56±25.07^{e}	2.32±0.02^{f}	43.78±1.50^{a}	0.25±0.04^{de}	91.29±0.35^{a}	-1.99±0.32^{b}	15.33±0.31^{h}

หมายเหตุ: - a, b, c, d, e, f, g, h เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- SHF: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนจาก 55% น้ำมันปาล์มและ 27% น้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ (ANOVA) ของตัวแปรอิสระในพจน์ของ linear quadratic และ interaction ต่อค่าการตอบสนองของไอศกรีม SHF

Source	Df	Sum of square						
		Fat droplet size	Mix viscosity	Overrun %	Melting rate	Color		
						L	a	b
Regression	5	16.9165	6957301***	88.1005	4.2180***	15.8342***	59.8378***	112.7360***
Linear	2	13.7150**	726125***	9.1601	3.1607***	8.4351***	0.7450	20.4422***
Square	2	1.7495	260728***	65.2873	0.7092*	6.4288***	59.0922***	90.4442***
Interaction	1	1.4520	7944153***	13.6530	.3481*	0.9702*	0.0006	1.8496
Residual error	7	9.1158	103473	87.9593	0.5591	1.9053	1.3087	6.8541
Lack-of-fit	3	0.1042	29308	21.0550	0.5470*	0.4825	1.2905***	5.9146**
Pure error	4	9.0116	74165	66.9043	0.0121	1.4229	0.0182	0.9395
Total	12	9.1158	8047326	176.0598	4.7771	17.7395	61.1465	119.5901
R^2		0.6498	0.9871	0.5004	0.8830	0.8926	0.9786	0.9427

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01, 0.05$ และ 0.10 ตามลำดับ

- SHF: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและเนยเทียมจาก 55% น้ำมันปาล์ม และ 27% น้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการพอลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนองของไอศกรีม SHF

Independent variables	Regression coefficient (β)						
	Fat droplet size (Y_1)	Mix viscosity (Y_2)	Overrun % (Y_3)	Melting rate (Y_4)	Color		
					L (Y_6)	a (Y_7)	b (Y_8)
Constant	-9.232	15704.000** *	-37.907	6.656	37.883**	-135.312***	148.647***
X_1	3.584	-4321.734***	33.933	-1.160	10.404***	26.456***	-26.672***
X_2	-0.575	-1071.012***	-4.263	-0.532	4.939***	10.801***	-11.539***
X_1^2	-0.497	312.586***	-2.133	0.247*	-0.747***	-2.193***	2.538***
X_2^2	-0.033	30.494**	0.476	0.058*	-0.174***	-0.548***	0.718***
$X_1 X_2$	-0.301	127.654***	-0.924	-0.148*	-0.246*	-2.193	-0.340

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$, 0.05 และ 0.10 ตามลำดับ

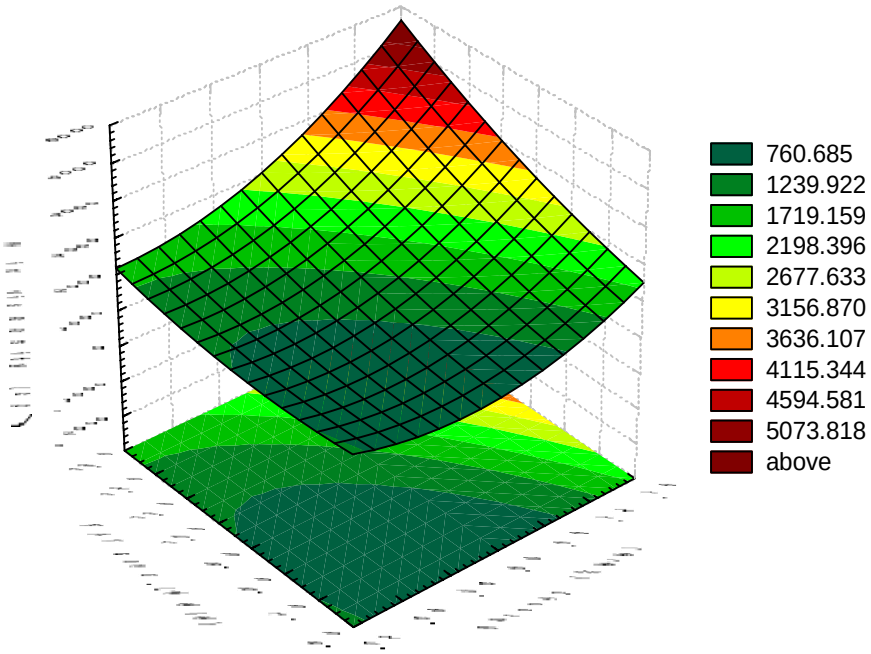
- SHF: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและเนยเทียมจาก 55% น้ำมันปาล์ม และ 27% น้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการพอลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนองของไอศกรีม SHF หลังผ่านการวิเคราะห์แบบ Stepwise regression

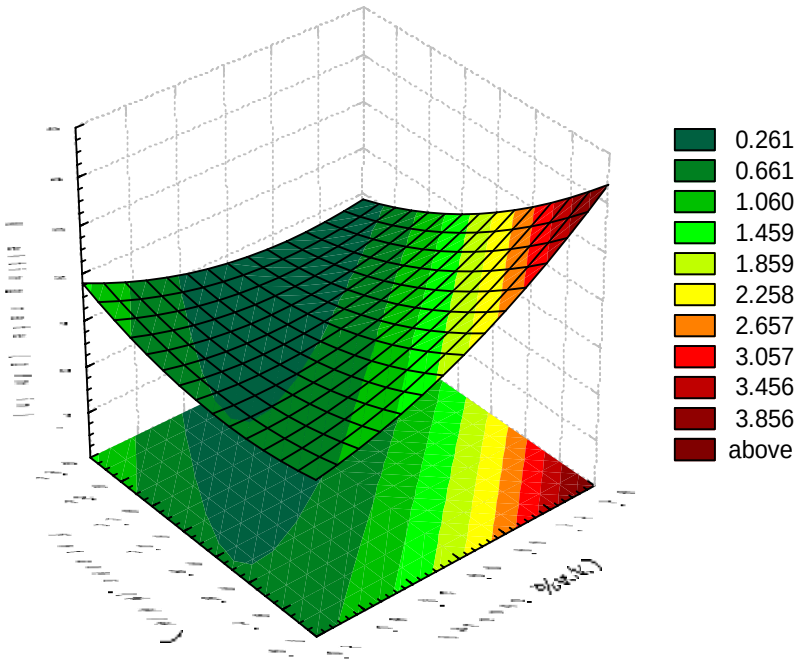
Independent variables	Regression coefficient (β)						
	Fat droplet size (Y_9)	Mix viscosity (Y_{10})	Overrun % (Y_{11})	Melting rate (Y_{12})	Color		
					L (Y_{14})	a (Y_{15})	b (Y_{16})
Constant	-9.232	15704.00***	-37.907	0.564*	-135.31***	148.647***	37.833**
X_1	3.584	-4321.73***	33.933	-	26.456***	-26.672***	10.404***
X_2	-0.575	-1071.01***	-4.263	-	10.80***	-11.539***	4.939***
X_1^2	-0.497	312.59***	-2.133	0.189***	-2.193***	2.538***	-0.747***
X_2^2	-0.033	30.49**	0.476	0.044**	-0.548***	0.718***	-0.174***
$X_1 X_2$	-0.301	127.65***	-0.924	0.191***	-2.193	-0.340	-0.266*
R^2	0.65	0.99	0.50	0.87	0.98	0.94	0.89
Model significance	0.123	0.000	0.330	0.000	0.000	0.000	0.003

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$, 0.05 และ 0.10 ตามลำดับ

- SHF: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและเนยเทียมจาก 55% น้ำมันปาล์ม และ 27% น้ำมันมะพร้าว

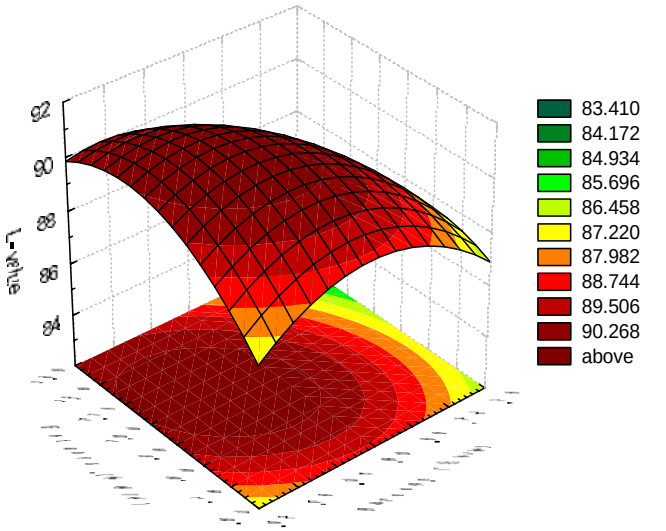


ภาพที่ 4.4 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่าความหนืดในส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม สำหรับไอศกรีม SHF

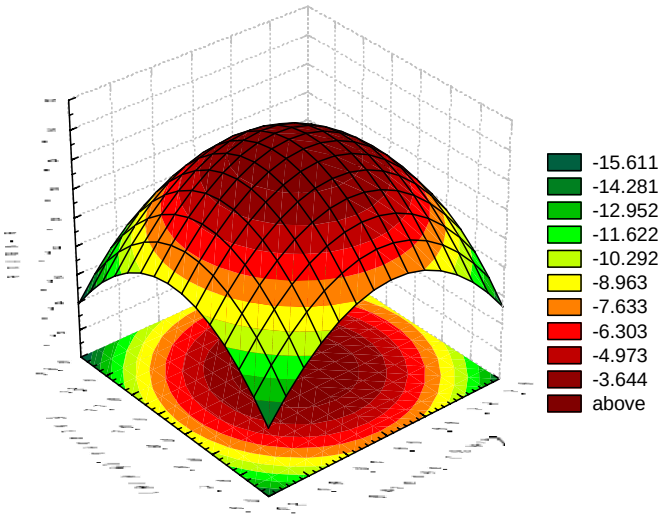


ภาพที่ 4.5 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย สำหรับไอศกรีม SHF

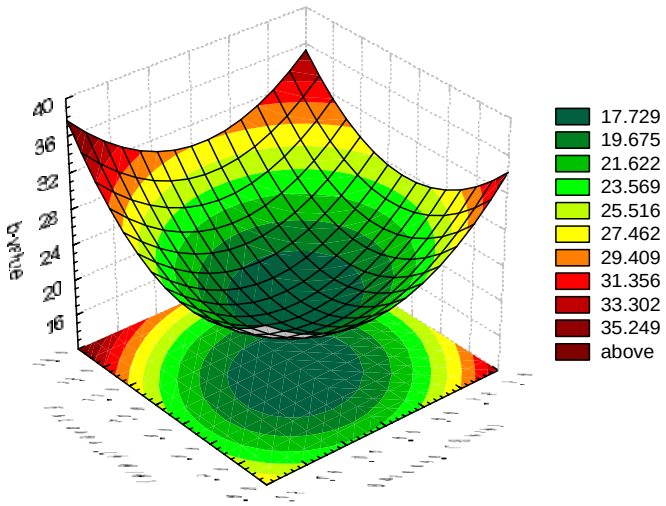
ก.)



ข.)



ค.)



ภาพที่ 4.6 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่า L (ก) a (ข) และ b (ค) สำหรับไอศกรีม SHF

4.2.3 สูตรที่เหมาะสมสำหรับไอศกรีม SPO และ SHF

จากผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการตอบสนองคุณลักษณะต่างๆ ของไอศกรีมทั้งสองชนิด (SPO และ SHF) พบว่าไอศกรีมทั้งสองชนิดมีสมการรีเกรสชันแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้ได้จริงและมีความแม่นยำต่อการทำนายผลลัพธ์ที่ต่างกัน คือ สมการรีเกรสชันที่เหมาะสมของไอศกรีม SPO ได้แก่ สมการรีเกรสชันของขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) ค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) และอัตราการละลาย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.86 0.78 และ 0.89 ตามลำดับ

ส่วนสมการรีเกรสชันที่ใช้ได้จริงของไอศกรีม SHF ได้แก่ สมการรีเกรสชันของค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) อัตราการละลาย และค่าสี (L a b) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.99 0.87 0.89 0.98 และ 0.94 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 ค่าการทำนายจากสมการรีเกรสชันและค่าจริงจากการทดลองของค่าการตอบสนองต่างๆ ที่สูตรที่เหมาะสมของไอศกรีม SPO และ SHF

ค่าการตอบสนอง	ค่าการทำนายจากสมการรีเกรสชัน	ค่าจริงจากการทดลอง ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
ไอศกรีม SPO		
ขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม (μm)	1.74	1.54 $\pm$ 0.02
ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม (cP)	285.96	270.00 $\pm$ 9.28
อัตราการละลาย (g/min)	0.48	0.59 $\pm$ 0.01
ไอศกรีม SHF		
ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม (cP)	437.04	460.56 $\pm$ 7.58
อัตราการละลาย (g/min).	0.42	0.40 $\pm$ 0.01
ค่าสี L	90.39	91.00 $\pm$ 0.44
a	-4.68	-3.73 $\pm$ 0.14
b	16.78	13.35 $\pm$ 0.65

เมื่อแก้สมการเพื่อหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SPO จากสมการรีเกรสชันทั้ง 3 (สมการ Y_1 Y_2และ Y_4) พบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนัก และปริมาณน้ำมันปาล์มที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 11.0 โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนที่เหมาะสมต่อการผลิต

ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF ซึ่งได้จากการแก้สมการรีเกรสชันทั้ง 5 (สมการ Y_{10} Y_{12} Y_{14} Y_{15} และ Y_{16}) พบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก และปริมาณมาร์การีน ที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 8.6 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสูตรที่เหมาะสมที่ทำให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทั้งสองชนิดมีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้ามากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากการทำนายจากสมการรีเกรสชันและค่าจริงจากการทดลอง (ตารางที่ 4.12) จะเห็นว่าค่าทั้งสองนี้ของคุณลักษณะทางกายภาพต่างๆของไอศกรีม SPO และ SHF ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ค่าคุณลักษณะที่ได้ทั้งสองค่า (ค่าจริงจากการทดลองและค่าจากการทำนายของสมการรีเกรสชัน) ยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมนมสูตรควบคุม (ตารางที่ 4.3) นั่นหมายความว่าสมการแบบจำลองพอลีโนเมียลอันดับสองของแต่ละค่าการตอบสนองที่ใช้ในการทำนายค่าการตอบสนองต่างๆของไอศกรีมทั้งสองชนิดนั้นใช้งานได้จริงและมีความเหมาะสมต่อการนำมาทำนายเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมจริง

4.3 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SPO และ SHF จากสูตรที่เหมาะสม

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทั้งหมด 5 สูตร คือ 1) SHF:สูตรไอศกรีมที่ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีน 2) SPO: สูตรไอศกรีมที่ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม 3) Control: สูตรควบคุมเป็นไอศกรีมนมสูตรทางการค้า 4) Milk1: สูตรไอศกรีมนมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับสูตร SHF และ 5) Milk2: สูตรไอศกรีมนมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับสูตร SPO โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ hedonic scale จำนวน 9 ระดับการยอมรับ กับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย 2 กลุ่ม (1. กลุ่มหญิงที่มีอายุอยู่ในช่วงก่อนและช่วงวัยหมดประจำเดือน และ 2. กลุ่มผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุในช่วง 18-28 ปี) กลุ่มละ 40 คน พบว่าผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 1 ส่วนใหญ่เป็นหญิงที่มีอายุ 35-39 ปี ร้อยละ 47.5 รองลงมาเป็นหญิงที่มีอายุ 40-50 ปี และหญิงที่มีอายุมากกว่า 50 ปี โดยคิดเป็นร้อยละ 35.0 และ 17.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) และผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 2 ส่วนใหญ่เป็นหญิงที่มีอายุ 18-28 ปี (ร้อยละ 77.1) และรองลงเป็นชายที่มีอายุ 18-28 ปี (ร้อยละ 20.8) (ตารางที่ 4.14)

ในด้านข้อมูลเกี่ยวพฤติกรรมการบริโภคของผู้ทำการทดสอบกลุ่มเป้าหมายที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.15 พบว่าในการบริโภคอาหารหรือเครื่องดื่มในแต่ละครั้งนั้นผู้บริโภคกลุ่มนี้จะคำนึงถึงประโยชน์ต่อสุขภาพเป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 52.5) รองลงมาจะคำนึงถึงรสชาติและความอร่อยของผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ 45.0) ส่วนความถี่ในการบริโภคผลิตไอศกรีมอยู่ที่ 1-2 ครั้งต่อเดือน (ร้อยละ 35.0) และ 3-4 ครั้งต่อเดือน (ร้อยละ 27.5) ส่วนระดับความชอบของผู้บริโภคต่ออาหารหรือเครื่องดื่มที่ทำจากถั่วเหลือง พบว่ามีความชอบอยู่ในระดับชอบร้อยละ 45.0 และชอบมากร้อยละ

22.0 ความถี่ส่วนใหญ่ในการบริโภคอาหารหรือเครื่องดื่มจากถั่วเหลือง พบว่าความถี่มากกว่า 4 ครั้งต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 35.0 รองลงมาที่ความถี่ 1-2 ครั้งต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 25.0 ที่ความถี่ 3-4 ครั้งต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 20.0 และความถี่ในการบริโภคเกือบทุกวัน คิดเป็นร้อยละ 12.5

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 1 ที่ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ความถี่ร้อยละ
เพศ	
หญิง	100
อายุ	
35 - 39 ปี	47.5
40 – 50 ปี	35.0
มากกว่า 50 ปี	17.5

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 2 ที่ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ความถี่ร้อยละ
เพศ	
หญิง	79.2
ชาย	20.8
อายุ	
ต่ำกว่า 18 ปี	2.1
18-28 ปี	97.9

สำหรับข้อมูลด้านพฤติกรรมการบริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 2 (ตารางที่ 4.16) พบว่าในการเลือกบริโภคอาหารหรือเครื่องดื่มในแต่ละครั้งนั้นผู้บริโภคกลุ่มนี้จะคำนึงถึงรสชาติความอร่อยเป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 56.3) รองลงมาคือประโยชน์ต่อสุขภาพ (ร้อยละ 20.8) ส่วนความถี่ในการบริโภคผลิตภัณฑ์ไอศกรีมอยู่ที่ มากกว่า 4 ครั้งต่อเดือนเป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 39.6) รองลงมาอยู่ที่ 3-4 ครั้งต่อเดือน (ร้อยละ 27.1) และที่ 1-2 ครั้งต่อเดือน (ร้อยละ 25.0) ตามลำดับ และความถี่น้อยกว่า 1 ครั้งต่อเดือน มีเพียงร้อยละ 8.3 สำหรับระดับความชอบของผู้บริโภคต่ออาหารหรือเครื่องดื่มที่ทำจากถั่วเหลือง พบว่า ผู้บริโภคมีระดับความชอบอยู่ที่ชอบร้อยละ 39.6 และชอบมากคิดเป็น

ร้อยละ 27.1 ส่วนความถี่ในการบริโภคอาหารหรือเครื่องดื่มที่ทำจากถั่วเหลืองของผู้บริโภคกลุ่มนี้พบว่ามีความถี่มากกว่า 4 ครั้งต่อเดือน (ร้อยละ 37.5) และ 1-2 ครั้งต่อเดือน (ร้อยละ 31.3) เป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 1 ที่ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ข้อมูลสำรวจ	ความถี่ (ร้อยละ)
สิ่งที่พิจารณาอันดับแรกในการบริโภคอาหาร/เครื่องดื่ม	
ประโยชน์ต่อสุขภาพ	52.5
ปริมาณแคลอรี่	2.5
รสชาติ/ความอร่อย	45.0
ความถี่ในการบริโภคไอศกรีม	
น้อยกว่า 1 ครั้ง/เดือน	17.5
1-2 ครั้ง / เดือน	35.0
3-4 ครั้ง / เดือน	27.5
มากกว่า 4 ครั้ง / เดือน	17.5
ไม่ทานเลย	2.5
ความชอบในการบริโภคอาหาร/เครื่องดื่มจากถั่วเหลือง	
ไม่ชอบเลย	-
ชอบเล็กน้อย	15.0
ชอบ	45.0
ชอบมาก	22.5
ชอบที่สุด	17.5
ความถี่ในการบริโภคอาหาร/เครื่องดื่มจากถั่วเหลือง	
น้อยกว่า 1 ครั้ง/เดือน	7.5
1-2 ครั้ง/เดือน	25.0
3-4 ครั้ง/เดือน	20.0
มากกว่า 4 ครั้ง/เดือน	35.0
เกือบทุกวัน	12.5

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 2 ที่ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ข้อมูลสำรวจ	ความถี่ (ร้อยละ)
สิ่งที่พิจารณาอันดับแรกในการบริโภคอาหาร/เครื่องดื่ม	
ประโยชน์ต่อสุขภาพ	20.8
ปริมาณแคลอรี่	6.3
รสชาติ/ความอร่อย	56.3
ทุกเหตุผลข้างต้น	16.7
ความถี่ในการบริโภคไอศกรีม	
น้อยกว่า 1 ครั้ง/เดือน	8.3
1-2 ครั้ง/เดือน	25.0
3-4 ครั้ง/เดือน	27.1
มากกว่า 4 ครั้ง/เดือน	39.6
ความชอบในการบริโภคอาหาร/เครื่องดื่มจากถั่วเหลือง	
ไม่ชอบเลย	8.3
ชอบเล็กน้อย	18.8
ชอบ	39.6
ชอบมาก	27.1
ชอบที่สุด	6.3
ความถี่ในการบริโภคอาหาร/เครื่องดื่มจากถั่วเหลือง	
น้อยกว่า 1 ครั้ง/เดือน	10.4
1-2 ครั้ง/เดือน	31.3
3-4 ครั้ง/เดือน	16.7
มากกว่า 4 ครั้ง/เดือน	37.5
เกือบทุกวัน	4.2

เมื่อทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคทั้งสองกลุ่มนี้ พบว่าผู้บริโภคทั้งสองกลุ่มมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันดังนี้ การบริโภคอาหารผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายกลุ่มที่ 1 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหญิงที่มีอายุในช่วงก่อนและหลังวัยหมดประจำเดือนจะคำนึงถึงประโยชน์ต่อสุขภาพเป็นอันดับแรก แต่ผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 2 ซึ่งส่วนใหญ่มีอายุในช่วง 18-28 ปี จะคำนึงถึงรสชาติและความอร่อยของอาหารเป็นอันดับแรก สำหรับความชอบต่ออาหารที่ทำจากถั่วเหลืองของ

ผู้บริโภคทั้งสองกลุ่มนั้นใกล้เคียงกัน โดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระดับชอบถึงชอบมาก นั่นหมายความว่าช่วงอายุของผู้บริโภคจะมีผลต่อการตัดสินใจเลือกรับประทานอาหาร

สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสไอศกรีมทั้ง 5 สูตรของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายทั้งสองกลุ่ม (ตารางที่ 4.17 และ 4.18) พบว่า คะแนนการยอมรับเฉลี่ยในทุกคุณลักษณะ (ลักษณะปรากฏ รสชาติ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความรู้สึกหลังรับประทาน และ ความพอใจโดยรวม) ของผู้บริโภคทั้งสองกลุ่มเป้าหมายต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทั้ง 5 สูตร นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั่นหมายความว่าปริมาณของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ปริมาณโปรตีนนม ปริมาณไขมันพืช ปริมาณไขมันนม ชนิดของไขมัน และชนิดของโปรตีน มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้ และพบว่าไอศกรีมสูตรควบคุมมีคะแนนการยอมรับสูงที่สุดในทุกคุณลักษณะทั้งในผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 1 และผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ 2 โดยมีคะแนนการยอมรับโดยรวมเท่ากับ 7.13 (ชอบปานกลาง-ชอบมาก) และ 6.71 (ชอบเล็กน้อย-ชอบปานกลาง) ตามลำดับ สำหรับไอศกรีมถั่วเหลืองสูตร SHF จะมีค่าคะแนนการยอมรับในทุกด้านที่สูงกว่าไอศกรีมถั่วเหลืองสูตร SPO อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในผู้บริโภคทั้งสองกลุ่มเป้าหมาย โดยคะแนนการยอมรับโดยรวมของไอศกรีม SHF เท่ากับ 5.53 (เฉยๆ-ชอบเล็กน้อย) และ 5.56 (เฉยๆ-ชอบเล็กน้อย) สำหรับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย 1 และ 2 ตามลำดับ และคะแนนการยอมรับโดยรวมของไอศกรีม SPO เท่ากับ 4.25 (ไม่ชอบเล็กน้อย-เฉยๆ) และ 3.79 (ไม่ชอบปานกลาง-ไม่ชอบเล็กน้อย) สำหรับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย 1 และ 2 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าคะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมถั่วเหลืองที่ได้ที่ได้ทั้งสองสูตรยังคงอยู่ในระดับที่ต่ำ คือ ระดับการยอมรับของไอศกรีมถั่วเหลืองสูตร SHF อยู่ในช่วงเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย และระดับการยอมรับของไอศกรีมถั่วเหลืองสูตร SPO อยู่ในช่วง ไม่ชอบปานกลางถึงเฉยๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลิ่นรสของถั่วเหลืองที่ยังคงมีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม โดยเฉพาะกลิ่นถั่ว (beany) กลิ่นเหม็นเขียว (greeny) ทำให้ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ทำจากถั่วเหลืองเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.17 คะแนนการยอมรับของกลุ่มเป้าหมาย 1 (กลุ่มหญิงที่มีอายุอยู่ในช่วงก่อนและช่วงวัยหมดประจำเดือน ซึ่งมีอายุ 35 ปีขึ้นไป จำนวน 40 คน)

คุณลักษณะ	คะแนนการยอมรับ				
	SHF	SPO	Control	Milk1	Milk2
1. ลักษณะปรากฏ					
• สี	5.80 ^{b}	4.43 ^{c}	7.55 ^{a}	7.43 ^{a}	7.40 ^{a}
• ความเรียบเนียนของผิวหน้า	6.23 ^{b}	3.83 ^{c}	7.60 ^{a}	7.53 ^{a}	6.65 ^{b}
2. รสชาติ					
• ความหวาน	5.68 ^{b}	4.50 ^{c}	7.10 ^{a}	6.25 ^{ab}	5.98 ^{b}
•ความมัน	5.38 ^{b}	4.18 ^{c}	7.05 ^{a}	6.13 ^{b}	5.68 ^{b}
3. กลิ่นรส (Flavor)	4.83 ^{bc}	3.95 ^{c}	6.38 ^{a}	6.30 ^{a}	5.25 ^{b}
4. เนื้อสัมผัส					
• ความแน่นเนื้อ	6.40 ^{b}	5.30 ^{c}	7.43 ^{a}	6.73 ^{ab}	6.45 ^{b}
• การละลายของผลิตภัณฑ์ในปาก	6.28 ^{b}	5.08 ^{c}	7.10 ^{a}	6.88 ^{ab}	6.40 ^{ab}
• ความรู้สึกสากลิ้นเหมือนมีเม็ดทราย (sandiness)	5.65 ^{a}	4.60 ^{b}	6.53 ^{a}	5.73 ^{a}	5.75 ^{a}
5. ความรู้สึกตกค้างหลังการรับประทาน (aftertaste)	5.35 ^{b}	4.13 ^{c}	6.58 ^{a}	6.08 ^{ab}	5.35 ^{b}
6. ความพอใจโดยรวมต่อตัวอย่างไอศกรีม (overall acceptance)	5.53 ^{c}	4.25 ^{d}	7.13 ^{a}	6.43 ^{ab}	5.68 ^{bc}

หมายเหตุ: a, b, c, d เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 คะแนนการยอมรับของกลุ่มเป้าหมาย 2 (ผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุในช่วง 18-28 ปี)

คุณลักษณะ	คะแนนการยอมรับ				
	SHF	SPO	Milk	MHF	MPO
1. ลักษณะปรากฏ					
• สี	5.69 ^{b}	3.48 ^{c}	6.85 ^{a}	7.35 ^{a}	6.83 ^{a}
• ความเรียบเนียนของผิวหน้า	6.08 ^{c}	3.38 ^{d}	7.29 ^{a}	6.98 ^{ab}	6.35 ^{bc}
2. รสชาติ					
• ความหวาน	5.00 ^{b}	4.15 ^{c}	6.17 ^{a}	6.46 ^{a}	5.38 ^{b}
•ความมัน	5.04 ^{a}	4.04 ^{b}	5.75 ^{a}	5.81 ^{a}	5.15 ^{a}
3. กลิ่นรส (Flavor)	4.85 ^{bc}	4.25 ^{c}	6.42 ^{a}	6.21 ^{a}	5.13 ^{b}
4. เนื้อสัมผัส					
• ความแน่นเนื้อ	6.38 ^{ab}	4.42 ^{c}	6.90 ^{a}	6.48 ^{ab}	5.88 ^{b}
• การละลายของผลิตภัณฑ์ในปาก	6.35 ^{ab}	5.00 ^{c}	7.00 ^{a}	6.46 ^{ab}	6.06 ^{b}
• ความรู้สึกสากลิ้นเหมือนมีเม็ดทราย (sandiness)	5.96 ^{ab}	4.77 ^{c}	6.48 ^{a}	6.15 ^{ab}	5.60 ^{b}
5. ความรู้สึกตกค้างหลังการรับประทาน (aftertaste)	5.21 ^{ab}	3.96 ^{c}	6.00 ^{a}	5.85 ^{a}	5.04 ^{b}
6. ความพอใจโดยรวมต่อตัวอย่างไอศกรีม (overall acceptance)	5.56 ^{b}	3.79 ^{c}	6.71 ^{a}	6.65 ^{a}	5.58 ^{b}

หมายเหตุ: a, b, c, d เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4 ผลการศึกษาโครงสร้างไอศกรีมในระดับจุลภาค

4.5.1 การศึกษาปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มด้วยเทคนิค SDS-PAGE

จากการศึกษาผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) และปริมาณไขมัน (fat) ต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวเม็ดไขมันในโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้เทคนิคการหาพื้นที่การตอบสนอง (Response Surface Methodology) และแผนการทดลองแบบ CCD (Central Composite Design) จำนวน 13 สิ่งการทดลอง เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรที่ศึกษาตามแบบจำลองแบบโพลีโนเมียลอันดับสอง (สมการที่ 1 ในบทที่ 3) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรดังแสดงใน ตารางที่ 4.19 เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ มีค่าสูงเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ และค่า Lack of fit ของสมการทั้งสอง (SPO และ SHF) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั่นหมายความว่าแผนการทดลองที่ใช้ในการทดสอบมีความเหมาะสมหรือสามารถนำสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรได้ (Ünal, Metin, and Işikli, 2003; Bourtoom, Chinan, Jantawat, and Sanguandeekul, 2006)

ตารางที่ 4.19 ค่าสัมประสิทธิ์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนทั้งหมดที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน ($mg.m^{-2}$) กับปริมาณ SPI (X_1) และปริมาณไขมัน (X_2) สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF

Independent variables	Regression coefficient (β)	
	SPO (Y_{17})	SHF (Y_{18})
Constant	11.989	21.337
X_1	-0.836	2.218
X_2	-1.853*	-6.233**
X_1^2	0.174	-0.376
X_2^2	0.129***	0.277
$X_1 X_2$	-0.095	0.282
R^2	0.813	0.887
Lack of fit (P-value)	0.497	0.117
Model significance (P-value)	0.017	0.003

หมายเหตุ: ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$, 0.05 และ 0.10 ตามลำดับ

จากข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 4.19) สามารถนำมาเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้นี้

SPO ice cream mix:

$$\text{Protein surface coverage } (mg.m^{-2}) = 11.989-0.836(SPI)-1.853(PO)+0.174(SPI)^2 +0.129(PO)^2- 0.095(SPI\cdot PO);\ R^2 = 0.813 \quad (Y_{17})$$

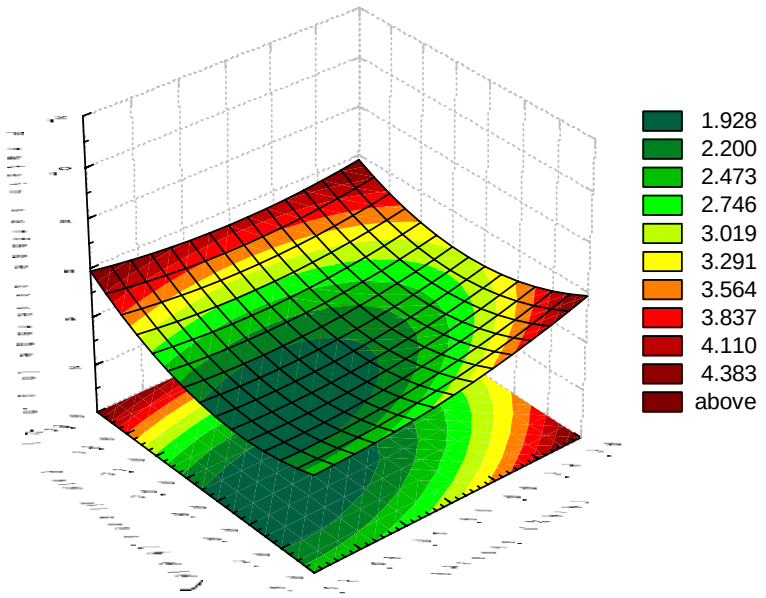
SHF ice cream mix:

$$\text{Protein surface coverage } (mg.m^{-2}) = 21.337+2.218(SPI)-6.233(HF)-0.376(SPI)^2 +0.277(HF)^2+0.282(SPI\cdot PO);\ R^2 = 0.887 \quad (Y_{18})$$

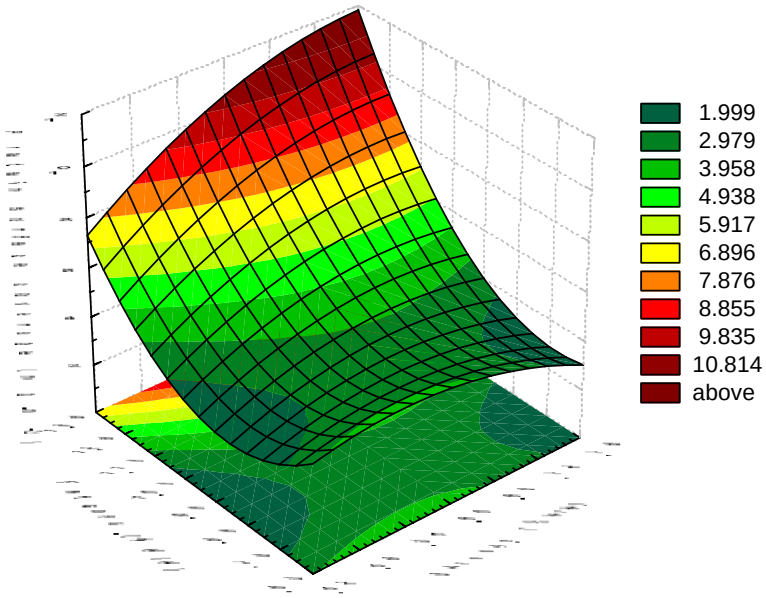
และเมื่อนำสมการแบบจำลองทั้งสองสมการ (Y_{17} และ Y_{18}) มาสร้างโครงร่างพื้นที่การตอบสนองดังแสดงในภาพที่ 4.7 และ 4.8 สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมถั่วเหลืองที่ได้จากน้ำมันปาล์ม (SPO) และมาร์การีน (SHF) ตามลำดับ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าพฤติกรรมของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ถูกดูดซับและล้อมรอบบริเวณผิวเม็ดไขมันทั้งสองชนิดนั้นมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันคือ ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวเม็ดไขมันจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น แต่มาร์การีน (HF) จะมีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวเม็ดไขมันมากกว่าน้ำมันปาล์มอย่างมาก

อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการดูดซับโปรตีนบนผิวเม็ดไขมันทั้งสองชนิดยังมีข้อแตกต่าง คือ ที่ระดับความเข้มข้นของไขมันสูงกว่าร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มขึ้นแทบจะไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของน้ำมันปาล์มสำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO แต่ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF นั้นปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดกลับมีผลมากต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของมาร์การีน โดยปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของมาร์การีนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของมาร์การีนในช่วงร้อยละ 6.5-10.5 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดแทบไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน (รูปที่ 4.8) แต่กลับมีผลเล็กน้อยในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO นั่นหมายความว่าชนิดของไขมันมีผลต่อความสามารถในการดูดซับโปรตีนถั่วเหลืองบนผิวเม็ดไขมัน ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Granger et al. (2003) ซึ่งศึกษาผลของความอิ่มตัวและธรรมชาติของไขมันและอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมทางเคมีกายภาพ (physicochemical behavior) ของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำที่มีโปรตีนนมเป็นส่วนประกอบ พบว่าในระบบอิมัลชันที่มีอิมัลซิไฟเออร์ผสมชนิดโมโน-/ได-กลีเซอร์ไรด์แบบอิ่มตัว (saturated mono-/di-glycerides) เป็นส่วนประกอบ

ส่งผลให้ระบบอิมัลชันที่มีไขมันที่มีความอิ่มตัวสูงมีปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันมากกว่าระบบอิมัลชันที่มีไขมันที่มีความอิ่มตัวต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากไขมันที่มีความอิ่มตัวในโครงสร้างสูงจะมีความเป็นไฮโดรโฟบิกสูง และในโครงสร้างของโปรตีนนมมีส่วนของไฮโดร-โฟบิก จึงเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) ระหว่างโปรตีนนมและสายไฮโดรคาร์บอนของไขมันขึ้น (McClements, 2005) แต่สำหรับระบบอิมัลชันที่มีอิมัลซิไฟเออร์ผสมชนิดโมโน-/ได-กลีเซอร์ไรด์แบบกึ่งอิ่มตัว (partially unsaturated mono-/di-glycerides) เป็นส่วนประกอบนั้น ชนิดหรือธรรมชาติของไขมันไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่เกาะบนผิวเม็ดไขมัน (Granger, Barley, Combe, Veschambre, and Cansell, 2003) แต่หลังการบ่มอิมัลชันไว้ที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนเม็ดไขมันในระบบอิมัลชันที่มีอิมัลซิไฟเออร์ทั้งแบบอิ่มตัวและกึ่งอิ่มตัวลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและโปรตีน (protein-protein interaction) ทำให้เกิดการรวมตัวกันเองของโปรตีนนม (aggregation) ส่งผลให้เกิดการแทนที่ของโปรตีนนมด้วยอิมัลซิไฟเออร์ที่บริเวณผิวเม็ดไขมัน ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างเม็ดไขมันกับส่วนที่เป็นไขมันของอิมัลซิไฟเออร์ที่มีความแรงของอันตรกิริยามากกว่าอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและไขมัน (Dalgleish, 2004) แต่จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของมาร์การีนมีมากกว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดน้ำมันปาล์มที่ระดับความเข้มข้นของไขมันเท่ากันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ตารางภาคผนวกที่ 2 ในภาคผนวก ข) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความอิ่มตัวของมาร์การีนมีมากกว่าน้ำมันปาล์ม (พิจารณาชนิดกรดไขมันในมาร์การีนและน้ำมัน ในตารางภาคผนวกที่ 1) ส่งผลให้อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับมาร์การีนมีมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองกับน้ำมันปาล์ม หรืออาจเป็นผลมาจากอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ทะวีน 80 หรือ polyoxyethylene (20 EO) sorbitan monooleate ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์แบบไฮโดรฟิลิก (HLB ประมาณ 11.5) ส่งผลให้มีความสามารถในการเข้าแทนที่โปรตีนถั่วเหลืองบนผิวเม็ดไขมันของน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าที่ผิวเม็ดไขมันของมาร์การีน อาจเนื่องมาจากความอิ่มตัวในโครงสร้างของน้ำมันปาล์มมีปริมาณน้อยกว่ามาร์การีน และอุณหภูมิในการเกิดผลึกไขมันต่ำกว่าอุณหภูมิในการบ่ม (ภาพภาคผนวกที่ 1) ดังนั้นในระหว่างกระบวนการบ่มส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ 4 องศาเซลเซียสจะทำให้เม็ดไขมันของน้ำมันปาล์มมีความเป็นผลึกน้อยกว่ามาร์การีน ทำให้ทะวีน 80 สามารถเข้าแทนที่บนพื้นผิวเม็ดน้ำมันปาล์มได้ดี เนื่องจากความเข้ากันได้ดีของส่วนไฮโดรโฟบิกของน้ำมันปาล์มและทะวีน 80 ที่ยังไม่เกิดผลึก ก่อให้เกิดอิสระในการเคลื่อนที่เข้าเกาะที่ผิวเม็ดน้ำมันปาล์มได้ดี แต่สำหรับในกรณีของมาร์การีนนั้น ที่อุณหภูมิของการบ่มเม็ดไขมันจะเกิดผลึก ดังนั้น ทะวีน 80 จึงเข้าไปแทนที่โปรตีนถั่วเหลืองสกัดได้ไม่ดี



ภาพที่ 4.7 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของปริมาณโปรตีนที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดไขมันสำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO



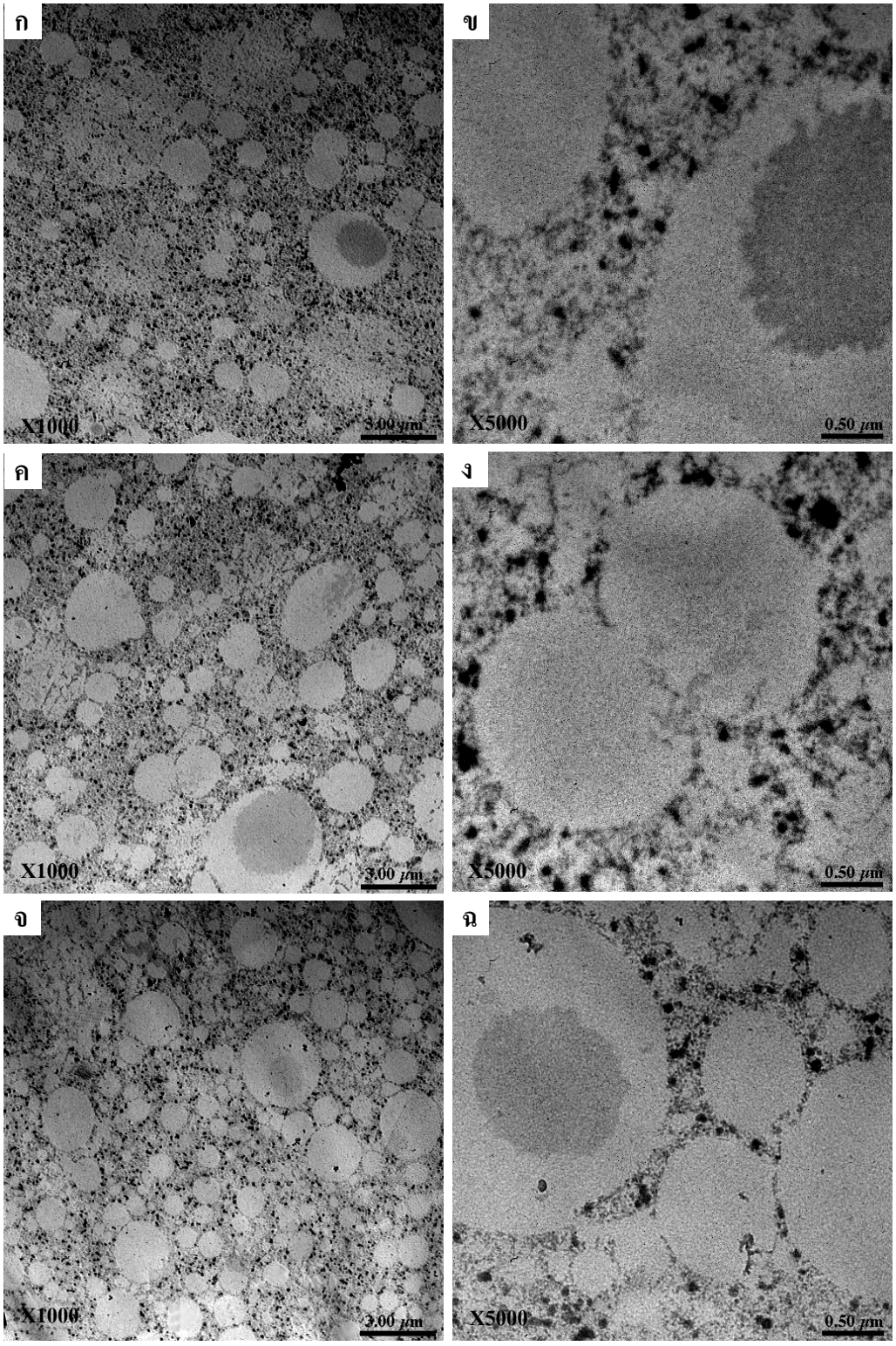
ภาพที่ 4.8 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของปริมาณโปรตีนที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดไขมันสำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF

4.5.2 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องผ่าน

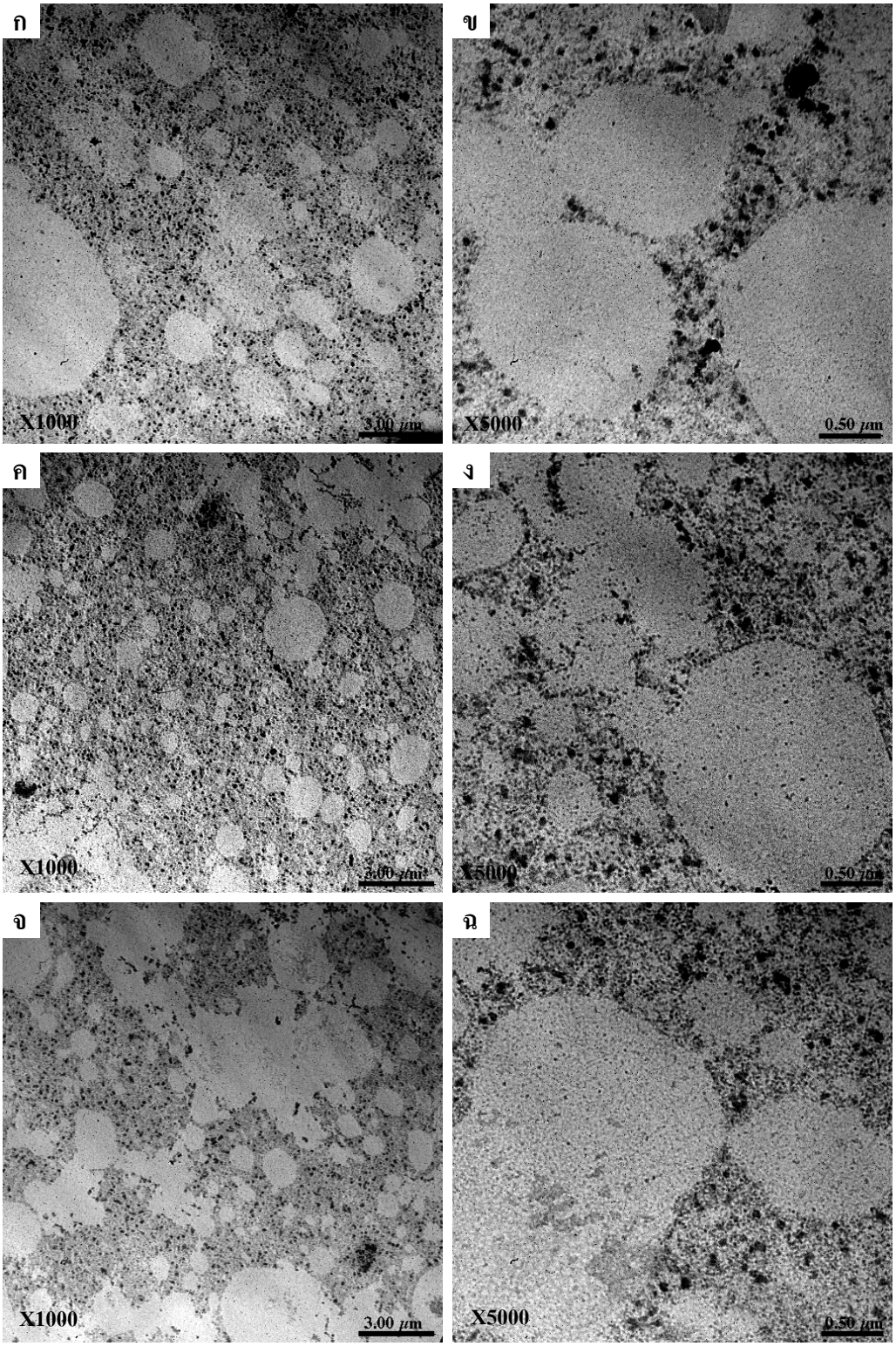
จากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด โดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (transmission electron microscopy: TEM) สำหรับไอศกรีม SPO และ SHF ตามลำดับได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นว่าโครงสร้างของส่วนผสมพร้อมไอศกรีมประกอบด้วยเม็ดไขมัน กลุ่มก้อนของเม็ดไขมันที่เสียความคงตัวบางส่วน (partially coalescence) และโปรตีนถั่วเหลืองที่กระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของซีรัมและที่ล้อมรอบเม็ดไขมันจากน้ำมันปาล์มหรือมาร์การีน ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างไอศกรีมมีความคงตัว แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมถั่วเหลืองจากน้ำมันปาล์มและมาร์การีนที่ระดับปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันเท่ากัน (ภาพที่ 4.9 จ และ 4.10 จ.) จะเห็นว่าลักษณะเม็ดไขมันมีโครงสร้างแตกต่างกัน คือ เม็ดไขมันของน้ำมันปาล์มจะมีลักษณะกลมและคงรูปอยู่แต่มีขนาดโดยรวมเล็กกว่าเม็ดไขมันจากมาร์การีนซึ่งรูปร่างทรงกลมเปลี่ยนไป (ซึ่งผลที่สอดคล้องกับการหาขนาดเม็ดไขมันด้วยวิธีการตรวจด้วย laser light scattering ($d_{3,2}$) คือขนาดเม็ดไขมันเฉลี่ยในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF มีค่าเท่ากับ 3.07 ± 0.06 และ 6.00 ± 0.02 ไมโครเมตร ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากธรรมชาติของมาร์การีนที่มีความอิ่มตัวในโครงสร้างไขมันสูงกว่าน้ำมันปาล์ม (ตารางภาคผนวกที่ 1.1) ส่งผลให้มาร์การีนมีอุณหภูมิในการเกิดผลึกและจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าน้ำมันปาล์ม (ภาพภาคผนวกที่ 1 และ 2) ทำให้ผลึกไขมันที่เกิดขึ้นในมาร์การีนสามารถเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวกันของเม็ดไขมันในโครงสร้างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมได้มากกว่าน้ำมันปาล์ม ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาระบบอิมัลชันที่มีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ผสมชนิดโมโน-/ได-กลีเซอร์ไรด์แบบกึ่งอิ่มตัวของ Granger, Barley, Combe, Veschambre, and Cansell (2003) และ Granger, Leger, Barey, Langerdroff, and Cansell (2005) ที่พบว่าอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวไอโดรจิเนตที่มีความอิ่มตัวมากจะมีขนาดเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่าอิมัลชันน้ำมันชนิดอื่นที่มีความอิ่มตัวในโครงสร้างน้อยกว่า

เมื่อพิจารณาโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO (หลังการบ่ม) ที่ประกอบด้วยปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.11) จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีผลต่อขนาดเม็ดไขมันอย่างเห็นได้ชัด โดยในส่วนผสมที่มีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองมากจะมีขนาดของเม็ดไขมันในโครงสร้างเล็กกว่า (ภาพที่ 4.11 ก. และ ข.; ภาพที่ 4.11 ค. และ ง.) ทั้งนี้เนื่องจากถ้าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ล้อมรอบเม็ดไขมันมีปริมาณมากขึ้น (พิจารณาจากค่าปริมาณโปรตีนที่เกาะบนผิวเม็ดไขมันในตารางภาคผนวกที่ 2) จะส่งผลให้ความคงตัวของระบบอิมัลชันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเพิ่มขึ้น โปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันนี้

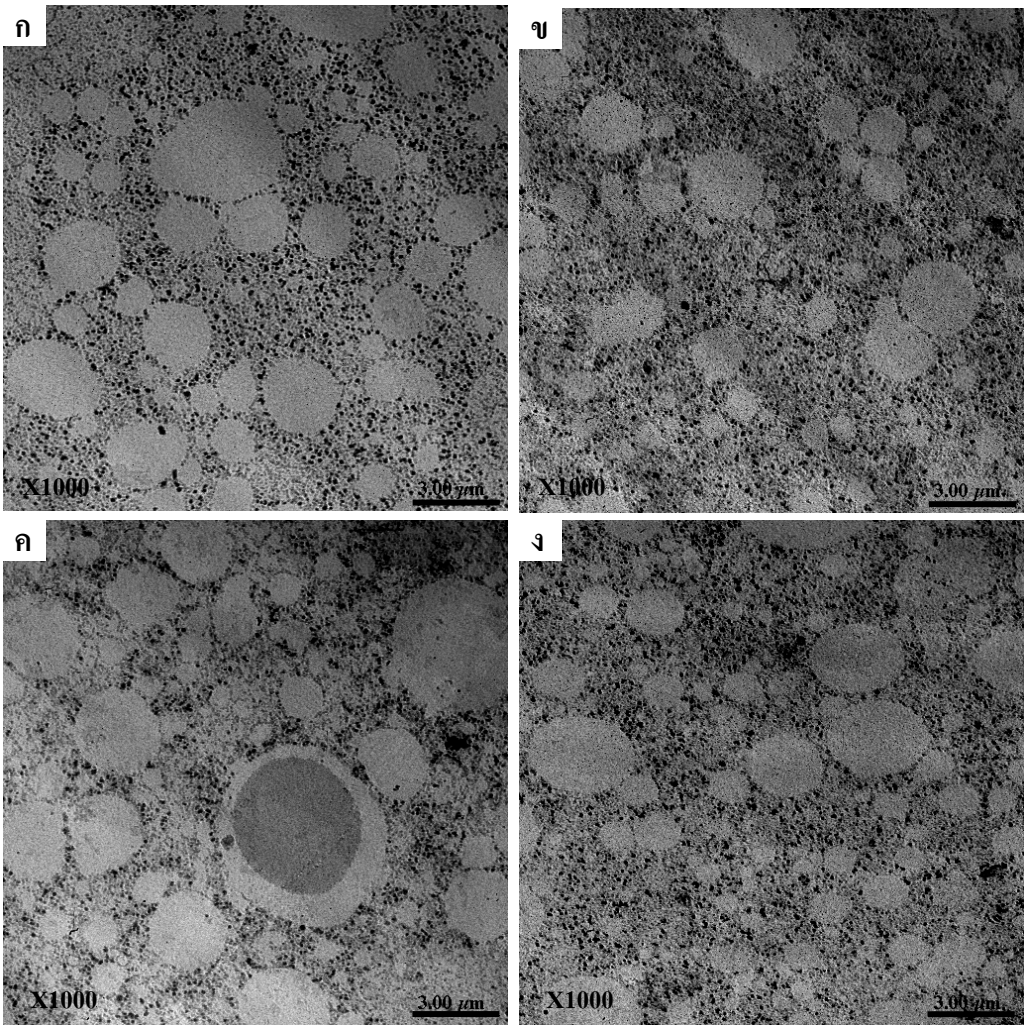
จะฟอร์มตัวเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายเจลคล้ายกับแผ่นฟิล์ม (gel-like-film) ซึ่งจะช่วยป้องกันการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน (Damodaran, 2005) แต่เมื่อพิจาณาที่ระดับของปริมาณน้ำมันปาล์มที่ต่างกันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO ที่มีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เท่ากัน (ภาพที่ 4.11 ก. และ ค.; ภาพที่ 4.11 ข. และ ง.) พบว่าขนาดของเม็ดไขมันที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันปาล์มที่เพิ่มขึ้นในช่วงการศึกษา (ร้อยละ 8-12 โดยน้ำหนัก) ไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดไขมันในโครงสร้าง อาจเป็นเพราะว่าขนาดของเม็ดไขมันในโครงสร้างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเป็นผลมาจากระดับความดันที่ใช้ในการลดขนาดเม็ดไขมันด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์เซอร์ซึ่งทำให้ขนาดของเม็ดไขมันใกล้เคียงกัน แต่สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดไขมันในโครงสร้างที่ระดับปริมาณมาร์การีนร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 4.12 ก. และ ข.) แต่ที่ระดับปริมาณมาร์การีนร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มขึ้นกลับมีผลทำให้เม็ดไขมันในโครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น (ภาพที่ 4.12 ค. และ ง.) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม (ตารางที่ 4.8) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดทำให้การลดขนาดเม็ดไขมันในกระบวนการโฮโมจีไนซ์เป็นไปได้ยากขึ้น เมื่อพิจารณาที่ระดับปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่คงที่ (ภาพที่ 4.12 ก. และ ค., ภาพที่ 4.12 ข. และ ง.) จะเห็นว่าการเพิ่มปริมาณมาร์การีนจะทำให้เม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมาร์การีน (ตารางภาคผนวกที่ 1) ที่มีความอิ่มตัวในโครงสร้างสูง มีอุณหภูมิการเกิดผลึก (ภาพภาคผนวกที่ 1) และจุดหลอมเหลว (ภาพภาคผนวกที่ 2) สูงกว่าน้ำมันปาล์ม ดังนั้นในระหว่างการบ่มที่ 4 องศาเซลเซียส เม็ดไขมันของมาร์การีนในโครงสร้างจะเกิดการตกผลึก และผลึกที่เกิดขึ้นในเม็ดไขมันจะเหนี่ยวนำให้เกิดการเสียความคงตัว (destabilized) และเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวกันบางส่วนของเม็ดไขมันขึ้น (Marshall et al., 2003) ดังนั้นถ้ามีปริมาณของมาร์การีนในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมาก ปริมาณของเม็ดไขมันที่รวมตัวกันบางส่วนก็มากขึ้นด้วย ส่งผลให้ปริมาณเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น



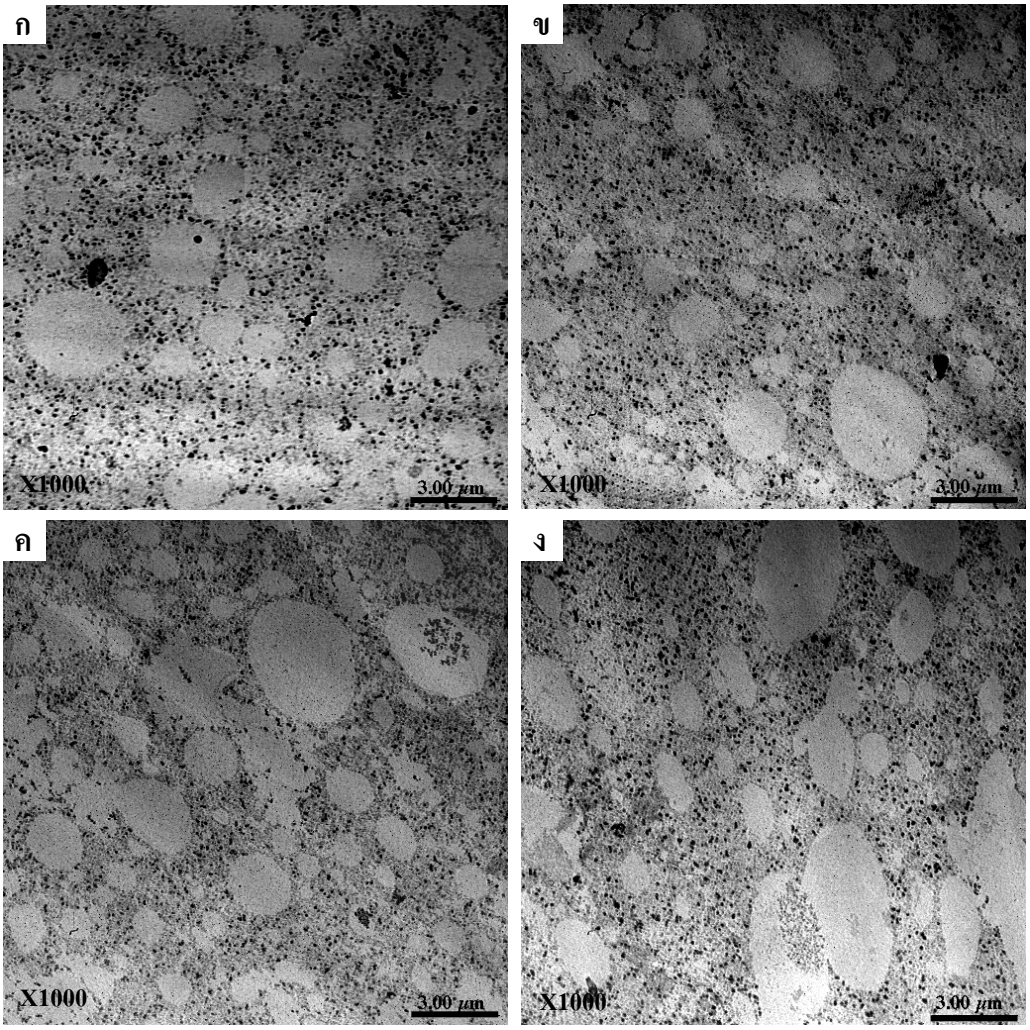
ภาพที่ 4.9 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO (หลังการบ่ม) จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด 6% และน้ำมันปาล์ม 7.17% (ก, ข) 10% (ค, ง) และ 12.83% (จ, ฉ) ที่กำลังขยาย 2 ระดับ คือ 1,000 เท่า (ซ้าย) และ 5,000 เท่า (ขวา)



ภาพที่ 4.10 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด 6% และมาร์การีน 7.17% (ก, ข) 10% (ค, ง) และ 12.83% (จ, ฉ) ที่กำลังขยาย 2 ระดับ คือ 1,000 เท่า (ซ้าย) และ 5,000 เท่า (ขวา)



ภาพที่ 4.11 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO ที่ประกอบด้วย (ก) 5% SPI+ 8% PO (ข) 7% SPI+ 8% PO (ค) 5% SPI+ 12% PO และ (ง) 7% SPI+ 12% PO ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



ภาพที่ 4.12 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF ที่ประกอบด้วย (ก) 5%SPI + 8%HF (ข) 7%SPI + 8%HF (ค) 5%SPI + 12%HF และ (ง) 7%SPI + 12 %HF ที่กำลัง ขยาย 1,000 เท่า

4.5 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SPO และ SHF ดังแสดงในตารางที่ 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ ทำให้ทราบว่าราคาต้นทุนวัตถุดิบสำหรับไอศกรีม SPO เท่ากับ 17.48 บาท/กิโลกรัม และ SHF เท่ากับ 18.20 บาท/กิโลกรัม และสำหรับไอศกรีมนมสูตรทางการค้าที่ใช้เป็นสูตรควบคุมในการศึกษาครั้งนี้ (ตารางที่ 4.22) มีต้นทุนวัตถุดิบเท่ากับ 32.91 บาท/กิโลกรัม

สำหรับต้นทุนรวมในการผลิตนั้นได้คำนวณตามวิธีการของจิรพรรณ และคณะ (2525) ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณต้นทุนในโรงงานที่มีขนาดเล็ก ที่ทราบต้นทุนวัตถุดิบ และประมาณค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยคิดเป็นร้อยละของต้นทุนรวม ดังนี้

ต้นทุนรวม = ต้นทุนวัตถุดิบ + ต้นทุนแรงงาน + ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆหรือค่าโสหุ้ย

โดยที่ ต้นทุนวัตถุดิบ = 0.52 x ต้นทุนรวม
ต้นทุนแรงงาน = 0.32 x ต้นทุนรวม
ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ = 0.16 x ต้นทุนรวม

ดังนั้น ต้นทุนรวม จะเท่ากับ ต้นทุนวัตถุดิบ / 0.52

และ ต้นทุนรวม = ต้นทุนวัตถุดิบ + 0.32 (ต้นทุนวัตถุดิบ/0.52) + 0.16 (ต้นทุนวัตถุดิบ/0.52)

จากการคำนวณต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทั้งสามชนิด คือ ไอศกรีมSPO ไอศกรีม SHF และไอศกรีมนมสูตรทางการค้าเท่ากับ 33.62, 35.00 และ 63.28 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ จะเห็นว่าต้นทุนรวมในการผลิตไอศกรีมจากถั่วเหลืองทั้งสองชนิด (SPO และ SHF) ถูกกว่าไอศกรีมนมสูตรทางการค้าเกือบ 2 เท่าตัว

ตารางที่ 4.20 การประมาณต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตไอศกรีม SPO

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบ สำหรับ 100 กรัม	ราคาวัตถุดิบ บาท / กิโลกรัม	ต้นทุน บาท/ 100 กรัม
Soy protein isolate	4.8	196.00	0.940
น้ำมันปาล์ม	11.0	32.00	0.352
น้ำตาลทราย	10.0	18.00	0.180
Glucose syrup	5.0	12.00	0.060
κ-carrageenan	0.025	800.00	0.020
Logust bean gum	0.275	500.00	0.138
Tween80	0.15	150.00	0.023
น้ำดื่ม	68.99	0.50	0.035
รวมต้นทุนวัตถุดิบ 100 กรัม (บาท)			1.748
รวมต้นทุนวัตถุดิบ 1,000 กรัม (บาท)			17.48
ต้นทุนรวมผลิตภัณฑ์ 1,000 กรัม (บาท)			33.62

ตารางที่ 4.21 การประมาณต้นทุนในการผลิตไอศกรีม SHF

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบ สำหรับ 100 กรัม	ราคาวัตถุดิบ บาท / กิโลกรัม	ต้นทุน บาท/ 100 กรัม
Soy protein isolate	5.2	196.00	1.019
มาร์การีน	8.6	40.00	0.344
น้ำตาลทราย	10.0	18.00	0.180
Glucose syrup	5.0	12.00	0.060
κ-carrageenan	0.025	800.00	0.020
Logust bean gum	0.275	500.00	0.138
Tween80	0.15	150.00	0.023
น้ำ	70.75	0.50	0.036
รวมต้นทุนวัตถุดิบ 100 กรัม (บาท)			1.82
รวมต้นทุนวัตถุดิบ 1,000 กรัม (บาท)			18.20
ต้นทุนรวมผลิตภัณฑ์ 1,000 กรัม (บาท)			35.00

ตารางที่ 4.22 การประมาณต้นทุนในการผลิตไอศกรีมนมสูตรควบคุม (สูตรทางการค้า)

วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบ สำหรับ 100 กรัม	ราคาวัตถุดิบ บาท / กิโลกรัม	ต้นทุน บาท/ 100 กรัม
Skim milk powder	10.5	175.00	1.838
น้ำมันเนย	10.0	100.00	1.000
น้ำตาลทราย	10.0	18.00	0.180
Glucose syrup	5.0	12.00	0.060
κ-carrageenan	0.025	800.00	0.020
Logust bean gum	0.275	500.00	0.138
Tween80	0.15	150.00	0.023
น้ำ	64.05	0.50	0.032
รวมต้นทุนวัตถุดิบ 100 กรัม (บาท)			3.291
รวมต้นทุนวัตถุดิบ 1,000 กรัม (บาท)			32.91
ต้นทุนรวมผลิตภัณฑ์ 1,000 กรัม (บาท)			63.28

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

5.1.1 ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าการตอบสนองของขนาดเม็ดไขมัน ส่วนค่าความหนืดในส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม อัตราการละลายของไอศกรีม SPO และปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าการตอบสนองของค่าความหนืดในส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม อัตราการละลาย และค่าสี (L a b) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF

5.1.2 สูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีม SPO ประกอบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนัก และน้ำมันปาล์มร้อยละ 11.0 โดยน้ำหนัก และสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีม SHF ประกอบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก และมาร์การีนร้อยละ 8.6 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมถั่วเหลืองจากไขมันทั้งสองชนิดที่มีคุณลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้า

5.1.3 ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส (acceptance test) ของผู้บริโภค โดยผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีคะแนนการยอมรับสูงสุดในทุกคุณลักษณะที่ทำการทดสอบ คือไอศกรีมสูตรควบคุม (ใช้ปริมาณไขมันนมและโปรตีนนมอ้างอิงตามสูตรทางการค้า) สำหรับคะแนนการยอมรับไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดนั้น พบว่าไอศกรีมสูตร SHF มีคะแนนการยอมรับสูงกว่า ไอศกรีมสูตร SPO ในทุกคุณลักษณะ โดยคะแนนความพอใจโดยรวมของไอศกรีม SHF เท่ากับ 5.53 และ 5.56 สำหรับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย 1 (กลุ่มหญิงที่มีอายุอยู่ในช่วงก่อนและช่วงวัยหมดประจำเดือน) และ 2 (กลุ่มผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุในช่วง 18-28 ปี) ตามลำดับ และคะแนนความพอใจโดยรวมของไอศกรีม SPO เท่ากับ 4.25 และ 3.79 สำหรับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย 1 และ 2 ตามลำดับ

5.1.4 จากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF พบว่าชนิดและคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันที่ใช้ในส่วนผสมจะมีผลต่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้มาร์การีนเป็นส่วนประกอบจะมีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันมากกว่าน้ำมันปาล์ม และจากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องอิเล็คตรอนแบบส่องผ่าน ทำให้ทราบว่าโครงสร้างของส่วนผสมพร้อมไอศกรีมประกอบด้วยเม็ดไขมัน กลุ่มก้อนของเม็ดไขมันที่เสียความคงตัว

บางส่วน และโปรตีนถั่วเหลืองที่กระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของซีรัมและล้อมรอบเม็ดไขมันจากน้ำมันปาล์มหรือมาร์การีน ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างไอศกรีมมีความคงตัว

5.1.5 ต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงจากโปรตีนถั่วเหลืองทั้ง SPO และ SHF ถูกกว่าไอศกรีมนมสูตรทางการค้าเกือบ 2 เท่าตัว โดยมีต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 33.62, 35.00 และ 63.28 บาท/กิโลกรัม สำหรับไอศกรีม SPO ไอศกรีมSHF และไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากพฤติกรรมการถูกดูดซับของโปรตีนถั่วเหลืองบนพื้นผิวเม็ดไขมันในระบบอิมัลชันที่มีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ และในระบบอิมัลชันที่มีการใช้ไขมันที่คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกันยังไม่เป็นที่แน่ชัด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษารายละเอียดในส่วนนี้เพิ่มเติม

5.2.2 ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืชที่ได้ยังคงมีกลิ่นรสของถั่วเหลืองอยู่ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม โดยเฉพาะกลิ่นถั่ว (beany) กลิ่นเหม็นเขียว (greeny) ทำให้ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ทำจากถั่วเหลืองเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการลดกลิ่นของถั่วเหลืองให้มีปริมาณน้อยลง ซึ่งอาจจะทำได้โดยการเติมกลิ่นรสอื่นๆ เช่น กลิ่นวนิลา กลิ่นช็อคโกแล็ต หรืออาจใช้กระบวนการหมักในการลดกลิ่นของโปรตีนถั่วเหลืองก่อนการนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีม เพื่อปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

5.2.3 การวางตำแหน่งทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืชที่ได้ควรจะจัดไว้ในส่วนของผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มอาหารเพื่อสุขภาพ หรือผลิตภัณฑ์อาหารจากถั่วเหลือง ซึ่งน่าจะช่วยเพิ่มระดับการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ได้ ทั้งนี้จากพฤติกรรมการบริโภคและเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภคกลุ่มที่มุ่งเน้นประโยชน์ต่อสุขภาพจะพิจารณาคุณค่าและประโยชน์ของผลิตภัณฑ์เป็นอันดับแรก

รายการอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (2549). **ถั่วเหลือง: เทคโนโลยีการผลิตถั่วเหลืองโปรตีนสูง** [ออนไลน์].ได้จาก http://www.doae.go.th/AG/Soybean/1Main/mian.htm

คมสัน หุตะแพทย์ และ วารี ยินดีชาติ. (2542). **ถั่วเหลือง: พืชมหัศจรรย์สารพันประโยชน์.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ธรรมชาติ.

จิรพรรณ กุลดิลก, อุดม เกิดไพบูลย์, ไขแสง รักวานิช, วรนันท์ กิตติอัมพานนท์, สมชาย เทพทาน และ สันติภาพ จินดาแสง. 2525. **รายงานผลการวิจัยเรื่องอุตสาหกรรมเกษตรและการพัฒนาเศรษฐกิจของท้องถิ่น: กรณี อุตสาหกรรมผักและผลไม้บรรจุกระป๋อง.** ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ และบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อ้างถึงใน มนัสนันท์ บุญทรพงษ์. (2544). **การพัฒนาแป้งข้าวเจ้าผสมและส่วนผสมสำเร็จรูปในการผลิตขนมตาลเพื่ออุตสาหกรรมขนาดเล็ก.** (หน้า 125). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล. (2541). เอกสารประกอบการสอนวิชา 305321 Food Chemistry: Food proteins, Food lipid, Food Enzyme. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. สำนักเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2548). **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

มลศิริ วีโรทัย. (2545). **เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ.** กรุงเทพฯ: พัฒนา คุณภาพวิชาการ (พว.).

สมชาย ประภาวัต. (2535). คุณค่าทางอาหารของถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง. **วารสารอาหาร.** 19(3), 174-179.

สำนักงานวิจัยธุรกิจ ธนาคารกรุงไทย จำกัด(มหาชน). 2548. **ไอศกรีม** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.cb.ktb.co.th

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2547). **ไอศกรีมปี'47: สินค้ายอดฮิตช่วงหน้าร้อน** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.krc.co.th

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2549). **ไอศกรีมปี'49: สมรภูมิเดือดช่วงชิงส่วนแบ่งการตลาดรวม 10,000 ล้านบาท** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.kasikornresearch.com

ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่. (2542). **มากินถั่วเหลืองกันเถอะ.** สถาบันพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, บี. เอส. การพิมพ์.

อธิดา จารุโชติกมล (2544). ถั่วเหลืองและสุขภาพ. **วารสารเภสัชศาสตร์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ**. 2(1): 125-130.

อรพิน ชัยประสพ. (2544). **เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์นม.** ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

อรพิน ชัยประสพ. (2548). **การผลิตไอศกรีมชนิดเนื้อนุ่มรูปลักษณ์แบบไทย**. รายงานการวิจัย, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. (2544). **การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมการเกษตร**. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

3-A sanitary Standard No. 603-06.1992 3-A accepted practice for the sanitary construction, installation, testing and operation of high-temperature short-time and higher-heat shorter-time pasteurizer system, revised. 3-A Sanitary Standards Committee, McLean, VA 22101-3850. Quoted in R.T. Marshall, H.D. Goff, and R.W. Hartel. (2003). **Ice cream** (6th ed., pp. 157). New York: Kluwer Academic/Plenum.

Abdullah, M., Saleem-ur-Rehman, Zubair, H., Saeed, H.M., Kousar, S., and Shahid,M. (2003). Effect of skim milk in soymilk blend on the quality of ice cream. **Pakistan Journal of Nutrition.** 2: 305-311.

Adapa, S., Dingeldein, H., and Schmidt, K.A. (2000). Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams. **Journal of Dairy Science.** 83: 2224-2229.

AFIC (Asian Food Information Centre). (2004). **Soy: A traditional food of asia with an important role in future health** [On-line]. Available: http://www.afic.org

Alonso, L., Cuesta, E.P., and Gilliland, S.E. (2003). Production of free conjugatedlinoleic acid by *Lactobacillus acidphillus* and *Lactobacillus casei* of human intestinal origin. **Journal of Dairy Science.** 86: 1941-1946.

Bear, R. J., Wolkow, M.D., and Kasperson, K.M. (1997). Effect of emulsifiers on the body and texture of low fat ice cream. **Journal of Dairy Science.** 80: 3123-3132.

Bolliger, S., Goff, H. D., and Tharp, B.W. (2000). Correlation between colloidal properties of ice cream mixes and ice cream. **International Dairy Journal.** 10: 303-309.

Bourtoom, T., Chinnan, M.S., Jantawat, P., and Sanguandeekul, R. (2006). Effect of select paprameters on the properties of edible film from water-soluble fish proteins in surimi wash-water. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologies.** 39: 405-418.

Camire, M. E., Dougherty, M. P., and Teh, Y. H. (2006). Frozen wild bluberry-tofu-soymilk desserts. **Journal of Food Science.** 71: 119-123.

Catsimpoolas, N.,and Ekenstam, C. (1969). Isolation of alpha, beta and gamma conglycinin archives of biochemistry and biophysics 129, 490-497. Quoted in J.M.S. Renkema. (2001). **Formation, structure and rheological properties of soy protein gels**. Ponsen & Looyen BV, Wageningen University.

Clarke, C. (2004). **The science of ice cream**. The Royal Society of Chemistry.

Dalgleish, D, G. (2004). Food emulsions: their structures and properties. In S. E.Friberg, K. Larsson, and J. Sjöblom (eds.) **Food emulsions** (4th ed., pp. 1-44). New York: Marcel Dekker.

Damodaran, S. (2005). Protein stabilization of emulsions and foams. **Journal of Food Science.** 70: R54-R66.

Drake, M.A., and Gerard, P.D. (2002). Consumer attitudes and acceptability of soy-fortified yogurts. **Journal of Food Science.** 68: 1118-1122.

Drake, M.A., Chen, X.Q., Tamarapu, S., and Leenanon, B. (2003). Soy protein fortification affects sensory, chemical, and microbiological properties of dairy yogurts. **Journal of Food Science.** 65: 1244-1247.

Donhowe, D.P., and Hartel, R.W. (1996a). Recrystallization of ice cream during controlled accelerated storage. **International Dairy Journal.** 6: 1191-1208.

Donhowe, D.P., and Hartel, R.W. (1996b). Recrystallization of ice during bulk storage of ice cream. **International Dairy Journal.** 6: 1209-1221.

Donhowe, D. P., Hartel, R. W., and Bradley, R. L. (1991). Determination of ice crystal size distributions in frozen desserts. **Journal of Dairy Science.** 74: 3334–3344.

Fabien, S.D., Peter, R.E., Dimitra, K., Barry P.M., and Helena, J.T. (2003). The effects of soy protein containing isoflavones on lipid and indices of bone resorption in postmenopausal women. **Clinical Endocrinology.** 58: 704-709.

Flores, A.A., and Goff, H.D. (1999). Recrystallization in ice cream after constant and cycling temperature storage conditions as affected by stabilizers. **Journal of Dairy Science.** 82: 1408-1415.

Feiedeck, K.G., Karagul-Yuceer, Y., and Drake, M.A. (2003). Soy protein fortification of a low-fat dairy-based ice cream. **Journal of Food Science.** 68: 2651-2657.

Granger, C., Barey, P., Combe, N., Veschambre, P., and Cansell, M. (2003). Influence of the fat characteristics on the physicochemical behavior of oil-in-water emulsions based on mik protein-glycerol esters mixtures. **Coliods and Surface B: Biointerfaces.** 32: 353-363.

Granger, C., Leger, A., Barey, P., Langerdroff, V., and Cansell, M. (2005). Influence of formulation on the structural networks in ice cream. **International Dairy Journal.** 15: 255-262.

Goff, H.D. (1997). Colloidal aspects of ice cream – a review. **International Dairy Journal.** 7: 363-373.

Goff, H.D., Caldwell, K.B., Stanley, D.W., and Maurice, T.J. (1993). The Influence of polysaccharides on the glass transition in frozen sucrose solutions and ice cream. **Journal Dairy Science.** 76: 1268-1277.

Goff, H.D., McCurdy, R.D., and Fulford, G.N. (1990). Advances in corn sweeteners for ice cream. **Modern Dairy.** June: 17-18.

Goff, H.D., Verespej, E., and Smith, A.K. (1999). A study of fat and air structures in ice cream. **International Dairy Journal.** 9: 817-829.

Hagiwara, T., and Hartel, R.W. (1996). Effect of sweetener, stabilizer, and storage temperature on ice recrystallization in ice cream. **Journal of Dairy Science.** 79: 735-744.

Hartel, R.W. (1992). Solid-liquid equilibrium: crystallization in foods. In H.G. Schwartzberg and R.W. Hartel (eds). **Physical chemistry in foods** (pp. 47). Westport, CT: Marcel-Dekker.

Joseph, G.E. (2001). Soy Protein Products: **Charateristics, nutritional aspects, and utilization**. USA: AOCS PRESS.

Kennedy, A.R. (1995) The evidence for soybean products as cancer preventive agent. **The Journal of Nutrition.**125: 733-743.

Kim, K.H., Renkema, J. M. S., and van Vliet, T. (2001). Rheological properties of soybean protein isolate gels containing emulsion droplets. **Food Hydrocolloids.** 15: 295–302.

Koshiyama, I. (1969). Distribution of the 7S proteins in soybean globulins by gel Filtration with Sephadex G-200. Agricultural and Biological Chemistry. 33: 281-284. Quoted in J.M.S. Renkema. (2001). **Formation, structure and rheological properties of soy protein gels**. Ponsen & Looyen BV, Wageningen University.

Koxholt, M.M.R., Eisenmann, B., and Hinrichst, J. (2001). Efftect of the fat globule size on the meltdown of ice cream. **Journal of Dairy Science.** 84: 31-37.

Liu, K. (1997). **Soybean: Chemistry Technology and Utilization**. New York: Chapman & Hall.

Liu, K. (2000). Expanding soybean food utilization. **Food Technology.** 54: 46-58.

Liu, M., Lee, D.S., and Demodaran, S. (1999). Emulsifying properties of acidic subunits of soy 11S globulin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 47: 4970-4975.

McClements, D., J. (2005). **Food emulsions: principles, practices, and techniques**. (2nd ed). New York: CRC PRESS.

Macrae, R., Robinson, R.K., and Sadler, M.J. (1993). **Encyclopaedia of food science food technology and nutrition**. (vol. 4). New York: Academic Press

Marshall, R.T., and Arbuckle, W.S. (1996). **Ice cream**. (5th ed). New York: Chapman Hall.

Marshall, R.T., Goff, H.D., and Hartel, R.W. (2003). **Ice cream**. (6th ed), New York: Chapman & Hall.

Messina, M., and Barnes, S. (1991). The role of soy products in reducing risk of cancer. **Journal of the National Cancer Institute.** 83: 541-546.

Messina, M.J., Persky, V. Setchell, K., and Barnes, S. (1994). Soy intake and cancer risk: a review of the invitro and in vivo data. **Nutrition and Cancer.** 21: 13-131.

Miller-Livney, T. and Hartel, R.W. (1997). Ice recrystallization in ice cream: interaction between sweeteners and stabilizers. **Journal of Dairy Science.** 80: 447-456.

Mitidieri, F. E., and Wagner, J. R. (2002). Coalescence of o/w emulsions stabilized by whey and isolate soybean proteins. Influence of thermal denaturation, salt addition and competitive interfacial adsorption. **Food Research International.** 35: 547–557.

Muse, M.R., and Hartel, R.W. (2004). Ice cream structural element that affect melting rate and hardness. **Journal of Dairy Science.** 87: 1-10.

NIDDK (National Institute of Diabetes & Digestive & Kidney Disease). (2002). **Lactose intolerance** [On-line]. Available: http://www.niddk.nih.gov/health/ digest /pubs/ lactose.html

Puppo, M. C., and Añón, M. C. (1999). Soybean protein dispersions at acidic pH thermal and rheological behavior. **Journal of Food Science.** 64: 50–56.

Renkema, J.M.S. (2001). Formation, structure and rheological properties of soy protein gels. Ponsen & Looyen BV, Wageningen University.

Renkenma, J.M.S., and van Vliet, T. (2004). Concentration dependence of dynamic moduli of heat-induce soy protein gel. **Food hydrocolloids.** 18: 483-487.

Rodríguez Niño, M.R., Carrera Sánchez , C., Ruíz-Henestrosa, V.P., and Rodriguez Patíno, J.M. (2005). Milk and soy protein film at the air-water interface. **Food Hydrocolloids.** 19: 417-428.

Rodriguez Patino, J. M., Molina, S., Carrera, C., Rodriguez Niño, M. R., and Añón, C. (2003). Dynamic properties of soy globulin adsorbed films at the air–water interface. **Journal of Colloid and Interface Science.** 268: 50–57.

Roesch, R. R., and Corredig, M. (2002) Characterization of oil-in-water emulsions prepared with commercial soy protein concentrate. **Journal of Food Science.** 67: 2837-2842.

Roesch, R. R., and Corredig, M. (2003). Texture and microstructure of emulsions prepared with soy protein concentrate by high pressure homogenization. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologies.** 36: 113–124.

Ruger, P.R., Baer, R.J., and Kasperson, K.M. (2002). Effect of double homogenization and whey concentrate on the texture of ice cream. **Journal of Dairy Science.** 85: 1684-1692.

Schokker, E.P., Bos, M.A., Kuijpers, A.J. Wijnen, W.E., and Walstra, P. (2002). Spreading of oil from protein stabilized emulsions at air/water interfaces. **Colloid and Surface B: Biointerfaces.** 26: 315-327.

Segall, K.I., & Goff, H.D. (1999). Influence of adsorbed milk protein type and surface concentration on the quiescent and shear stability of butter oil emulsions. **International Dairy Journal.** 9: 683-69.

Segall, K.I., and Goff, H.D. (2002). Secondary adsorption of milk proteins from the continuous phase to the oil-water interface in dairy emulsions. **International Dairy Journal.** 12: 889-897.

Teh, Y.H., Dougherty, M.P., and Camire, M.E. (2005). Frozen blueberry-soy dessert quality. **Journal of Food Science.** 70: 119-122.

Thaiudom, S., and Goff, H.D. (2003). Effect of κ -carrageenan on milk protein polysaccharide mixtures. **International Dairy Journal.** 13: 763-771.

Troll, W., and Kennedy,A. (1989). Workshop report from the division of cancer etiology. National Cancer Institute, NIH. **Cancer Research.** 49: 499-502.

Wan Rosnani, A. I. and Nor Aini, I. (nd). Application of palm products in ice cream. **Malaysian Palm oil Board**. 8-12.

Webb, M.F., Naeem, H.A., and Schmidt, K.A. (2002). Food protein functionality in a liquid system: a comparison of deamidated wheate protein with Dairy and soy proteins. **Journal of Food Science.** 8: 2896-2902.

Wolf, W. J. (1970). Soybean proteins: Their functional, chemical and physical properties.Journal of Agricultural and Food Chemistry. 18: 969-976. Quoted in J.M.S. Renkema. (2001). **Formation, Structure and rheological properties of soy protein gels**. Ponsen & Looyen BV, Wageningen University.

Ünal, B., Metin, S., and Işikli, N.D. (2003). Use of response surface methodology to describe the combined effect of storage time, locust bean gum and dry matter of milk on the physical properties of low fat set yoghurt. **International Dairy Journal.** 13: 909-916.

Utsumi S, Matasumur Y, Mori T. 1997. Structure-function relationships of soy proteins. In S. Damodaran, A. Paraf (eds.)**. Food proteins and their applications** (pp. 257-282). New York: Marcel Dekker

Zhang, Z., and Goff, H.D. (2004). Protein distribution at air interfaces in dairy foams and ice cream as affected by casein dissociation and emulsifiers.**International Dairy Journal.** 14: 647-657.

ภาคผนวก ก
คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไขมัน

1. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันในตัวอย่างไขมัน ดัดแปลงจากวิธีของ Alonso, Cuesta, and Gilliland (2003)

ชั่งไขมันที่ต้องการวิเคราะห์ ประมาณ 30 มิลลิกรัมลงในหลอดทดลองฝาเกลียว จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอล เข้มข้น 0.5 N กำจัดความชื้นด้วยไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำตัวอย่างไขมันมาให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง เติม heptadecanoic acid (C17:0) เข้มข้น 2 mg/ml ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นสารมาตรฐานภายใน ลงในหลอดทดลอง และเติม BF_3 เข้มข้นร้อยละ 14 โดยปริมาตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเพื่อเปลี่ยน fatty acid ไปเป็น free fatty acid methyl esters จากนั้นกำจัดความชื้นด้วยไนโตรเจนเหลวและให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ hexane 5 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,000x g ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แยกสารละลายส่วนบนมากำจัดความชื้นที่เหลือด้วย anhydrous sodium sulfate นำ fatty acid methyl esters ที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas chromatography – FID detector (HP6890 gas chromatograph; Hewlett-Packard Co, Rolling Avondele, USA) โดยใช้คอลัมน์ SP2560 ตามสภาวะดังนี้

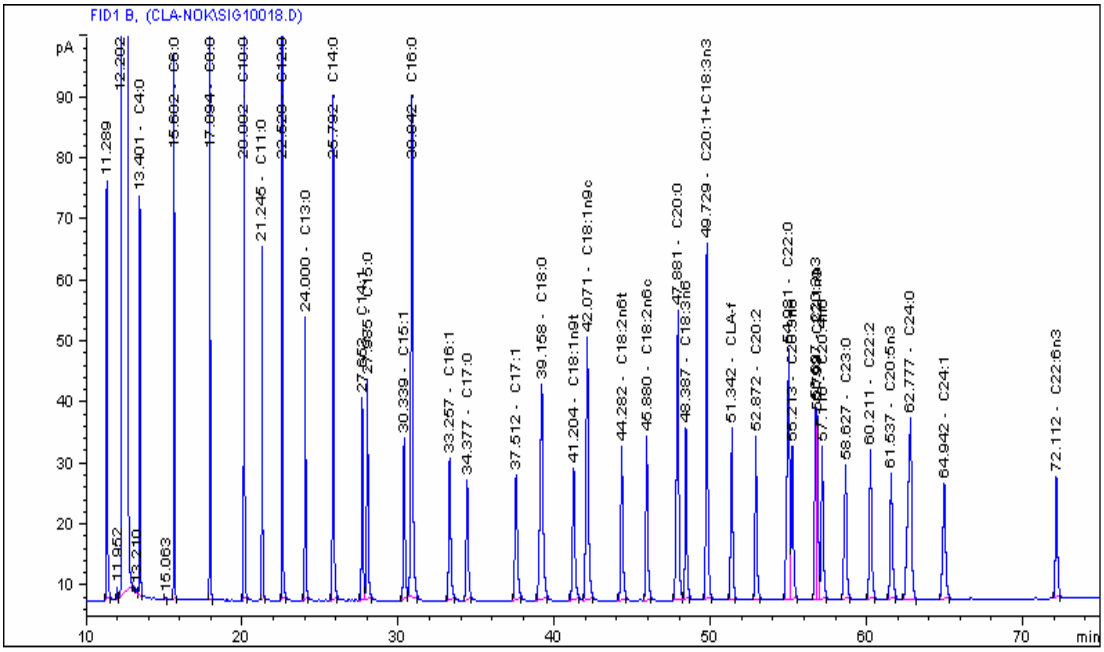
Carrier:	Herium, 18 cm/sec, 1.0 ml/min constant flow
Injection:	Split (10:1), 1µl liquid injection, inlet 240 ^{o}C
Oven:	70 ^{o}C (4.00 min), to 175 ^{o}C (27 min) at 13.0 ^{o}C/min, to 215 ^{o}C (31 min) at 4.0^{o}C/min
Detector:	FID 260 ^{o}C

สำหรับปริมาณและชนิดกรดไขมันที่มีอยู่ในตัวอย่างไขมันคำนวณเทียบกับกรดไขมันมาตรฐานภายนอก (Supolco^{TM} 37 FAME Mix, Sigma-Aldric Co., Bellefonte, USA)

2. วิธีการวิเคราะห์รูปแบบการเกิดผลึกและการหลอมเหลวของไขมัน

ชั่งตัวอย่างไขมันที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 20-25 มิลลิกรัม ใส่ลงใน Aluminum DSC pan ที่มีปริมาตรขนาด 50 ไมโครลิตรและทำการปิดผนึก จากนั้นนำตัวอย่างไขมันวิเคราะห์รูปแบบการหลอมเหลวและการเกิดผลึกด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (Pyris Diamond DSC, Perkin Elmer, Connecticut, USA) โดยตั้งค่าโปรแกรมในการวิเคราะห์ ดังนี้ ลดอุณหภูมิจาก 50 องศาเซลเซียส ถึง -10 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยใช้ระบบ Intracooler ในการให้ความเย็น จากนั้นจึงทำการให้ความร้อนจาก -10 องศาเซลเซียส จนถึง 50 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ในการวิเคราะห์จะใช้ aluminum pan เป็นตัวอ้างอิง (reference) และ Indium เป็นตัวมาตรฐาน (standard)

กรดไขมันมาตรฐาน (Supolco™ 37 FAME Mix)



FAME reference standard mix in methylene chloride:

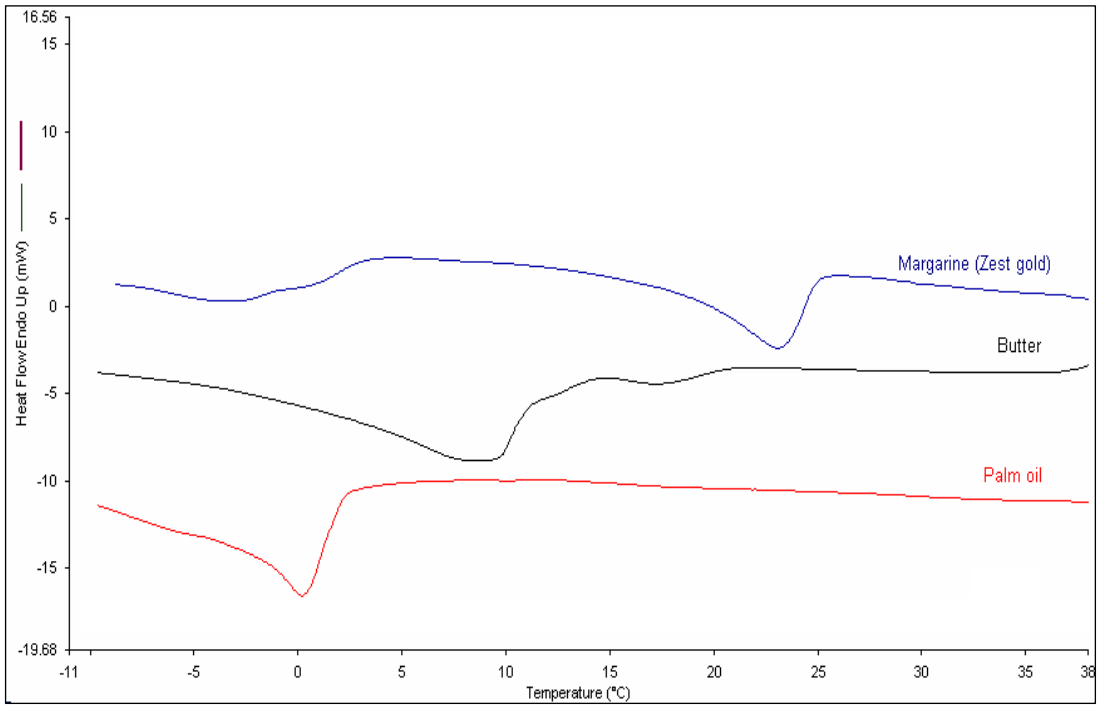
1. Butyric Acid Methyl Ester (C4:0)
2. Caproic Acid Methyl Ester (C6:0)
3. Caprylic Acid Methyl Ester (C8:0)
4. Capric Acid Methyl Ester (C10:0)
5. Undecanoic Acid Methyl Ester (C11:0)
6. Lauric Acid Methyl Ester (C12:0)
7. Tridecanoic Acid Methyl Ester (C13:0)
8. Myristic Acid Methyl Ester (C14:0)
9. Myristoleic Acid Methyl Ester (C14:1)
10. Pentadecanoic Acid Methyl Ester (C15:0)
11. Cis 10-Pentadecenoic Acid Ester (C15:1)
12. Palmitic Acid Methyl Ester (C16:0)
13. Palmitoleic Acid Methyl Ester (C16:1)
14. Heptadecanoic Acid Methyl Ester (C17:0)
15. cis-10-Heptadecanoic Acid Methyl Ester (C17:1)
16. Stearic Acid Methyl Ester (C18:0)
17. Elaidic Acid Methyl Ester (C18:1n9t)

18. Oleic Acid Methyl Ester (C18:1n9c)
19. Linolelaidic Acid Methyl Ester (C18:2n6t)
20. Linoleic Acid Methyl Ester (C18:2n6c)
21. Arachidic Acid Methyl Ester (C20:0)
22. γ- Linolenic Acid Methyl Ester (C18:3n6)
23. cis-11-Eicosatrienoic Acid Methyl Ester (C20:2)
24. Linolenic Acid Methyl Ester (C18:3n3)
25. Heneicosanoic Acid Methyl Ester (C21:0)
26. cis-11,14-Eicosadienoic Acid Methyl Ester (C20:2)
27. Behenic Acid Methyl Ester (C22:0)
28. cis-8, 11, 14-Eicosatrienoic Acid Methyl Ester (C20:3n6)
29. Erucic Acid Methyl Ester (C22:1n9)
30. cis-11, 14, 17-Eicosatrienoic Acid Methyl Ester (C20:3n3)
31. Arachidonic Acid Methyl Ester (C20:4n6)
32. Tricosanoic Acid Methyl Ester (C23:0)
33. cis-13, 16-Docosadienoic Acid Methyl Ester (C22:2)
34. Lignoceric Acid Methyl Ester (C24:0)
35. cis-5, 8, 11, 14, 17-Eicosapentaenoic Acid Methyl Ester(C20:5n3)
36. Nervonic Acid Methyl Ester (C24:1)
37. cis-4, 7, 10, 13, 16, 19-Docosahexaenoic Acid Methyl Ester (C22:6n3)

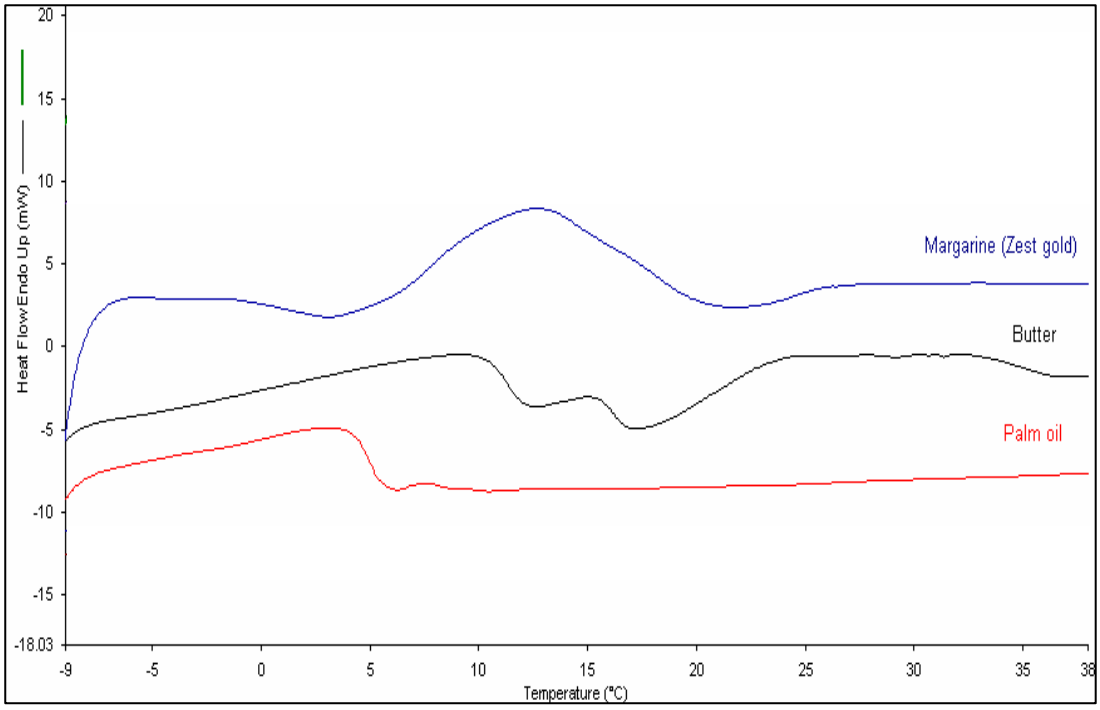
Condition Column: SP^{TM}-2560, 100m x 0.25mm ID, 0.20µm film
Oven:140 ^{o}C (5min) to 240 ^{o}C at 4 ^{o}C/min
Carrier: herium, 18 cm/sec
Det.: FID 260^{o}C
Inj.; 1µl, 240^{o}C, Split 10:1

ตารางภาคผนวกที่ 1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่พบในตัวอย่างไขมัน

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัม/กรัม ตัวอย่าง)		
		น้ำมันปาล์ม (PO)	มาร์การีน (HF)	เนย (ไขมันนม)
Butyric	C4:0	-	1.44±0.05	30.18±0.99
Caproic	C6:0	0.46±0.21	21.83±1.80	21.71±0.58
Caprylic	C8:0	0.59±0.11	23.00±1.11	13.11±0.75
Capric	C10:0	1.17±0.27	18.27±0.14	31.99±1.23
Undecanoic	C11:0	0.13±0.03	0.19±0.04	3.74±0.11
Lauric	C12:0	4.80±0.33	149.16±1.87	39.57±1.55
Tridecanoic	C13:0	-	-	2.81±0.74
Myristic	C14:0	13.54±0.76	69.16±0.43	111.51±4.47
Myristoleic	C14:1	0.51±0.08	0.63±0.02	9.12±0.32
Pentadecanoic	C15:0	0.79±0.05	0.80±0.16	13.32±0.50
Palmitic	C16:0	361.45±5.27	330.53±2.24	259.3±10.24
Palmitoleic	C16:1	2.58±0.11	1.54±0.28	19.40±0.78
Margaric	C17:0	79.10±8.58	79.68±1.23	49.25±36.69
Margaroleic	C17:1	-	-	2.11±0.13
Steric	C18:0	42.49±0.80	73.32±0.30	93.85±3.82
Elaidic	C18:1n9t	-	21.97±0.16	37.15±1.42
Oleic	C18:1n9c	421.23±5.95	261.56±1.78	169.06±6.86
Linolelaidic	C18:2n6t	-	-	2.11±0.56
Linoleic	C18:2n6c	120.31±1.62	63.55±1.08	11.62±0.46
	C18:2c9,t11	0.33±0.06	-	12.67±0.37
	C18:2c9,c11	-	-	0.39±0.16
	C18:2t9,c11	-	-	1.24±0.32
Linolenic	C18:3	1.70 + 0.01	-	0.93±0.35
Arachidic	C20:0	3.33 + 0.04	2.78±0.07	1.07±0.04
Gadoleic	C20:1	2.27 + 0.04	1.04±0.03	6.72±0.32
Arachidonic	C20:4n6	-	-	0.94±0.05
Behenic	C22:0	0.58 + 0.01	0.48±0.01	0.53±0.02
Total unsaturated fatty acid		549.68	351.72	275.82
Total saturated fatty acid		508.44	770.65	672.66
Total trans-fatty acid		0.33	21.97	53.16
Total medium-chain fatty acid		2.22	63.10	66.82



ภาพภาคผนวกที่ 1 รูปแบบการเกิดผลึกของไขมัน ด้วยเครื่อง DSC ที่อัตราการลดอุณหภูมิ 5°C/min



ภาพภาคผนวกที่ 2 รูปแบบการหลอมเหลวของไขมัน ด้วยเครื่อง DSC ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5°C/min

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน ด้วยเทคนิค SDS-PAGE

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณโปรตีนที่เกาะบนผิวเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF

	%SPI	%Fat	Protein surface coverage ($mg.m^{-2}$)													
			SPO Ice cream mix							SHF ice cream mix						
			α	α'	β	A_3	As	Bs	total	α	α'	β	A_3	As	Bs	total
Tr1	5	8	0.12	0.40	0.08	0.07	0.57	0.38	1.90	0.14	0.58	0.25	0.06	0.52	0.44	2.71
Tr2	7	8	0.32	0.58	0.33	0.16	0.99	0.53	3.02	0.28	0.45	0.24	0.17	0.83	0.54	3.16
Tr3	5	12	0.24	0.64	0.16	0.16	0.89	0.55	2.56	0.86	1.00	0.38	0.24	1.66	0.72	5.38
Tr4	7	12	0.31	0.66	0.17	0.20	0.87	0.52	2.92	1.29	1.53	0.55	0.53	3.31	1.53	8.09
Tr5	4.586	10	0.24	0.31	0.09	0.11	0.53	0.37	1.96	0.19	0.15	0.09	0.08	0.49	0.23	1.59
Tr6	7.414	10	0.38	0.48	0.19	0.14	0.71	0.44	2.63	0.23	0.23	0.10	0.11	0.71	0.29	2.38
Tr7	6	7.172	0.28	0.29	0.09	0.09	0.60	0.39	2.27	0.25	0.27	0.08	0.08	0.50	0.31	1.99
Tr8	6	12.828	0.42	0.51	0.13	0.13	0.97	0.49	3.69	0.88	1.07	0.31	0.39	2.29	1.12	7.91
Tr9	6	10	0.27	0.31	0.13	0.11	0.54	0.43	2.32	0.93	1.39	0.50	0.51	3.05	2.17	3.06
Tr10	6	10	0.23	0.27	0.11	0.11	0.54	0.42	2.06	1.28	1.45	0.65	0.57	2.83	1.97	3.72
Tr11	6	10	0.13	0.31	0.10	0.06	0.55	0.23	1.74	0.25	0.79	0.21	0.18	1.28	0.61	4.01
Tr12	6	10	0.13	0.25	0.09	0.05	0.41	0.21	1.39	0.13	0.62	0.17	0.12	0.74	0.46	2.51
Tr13	6	10	0.15	0.46	0.15	0.08	0.68	0.36	2.13	0.32	0.77	0.20	0.24	1.66	0.58	3.80

หมายเหตุ: ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับและล้อมรอบเม็ดไขมันเป็นเพียงค่าประมาณการไม่ใช่ค่าที่แท้จริง

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนมสูตรควบคุม

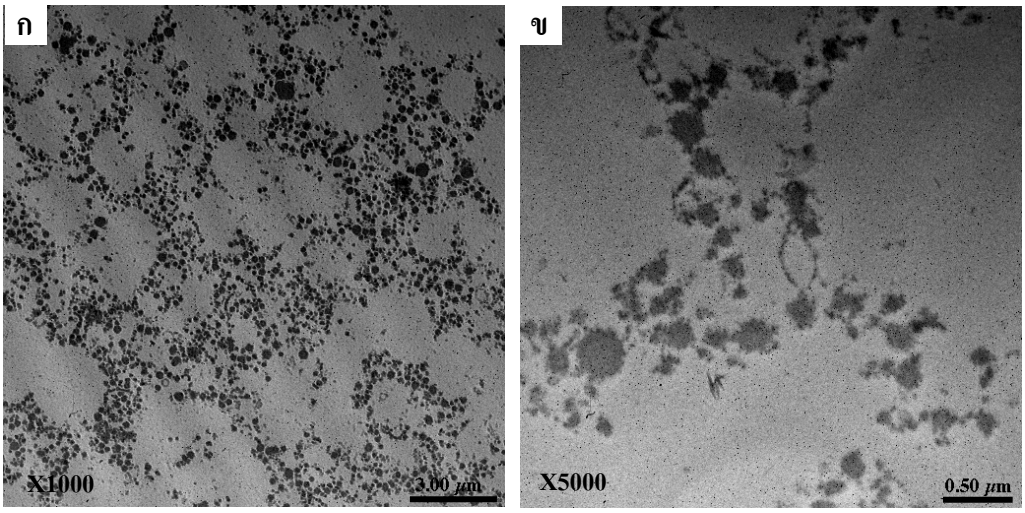
	Protein surface coverage ($mg.m^{-2}$)
33 kDa	1.38 ± 0.27
31 kDa	1.45 ± 0.31
29 kDa	0.15 ± 0.03
18 kDa	0.23 ± 0.03
14 kDa	0.16 ± 0.05
Total	3.20 ± 0.21

หมายเหตุ: - ไอศกรีมนมสูตรควบคุมประกอบด้วย นมผงพร่องมันเนย ร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนัก และไขมันเนย ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

- ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับและล้อมรอบเม็ดไขมันเป็นเพียงค่าประมาณการไม่ใช่ค่าที่แท้จริง

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องผ่าน



ภาพภาคผนวกที่ 3 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนมสูตรควบคุม (สูตรทางการค้า) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ก) และ 5,000 เท่า (ข)

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบสอบถาม

สำหรับคัดกรองผู้ทดสอบชิมไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช

1. ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล.....

เพศ ○ ชาย ○ หญิง

อายุ ○ ต่ำกว่า 18 ปี ○ 18-28 ปี ○ 29-39 ปี

○ 40-50 ปี ○ 50 ปีขึ้นไป

2. เกี่ยวกับบริโภคนิสัย

2.1 ในการบริโภคอาหาร/เครื่องดื่ม แต่ละครั้งท่านจะพิจารณาอะไรเป็นสิ่งแรก

○ ประโยชน์ต่อสุขภาพ (จากสารอื่นที่ไม่ใช่สารอาหาร เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ)

○ ปริมาณแคลอรี

○ รสชาติ/ความอร่อย

○ อื่นๆ .....

2.2 ความถี่ในการรับประทานไอศกรีม

○ น้อยกว่า 1 ครั้ง/เดือน ○ 1-2 ครั้ง/เดือน ○ 3-4 ครั้ง/เดือน

○ มากกว่า 4 ครั้ง/เดือน ○ อื่นๆ.....

2.3 ความชอบในการบริโภคอาหาร/เครื่องดื่มที่ทำจากถั่วเหลือง

○ ไม่ชอบ ○ ชอบเล็กน้อย ○ ชอบ

○ ชอบมาก ○ ชอบมากที่สุด

2.4 ความถี่ในการบริโภคอาหาร/เครื่องดื่มที่ทำจากถั่วเหลือง

○ น้อยกว่า 1 ครั้ง/เดือน ○ 1-2 ครั้ง/เดือน ○ 3-4 ครั้ง/เดือน

○ มากกว่า 4 ครั้ง/เดือน ○ อื่นๆ.....

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส
Hedonic scale scoring test (Acceptance test)

รหัสการทดสอบ..... วันที่.....

ชื่อตัวอย่าง..... ชื่อผู้บริโภค.....

คำชี้แจง โปรดทำการประเมินตัวอย่างไอศกรีมที่ท่านได้รับ และให้คะแนนที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ท่านกำลังทดสอบชิม

ระดับคะแนน
1 =ไม่ชอบเลย
2 = ไม่ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
5 = เฉยๆ
6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง
8 = ชอบมาก
9 = ชอบมากเป็นพิเศษ

คุณลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างไอศกรีม	ระดับความพอใจ				
	.....	.....	.....	.....	.....
1. ลักษณะปรากฏ • สี • ความเรียบเนียนของผิวหน้า	....	....	....	....	....
2. รสชาติ • ความหวาน • ความมัน	....	....	....	....	....
3. กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....	.....
4. เนื้อสัมผัส • ความแน่นเนื้อ • การละลายของผลิตภัณฑ์ในปาก • ความรู้สึกสากลิ้นเหมือนมีเม็ดทราย (sandiness)	....	....	....	....	....

คุณลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างไอศกรีม	ระดับความพอใจ				
	.....	.....	.....	.....	.....
5. ความรู้สึกตกค้างหลังการรับประทาน (aftertaste)	.....	.....	.....	.....	.....
6. พอใจโดยรวมต่อตัวอย่างไอศกรีมที่ได้รับ (overall acceptance)	.....	.....	.....	.....	.....
7. ความคิดเห็นอื่นๆ					

ภาคผนวก จ

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 222) เรื่องไอศกรีม

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข
(ฉบับที่ 222) พ.ศ. 2544
เรื่อง ไอศกรีม

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ไอศกรีม

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) และ (10) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและ เสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่ง ราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิก

(1) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 33 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดไอศกรีมเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานและวิธีการผลิต ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522

(2) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 101 (พ.ศ.2529) เรื่อง กำหนดไอศกรีมเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานและวิธีการผลิต (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2529

ข้อ 2 ให้ไอศกรีมเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ

ข้อ 3 ไอศกรีมตามข้อ 2 แบ่งเป็น 5 ชนิด

(1) ไอศกรีมนม ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้นมหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม

(2) ไอศกรีมดัดแปลง ได้แก่ ไอศกรีมตาม (1) ที่ทำขึ้นโดยใช้ไขมันชนิดอื่นแทนมันเนยทั้งหมดหรือแต่บางส่วน หรือไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันแต่ผลิตภัณฑ์นั้นมิใช่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม

(3) ไอศกรีมผสม ได้แก่ ไอศกรีมตาม (1) หรือ (2) แล้วแต่กรณี ซึ่งมีผลไม้หรือวัตถุอื่นที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย

(4) ไอศกรีมตาม (1) (2) หรือ (3) ชนิดเหลว หรือแห้ง หรือผง

(5) ไอศกรีมหวานเย็น ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้น้ำและน้ำตาล หรืออาจมีวัตถุอื่นที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย ไอศกรีมดังกล่าวอาจใส่วัตถุแต่งกลิ่น รส และสีด้วยก็ได้

ข้อ 4 ไอศกรีมทุกชนิด ยกเว้นไอศกรีมตามข้อ 3(4) ต้องผ่านกรรมวิธีตามลำดับดังต่อไปนี้

(1) การผ่านความร้อน ต้องผ่านกรรมวิธีหนึ่งวิธีใด ดังนี้

(1.1) ทำให้ร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 68.5 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 30 นาที หรือ

(1.2) ทำให้ร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 25 วินาที และจะต้องมีเครื่องวัดอุณหภูมิพร้อมด้วยเครื่องบันทึกอัตโนมัติแสดงอุณหภูมิเวลา ที่ใช้จริง หรือ

(1.3) ทำให้ร้อนโดยกรรมวิธีอื่นตามที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาเห็นชอบด้วย

(2) ทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้

(3) ปั่น กวน หรือผสม แล้วแต่กรณีและทำให้เยือกแข็งที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า -2.2 องศาเซลเซียส ก่อนบรรจุลงในภาชนะบรรจุเพื่อจำหน่าย และต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า -2.2 องศาเซลเซียส

ข้อ 5 ไอศกรีม ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) ไอศกรีมนม ต้องมีมันเนยเป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และมีธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก

(2) ไอศกรีมดัดแปลง ต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(3) ไอศกรีมผสม ต้องมีมาตรฐานเช่นเดียวกับ (1) หรือ (2) แล้วแต่กรณี ทั้งนี้โดยไม่นับรวมน้ำหนักของผลไม้หรือวัตถุที่เป็นอาหารอื่นผสมอยู่

(4) ไอศกรีมหวานเย็นและไอศกรีมตามข้อ 3(1) (2) หรือ (3) ต้อง

(4.1) ไม่มีกลิ่นหืน

(4.2) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาลนอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยให้ใช้วัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอช โอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

(4.3) ไม่มีวัตถุกันเสีย

(4.4) มีบักเตรีได้ไม่เกิน 600,000 ในอาหาร 1 กรัม

(4.5) ตรวจไม่พบบักเตรีชนิด อี.โคไล (*Escherichia coli*) ในอาหาร 0.01 กรัม

(4.6) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(4.7) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

(5) ไอศกรีมชนิดเหลวต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตาม (1)(2) หรือ (3) แล้วแต่กรณี และต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตาม (4) ด้วย

ข้อ 6 ไอศกรีมชนิดแห้ง หรือผง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1)ไม่มีกลิ่นหืน

(2) มีกลิ่นตามลักษณะเฉพาะของไอศกรีมชนิดนั้น

(3) มีลักษณะไม่เกาะเป็นก้อน ผิดไปจากลักษณะที่ทำขึ้น

(4) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาล นอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยให้ใช้วัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอช โอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

(5) ไม่มีวัตถุกันเสีย

(6) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(7) มีบักเตรีได้ไม่เกิน 100,000 ในอาหาร 1 กรัม

(8)ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(9) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ข้อ77 การใช้วัตถุเจือปนอาหาร ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร

ข้อ 8 ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าไอศกรีมเพื่อจำหน่ายต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 9 การใช้ภาชนะบรรจุไอศกรีม ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ

ข้อ 10 การแสดงฉลากของไอศกรีมให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ฉลาก

ข้อ 11 ประกาศฉบับนี้

(1) ไม่กระทบกระเทือนถึงใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร ซึ่งออกให้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2522) เรื่อง กำหนดไอศกรีมเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานและวิธีการผลิต ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 101 (พ.ศ. 2529) เรื่อง กำหนดไอศกรีมเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานและวิธีการผลิต (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2529 ก่อนประกาศนี้ใช้บังคับยังคงใช้ได้ต่อไป

(2) ให้ใบสำคัญการใช้ฉลากอาหาร ซึ่งออกให้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 68 (พ.ศ. 2525) เรื่อง ฉลาก ลงวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2525 แก้ไขเพิ่มเติมโดย

ประกาศกระทรวง สาธารณสุข ฉบับที่ 95 (พ.ศ. 2528) เรื่อง ฉลาก (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2528 และฉบับที่ เกี่ยวข้องก่อนประกาศนี้ใช้บังคับยังคงใช้ต่อไปได้ไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 12 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้าไอศกรีมที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ ยื่นคำขอรับเลขสารบบอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อได้ยื่นคำขอดังกล่าวแล้ว ให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 8 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไป จนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 13 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2544 เป็นต้นไป

ประวัติผู้เขียน

นางสาวถนอมดวง แซ่ลิ เกิดเมื่อวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2524 ที่อำเภอเบตง จังหวัดยะลา จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนเบตง “วีระราษฎร์ประสาน” และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรปริญญาวิทยศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2547

ประสบการณ์ทำงาน/ฝึกอบรม

- ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ในแผนก Applied research team (ART) ณ บริษัทเอฟเฟ็ม ฟูดส์ ประเทศไทย จำกัด (กันยายน-ธันวาคม 2546)
- ศึกษา “การเพิ่มสมบัติการเป็นสารต้านการหืนของฟิล์มที่รับประทานได้จากเวย์โปรตีน” (โครงงานในหลักสูตรเทคโนโลยีอาหาร) ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มกราคม-มีนาคม 2547)
- ผู้ช่วยวิจัยโครงการ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากโปรตีนและไขมันพืช” ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (พ.ศ. 2547-2549)
- ผู้ช่วยวิจัยโครงการ “การวิเคราะห์คุณลักษณะของอาหารสัตว์โดยวิธีทางประสาทสัมผัส” โครงการร่วมวิจัยกับบริษัทเอฟเฟ็ม ฟูดส์ ประเทศไทย จำกัด (พ.ศ. 2548)

ผลงานทางวิชาการ

- การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืชทดแทนโปรตีนและไขมันนมในไอศกรีมโดยวิธีการหาพื้นที่การตอบสนอง. ถนอมดวง แซ่ลิ และ ศุกฤตย์ ไทยอุดม. การนำเสนอผลงานทางวิชาการแบบโปสเตอร์. การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 8 “นวัตกรรมทางอาหาร”, 15-16 มิถุนายน 2549, ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค-บางนา, กรุงเทพ.
- Optimization of Soy Protein Isolate and Vegetable Oil Content Replacing Milk Protein and Milk Fat in Ice Cream Using Response Surface Methodology. Thanomduang Saeli and Sukrit Thaiudom. Oral presentation at The 13th Tri-University International Joint Seminar & Symposium, 29 October - 2 November 2006, Mie-University, Japan.