



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตรการอาหาร

สาขา

วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร

ภาควิชา

เรื่อง การใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นและมอลโทเด็กซ์ทรินในไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ

Utilization of Whey Protein Concentrate and Maltodextrin in Low Fat Coconut Milk Ice Cream

นามผู้วิจัย นางสาวปิยะธิดา เกิดช่วย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สมจิต สุรพัฒน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ปาริฉัตร หงสประภาส, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจานันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นและมอลโทเดกซ์ทรินในไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ

Utilization of Whey Protein Concentrate and Maltodextrin in Low Fat Coconut Milk Ice cream

โดย

นางสาวปิยะธิดา เกิดช่วย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2551

ปิยะธิดา เกิดช่วย 2551: การใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นและมอลโทเด็กซ์ทรินในไอศกรีมกะทิ ไขมันต่ำ ปรินญาวิทยาสาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์ การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ หลัก: รองศาสตราจารย์สมจิต สุรพัฒน์, Ph.D. 78 หน้า

การลดไขมันในไอศกรีมทำให้คุณภาพของไอศกรีมด้อยลง โดยเฉพาะเนื้อสัมผัสและ กลิ่นรสของไอศกรีม การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบจึงเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงคุณภาพทาง ประสาทสัมผัสและคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมให้ดีขึ้น จึงศึกษาการใช้เวย์โปรตีนเข้มข้น สารให้ความคงตัว และมอลโทเด็กซ์ทรินในไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ โดยแปรผันปริมาณน้ำตาลและ หางนมผงในไอศกรีมกะทิที่มีไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไอศกรีมมีค่าพีเอชและอัตราการละลาย สูงขึ้น เมื่อมีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นและหางนมผงต่ำลง ไอศกรีมกะทิที่มีน้ำตาล 11 เปอร์เซ็นต์ และ หางนมผง 10 เปอร์เซ็นต์มีคะแนนความชอบสูงที่สุด จึงนำไอศกรีมสูตรนี้มาลดไขมันลงเหลือ 2 เปอร์เซ็นต์ และทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ แตกต่างจากไอศกรีมที่ไม่ได้เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น ($p \geq 0.05$) ยกเว้นค่าพีเอชและอัตราการละลาย ที่ลดลง อย่างไรก็ตามไอศกรีมกะทิที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบสูง ที่สุด จึงนำมาศึกษาผลของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ เมื่อเพิ่ม ปริมาณสารให้ความคงตัว ครีโมแดน 709-M ทำให้ไอศกรีมมีคุณสมบัติการไหลเข้าใกล้ของ ไหลแบบ non-Newtonian มากกว่าครีโมแดน 734-M และไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่ใช้ ครีโมแดน 709-M ที่ระดับความเข้มข้น 0.45 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบสูงที่สุด เมื่อทดแทน ไขมันด้วยมอลโทเด็กซ์ทรินในสูตรที่มีครีโมแดนน้อยกว่า นอกจากนี้มอลโทเด็กซ์ทริน ส่งผลต่อ คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นั่นคือค่าพีเอช Consistency index (K) และเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูลดลง แต่ Flow behavior index (n) และความแน่น แข็งเพิ่มขึ้นจากไอศกรีมสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมมอลโทเด็กซ์ทริน โดยผู้ชิมให้คะแนนความชอบ ไอศกรีมที่เติมมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE 5 ที่ระดับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ DE 10 ที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์สูงที่สุด แต่ไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่เติมมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE 5 ในปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า

Piyathida Kerdchouay 2008: Utilization of Whey Protein Concentrate and Maltodextrin in Low Fat Coconut Milk Ice Cream. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Somjit Surapat, Ph.D. 78 pages.

Reducing fat in ice cream decreases quality of ice cream, especially texture and flavor. Ingredient modification is one of the ways that can improve sensory evaluations and physical properties of ice cream. Whey protein concentrate (WPC), stabilizer/emulsifier and maltodextrin included in low fat coconut milk ice cream mix formulations were studied. Coconut milk ice cream (8% fat w/w) with varying sugar and skim milk powder (SMP) contents were preliminary studied. Results showed that melting rate and pH values of ice cream increased with higher sugar contents and lower SMP contents. Coconut milk ice cream with 11% sugar and 10% SMP had the highest acceptance score and this formulation was used for further study to reduce fat in ice cream to 2% (w/w). The physical properties of low fat coconut milk ice cream (2% fat w/w) which replacing skim milk powder with WPC at 0.5 1.0 and 1.5% (w/w) did not give significant differences ($p \geq 0.05$) from those with no adding WPC except decreased pH values and melting rate. However, low fat coconut milk ice cream with 1.0% WPC had the highest sensory acceptability score and this formulation was used to study effects of stabilizer/emulsifier on qualities of low fat coconut milk ice cream. Flow behaviors of ice cream mixes with increasing Cremodan 709-M concentration were closer to non-Newtonian behavior than those with increasing Cremodan 734-M and low fat coconut milk ice cream with 0.45% and 0.65% Cremodan 709 had the highest acceptance scores. Results showed that adding maltodextrin in low fat coconut milk ice cream with lower Cremodan 709-M content affected its physical properties significantly ($p < 0.05$), i.e., pH value, consistency index (K) and overrun (%) but higher in flow behavior index (n) and hardness than those without maltodextrin. Panelists gave the highest acceptance score to ice cream with 1.5% DE 5 and 2.0% DE 10 maltodextrin but the former one had lower cost of production.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมจิต สุรพัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับแนวทางดำเนินการวิจัย ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปาริฉัตร หงสประภาส กรรมการร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่าน ที่กรุณามอบความรู้และอบรมสั่งสอนระหว่างการศึกษา เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนพี่น้อง และเพื่อนที่เสียสละเวลาเพื่อมาฝึกฝน และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ขอกราบขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่กรุณามอบทุนวิจัย เพื่อสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท บริษัท เบอร์ลี่ ยูคเกอร์ สเตเชิลดีส์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ครีโมแดน และ สตาร์คราย บริษัท วิคกี้ เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เวย์โปรตีนเข้มข้น และ บริษัท อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล ฟเลเวอร์ แอนด์ ฟลาแกรนส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ กลิ่นมะพร้าว

สุดท้ายนี้ ขอกราบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา และกำลังใจมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปิยะธิดา เกิดช่วย

สิงหาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	31
สรุปและข้อเสนอแนะ	64
สรุป	64
ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	72
ภาคผนวก ข ความหนืดของไอศกรีมที่อัตราเนื้อต่างๆ	76

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อุณหภูมิและเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์ไอศกรีมมิกซ์	11
2	องค์ประกอบทางเคมีของกะทิกระป๋องจากประเทศต่างๆ	14
3	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว	15
4	ชนิดของไอศกรีมตามเกณฑ์การแบ่งของ USFDA	16
5	สูตรไอศกรีมกะทิที่มีการแปรผันปริมาณน้ำตาลและหางนมผง	31
6	ระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่มีปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่างกัน	35
7	ระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่มีปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่างกัน	36
8	สูตรไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการแปรผันปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้น	37
9	ระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่างกัน	42
10	ระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่างกัน	43
11	สูตรไอศกรีมกะทิที่มีการแปรผันชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัว	44
12	ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่อลักษณะการไหลไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	47
13	ระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีชนิดและ ปริมาณสารให้ความคงตัวต่างกัน	51
14	ระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างกัน	53
15	ความหนืดปรากฏของสารละลายมอลโทเด็คซ์ทริน	54
16	สูตรไอศกรีมกะทิที่มีการแปรผันชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมัน	55
17	ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อลักษณะการไหลไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่างกัน	61
19	ระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่างกัน	63

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของไอศกรีมมิกซ์ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	4
2	โครงสร้างของไอศกรีมส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด อุณหภูมิต่ำ	4
3	ปฏิกิริยาระหว่างแคลปีา-คาราจีแนนกับเคซีน	8
4	กระบวนการผลิตเวย์โปรตีนเข้มข้น	19
5	ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์	32
6	ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์วัดที่ความเร็ว รอบ 100 รอบต่อนาที	33
7	ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูและความแน่นแข็ง ของไอศกรีมกะทิ	33
8	ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิ	34
9	ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์	38
10	ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์วัดที่ความเร็ว รอบ 100 รอบต่อนาที	39
11	ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูและความแน่นแข็งของ ไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ	40
12	ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ	41
13	ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์	45
14	ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีม กะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	48
15	ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่อความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิ ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	49
16	ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิ ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	50
17	ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	58
19	ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	59
20	ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น	60
ภาพผนวกที่		
ข1	ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่มีการแปรผันสารให้ความคงตัว	78
ข2	ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่มีการแปรผันมอลโทเดกซ์ทริน	78

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

WPC	=	Whey protein concentrate
SMP	=	Skim milk powder
SE	=	Cremodan
MD	=	Maltodextrin
DE	=	Dextrose Equivalent

การใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นและมอลโทเด็กซ์ทรินในไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ

Utilization of Whey Protein Concentrate and Maltodextrin in Low Fat Coconut Milk Ice cream

คำนำ

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมที่ได้รับความนิยมในการบริโภคจากคนทุกเพศทุกวัยเนื่องจากเป็นอาหารหวานที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ มีเนื้อสัมผัสและรสชาติที่ดี ประกอบด้วยเนื้อมะพร้าวไม่รวมไขมัน ไขมัน สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ และอาจเติมส่วนผสมอื่นๆ เช่น ผลไม้จากไซ้ สี สารให้กลิ่น (Marshall and Arbuckle, 1996)

ไอศกรีมกะทิเป็นไอศกรีมที่ได้รับความนิยมในการบริโภคสูงโดยเฉพาะในประเทศไทย กะทิที่เป็นส่วนผสมของไอศกรีมเป็นแหล่งของไขมันอิ่มตัวที่มีผลต่อการเพิ่มระดับโคเลสเตอรอลในเลือดทำให้เป็นปัญหาสุขภาพก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง (Roller and Jones, 1996) และเนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจกับสุขภาพมากขึ้นจึงเลือกรับประทานอาหารที่มีไขมันต่ำเพื่อป้องกันโรคและรักษาสุขภาพ

การลดปริมาณไขมันในไอศกรีมกะทิจะเป็นแนวทางที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ แต่การลดปริมาณไขมันทำให้ไอศกรีมมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสบางอย่างด้อยลง เนื่องจากไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเป็นตัวให้กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสที่เป็นมัน การเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นลงในไอศกรีมสามารถปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมกะทิไขมันให้ดีขึ้น เนื่องจากเวย์โปรตีนมีคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มคุณภาพของไอศกรีม เช่น คุณสมบัติในการจับกับน้ำ ลดขนาดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมทำให้สามารถลดความหยาบของเนื้อไอศกรีม มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ช่วยทำให้อิมัลชันเกิดความเสถียร และช่วยในการเกิดโฟม (Ruger *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังใช้สารทดแทนไขมัน (fat replacer) ร่วมกับสารให้ความคงตัวซึ่งช่วยปรับปรุงคุณภาพไอศกรีมกะทิไขมันต่ำให้ดีขึ้น ทั้งเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์และทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภค และผู้ผลิต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของปริมาณของเวย์โปรตีนเข้มข้นที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ
2. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น
3. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

การตรวจเอกสาร

ไอศกรีมและองค์ประกอบของไอศกรีม

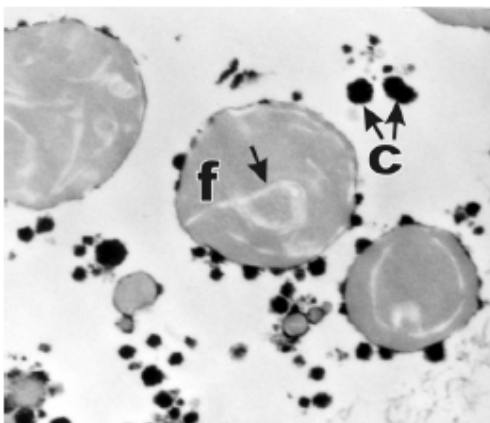
ไอศกรีม

ไอศกรีม คือ ของผสมแช่เยือกแข็งที่ประกอบไปด้วย เนื้อมันไม่รวมไขมัน ไขมัน สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ และอาจเติมส่วนผสมอื่นๆ เช่น ผลิภัณฑ์จากไข่ สี ของผสมที่ได้เรียกว่าไอศกรีมมิกซ์ นำไปผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ โฮโมจิไนซ์ก่อนนำไปทำให้แข็งซึ่งเป็นการนำความร้อนออกอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันเป็นการกวนเพื่อให้อากาศเข้าไปทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเรียบเนียนและความนุ่มตามต้องการ (Marshall *et al.*, 2003)

องค์ประกอบของไอศกรีม

องค์ประกอบของไอศกรีมแตกต่างกันไปตามความต้องการของตลาด และชุมชนในแต่ละท้องถิ่น (สมจิต, 2544) องค์ประกอบของไอศกรีมโดยประมาณประกอบด้วยไขมัน ร้อยละ 8-20 เนื้อมันไม่รวมมันเนยร้อยละ 8-15 น้ำตาลร้อยละ 13-20 สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 0-0.5 และปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 36-43 (Arbuckle, 1986)

โครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีมเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีความซับซ้อน (ภาพที่ 1 และ 2) ในส่วนที่แข็งตัว มีฟองอากาศและผลึกน้ำแข็งกระจายตัวอยู่ ฟองอากาศมีเม็ดไขมันที่เกิดการรวมตัวล้อมรอบ ทำให้ฟองอากาศคงตัวอยู่ได้ ส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัวประกอบด้วย เม็ดไขมันที่แข็งตัว โปรตีนนม เกลลีน แลคโทส สารให้ความคงตัว พอลิแซ็กคาไรด์ น้ำ และน้ำตาล เป็นต้น (Arbuckle 1986; Marshall and Arbuckle 1996; Goff 2002)

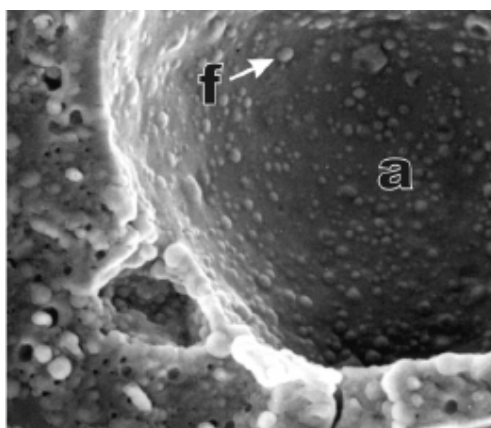


ภาพที่ 1 โครงสร้างของไอศกรีมมิกซ์ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

c) เคซีนไมเซลล์

f) เม็ดไขมันที่แสดงผลึกไขมัน (ลูกศร)

ที่มา: Goff (2002)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของไอศกรีมส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดอุณหภูมิต่ำ

a) ฟองอากาศ

f) เม็ดไขมันที่ห่อหุ้มฟองอากาศ

ที่มา: Goff (2002)

กระบวนการตีผ่านอากาศและทำให้แข็งในการผลิตไอศกรีม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่างๆ เช่น การเกิดโฟมและทำให้โฟมคงตัวจากการกระทำของโปรตีนและสารลดแรงตึงผิว การเกิด partial coalescence ของเม็ดไขมันที่ยึดเกาะที่ผิวของฟองอากาศ ทำให้ฟองอากาศคงตัว และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของส่วนที่ไม่แข็งตัวในการดึงน้ำออกจากสารละลายเพื่อสร้างผลึกน้ำแข็ง (Goff, 1997, 2002)

ส่วนผสมและบทบาทของส่วนผสมในไอศกรีม

1. ไขมัน

ไขมันเป็นส่วนผสมหลักที่สำคัญในไอศกรีม การไฮโดรจิไนซ์ทำให้เม็ดไขมันในไอศกรีมมีลักษณะแตกออกเป็นเม็ดเล็กๆกระจายตัวในส่วนของน้ำ เมื่อบั่นไอศกรีม เม็ดไขมันที่กระจายตัวอยู่เกิดการรวมตัวกัน ห่อหุ้มฟองอากาศให้คงตัว เกิด partial coalescence ไขมันเป็นองค์ประกอบที่ทำให้ไอศกรีมมีคุณสมบัติที่ดี คือ เรียบเนียน มัน เคลือบปาก ลดความรู้สึกเย็นจัดของไอศกรีม และเป็นตัวพากลิ่นรส การใช้ไขมันที่เหมาะสมช่วยให้ส่วนผสมสมดุล ไขมันไม่มีผลต่อการลดจุดเยือกแข็ง การใช้ไขมันมากขึ้น ทำให้ผลึกน้ำแข็งเล็กลง ชัดขวางการขึ้นฟูของไอศกรีม ให้พลังงานสูง และต้นทุนในการผลิตสูง ปริมาณและแหล่งของไขมันเป็นตัวกำหนดมาตรฐานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Arbuckle 1986; Marshall and Arbuckle 1996) ดังนั้นหากใช้ไขมันอื่นที่ไม่ใช่ไขมันเนยซึ่งมาจากนมหรือผลิตภัณฑ์นมอื่นๆแทนมันเนยทั้งหมดหรือบางส่วนในการผลิต ไอศกรีมที่ได้เรียกว่า ไอศกรีมดัดแปลงไขมัน ส่วนไอศกรีมจะหิมักจัดเป็นเมลโลรีน (สมจิต, 2550)

2. เนื่อนมไม่รวมมันเนย

เนื่อนมไม่รวมมันเนยเป็นองค์ประกอบที่ได้จากนม เช่น หางนม (skim milk) หางเนยเหลว (butter milk) เวย์ (whey) และเคซีน (casein) ส่วนผสมทั้งหมดนี้ประกอบด้วย โปรตีน น้ำตาลแลคโทส และเกลือ ทำให้เกิดลักษณะเนื้อแก่ไอศกรีม ให้ความนุ่มเนียนแน่นเนื้อ เพิ่มกลิ่นรสและเพิ่มคุณค่าทางอาหาร (Marshall and Arbuckle, 1996) โปรตีน มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์และจับกับอิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นที่ผิวของไขมันส่งเสริมการเกิด partial coalescence ของเม็ดไขมันที่ผิวของฟองอากาศ นอกจากนี้โปรตีนยังมีคุณสมบัติในการช่วยเกิดโฟม และจับน้ำมีผลให้ความ

หนืดของไอศกรีมมีมากขึ้น ไอศกรีมละลายช้าลง และผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง (Goff, 1997) น้ำตาลแลคโทสช่วยเพิ่มความหวานให้ไอศกรีมได้เล็กน้อย แต่มีความสามารถในการละลายต่ำจึงอาจตกผลึกและทำให้ไอศกรีมมีเนื้อเป็นทรายได้ เกลือทำให้เกิดรสเค็มเล็กน้อย เนียนนุ่มไม่รวมมัน เนยช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการขึ้นฟู ลดจุดเยือกแข็งของไอศกรีม ช่วยให้ไอศกรีมละลายช้าลง ให้ลักษณะเนื้อแก่ไอศกรีม ให้ความนุ่มเนียนแน่นเนื้อ เพิ่มกลิ่นรส และเพิ่มคุณค่าทางอาหาร แต่การเติมมากเกินไปทำให้ไอศกรีมมีรสเค็ม เหนียวไหม้ เสี่ยงต่อการเกิดเนื้อเป็นทรายจากผลึกแลคโทส (Arbuckle 1986; Marshall and Arbuckle 1996)

3. สารให้ความหวาน (Sweetener)

สารให้ความหวาน ทำหน้าที่เพิ่มความหวาน ให้กลิ่นรส และมีบทบาทในการป้องกันการเป็นน้ำแข็ง (anti-freeze) ของไอศกรีม สารให้ความหวานที่นิยมใช้ในไอศกรีมมากที่สุด ได้แก่ น้ำตาลทราย และคอร์นไซรัป (corn syrup) การเพิ่มปริมาณสารให้ความหวานในไอศกรีมมีผลทำให้จุดเยือกแข็งลดลง ดังนั้นผลิตภัณฑ์มีความนุ่มนวลกว่าและง่ายต่อการรับประทานที่อุณหภูมิเย็นจัด เพราะปริมาณน้ำที่เป็นน้ำแข็งมีน้อย ในส่วนผสมของไอศกรีมมักมีปริมาณน้ำตาลอยู่ระหว่าง 10 – 18 % ถ้าใช้สารให้ความหวานในปริมาณที่สูงเกิน มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์หวานเกินไป และแข็งตัวยากจึงได้น้ำไอศกรีมแฉะ ถ้าใส่คอร์นไซรัปในผลิตภัณฑ์มากไป มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์หนืด เหนียวคล้ายยาง และอาจมีกลิ่นรสผิดปกติ (Arbuckle 1986; Marshall and Arbuckle 1996)

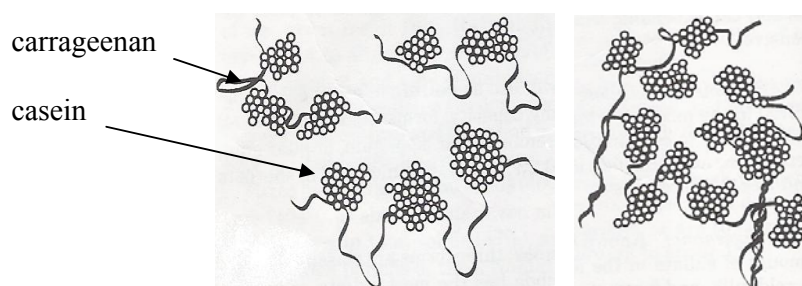
4. น้ำ

น้ำเป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดอยู่ในไอศกรีม น้ำทำหน้าที่เป็นเฟสต่อเนื่องในไอศกรีม โดยอยู่ในสภาพผลึกน้ำแข็งเกือบทั้งหมด ณ อุณหภูมิที่รับประทาน ความสมดุลระหว่างผลึกน้ำแข็งกับส่วนที่เป็นของเหลวและขนาดของผลึกน้ำแข็ง มีบทบาทสำคัญต่อการรับประทานไอศกรีม โดยปกติแล้วน้ำไม่ใช่องค์ประกอบที่เติมลงในส่วนผสมไอศกรีม แต่มักมาจากส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ น้ำนม ไข่เหลว คอร์นไซรัป ส่วนผสมทั้งหลายเหล่านี้กระจายหรือแขวนลอยอยู่ในส่วนของน้ำของไอศกรีม (Arbuckle, 1986)

5. สารให้ความคงตัว (Stabilizer)

สารให้ความคงตัว เป็นสารที่ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเนียนนุ่ม คงตัว และองค์ประกอบของไอศกรีมรวมตัวกันได้ดีขึ้น มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่เป็นโปรตีน เช่น เจลาติน (Gelatin) เคซีน (Casein) และชนิดที่เป็นไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งอาจสกัดจากพืช สาหร่าย เช่น ซีเอ็มซี เพคติน กวักัม แชน-แทนกัม โคลัสปีนกัม คาราจีแนน โซเดียมอัลจีเนต เป็นต้น (นรินทร์, 2528; สมจิต, 2550) สารให้ความคงตัวมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำได้ดี ทำให้เกิดเจล ช่วยเพิ่มความหนืดของไอศกรีมมิคซ์จึงจับอากาศและทำให้การกระจายตัวของฟองอากาศมีความสม่ำเสมอ ลดเวลาในการตีปั่นเป็นไอศกรีม และช่วยเพิ่มลักษณะเนื้อ (body) นอกจากนี้สารให้ความคงตัวสามารถจับกับโปรตีนนมและส่วนประกอบอื่นๆ ในไอศกรีม เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ชะลอการเกิดและเติบโตของผลึกน้ำแข็งลดการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทำให้ไอศกรีมมีความคงตัวและละลายช้าลง (Huang and Platt, 1995) แต่การใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไป ทำให้เนื้อสัมผัสเป็นเมือกหรือเหนียวได้ (Goff, 1994) สารให้ความคงตัวมีบทบาทต่อการผลิตไอศกรีมที่มีคุณภาพดี ทางการค้ามักใช้สารหลายๆตัวรวมกัน ชนิดที่นิยมใช้ในการผลิตไอศกรีม ได้แก่

คาราจีแนน (Carrageenan) สกัดจากสาหร่ายสีแดง แบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามจำนวนของหมู่ซัลเฟตในโมเลกุล ได้แก่ แลมด้า-คาราจีแนน มีปริมาณซัลเฟตในโมเลกุลมากที่สุด สามารถละลายในนมเย็นและเกิดเจลชนิดอ่อน ไอโอต้า-คาราจีแนน ละลายในนมที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 55 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นซึ่งสามารถต้านการเกิด syneresis ได้ และแคลป์า-คาราจีแนนละลายในนมที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ให้เจลที่มีความเปราะและไม่ต้านการเกิด syneresis แต่เมื่อใช้ร่วมกับโคลัสปีนกัมทำให้เกิดเจลที่ยืดหยุ่นและไม่เกิด syneresis ทั้งแคลป์า-และไอโอต้า-คาราจีแนนสามารถเกิดปฏิกิริยากับเคซีนเกิดเป็นร่างแหสามมิติ (ภาพที่ 3) ที่ช่วยป้องกันการแยกตัวของเวย์และการแยกชั้นของไอศกรีมมิคซ์ที่เก็บไว้หลายวัน แต่มีราคาสูง (Marshall and Arbuckle, 1996) ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนิยมใช้คาราจีแนนร่วมกับโคลัสปีนกัม กวักัม และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโดยช่วยลดการสร้างผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลแลคโทส และป้องกันการแยกตัวของเวย์ในขั้นตอนการบ่มไอศกรีมมิคซ์ (Nussinovitch, 1997)



ภาพที่ 3 ปฏิกริยาระหว่างแคปปา-คาราจีแนนกับเคซีน

ที่มา: Marshall and Arbuckle (1996)

โลคัสบีนกันัม (Locust bean gum) ละลายได้เมื่อให้ความร้อน สามารถเกิดพันธะกับน้ำได้มาก จึงให้ความหนืดสูง การเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่มีผลต่อโลคัสบีนกันัมเนื่องจากเป็นกาแลคโตแมนแนนโพลีแซคคาไรด์สายตรงที่ไม่มีประจุ นิยมใช้ร่วมกับคาราจีแนนเนื่องจากอาจทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน และมีราคาสูง (Marshall and Arbuckle, 1996)

กัวกัม (Guar gum) ละลายได้ในน้ำเย็น เหมาะกับการพาสเจอร์ไรซ์แบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (HTST) ให้ความหนืดสูงแม้มีความเข้มข้นต่ำ กัวกัมเป็นกาแลคโตแมนแนนโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่มีประจุเช่นเดียวกับโลคัสบีนกันัมแต่มี galactose residues มากกว่า สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลที่มีความเป็นไฮโดรโฟบิกได้ เมื่อใช้ร่วมกับโลคัสบีนกันัมอาจทำให้เกิดการแยกเฟสกับโปรตีนนมได้ เนื่องจากเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่มีประจุ มีราคาถูก (Marshall and Arbuckle 1996; Patmore *et al.*, 2003)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose: CMC) รู้จักในชื่อของ เซลลูโลสกันัม ละลายได้ง่าย มีความสามารถในการจับน้ำได้ดี ให้เจลอ่อน มีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้ร่วมกับคาราจีแนน โลคัสบีนกันัม และกัวกัม มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน chewy body และเพิ่มความสามารถในการขึ้นฟู (Arbuckle 1986; Marshall and Arbuckle 1996)

6. อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เป็นสารที่ช่วยในการเกิดอิมัลชัน ทำให้ส่วนผสมต่างๆ ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น ทำให้อนุภาคของไขมันกระจายตัวอยู่ได้ ป้องกันไม่ให้เกิดการจับตัวรวมกันของไขมันที่กลายเป็นหยดเล็กๆ หลังกระบวนการโฮโมจิไนซ์ ในกระบวนการแช่แข็ง อิมัลซิไฟเออร์ที่แทนที่โปรตีนที่ผิวเม็ดไขมันทำให้เม็ดไขมันเกิดการไม่คงตัว (fat destabilization) เคลือบที่ผิวฟองอากาศ ทำให้ฟองอากาศคงตัว ไอศกรีมแห้งและแข็ง ช่วยลดเวลาในการทำให้อิศกรีมฟู เนื้อสัมผัสเรียบเนียน และช่วยชะลอการละลาย อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีมมี 2 ชนิด คือ ชนิดแรก โมโน- และได-กลีเซอไรด์ และ ชนิดที่สอง ซอร์บิแทนเอสเตอร์ โดยทั่วไปไม่ควรใช้อิมัลซิไฟเออร์เกิน 0.2% เนื่องจากการเติมอิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปทำให้อิศกรีมละลายช้าไป (Arbuckle 1986; Goff 1994; Marshall and Arbuckle 1996)

7. สีและกลิ่นรส (Color and Flavor)

สีและกลิ่นรสของไอศกรีมเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ไอศกรีมควรมีสีอ่อนๆ เป็นที่ดึงดูดใจ และสอดคล้องกับกลิ่นรส ปริมาณของไขมันมีผลต่อกลิ่นรส ไอศกรีมที่มีไขมันสูงต้องใช้ปริมาณกลิ่นรสมากกว่าไอศกรีมที่มีไขมันต่ำกว่า เพื่อให้มีความแรงของกลิ่นรสเท่ากัน และไอศกรีมที่มีการขึ้นฟูสูงต้องใช้กลิ่นรสมากกว่าไอศกรีมที่ขึ้นฟูต่ำกว่า (สมจิต, 2550; Olsen, 1993; Marshall and Arbuckle, 1996)

8. อากาศและน้ำแข็ง

อากาศและน้ำแข็ง เป็นส่วนประกอบของไอศกรีมที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าในไอศกรีม อากาศและน้ำแข็งมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาก ทั้งเซลล์อากาศและผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นระหว่างทำการปั่นไอศกรีม อากาศกระจายไปทั่วเนื้อไอศกรีมในช่วงที่มีการแช่แข็ง ผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นในช่วงนี้ และส่วนของไขมันแข็งตัว ถ้ามีกระบวนการผลิตไอศกรีมที่ดี เซลล์อากาศจะมีขนาด 110 - 185 ไมโครเมตร ขนาดผลึกน้ำแข็ง 30 - 45 ไมโครเมตร และขนาดเม็ดไขมันเป็น 1 - 10 ไมโครเมตร ผลการเติมอากาศลงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ทำให้ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมเพิ่มขึ้น

และทำให้ไอศกรีมที่ได้ดักง่ายขึ้น ลดความเย็นจัดและต้นทุนการผลิต (Arbuckle 1986; Huang and Platt 1995)

ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม

1. การผสมส่วนผสมไอศกรีม

นำส่วนผสมที่เป็นของเหลว เช่น นม น้ำ นมข้น ครีม น้ำเชื่อม ใสลงในหม้อหรือถัง ให้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิถึง 50 องศาเซลเซียส ผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็ง เช่น น้ำตาล สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ เนื้อมันไม่รวมมันเนย และอื่นๆ การแก้ปัญหาการจับตัวกันเป็นก้อนของวัตถุดิบแห้งมักทำโดย ผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งซึ่งคนให้เข้ากัน เติมลงในส่วนผสมที่เป็นของเหลวที่มีการให้ความร้อนอย่างช้าๆพร้อมทั้งคนไปด้วย ส่วนผสมที่ได้เรียกว่า ไอศกรีมมิกซ์ (Marshall and Arbuckle, 1996)

2. พาสเจอร์ไรซ์เซชัน (Pasteurization)

การพาสเจอร์ไรซ์ไอศกรีมมิกซ์มีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และเอนไซม์ที่ทำให้เกิดความผิดปกติทางด้านกลิ่นรสและเนื้อสัมผัส ความร้อนที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ช่วยในการผสมและละลายส่วนผสมที่เป็นของแข็ง และเพิ่มประสิทธิภาพในการโฮโมจิไนซ์ นอกจากนี้ช่วยให้ไอศกรีมมีความสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสที่ดี เพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาไอศกรีม การพาสเจอร์ไรซ์ที่เหมาะสมควรให้ความร้อนถึงอุณหภูมิที่กำหนด และคงไว้ ณ อุภูมินั้นตามเวลาที่กำหนด แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส การพาสเจอร์ไรซ์มีทั้งแบบ ไม่ต่อเนื่อง (batch) และแบบต่อเนื่อง (continuous) และสามารถทำได้โดยแปรผันอุณหภูมิและเวลา (ตารางที่ 1) (Arbuckle 1986; Marshall and Arbuckle 1996)

ตารางที่ 1 อุณหภูมิและเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์ไอศกรีมมิกซ์

วิธีการ	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส / องศาฟาเรนไฮต์)
แบบต่อเนื่อง (Batch)	30 นาที	69 / 155
High-temperature short-time (HTST)	25 วินาที	80 / 175
Higher-heat shorter-time (HHST)	1 - 3 วินาที	90 / 194
Ultra high temperature (UHT)	2 - 4 วินาที	138 / 280

ที่มา: Marshall and Arbuckle (1996)

3. โฮโมจิไนซ์เซชัน (Homogenization)

การโฮโมจิไนซ์ไอศกรีมมิกซ์ช่วยให้มีล้นคงตัว ไอศกรีมมีคุณภาพสม่ำเสมอโดยลดขนาดเม็ดไขมันลงไม่เกิน 2 ไมโครเมตร ทำให้ครีมไม่เกิดการแยกชั้น ไอศกรีมที่ได้มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ปรับปรุงคุณสมบัติการขึ้นฟู ลดระยะเวลาในการบ่ม ลดการเกิด churning ของไขมัน ขณะปั่นแช่แข็งไอศกรีม และลดปริมาณการใช้สารให้ความคงตัว (Arbuckle, 1986) การโฮโมจิไนซ์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้นจนถึงประมาณ 80 องศาเซลเซียส (Marshall and Arbuckle, 1996)

4. การบ่ม (Aging)

การบ่มเป็นกรรมวิธีการเก็บรักษามีล้นเป็นระยะเวลาหนึ่ง ควรทำที่อุณหภูมิไม่เกิน 4.4 องศาเซลเซียส ส่วนเวลาของการบ่มโดยทั่วไปคือประมาณ 24 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของไอศกรีมมิกซ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการบ่มคือ ไขมันเกิดการแข็งตัวและตกผลึก โปรตีนและอิมัลซิไฟเออร์เกิด Hydration และถูกดูดซับที่ผิวเม็ดไขมันซึ่งทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน และมี

คุณภาพดีขึ้น การบ่มไอศกรีมมิกซ์ที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียสช่วยเพิ่มอัตราการตกผลึกของไขมัน และประสิทธิภาพของการแช่แข็ง (Freezing) รวมถึงจำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ในไอศกรีมมิกซ์ ได้เกือบสมบูรณ์ (Goff 1994; Marshall and Arbuckle 1996)

5. การแช่แข็ง (Freezing)

การแช่แข็งเป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตไอศกรีม โดยเติมไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านการแต่งสี และกลิ่นแล้วลงในถังปั่นไอศกรีมทำให้อุณหภูมิของไอศกรีมมิกซ์ลดลง ส่วนน้ำในไอศกรีมมิกซ์แข็งตัวและเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว ใบพัดทำหน้าที่กวาดผลึกน้ำแข็งที่ผิวของถังปั่นไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ฟองอากาศที่ถูกตีเข้ามาถูกผลึกเม็ดไขมันที่เกิดการ coalescence ห่อหุ้มทำให้สามารถเก็บกักฟองอากาศไว้ในระบบได้ (Arbuckle 1986; Marshall and Arbuckle 1996)

6. การทำให้แข็งตัว (Hardening)

การทำให้ไอศกรีมแข็งตัวเป็นกระบวนการแช่แข็งที่ไม่มีการตีปั่นอากาศเข้าไป เป็นการลดอุณหภูมิของไอศกรีมที่นำออกมาจากถังปั่นไอศกรีมลงอย่างรวดเร็วเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็ก เนื่องจากไอศกรีมที่ออกจากถังปั่นเป็นลักษณะกึ่งเหลวกึ่งแข็ง ไม่คงรูปร่าง การทำให้แข็งตัวเป็นกระบวนการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง ทำให้ไอศกรีมที่ผลิตออกมาแข็งตัว แต่การทำให้แข็งตัวไม่สามารถทำให้น้ำในไอศกรีมแข็งตัวได้หมด โดยทั่วไปอุณหภูมิของการแช่แข็งในขั้นนี้คือ ประมาณ -25 องศาเซลเซียส ถึง -30 องศาเซลเซียส (Marshall and Arbuckle, 1996)

ปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสไอศกรีม

คุณลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมขึ้นกับจำนวน ขนาด รูปร่าง และการจัดเรียงตัวของผลึกน้ำแข็งและอนุภาคอื่นๆ เนื้อสัมผัสของไอศกรีมมีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมของผู้บริโภค ไอศกรีมที่ดีควรมีเนื้อสัมผัสเนียน และให้ลักษณะน่าพึงพอใจเมื่อรับประทาน ลักษณะเนื้อสัมผัสที่จัดว่าเป็นตำหนิ นั้น คือ ร่วนไม่จับเป็นก้อน เนื้อไอศกรีมอ่อน เป็น

เกล็ดน้ำแข็ง หยิบเป็นทราย ขาดความมัน ไม่ให้ body และมีความผิดปกติในด้านกลิ่นรส เช่น กลิ่น รสแรงหรืออ่อนเกินไป ปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสและคุณภาพของไอศกรีม ได้แก่ ส่วนผสมและ องค์ประกอบของไอศกรีม วิธีการผลิตไอศกรีมและการปั่นไอศกรีม อัตราในการทำให้แข็งตัว และ สภาพะในการเก็บรักษา (Arbuckle, 1986)

กะทิ

กะทิ (coconut milk) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าว (solid coconut endosperm) มีลักษณะเป็นของเหลว สีขาวขุ่น คนในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะประเทศไทยนิยมนำมาใช้ประกอบอาหาร กะทิเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w emulsion) ที่มีความคงตัวต่ำ เนื่องจากมีปริมาณของไขมันสูง โปรตีนและฟอสโฟไลปิด (phospholipid) ซึ่งได้แก่ เลซิทีน (lecithin) และเซฟาลิน (cephalin) ที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ตามธรรมชาติมีปริมาณไม่มาก พอที่จะอิมัลซิฟายพื้นผิวระหว่างเม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันเกิดการรวมตัวจับกันและแยกเป็นครีมที่อยู่ชั้นบน เรียกว่า หัวกะทิ (coconut cream) และชั้นล่างเรียกว่าหางกะทิ (coconut skim milk) แต่สามารถทำให้เป็นเนื้อเดียวกันใหม่ได้โดยการคน หรือ เขย่า (กนกพร, 2545; Salunkhe *et al.*, 1992; Seow and Gwee, 1997) กะทิมีค่าพีเอชประมาณ 6 - 6.5 จัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำสามารถเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆได้ง่าย การให้ความร้อนจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค รวมถึงหยุดการทำงานของเอนไซม์ต่างๆที่ทำให้กะทิเสื่อมเสียและเป็นการยืดอายุผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น (อภิรดี และคณะ, ม.ป.ป.; Pichitvittayakarn *et al.*, 2006)

Seow and Gwee (1997) กล่าวว่า องค์ประกอบทางเคมีของกะทิประกอบด้วย น้ำ ไขมัน โปรตีนอัลบูมินและกลอบบูลิน เกลือแร่ เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม และโพแทสเซียม น้ำตาล ซูโครสและสตาร์ช องค์ประกอบทางเคมีของกะทิแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ พันธุ์ สภาพภูมิศาสตร์ การเพาะปลูก ความแก่อ่อนของมะพร้าว และวิธีการคั้น (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของกะทิกระป๋องจากประเทศต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี (%)	มาเลเซีย	สิงคโปร์	ไทย
ความชื้น	78.8	84.4	76.2
ไขมัน	14.0	11.0	15.0
โปรตีน	0.3	0.5	0.3
เกลือแร่	0.7	0.6	0.4
คาร์โบไฮเดรต	6.2	3.5	8.1
กรดไขมันอิสระ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.2
ค่าพีเอช	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	6.2

ที่มา: Seow and Gwee (1997)

ไขมันที่ได้จากน้ำมันมะพร้าวในกะทิมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะกรดลอริก (lauric acid; C12:0) มีถึงร้อยละ 40 – 50 รองลงมาคือกรดไมริสติก (myristic acid; C14:0; ร้อยละ 13-19) และกรดปาล์มิติก (palmitic acid; C16:0; ร้อยละ 4 – 18) นอกจากนั้นก็มีกรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 6-10 คาร์บอน (C_6-C_{10}) ที่ไม่พบในน้ำมันพืชชนิดอื่น ส่วนกรดโอเลอิก (oleic acid; C18:1) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid; C18:2) ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ ประมาณร้อยละ 10 (ตารางที่ 3) น้ำมันมะพร้าวมีจุดหลอมเหลวสูงและช่วงของจุดหลอมเหลวแคบ (24-27 องศาเซลเซียส) เนื่องจากมีกรดไขมันอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอยู่จำนวนมาก (Salunkhe *et al.*, 1992) องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในน้ำมันมะพร้าวแสดงดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณ (ร้อยละ)
Caproic acid (C6:0)	0.08-0.5
Caprylic acid (C8:0)	3.4-15
Capric acid (C10:0)	3.2-15
Lauric acid (C12:0)	41-51.3
Myristic acid (C14:0)	13.1-19.42
Palmitic acid (C16:0)	4.2-18
Stearic acid (C18:0)	2-4.29
Oleic acid (C18:1)	3.4-8.2
Linoleic acid (C18:2)	0.9-3.7

ที่มา: ดัดแปลงจาก Salunkhe *et al.* (1992)

Nevin and Rajamohan (2004, 2006) กล่าวว่าน้ำมันมะพร้าวที่สกัดจากกะทิโดยวิธีแบบเปียก (wet process) ที่มีการให้ความร้อนต่ำหรือรู้จักกันในชื่อ virgin oil ประกอบด้วยสารสำคัญที่มีคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenols) โทโคเฟอรอล (tocopherols) ซึ่งสามารถลดการออกซิไดซ์ของ LDL-cholesterol ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด และโรคหัวใจได้ นอกจากนี้น้ำมันมะพร้าวยังประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีสายโซ่ยาวปานกลาง (medium chain triglyceride; MCT) ซึ่งถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการช่วยรักษาโรคทางด้านโภชนาการและการดูดซึมอาหาร เช่น อาการ pancreatic insufficiency หรือ fat malabsorption (Marten *et al.*, 2006)

แต่อย่างไรก็ตามวิธีการแปรรูปกะทิและกระบวนการผลิตไอศกรีมมีการให้ความร้อนสูง องค์ประกอบของไขมันที่อยู่ในกะทิเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้สามารถเพิ่มระดับโคเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ในเลือดได้อย่างรวดเร็ว เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง โรค

ไขมันอุดตันในเส้นเลือด และโรคหัวใจได้เข้ารับประทานในปริมาณที่มากเกินไป (Marten *et al.*, 2006; Nevin and Rajamohan 2006)

การลดไขมันและความสำคัญของไขมันในไอศกรีม

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการรักษาสุขภาพมากขึ้น ต้องการควบคุมน้ำหนักและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่เกิดจากการรับประทานอาหารที่มีไขมันสูง เช่น โรคอ้วน โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด และโรคหัวใจ แนวโน้มในการหันมารับประทานผลิตภัณฑ์อาหารลดไขมันจึงมีสูงขึ้น ปี ค.ศ. 1991 ชาวอเมริกันร้อยละ 75 นิยมรับประทานอาหารลดไขมัน และร้อยละ 34 นิยมรับประทานไอศกรีมไขมันต่ำหรือลดไขมัน (Nabors and Lemieux, 1993) แต่การลดไขมันในไอศกรีมทำให้ไอศกรีมมีกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสด้อยลง จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไขมันต่ำให้มีคุณภาพทางด้านกายภาพและรสชาติเพื่อให้เป็นที่พอใจของผู้บริโภค (Aime *et al.*, 2001)

อุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีมใช้ปริมาณไขมันเป็นเกณฑ์ในการบอกคุณภาพและแบ่งชนิดไอศกรีม The International Ice Cream Association ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เสนอมาตรฐานของไอศกรีมโดยใช้ปริมาณไขมันเป็นเกณฑ์ในการแยก ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชนิดของไอศกรีมตามเกณฑ์การแบ่งของ USFDA

ชนิดของไอศกรีม	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)
ไอศกรีม (Full fat)	ไม่ต่ำกว่า 8
ไอศกรีมลดไขมัน (Reduced fat)	2-7
ไอศกรีมไขมันต่ำ (Low fat)	0.5-2
ไอศกรีมปราศจากไขมัน (Fat free)	ต่ำกว่า 0.5

ที่มา: White (1993)

ความสำคัญของไขมันในไอศกรีม

ไขมันเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความรู้สึกในปากของไอศกรีม เนื่องจากไขมันเป็นโครงสร้างที่มีหน้าที่ห่อหุ้มฟองอากาศ ทำให้ฟองอากาศกระจายตัว ให้ความรู้สึกลื่น เคลือบมัน เรียบเนียน และปรับปรุงคุณสมบัติการละลายในปาก นอกจากนี้ ไขมันยังทำหน้าที่ให้กลิ่นรสและเป็นตัวพาสารให้กลิ่นรสระหว่างที่ไอศกรีมละลายในปาก เนื่องจากกลิ่นรสต่างๆ ในไอศกรีม เช่น กลิ่นวานิลลา ละลายในไขมันเมื่อไขมันละลายในปาก กลิ่นรสจะถูกปลดปล่อยออกมา ปริมาณไขมันมีผลต่อเวลา อัตราการปลดปล่อยกลิ่นรส และระดับการรับรู้กลิ่นรสของไอศกรีม ถ้ามีปริมาณไขมันไม่เพียงพอ กลิ่นรสจะถูกปลดปล่อยออกมาเร็ว ทำให้สามารถรับรู้กลิ่นรสได้เร็วและช่วงของการรับรู้กลิ่นรสสั้น (Arbuckle 1986; Marshall and Arbuckle 1996; Goff and Hartel 2004)

ไอศกรีมไขมันต่ำ ลดไขมัน และปราศจากไขมัน มีแนวโน้มที่จะมีผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่กว่าไอศกรีมปกติ ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณไขมันสามารถขัดขวางการโตของผลึกน้ำแข็ง เมื่อไอศกรีมมีไขมันลดลง โอกาสในการสร้างผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบ (coarse texture) (Marshall and Arbuckle, 1996) Marshall *et al.* (2003) กล่าวว่า ไอศกรีมลดไขมันมีแนวโน้มในการต้านทานการเกิด heat shock ต่ำกว่าไอศกรีมปกติ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาหรือการขนส่ง ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กที่มีความเสถียรต่ำเกิดการละลายไปรวมกับผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบขึ้น เมื่อเกิด heat shock หลายๆ ครั้ง โครงสร้างไขมันที่ห่อหุ้มฟองอากาศมีน้อย ฟองอากาศขนาดเล็กมีแรงดันสูงทำให้ฟองอากาศสามารถเคลื่อนตัวมารวมกันเป็นขนาดที่ใหญ่ขึ้น ทำให้ไอศกรีมเกิดการยุบตัว (shrinkage) และมีปริมาตรลดลง

การลดไขมันในไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีคุณภาพทางด้านกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสด้อยลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีการพัฒนาใช้สารทดแทนไขมันต่างๆ เช่น ซิมเพลส โปรโล 11 รวมทั้งเวย์โปรตีนเข้มข้น เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของไอศกรีมไขมันต่ำให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้

เวย์โปรตีนเข้มข้น

เวย์โปรตีน

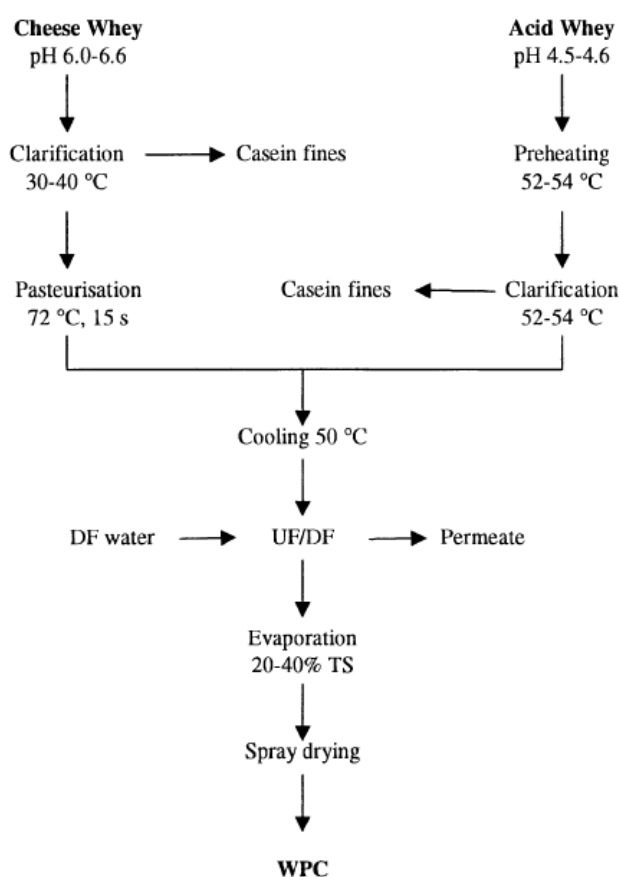
เวย์โปรตีน คือ โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนในนมเป็นโปรตีนทรงกลม (Globular protein) ประกอบด้วย เบต้า-แลคโทโกลบูลิน (β -lactoglobulin) แอลฟา-แลคตัลบูมิน (α -lactalbumin) โบวีนซีรัมอัลบูมิน (bovine serum albumin) และ อิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) ถูกนำมาใช้ในการเป็นส่วนผสมในอาหารฟังก์ชัน (functional food) และนิยมใช้แทนนมในผลิตภัณฑ์นม มีคุณค่าทางอาหารสูง และมีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (De Wit, 1998)

เวย์โปรตีนเข้มข้น (Whey Protein Concentrate, WPC)

เวย์โปรตีนเข้มข้น (WPC) ได้จากเวย์ที่เป็นผลพลอยได้ในกระบวนการผลิตชีส มีปริมาณแลคโทสและไขมันต่ำ ปริมาณโปรตีนขึ้นกับการนำไปใช้ จึงมีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ 30-85% ผลิตโดยการนำเวย์มาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ พาสเจอร์ไรซ์ อัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) อิเล็กโทรไดอะไลซิส (electrodialysis) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) หรือการตกผลึก เพื่อแยกเอาน้ำตาลแลคโทส และแร่ธาตุต่างๆออกไป แล้วจึงระเหยน้ำออกเพื่อให้เข้มข้นขึ้นก่อนการทำแห้งเป็นผง (ภาพที่ 4) สามารถใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมอาหารได้หลากหลาย เช่น เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมลูกกวาด ผลิตภัณฑ์เนื้อ เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์นม และ ขนมหวาน (Renner and Abd El-Salam, 1991)

เวย์โปรตีนเข้มข้น (WPC) เป็นโปรตีนซึ่งเมื่อนำไปเป็นส่วนผสมในไอศกรีม ทำหน้าที่ในการจับน้ำ เป็นอิมัลซิไฟเออร์ และ เป็นตัวช่วยในการเกิดโฟม ทำให้ส่วนผสมต่างๆกระจายตัวได้ดี ทำให้น้ำเชื่อมผสมของไอศกรีมมีความแน่น เนียน ละเอียด และไม่อ่อนตัว นอกจากนี้โปรตีนจับโครงสร้างของไขมันในส่วนผสมที่แตกตัวเป็นเม็ดเล็กๆเกาะกันเป็นเส้นสายและกระจายตัวอยู่ในส่วนผสม ส่งผลให้เส้นสายของเม็ดไขมันเหล่านี้มีความคงตัวช่วยในการเก็บอากาศในขณะแช่แข็งไอศกรีมได้ดีขึ้น จึงทำให้การขึ้นฟูของไอศกรีมเพิ่มขึ้น (Ruger *et al.*, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Patel *et al.* (2006) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นเป็นส่วนผสมในไอศกรีมนมกลั่นวานิลลาโดยมีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นเพื่อให้โปรตีนเพิ่มขึ้น เป็น 30 60 และ 90

เปอร์เซ็นต์ และพบว่าไอศกรีมที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น ค่าพีเอชและค่าความเป็นกรดส่งผลถึงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของไอศกรีม กล่าวคือ ทำให้ไอศกรีมเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ซ้ำลง ในด้านของอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งพบว่า การเพิ่มปริมาณโปรตีนด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้น ทำให้อุณหภูมิการแช่เยือกแข็งสูงขึ้นเนื่องจากโปรตีนที่เพิ่มลงไปนั้นไปเพิ่มปริมาณอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ ส่งผลให้ร้อยละความเข้มข้นของสารละลายที่แท้จริงในไอศกรีมเหลวลดลง อุณหภูมิการแช่แข็งจึงสูงขึ้น ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในการปั่นแช่แข็งไอศกรีมเหลวให้แข็งตัวและการเก็บรักษาไอศกรีม



ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตเวย์โปรตีนเข้มข้น

ที่มา: De la Fuente *et al.* (2001)

Patel *et al.* (2006) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม พบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้น ทำให้อุณหภูมิขณะทำการบรรจุไอศกรีมลงภาชนะบรรจุ (Drawing

Temperature) เพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลเดียวกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาไอศกรีม และลดอัตราความเสียหายเนื่องจากการละลายของไอศกรีมขณะขนส่งไปเก็บรักษา นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณโปรตีนด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นยังช่วยเพิ่มความสามารถในการเก็บอากาศของไอศกรีมในขณะปั่นแข็ง ทำให้การขึ้นฟูของไอศกรีมเพิ่มขึ้น และมีส่วนในการลดขนาดของผลึกน้ำแข็ง ทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมเนียนและสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากโปรตีนมีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ไปจับกับโครงสร้างของเม็ดไขมันที่รวมตัวกันเป็นสายของเม็ดไขมันสั้นๆ ในส่วนผสมของไอศกรีมซึ่งทำหน้าที่ในการเก็บอากาศให้กับเนื้อไอศกรีม มีความคงตัว และกระจายตัวได้ดีขึ้น ส่งผลให้เม็ดอากาศมีความคงตัว และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้เวย์โปรตีนเข้มข้นยังมีส่วนในการลดขนาดของผลึกน้ำแข็งให้เล็กลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นทำให้ปริมาณแลคโทสลดลงตามสัดส่วน จึงช่วยลดการเกิดลักษณะเนื้อทรายในไอศกรีม โปรตีนดูดซับน้ำอิสระในส่วนผสม ทำให้ปริมาณน้ำอิสระน้อยลง โอกาสที่จะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่จึงลดลง

ส่วน Tirumalesha and Jayaprakasha (1998) ได้ศึกษาถึงผลของของผสมระหว่างเวย์โปรตีนเข้มข้นกับบัตเตอร์มิลค์ต่อคุณภาพของไอศกรีม พบว่าการใช้ของผสมระหว่างเวย์โปรตีนเข้มข้นกับบัตเตอร์มิลค์ช่วยเพิ่มโอเวอร์รัน และเพิ่มคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น

ข้อดีของการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในไอศกรีม

การเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในไอศกรีมช่วยเพิ่มความคงตัวของไอศกรีมมิคซ์ เพิ่มความเป็นกรดในไอศกรีมทำให้คุณภาพทางจุลินทรีย์ของไอศกรีมดีขึ้น เพิ่มอุณหภูมิการแช่แข็งของไอศกรีมเหลว จึงลดค่าใช้จ่ายในการแช่แข็งไอศกรีม เพิ่มอุณหภูมิขณะบรรจุไอศกรีมลงในภาชนะ ลดความเสียหายจากการละลายของไอศกรีมระหว่างการขนส่งไปเก็บรักษาให้น้อยลง ลดขนาดผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเนื้อไอศกรีมให้เล็กลง และกระจายตัวสม่ำเสมอ ลดอัตราการเกิด Re-crystallization ของผลึกน้ำแข็งในขณะเก็บรักษา หรือเกิดสภาพ Heat shock กับไอศกรีม ส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีอัตราการขยายขนาดน้อยลง เพิ่มค่าการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อไอศกรีมที่ผ่านการเก็บรักษา หรือเกิดสภาพ Heat shock (Tirumalesha and Jayaprakasha 1998; Ruger *et al.*, 2002; Patel *et al.*, 2006)

ข้อดีของการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในไอศกรีม

เวย์โปรตีนเข้มข้นมีกลิ่นเฉพาะ ดังนั้นหากเติมในไอศกรีมมากเกินไปจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น ผู้บริโภคยอมรับกลิ่นรสไอศกรีมลดลง Patel *et al.* (2006) พบว่าการใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กลิ่นรสของวานิลลา และการยอมรับรสชาติของไอศกรีมลดลง กลิ่นรสผิดปกติ (Off-flavor) จากเวย์โปรตีนเข้มข้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นข้อจำกัดในการใช้เวย์โปรตีนเข้มข้น (Whetstone *et al.*, 2005)

สารทดแทนไขมัน

สารทดแทนไขมัน (Fat replacer) เติมลงในไอศกรีมลดไขมันเพื่อทำหน้าที่ทดแทนคุณสมบัติของไขมันทางด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นรส แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ fat mimetic เป็นสารทดแทนไขมันที่สามารถเลียนแบบความรู้สึกบางอย่างในปากได้คล้ายไขมัน แต่ไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการทอดเนื่องจากปริมาณน้ำที่มีในสารทดแทนไขมัน ไวต่อความร้อนและไม่สามารถทดแทนไขมันได้ทั้งหมด ตัวอย่างเช่น สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากสตาร์ช เซลลูโลส และโปรตีน อีกประเภทคือ fat analog หรือ fat substitute เป็นสารที่นำมาใช้ทดแทนไขมันเนื่องจากมีความคล้ายคลึงกับไขมัน มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเหมือนไขมัน แต่ไม่ให้อาหารหรือให้พลังงานน้อยกว่าไขมัน สามารถนำไปใช้ทอดได้ เช่น สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากไขมัน (White 1993; Marshall and Arbuckle 1996)

ชนิดของสารทดแทนไขมัน

1. สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากโปรตีน (Protein-based fat replacer)

สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากโปรตีน ได้จากการผสมของน้ำและโปรตีนนม หรือโปรตีนไข่ขาว สามารถทดแทนไขมันได้บางส่วน สารทดแทนไขมันกลุ่มนี้ เช่น ซิมเพลส (Simplese®) ที่ผ่านกระบวนการ microparticulation โดยให้ความร้อนโปรตีนจนเกิดเจล และให้แรงเหวี่ยงจนเกิดโมเลกุลเล็กๆของโปรตีนขนาดประมาณ 0.1-3 ไมโครเมตร จึงให้ความรู้สึกคล้ายไขมัน (White 1993; Marshall and Arbuckle 1996) โปรโล 11 (Prolo 11) ได้จากการผสมเวย์โปรตีนเข้มข้นกับแคลเซียมเคซีเนต (พัชรินทร์, 2542)

2. สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากไขมัน (Fat-based fat replacer)

สารทดแทนไขมันชนิดนี้มีคุณสมบัติคล้ายไขมันแต่ด้านการย่อยของเอนไซม์ในร่างกาย จึงให้พลังงานน้อยกว่าไขมัน เช่น Olestra เป็นสารทดแทนไขมันที่ไม่ถูกดูดซึม (nonabsorbable) EPG (esterified propoxylated glycerol) มีโครงสร้างคล้ายไขมันและไม่สามารถย่อยได้ (undigestible) (White, 1993)

3. สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate-based fat replacer)

สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรตให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อกรัมและสามารถจับกับน้ำได้ประมาณ 3 เท่าของน้ำหนักจึงสามารถใช้สารทดแทนไขมัน 1 ส่วน ทดแทนไขมันได้ 4 ส่วน ไขมัน 1 กรัมที่ให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรีจึงถูกแทนที่ด้วยสารทดแทนไขมันที่จับกับน้ำซึ่งให้พลังงานแค่ 1 กิโลแคลอรีต่อกรัม (Marshall and Arbuckle, 1996) สารทดแทนไขมันกลุ่มนี้ เช่น กัมเซลลูโลส โพลีเด็คซ์โทส เด็กซ์ทริน และสตาร์ชต่างๆ (White, 1993)

มอลโทเด็คซ์ทริน (Maltodextrin) คือ พอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซ์สตาร์ชด้วยกรดหรือเอนไซม์ ประกอบด้วยยูนิตของ D-glucose มีค่า DE (Dextrose Equivalent) ต่ำกว่า 20 มีสูตรทางเคมี $(C_6H_{12}O_5)_nH_2O$ สามารถเตรียมได้ในลักษณะผงสีขาวหรือสารละลายเข้มข้น มอลโทเด็คซ์ทรินช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนและคงตัวขึ้น ใช้ทดแทนไขมันโดยละลายน้ำในอัตราส่วน น้ำ 3 ส่วนต่อ มอลโทเด็คซ์ทริน 1 ส่วน มอลโทเด็คซ์ทรินที่มี DE ต่ำมีคุณสมบัติในการทดแทนไขมันได้ดีกว่า DE สูง ตัวอย่างมอลโทเด็คซ์ทรินทางการค้า เช่น Paselli SA2 Matrin M040 และ Star Dri® (Frye and Setser 1993; White 1993)

นอกจากนี้มอลโทเด็คซ์ทรินยังมีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มเนื้อ (bulking agent) ที่เติมลงในไอศกรีมลดไขมันเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส ความหนืด และการขึ้นฟูของไอศกรีม เนื่องจากไอศกรีมที่มีการลดไขมันมีปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) บางส่วนหายไป ปริมาณน้ำในสูตรสูงขึ้นโอกาสที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำแข็งขนาดใหญ่ได้มากขึ้น ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบ คุณภาพทางด้านกลิ่นรสและความรู้สึกในปากด้อยลง ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (ภคินี, 2550; Marshall and Arbuckle, 1996)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 น้ำตาลทราย (ตรามิตรผล; บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด)
- 1.2 หางนมผง (นิวซีแลนด์)
- 1.3 เกลือ (ตราปรุงทิพย์; บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด)
- 1.4 กลิ่นมะพร้าว (บริษัท อินเตอร์เนชันแนล ฟเลเวอร์ แอนด์ ฟลาเกรนส์ จำกัด)
- 1.5 กะทิสำเร็จรูปยูเอชที (ตราชาวเกาะ; บริษัท เทพผดุงพรมะพร้าว จำกัด)
- 1.6 สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ของไอศกรีม
 - 1.6.1 ครีโมแดน (Cremodan® SE 709-M; บริษัท เบอร์ลี่ ยูคเกอร์ สเปเชียลตี้ส์ จำกัด)
 - 1.6.2 ครีโมแดน (Cremodan® SE 734-M; บริษัท เบอร์ลี่ ยูคเกอร์ สเปเชียลตี้ส์ จำกัด)
- 1.7 สารทดแทนไขมัน
 - 1.7.1 สตาร์ดราย 100 มอลโทเด็กซ์ทริน (STAR-DRI® 100 Maltodextrin; บริษัท เบอร์ลี่ ยูคเกอร์ สเปเชียลตี้ส์ จำกัด)
 - 1.7.2 สตาร์ดราย 5 มอลโทเด็กซ์ทริน (STAR-DRI® 5 Maltodextrin; บริษัท เบอร์ลี่ ยูคเกอร์ สเปเชียลตี้ส์ จำกัด)
- 1.8 เวย์โปรตีนเข้มข้น 80 (Whey Protein Concentrate 80; บริษัท วิคกี เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด)

2. สารเคมี

- 2.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl

3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม

- 3.1 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Ohaus; Model TP 2KS)
- 3.2 เครื่องปั่นไอศกรีม (ยี่ห้อ (SIMAC; Model GELATAIO Magnum Plus, Italy)

- 3.3 เครื่องปั่นผสมอาหาร (ยี่ห้อ Panasonic; Model MX-J210GN)
 - 3.4 ตู้เย็น (ยี่ห้อ Sharp; Model SJ-D55G)
 - 3.5 ตู้แช่แข็ง (ยี่ห้อ Sanyo; Model SF-C65GB)
 - 3.6 เทอร์โมมิเตอร์
 - 3.7 เครื่องครัวต่างๆ
4. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม
 - 4.1 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Digital Rheometer; Model DV-III)
 - 4.2 ถ้วยพลาสติกสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู
 - 4.3 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Ohaus; Model TP 2KS)
 - 4.4 ตะแกรงลวด 272 ช่องต่อตารางนิ้ว
 - 4.5 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอศกรีม (Texture Analyzer; Model TA/XT 2)
 - 4.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple; ยี่ห้อ Fluke 51 K/J thermometer)
 - 4.7 อุปกรณ์สำหรับการชิม
 5. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของไอศกรีม
 - 5.1 เครื่องวัดพีเอช (pH meter; ยี่ห้อ ORION®; Model 210A)
 - 5.2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
 - 5.3 ตู้อบลมร้อน ครุซิบิล เดซิเคเตอร์
 - 5.4 เครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี
 - 5.5 เตาเผา (Muffle furnace size 3; ยี่ห้อ Gallenkamp; Model Tactical308)
 - 5.6 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์โปรตีนโดยวิธี Kjeldahl

วิธีการ

1. การผลิตไอศกรีมกะทิและไอศกรีมกะทิลดไขมัน

(ดัดแปลงจาก สมจิต, 2544) ชั่งวัตถุดิบ ได้แก่ กะทิสำเร็จรูป น้ำ หางนมผง น้ำตาล สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ เวย์โปรตีนเข้มข้น สารทดแทนไขมัน กลิ่นรสมะพร้าว แล้วผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งให้เข้ากัน นำส่วนผสมที่เป็นของเหลวตั้งไฟแบบหม้อตุ๋นให้ได้อุณหภูมิ 50 ± 1 องศาเซลเซียส จึงค่อยๆเติมวัตถุดิบที่เป็นของแข็งลงไป คนจนละลายดี นำส่วนผสมที่ได้ไปปั่นในเครื่องปั่นผสมอาหารความเร็วสูงสุดนาน 1 นาทีเพื่อให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นการโฮโมจิไนซ์ไอศกรีมมิกซ์ที่ได้ จากนั้นพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ลดอุณหภูมิไอศกรีมมิกซ์อย่างรวดเร็ว แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จึงนำไปปั่นในเครื่องปั่นไอศกรีม นาน 20 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส บรรจุไอศกรีมที่ได้ลงในถ้วยพลาสติกที่มีฝาปิด นำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ก่อนตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆ

2. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณของน้ำตาลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิ

2.1 ผลิตไอศกรีมกะทิโดยผันแปรปริมาณน้ำตาลแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 9 , 10 และ 11 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดให้ส่วนผสมอื่นคงที่ ได้แก่ ไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ (จากกะทิที่มีไขมัน 18 เปอร์เซ็นต์) หางนมผง 10 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 0.03 เปอร์เซ็นต์ สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ (CREMODAN® SE 709-M) 0.45 เปอร์เซ็นต์ คำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ และผลิตไอศกรีมตามการผลิตข้อ 1

2.2 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ใช้แผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.2.1 พีเอช วัดพีเอชของไอศกรีม หลังผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยเครื่อง pH meter อุณหภูมิไอศกรีมมิกซ์ขณะวัดอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส วัดทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

2.2.2 ความหนืด (ดัดแปลงจากวิธีของ Huang and Platt 1995; Kaya and Tekin 2001) วัดความหนืดของไอศกรีมมิกซ์หลังผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยเครื่องวัดความหนืด ใช้หัวหมุนเบอร์ 21 ความเร็วรอบการหมุน 2.5 5 10 20 50 และ 100 รอบ ต่อนาที อ่านค่าที่ได้หลังมอเตอร์หมุน 30 วินาที ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 ± 0.5 องศาเซลเซียส วัด ทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

2.2.3 เปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู (Overrun) ของไอศกรีม (ดัดแปลงจาก Arbuckle, 1986) ซึ่ง น้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ที่บรรจุเต็มถ้วยพลาสติก บนเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนัก ไอศกรีมมิกซ์ หลังปั่นเป็นไอศกรีมแล้ว ซึ่งน้ำหนักไอศกรีมที่บรรจุลงในถ้วยใบเดิม บันทึกน้ำหนัก ไอศกรีมที่ได้ โดยวัดทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง นำข้อมูลไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมมิกซ์} - \text{น้ำหนักไอศกรีม}}{\text{น้ำหนักไอศกรีม}} \times 100$$

2.2.4 อัตราการละลาย (ดัดแปลงจาก Garcia *et al.*, 1995) นำเนื้อไอศกรีมซึ่งบรรจุเต็ม ถ้วยพลาสติกที่ผ่านการแช่แข็ง ณ อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส 20 ชั่วโมง และทราบน้ำหนักที่ แน่นอน วางบนตะแกรงลดขนาด 272 ช่องต่อตารางนิ้วจับเวลาการละลาย ควบคุมอุณหภูมิห้องให้อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของไอศกรีมที่ละลาย ณ นาทีที่ 20 25 30 35 และ 40 นาที โดย เริ่มจับเวลาเมื่อไอศกรีมมีอุณหภูมิ -12 ± 0.5 องศาเซลเซียส แล้วคำนวณการละลายต่อน้ำหนัก ไอศกรีมเริ่มต้น 100 กรัม ดังสมการ ค่าที่ได้นำไปเขียนกราฟกับเวลา (นาที) เพื่อหาความชัน รายงานเป็นอัตราการละลายต่อ 100 กรัม วัดทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

$$\text{การละลายต่อ 100 กรัม} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น (กรัม)}}$$

2.2.5 ความแน่นแข็ง (ดัดแปลงจาก Guinard *et al.*, 1997) บรรจุไอศกรีมเต็มถ้วยพลาสติกและทำให้แข็งตัว ณ อุณหภูมิ -25 ± 1 องศาเซลเซียส 20 ชั่วโมง วัดความแน่นแข็งด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยวัดค่าแรงกดที่กระทำต่อไอศกรีมด้วยระยะทางคงที่ สภาวะที่ใช้ประกอบด้วย หัวกรูปรูทกรวย (probe เบอร์ P/45C) วัดแรงในรูปแบบของการกดอัด โหลดเซลล์รับน้ำหนักได้ 25 กิโลกรัม ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดก่อนทดสอบ ขณะทดสอบ และหลังทดสอบอยู่ที่ 2.0 1.0 และ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ระยะทางที่หัวกดลงไปลึก 15 มิลลิเมตร ตัวอย่าง อุณหภูมิ -12 ± 0.5 องศาเซลเซียส ทดลองทริทเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

2.3 ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดในบล็อกแบบสมบูรณ์ RCBD (Randomized Complete Block Design) ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ (Hedonic scale) คะแนน 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน คือ นิสิตและบุคลากร คณะอุตสาหกรรมเกษตร เป็นตัวแทนผู้บริโภค จำนวน 30 คน และการจัดสเกลบอกระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัส (unstructured line scale ยาว 15 เซนติเมตร) โดยผู้ชิมที่ผ่านการทดสอบความสามารถทางประสาทสัมผัสและได้รับการฝึกฝน จำนวน 10 คน ปัจจัยคุณภาพที่ศึกษาได้แก่ ความหวาน (sweetness) กลิ่นรส (flavor intensity) ความเรียบเนียน (smoothness) การละลายในปาก (meltdown) ความเหนียวหนืด (gumminess) และความเคลือบมัน (mouth coating) (ดัดแปลงจาก Aime *et al.*, 2001)

หมายเหตุ ความเรียบเนียน = การสัมผัสของลิ้นกับอนุภาคต่างๆ หรือผลึกน้ำแข็ง; การละลายในปาก = ไอศกรีมแข็งกลายเป็นของเหลวในปาก; ความเหนียวหนืด = ความเหนียวของไอศกรีมหลังจากการละลายในปาก; ความเคลือบมัน = ความรู้สึกของความเหนียวร่วมกับการลิ้นไพลในปากของไอศกรีมขณะละลาย (Prindiville *et al.*, 1999)

3. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณของเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ

3.1 ผลิตไอศกรีมกะทิลดไขมันตามสูตรไอศกรีมกะทิที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลที่ได้คะแนนความชอบสูงสุด โดยลดปริมาณไขมันลงจาก 8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อผลิตเป็นไอศกรีม

กะทิที่มีปริมาณไขมันต่ำ 2 เปอร์เซ็นต์ (ตามเกณฑ์การแบ่งของ USFDA) และเติมกลิ่นมะพร้าว 0.03 เปอร์เซ็นต์เพื่อแต่งกลิ่น ก่อนนำไปปั่นในเครื่องปั่นไอศกรีม ไอศกรีมกะทิลดไขมันแต่ละสูตร ผันแปรปริมาณหางนมผงและปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้น ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ลดปริมาณหางนมผงลง 5 , 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณหางนมผงในสูตรปกติ และทดแทนหางนมผงส่วนที่หายไปด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นแล้วให้ส่วนผสมอื่นคงที่ ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

3.2 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ใช้แผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ดังข้อ 2.2

3.3 ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดในบล็อกแบบสมบูรณ์ RCBD (Randomized Complete Block Design) คุณภาพทางประสาทสัมผัสตรวจสอบด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ (Hedonic scale) และการขีดสเกลบอกระดับความเข้มข้นของคุณภาพทางประสาทสัมผัส(unstructured line scale ยาว 15 เซนติเมตร) เช่นเดียวกับข้อ 2.3

4. ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

4.1 ผลิตไอศกรีมกะทิลดไขมันที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด แต่ผันแปรชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิด คือครีโมเดน 709-M และ ครีโมเดน 734-M โดยผันแปรปริมาณต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0.45 0.55 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ แล้วตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

4.2 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ใช้แผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ดังข้อ 2.2

4.3 ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดในบล็อกแบบสมบูรณ์ RCBD (Randomized Complete Block Design) คุณภาพทางประสาทสัมผัสตรวจสอบด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ (Hedonic scale) และการขีดสเกลบอกระดับความเข้มข้นของคุณภาพทางประสาทสัมผัส(unstructured line scale ยาว 15 เซนติเมตร) เช่นเดียวกับข้อ 2.3

5. ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมันต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

5.1 ผลิตไอศกรีมกะทิลดไขมันที่มีการใช้สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ที่มีปริมาณน้อยที่สุดและได้รับคะแนนความชอบสูงสุด แต่ผันแปรชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมันโดยใช้สารทดแทนไขมัน 2 ชนิด คือสตาร์คราย 100 มอลโทเด็กซ์ทริน และ สตาร์คราย 5 มอลโทเด็กซ์ทริน ผันแปรสัดส่วนของสารทดแทนไขมันต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 25 : 100 และ 33.33 : 100 (สารทดแทนไขมัน 25 : 100 หมายถึง สารทดแทนไขมัน 25 ส่วน น้ำ 75 ส่วน แทนไขมัน 100 ส่วน เช่น ในสูตรที่ใช้ไขมัน 100 กรัมใช้สารทดแทนไขมัน 25 กรัม น้ำ 75 กรัม) แล้วตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

5.2 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ใช้แผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ดังข้อ 2.2

5.3 ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดในบล็อกแบบสมบูรณ์ RCBD (Randomized Complete Block Design) คุณภาพทางประสาทสัมผัสตรวจสอบด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ (Hedonic scale) และการขีดสเกลบอกระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัส(unstructured line scale ยาว 15 เซนติเมตร) เช่นเดียวกับข้อ 2.3

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) การทดลองใช้แผนการทดลองแบบ CRD และ RCBD วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

7. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

8. ระยะเวลาทำการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2550 สิ้นสุดเมื่อเดือนสิงหาคม 2551

ผลและวิจารณ์

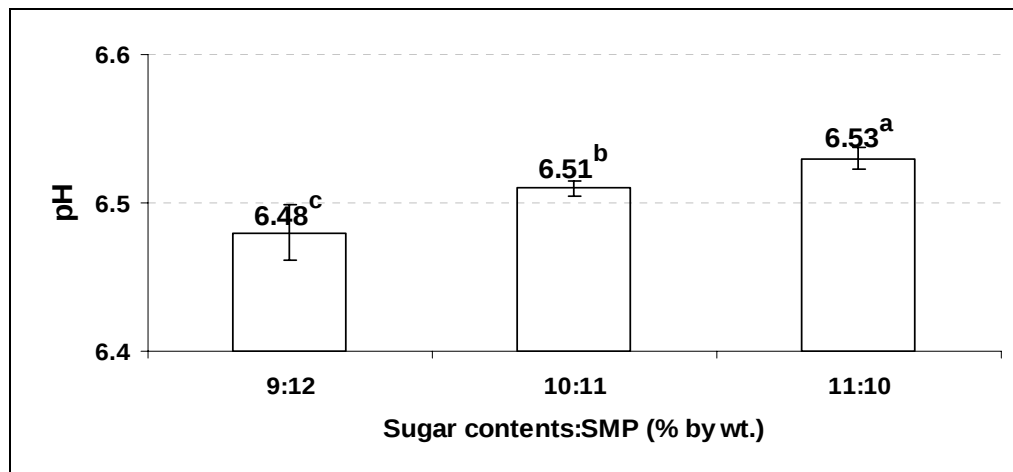
การศึกษาผลของน้ำตาลและหางนมผงต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิ

1. ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผง (Skim milk powder; SMP) ต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมกะทิ

การศึกษาปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมกะทิ ศึกษาโดยผันแปรปริมาณน้ำตาลต่อหางนมผง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 9 ต่อ 12 10 ต่อ 11 และ 11 ต่อ 10 กำหนดให้ส่วนผสมอื่นคงที่ ได้แก่ ไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ (จากกะทิ ที่มีไขมัน 18 เปอร์เซ็นต์) เกลือ 0.03 เปอร์เซ็นต์ สารให้ความคงตัว 0.45 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สารให้ความคงตัวทางการค้า (CREMODAN® SE 709-M) (ตารางที่ 5) พบว่า การผันแปรอัตราส่วนของน้ำตาลต่อหางนมผงไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีผลต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ ค่าพีเอช และอัตราการละลายของไอศกรีมกะทิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 6-9)

ตารางที่ 5 สูตรไอศกรีมกะทิที่มีการแปรผันปริมาณน้ำตาลและหางนมผง

ส่วนผสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ทรีทเมนต์ (น้ำตาล:หางนมผง)		
	9 : 12	10 : 11	11 : 10
ไขมัน	8.00	8.00	8.00
น้ำตาล	9.00	10.00	11.00
หางนมผง	12.00	11.00	10.00
สารให้ความคงตัว	0.45	0.45	0.45
เกลือ	0.03	0.03	0.03
ของแข็งทั้งหมด	29.48	29.48	29.48

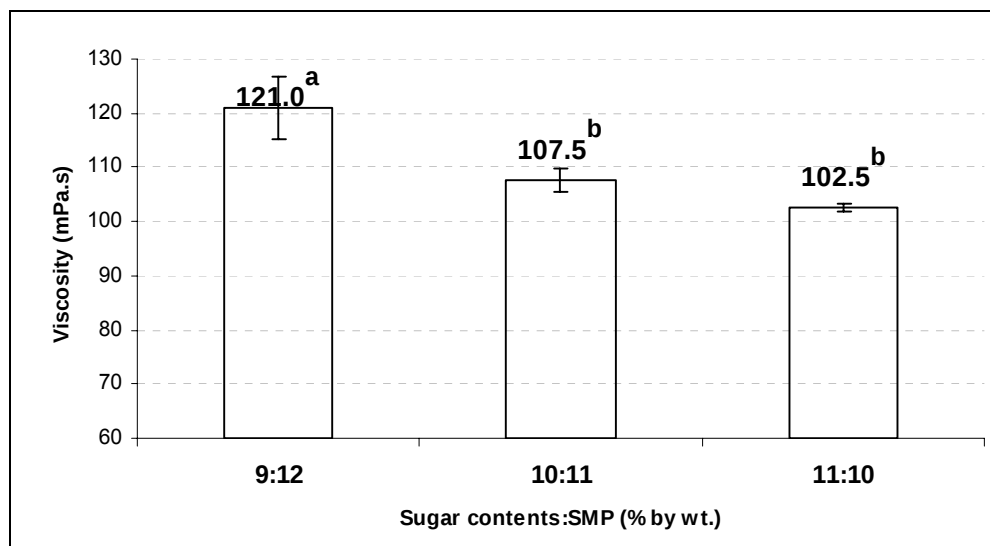


ภาพที่ 5 ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากภาพที่ 5 พบว่า ไอศกรีมมิกซ์ที่มีการผันแปรปริมาณน้ำตาลและหางนมผง มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.48 – 6.53 และไอศกรีมมิกซ์ที่มีปริมาณน้ำตาล 9 เปอร์เซ็นต์และหางนมผง 12 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพีเอชต่ำกว่าไอศกรีมมิกซ์ที่มีอัตราส่วนน้ำตาลต่อหางนมผง 10:11 และ 11:10 ตามลำดับ Arbuckle (1986); Marshall and Arbuckle (1996) กล่าวว่า ค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อมะพร้าวรวมมันเนย ได้แก่ โปรตีนนม เกลือ (ฟอสเฟตและซิเตรท) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในนม ดังนั้นไอศกรีมมิกซ์ที่มีปริมาณหางนมผงซึ่งเป็นแหล่งของเนื้อมะพร้าวรวมมันเนยมากกว่า จึงมีค่าพีเอชต่ำกว่า Arbuckle (1986); Patel *et al.* (2005) กล่าวว่า ไอศกรีมที่มีค่าพีเอชต่ำมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมทางด้านจุลินทรีย์ในระหว่างการบ่ม และส่งผลคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมมิกซ์ ทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีค่าความหนืดสูง ลดอัตราการขึ้นฟู ไอศกรีมมิกซ์ไม่คงตัว และเกิดการตกตะกอนของโปรตีนนม

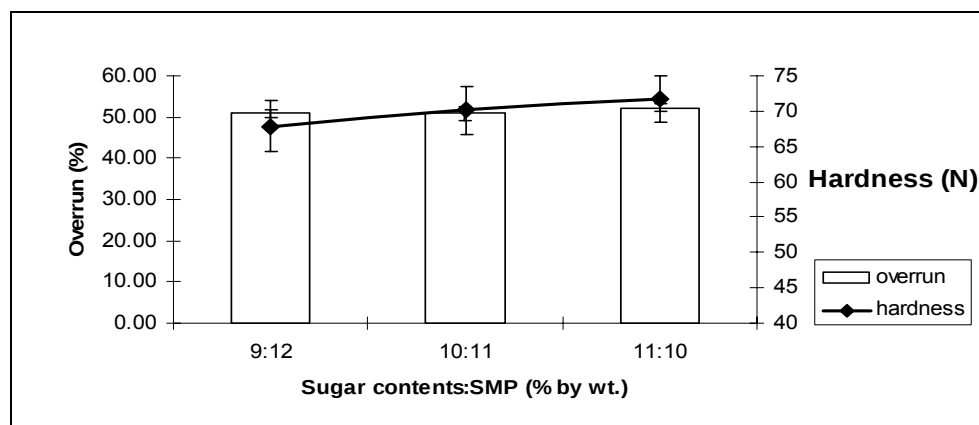
ไอศกรีมมิกซ์ที่มีอัตราส่วนของน้ำตาลต่อหางนมผง 9 ต่อ 12 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) มีความหนืดสูงกว่าไอศกรีมมิกซ์ที่มีอัตราส่วนน้ำตาลต่อหางนมผง 10 ต่อ 11 และ 11 ต่อ 10 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากโปรตีนนมในหางนมผงมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำส่งผลให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้นเมื่อมีปริมาณหางนมผงเพิ่มขึ้น (Arbuckle 1986; Marshall and Arbuckle 1996; Goff and Hartel 2004) (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์วัดที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที

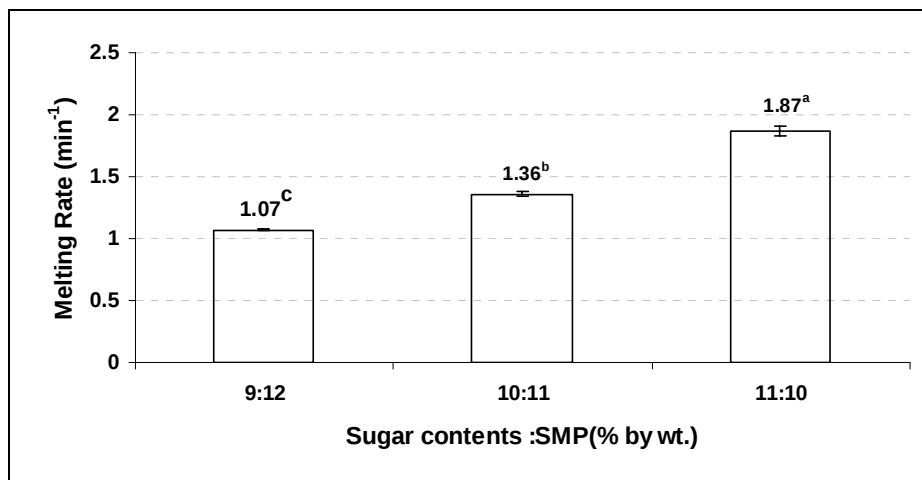
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ส่วนการแปรผันปริมาณน้ำตาลและหางนมผงในอัตราส่วน 9 ต่อ 12 10 ต่อ 11 และ 11 ต่อ 10 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิ

อย่างไรก็ตามการแปรผันปริมาณน้ำตาลและหางนมผงมีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 8) ไอศกรีมกะทิที่มีน้ำตาล 11 เปอร์เซ็นต์และหางนมผง 10 เปอร์เซ็นต์มีอัตราการละลายเร็วที่สุด เนื่องจาก ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ไอศกรีมมีจุดเยือกแข็งต่ำลง ทำให้อัตราการละลายมีค่าสูงขึ้นหรือไอศกรีมละลายได้เร็วขึ้น (Smith and Bradley 1983; Marshall and Arbuckle 1996)



ภาพที่ 8 ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิ
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลของปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิ

ปริมาณน้ำตาลและหางนมผงมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิ โดยตรวจสอบด้วยการจัดสเกลบอกระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัส (unstructured line scale ขาว 15 เซนติเมตร) ด้วยผู้ชิมที่ผ่านการทดสอบความสามารถทางประสาทสัมผัสและได้รับการฝึกฝน จำนวน 10 คน และตรวจสอบวิธีให้คะแนนความชอบ (Hedonic scale) คะแนน 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน แสดงดัง ตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 ระดับความเข้มข้นของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่มีปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่างกัน

ทริทเมนต์ น้ำตาล : หางนมผง (%)	ลักษณะทางประสาทสัมผัส			
	ความเรียบเนียน	ความหวาน	การละลายในปาก	ความเหนียว หนืดในปาก
9 : 12	4.78 ^b ±0.59	6.74 ^b ±0.55	6.82 ^a ±1.77	9.84 ^a ±1.01
10 : 11	9.29 ^a ±1.34	8.70 ^a ±0.67	7.72 ^a ±1.20	7.74 ^b ±0.67
11 : 10	10.19 ^a ±1.75	9.61 ^a ±0.56	7.88 ^a ±1.73	7.30 ^b ±1.18

หมายเหตุ: 1 = ความเข้มข้นน้อย ถึง 15 = ความเข้มข้นมาก

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จาก ตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่า ไอศกรีมกะทิที่มีปริมาณน้ำตาล 9 เปอร์เซ็นต์และหางนมผง 12 เปอร์เซ็นต์ มีความเรียบเนียนต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับไอศกรีมกะทิที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลต่อหางนมผง 10 ต่อ 11 และ 11 ต่อ 10 ค่าความเรียบเนียนและความหวานของไอศกรีมกะทิมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำตาลเพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์หางนมผงลดลง ปริมาณหางนมผงที่ลดลง ทำให้ไอศกรีมมีความเรียบเนียนเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากหางนมผงมีน้ำตาลแลคโทสซึ่งละลายน้ำได้น้อยเป็นส่วนประกอบอยู่ (Renner and Abd El-Salam, 1991) เมื่อใช้หางนมผงในปริมาณที่มากขึ้น จึงทำให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลแลคโทส ไอศกรีมที่ได้จึงมีเนื้อสัมผัสที่เป็นทราย (sandiness) ไม่เรียบเนียน (Early, 1998) นอกจากนี้ไอศกรีมกะทิที่มีปริมาณน้ำตาล 9 เปอร์เซ็นต์และหางนมผง 12 เปอร์เซ็นต์ยังมีความหวานต่ำที่สุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าจึงมีความหวานน้อยกว่า

เมื่อเปรียบเทียบกับความหนืดของไอศกรีมมิกซ์จากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลที่ลดลงและปริมาณหางนมผงที่สูงขึ้น ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเหนียวหนืดในปากของไอศกรีมซึ่งเป็นระดับคะแนนความเข้มข้นที่ผู้ชิมสัมผัสได้สูงขึ้นด้วย แต่สำหรับคะแนนการละลายในปาก ไอศกรีมมีแนวโน้มละลายเร็วขึ้นตามปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น และปริมาณหางนมผงที่ลดลง แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 7 ระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่มีปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่างกัน

ทรีทเมนต์ น้ำตาล : หางนมผง (%)	ลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	ความเรียบ เนียน	ความหวาน	การละลาย ในปาก	ความเหนียว หนืดในปาก	ความชอบ รวม
9 : 12	5.73 ^b ±1.34	5.90 ^b ±1.34	6.13 ^b ±1.14	5.87 ^b ±1.39	6.07 ^b ±0.96
10 : 11	6.90 ^a ±1.06	6.43 ^{ab} ±1.65	6.90 ^a ±1.22	6.53 ^a ±1.65	6.73 ^b ±0.83
11 : 10	7.13 ^a ±1.25	6.97 ^a ±1.20	7.27 ^a ±0.69	7.00 ^a ±1.72	7.47 ^a ±1.45

หมายเหตุ: 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉลย, 9 = ชอบมากที่สุด

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลของการแปรผันปริมาณน้ำตาลและหางนมผงต่อระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมแสดงดัง ตารางที่ 7 จะเห็นว่าไอศกรีมกะทิที่มีน้ำตาล 9 เปอร์เซ็นต์และหางนมผง 12 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบทางด้านความเรียบเนียน การละลายในปาก และความเหนียวหนืดในปากน้อยที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับไอศกรีมกะทิสูตรอื่น แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) กับไอศกรีมกะทิที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลต่อหางนมผง 10 ต่อ 11 ในด้านความหวานและความชอบรวม เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิในตารางที่ 6 พบว่าผู้ชิมมีความชอบไอศกรีมกะทิที่มีความเรียบเนียนและความหวานมาก มากกว่าไอศกรีมกะทิที่มีความเรียบเนียนและความหวานน้อย สอดคล้องกับที่ อูยา (2541); ภคินี (2550) ทดสอบผลทางประสาทสัมผัสที่ผู้ชิมให้คะแนนความชอบไอศกรีมที่มีรสหวานมากขึ้น สำหรับคะแนนความชอบทางด้านความเหนียวหนืดและการละลายในปาก ผู้ชิมมีแนวโน้มความชอบมากขึ้นเมื่อไอศกรีมกะทิมีความหนืดลดลง (ภาพที่ 6) และอัตราการละลายเร็วขึ้น (ภาพที่ 8) อย่างไรก็ตาม ไอศกรีมกะทิที่มีน้ำตาล 11 เปอร์เซ็นต์และหางนมผง 10 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบรวมมากที่สุด อยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก จึงเลือกไอศกรีมกะทิสูตรนี้เพื่อพัฒนาเป็นไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ โดยลดปริมาณไขมันจาก 8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 2 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาผลของเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ

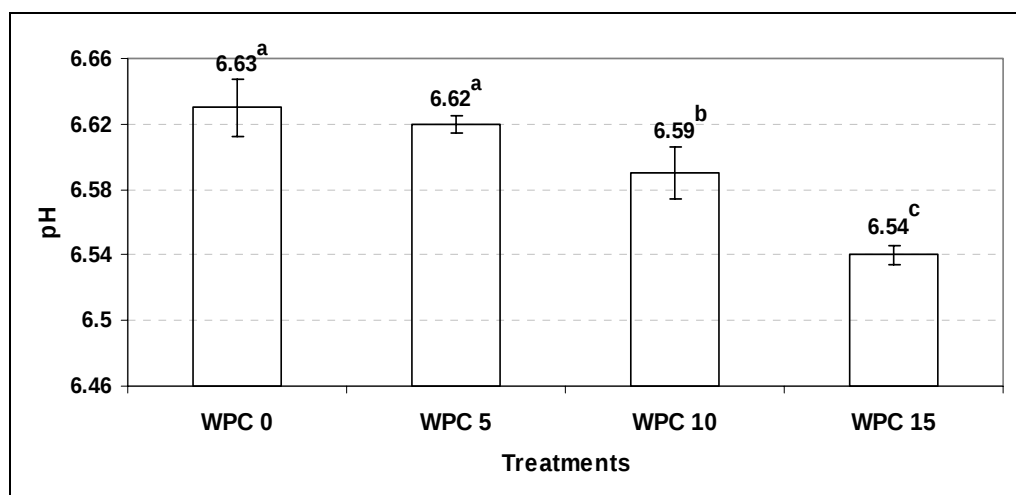
1. ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ

ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้น (WPC) ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ ศึกษาโดยเลือกไอศกรีมกะทิที่มีคะแนนความชอบสูงที่สุดจากการแปรผันปริมาณน้ำตาลและหางนมผง ลดปริมาณไขมันลงจาก 8 เปอร์เซ็นต์เป็น 2 เปอร์เซ็นต์ แล้วลดปริมาณหางนมผง (SMP) ลง 0.50 0.10 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์จากน้ำหนักไอศกรีมทั้งหมด ทดแทนหางนมผง (SMP) ส่วนที่หายไปด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้น (WPC) โดยให้ส่วนผสมอื่นคงที่ นั่นคือไขมัน 2 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 11 เปอร์เซ็นต์ เนื้อมันรวมไม่รวมมันเนย 10 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 0.03 เปอร์เซ็นต์ สารให้ความคงตัว 0.45 เปอร์เซ็นต์ โดยทริทเมนต์ WPC 0 5 10 และ 15 คือ ไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นที่ระดับ 0.00 0.50 1.00 และ 1.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 8) อย่างไรก็ตาม การทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นมีข้อจำกัด เนื่องจากเมื่อทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดกลิ่นนมคัมของเวย์โปรตีนในไอศกรีมทำให้การยอมรับของผู้บริโภคต่ำลง

ตารางที่ 8 สูตรไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการแปรผันปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้น

ส่วนผสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ทริทเมนต์			
	WPC 0	WPC 5	WPC 10	WPC 15
ไขมัน	2.00	2.00	2.00	2.00
น้ำตาล	11.00	11.00	11.00	11.00
เวย์โปรตีนเข้มข้น; WPC	-	0.50	1.00	1.50
หางนมผง; SMP	10.00	9.50	9.00	8.50
สารให้ความคงตัว	0.45	0.45	0.45	0.45
เกลือ	0.03	0.03	0.03	0.03
ของแข็งรวมทั้งหมด	23.48	23.48	23.48	23.48

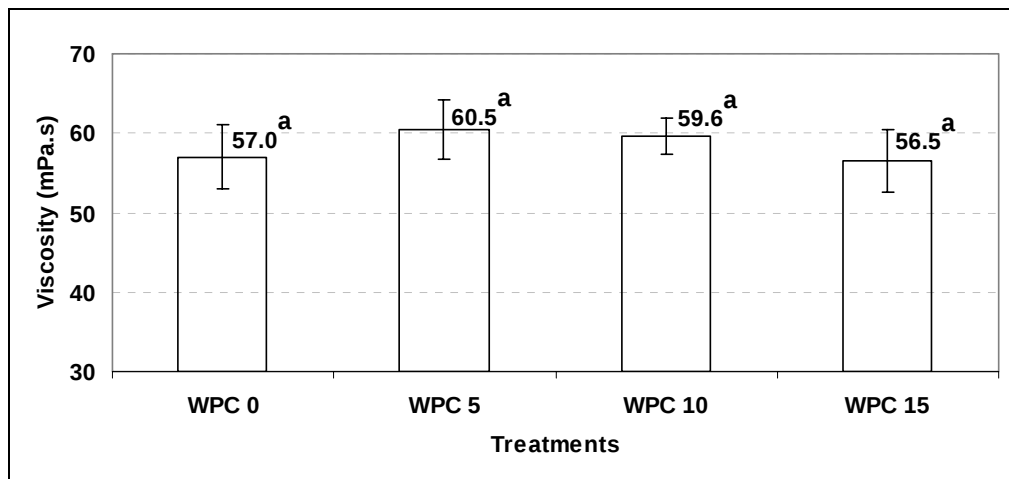
ปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นมีผลต่อมีค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ (ภาพที่ 9) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 6.54 – 6.63 การเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นมากขึ้น ทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีค่าพีเอชต่ำลง ไอศกรีมมิกซ์ที่มีเวย์โปรตีนเข้มข้น 0.15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพีเอชต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเนื้อมะพร้าวรวมมันเนย โปรตีนนม กลีโกลแร และอากาศที่กระจายอยู่ในไอศกรีมมิกซ์เปลี่ยนแปลงไปจึงมีผลต่อค่าพีเอชของไอศกรีม (Arbuckle 1986; Patel *et al.*, 2006) สอดคล้องกับการศึกษาของ Patel *et al.* (2006) ที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นในไอศกรีมวนิลาทำให้ค่าความเป็นกรดสูงขึ้นและค่าพีเอชต่ำลง นอกจากนี้ ค่าพีเอชที่ต่ำลงยังส่งผลถึงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ ทำให้ไอศกรีมเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ซ้าลงในระหว่างการบ่มและยังส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดสูง ลดอัตราการขึ้นฟู ไอศกรีมมิกซ์ไม่คงตัว และเกิดการตกตะกอนของโปรตีนนม (Arbuckle 1986)



ภาพที่ 9 ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อศึกษาถึงผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านการบ่ม ณ อุณหภูมิ 4 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 4 ± 0.5 องศาเซลเซียส โดยให้ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที พบว่าปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นไม่มีผลต่อค่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (ภาพที่ 10)

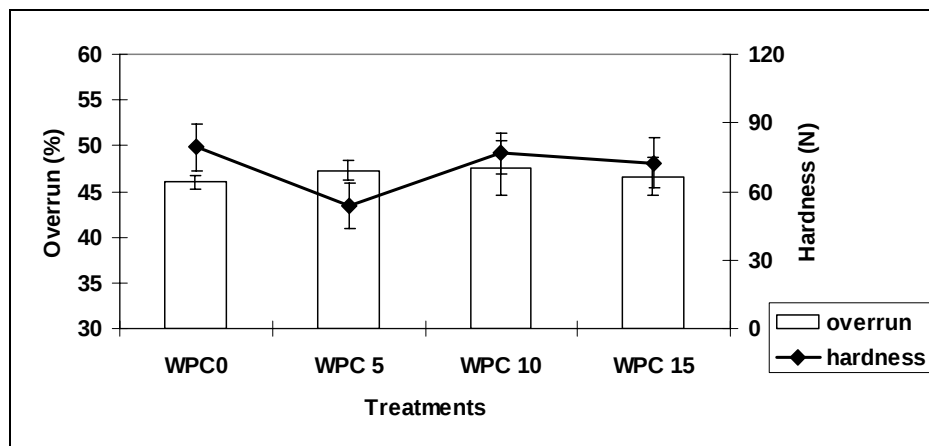


ภาพที่ 10 ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์วัดที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที

Ruger *et al.* (2002) กล่าวว่า เมื่อนำเวย์โปรตีนเข้มข้นผสมในไอศกรีม โปรตีนทำหน้าที่ในการจับน้ำ เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ช่วยในการเกิดโฟมและทำให้ส่วนผสมต่างๆกระจายตัวได้ดี ทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมแน่น เนียน ละเอียดย และไม่อ่อนตัว นอกจากนี้โปรตีนจับโครงสร้างของไขมันในส่วนผสมที่แตกตัวเป็นเม็ดเล็กๆเกาะกันเป็นเครือข่ายและกระจายตัวอยู่ในส่วนผสม ส่งผลให้เครือข่ายของเม็ดไขมันเหล่านี้มีความคงตัวช่วยในการเก็บอากาศในขณะปั่นแข็ง ไอศกรีมได้ดีขึ้น จึงทำให้ไอศกรีมมีการขึ้นฟูเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นในระดับ 0.50-1.50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ พบว่าเวย์โปรตีนเข้มข้นไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (ภาพที่ 11) แต่เมื่อทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นคือ 2.00-7.50 เปอร์เซ็นต์ ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น แต่ทำให้ไอศกรีมมีการรับรู้กลิ่นรสลดลง เนื่องจากเวย์โปรตีนประกอบด้วยหมู่ซัลเฟอร์เมื่อได้รับความร้อนเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ส่งผลให้เกิดกลิ่นนมต้ม (boiled milk flavor หรือ cooked flavor) (Whetstone *et al.*, 2005; Patel *et al.*, 2006) ซึ่งเป็นกลิ่นรสที่มาจากกลิ่นรสกะทิ และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จึงศึกษาการทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นที่ระดับความเข้มข้น 0.50-1.50 เปอร์เซ็นต์

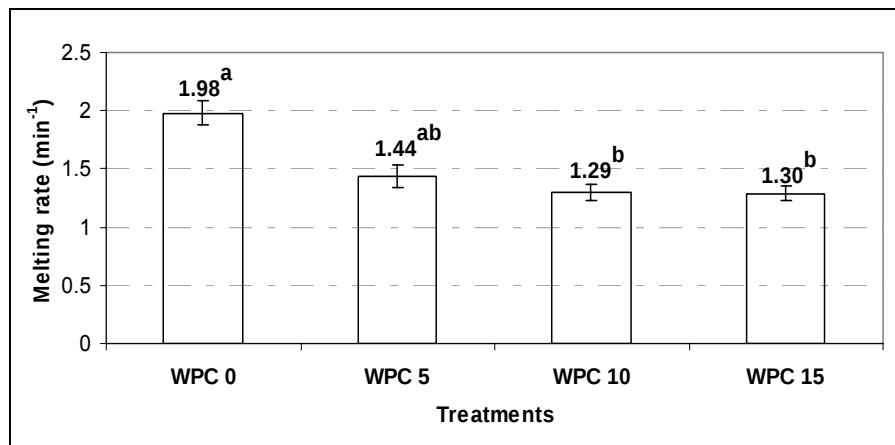
เมื่อนำไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านกระบวนการแช่แข็ง แล้วหลังบรรจุในภาชนะพลาสติก ทำให้แข็งแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้ววัดแรงกดอัดที่ทำให้ไอศกรีมเสีย

รูปร่างด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอศกรีม พบว่า ปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าความแน่นแข็งของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (ภาพที่ 11) ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีม เพราะความแน่นแข็งของไอศกรีมเป็นการแสดงถึงสมบัติการเสีรูปร่างของไอศกรีม ไอศกรีมที่มีเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูมาก มีความแน่นเนื้อน้อย มีฟองอากาศในโครงสร้างค่อนข้างมาก เมื่อได้รับแรงกดจึงเกิดการเสีรูปร่างได้ง่าย (Arbuckle 1986)



ภาพที่ 11 ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ

สำหรับการศึกษาถึงผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำแสดงดังภาพที่ 12 จะเห็นว่า เวย์โปรตีนที่เพิ่มขึ้นช่วยลดอัตราการละลายของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เพราะเวย์โปรตีนมีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ไปจับกับโครงสร้างของเม็ดไขมันที่รวมตัวกันเป็นสายของเม็ดไขมันสั้นๆ ในส่วนผสมของไอศกรีมซึ่งทำหน้าที่ในการเก็บอากาศให้กับเนื้อไอศกรีม มีความคงตัว และกระจายตัวได้ดีขึ้น ส่งผลให้ฟองอากาศมีความคงตัวและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (Patel *et al.*, 2006) จึงทำให้ไอศกรีมละลายช้าลง



ภาพที่ 12 ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลของปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้นและตรวจสอบด้วยการขีดสเกลบอกระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัส (unstructured line scale ยาว 15 เซนติเมตร) โดยผู้ชิมที่ผ่านการทดสอบความสามารถทางประสาทสัมผัสและได้รับการฝึกฝน จำนวน 10 คน และวิธีให้คะแนนความชอบ (Hedonic scale) คะแนน 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน แสดงดังตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 ระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่างกัน

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	การรับรู้กลิ่นรส	ความเรียบเนียน	การละลายในปาก	ความเหนียวหนืดในปาก	ความเคลือบมันในปาก
WPC 0	5.48 ^b ±1.32	5.43 ^b ±1.26	7.82 ^a ±1.22	4.79 ^c ±0.75	7.26 ^a ±1.31
WPC 5	6.32 ^b ±1.67	7.49 ^{ab} ±0.61	6.60 ^a ±1.34	6.97 ^{ab} ±1.39	6.84 ^a ±1.36
WPC10	5.28 ^b ±1.09	7.13 ^{ab} ±0.33	6.14 ^a ±0.42	5.66 ^{bc} ±0.37	6.17 ^a ±0.75
WPC15	8.80 ^a ±1.46	9.34 ^a ±0.71	5.80 ^a ±0.64	8.19 ^a ±0.26	7.37 ^a ±0.37

หมายเหตุ: 1 = ความเข้มข้นน้อย ถึง 15 = ความเข้มข้นมาก

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดังแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่าปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่างกันมีผลต่อความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ ไอศกรีมที่มีการทดแทนหางนมผง 0.15 เปอร์เซ็นต์ด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นมีคะแนนความเข้มทางด้านความเรียบเนียนและความเหนียวหนืดในปากมากกว่าไอศกรีมไขมันต่ำที่ไม่ได้เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น และมีความเข้มในการรับรู้กลิ่นรสมากกว่าไอศกรีมทรีทเมนต์อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากเวย์โปรตีนประกอบด้วยโปรตีนซึ่งมีกลุ่มของซัลไฮดริลที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เมื่อได้รับความร้อนเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้เกิดกลิ่นนมต้ม (boiled milk flavor หรือ cooked flavor) (Patel *et al.*, 2005; Whetstone *et al.*, 2006) แต่การเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นไม่มีผลต่อคะแนนความเข้มทางด้านความเคลือบมันและการละลายในปากอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตาม คะแนนความเข้มของการละลายในปากมีแนวโน้มสอดคล้องกับอัตราการละลายของไอศกรีมดังกล่าวที่ 12 นั่นคือการเติมเวย์โปรตีนมากขึ้นทำให้ไอศกรีมละลายช้าลง

ส่วนผลคะแนนความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่างกัน ดังตารางที่ 10 พบว่า การเติมปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นทำให้

คะแนนความชอบในการรับรู้กลิ่นรสของไอศกรีมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แสดงว่ากลิ่นรสที่มากขึ้น (ตารางที่ 9) ไม่ส่งผลต่อระดับความชอบในการรับรู้กลิ่นรสของผู้ชิม และไอศกรีมที่มีการทดแทนหางนมผง 0.10 เปอร์เซ็นต์ด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นมีระดับคะแนนความชอบทางด้านความเรียบเนียน การละลายในปาก ความเหนียวหนืด ความเคลือบมัน และความชอบโดยรวมสูงกว่าไอศกรีมที่ไม่มีการเติมเวย์โปรตีน และไอศกรีมที่มีการทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้น 0.50 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ จึงนำไอศกรีมสูตรที่มีการทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้น 0.10 เปอร์เซ็นต์ไปใช้ในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 10 ระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีปริมาณเวย์โปรตีนเข้มข้นต่างกัน

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	การรับรู้กลิ่นรส	ความเรียบเนียน	การละลายในปาก	ความเหนียวหนืดในปาก	ความเคลือบมัน	ความชอบรวม
WPC 0	6.33 ^a ±1.42	5.97 ^b ±0.46	5.97 ^b ±1.53	5.77 ^{bc} ±1.07	5.87 ^b ±1.43	5.83 ^c ±1.54
WPC 5	6.50 ^a ±0.93	6.70 ^a ±0.57	6.43 ^b ±0.73	6.17 ^b ±1.14	6.30 ^{ab} ±1.09	6.77 ^b ±0.95
WPC 10	6.53 ^a ±0.85	7.23 ^a ±1.24	7.17 ^a ±0.69	6.87 ^a ±0.92	6.83 ^a ±1.17	7.50 ^a ±0.78
WPC 15	6.23 ^a ±1.21	6.13 ^b ±1.03	6.20 ^b ±0.61	5.60 ^c ±0.87	5.73 ^b ±0.53	6.03 ^c ±1.59

หมายเหตุ: 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉย, 9 = ชอบมากที่สุด

ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

1. ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

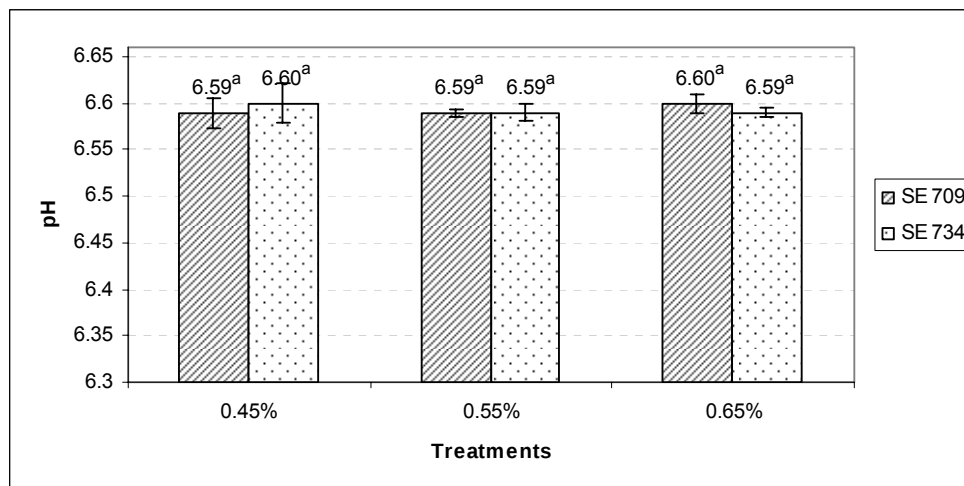
ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น ศึกษาโดยนำไอศกรีมกะทิที่ลดปริมาณไขมันจาก 8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 2 เปอร์เซ็นต์ และทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้น 0.10 เปอร์เซ็นต์ มาแปรผันชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวทางการค้า 2 ชนิดคือ ครีโมแดน 709-M (SE 709) และ ครีโมแดน 734-M (SE 734) (ตารางที่ 11) ครีโมแดน 709-M ประกอบด้วย โมโน- และได-กลีเซอไรด์ การจีแนน กัวกัม และ โลคัสปีนกัม ส่วนครีโมแดน 734-M ประกอบด้วย โมโน- และได-กลีเซอไรด์ การจีแนน กัวกัม และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ตารางที่ 11 สูตรไอศกรีมกะทิที่มีการแปรผันชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัว

ส่วนผสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ทรีทเมนต์		
	1	2	3
ไขมัน	2.00	2.00	2.00
น้ำตาล	11.00	11.00	11.00
เวย์โปรตีนเข้มข้น	1.00	1.00	1.00
หางนมผง	9.00	9.00	9.00
สารให้ความคงตัว (ครีโมแดน 709-M หรือ ครีโมแดน 734-M)	0.45	0.55	0.65
เกลือ	0.03	0.03	0.03
ของแข็งทั้งหมด	23.48	23.58	23.68

ชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวมีผลต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ ดังภาพที่ 13 จะเห็นว่า ไอศกรีมมิกซ์มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.59 – 6.60 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ สอดคล้องกับการ

รายงานของ Martinou-Voulasiki and Zerfiridis (1990); Baer *et al.*, (1997) ที่พบว่า ชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ไม่มีผลต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์



ภาพที่ 13 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์

หมายเหตุ: SE 709 = ครีโมเดน 709-M

SE 734 = ครีโมเดน 734-M

ลักษณะการไหลของไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ศึกษาโดยวัดความหนืดปรากฏของไอศกรีมมิกซ์ที่ความเร็วของการหมุน(rotation speed ของ spindle)ต่างๆ การเพิ่มความเร็วของการหมุน หมายถึง การเพิ่มอัตราเฉือน หรือ shear rate ($\dot{\gamma}$) ซึ่งมีผลต่อความหนืดปรากฏ (μ_{app}) ความหนืดของอาหารที่มีคุณสมบัติเป็น Newtonian fluid ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเฉือน แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงอัตราเฉือนทำให้ความหนืด (μ_{app}) เปลี่ยนแปลง ถือว่าอาหารนั้นมีคุณสมบัติเป็น Non-newtonian fluid ซึ่งนิยมนิยามในค่าทั่วไปของความหนืด ได้แก่ Consistency index, K (Pa.sⁿ) และ Flow behavior index, n (ไม่มีหน่วย) โดยสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ของ Herschel-Bulkley ในรูปของค่า Apparent viscosity (μ_{app}) และ Shear rate ($\dot{\gamma}$) ดังนี้ (Toledo, 1991)

$$\mu_{app} = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad \text{.....1)}$$

$$\log \mu_{app} = \log K + (n-1)\log \dot{\gamma} \quad \text{.....2)}$$

$$n = \text{slope} + 1 \quad \text{.....3)}$$

$$K = 10 \text{intercept Pa.s}^n \quad \text{.....4)}$$

การพลอตกราฟระหว่าง $\text{Log}(\mu_{\text{app}})$ บนแกน Y และ $\text{Log}(\dot{\gamma})$ บนแกน X ค่า slope คือ $(n-1)$ และ interception คือ $\text{Log}(K)$ ซึ่งสามารถหาค่า n และ K ได้จากสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยอาหารที่มีคุณสมบัติเป็น Newtonian fluid มีค่า n เท่ากับ 1 ทำให้ μ_{app} เท่ากับ K และความหนืดของอาหารมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราเฉือน ส่วนของไหลชนิด Pseudoplastic มีค่า n อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (Toledo, 1991)

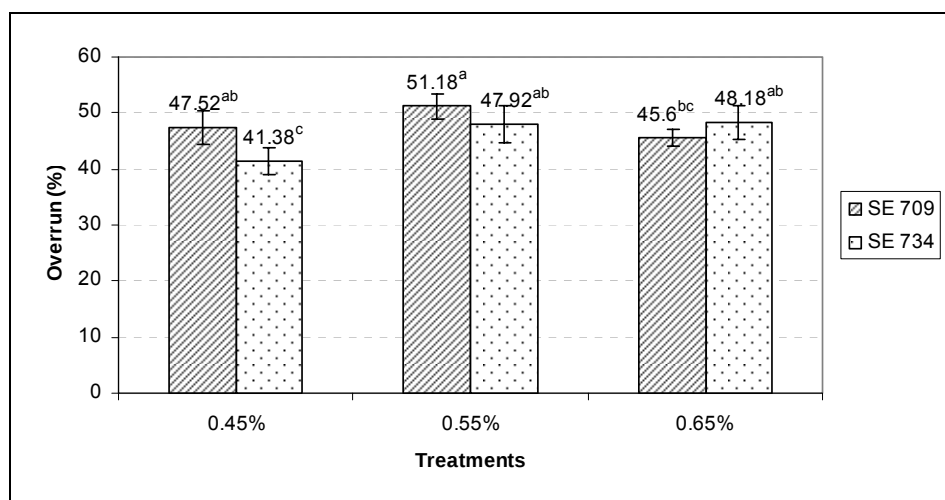
ชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวมีผลต่อลักษณะการไหลของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 12) ค่า n ของไอศกรีมมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงว่าไอศกรีมมีลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic และเมื่อเพิ่มปริมาณให้ความคงตัว ค่า n มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าไอศกรีมมีลักษณะการไหลแบบ Non – newtonian มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารให้ความคงตัว 2 ชนิด พบว่า ครีโมแดน 709-M ทำให้ไอศกรีมมีค่าความเป็น Non – newtonian มากกว่าครีโมแดน 734-M เนื่องจาก ครีโมแดน 709-M ประกอบด้วยไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่มีประจุ (กัวกัม และ โลคัสปีนกัม) เป็นองค์ประกอบมากกว่าครีโมแดน 734-M ซึ่งมีเพียงกัวกัม สอดคล้องกับ Cottrell *et al.* (1980) ที่กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณกัมที่ไม่มีประจุทำให้ไอศกรีมมีแนวโน้มการไหลแบบ Non – newtonian มากกว่า กัมที่มีประจุ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัวยังทำให้ไอศกรีมมีค่า K และความหนืดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์สามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างโพลิเมอร์และภายในโพลิเมอร์ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ อุ่นน้ำได้ ทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง ส่งผลให้ไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Arbuckle, 1986) ปริมาณสารคงตัวที่มากขึ้นอาจทำให้ liquid lamella ที่ห่อหุ้มฟองอากาศมีความแข็งแรงมากขึ้น สอดคล้องกับค่า K ที่สูงขึ้น และไอศกรีมมีความเคลือบมันเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 12 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่อลักษณะการไหลไอศกรีมกะทิ
ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

Treatments	Flow behavior index, n	Consistency index, K (mPa.s ⁿ)
0.45% Cremodan 709-M	0.9040 ^b ±0.004	210.96 ^d ±8.73
0.55% Cremodan 709-M	0.9052 ^b ±0.004	418.70 ^c ±9.04
0.65% Cremodan 709-M	0.8114 ^d ±0.008	2571.37 ^a ±158.98
0.45% Cremodan 734-M	0.9362 ^a ±0.010	127.00 ^d ±18.36
0.55% Cremodan 734-M	0.9145 ^b ±0.025	466.12 ^c ±56.30
0.65% Cremodan 734-M	0.8642 ^c ±0.010	1242.49 ^b ±110.24

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดังแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อศึกษาชนิดของสารให้ความคงตัว ดังภาพที่ 14 จะเห็นว่าสารให้ความคงตัวต่างชนิดกัน ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมที่ระดับความเข้มข้น 0.55 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อเติมสารให้ความคงตัวที่ระดับ 0.45 เปอร์เซ็นต์ ครีโมแดน 709-M ทำให้ไอศกรีมมีเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูสูงกว่า ครีโมแดน 734-M อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อศึกษาผลของปริมาณสารให้ความคงตัว พบว่า การเพิ่มปริมาณครีโมแดน 709-M ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีม แต่ครีโมแดน 734-M ที่มากขึ้นทำให้ไอศกรีมกะทิมีเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูสูงขึ้น Martinou-Voulasiki and Zerfiridis (1990) พบว่า ไอศกรีมมีเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัว แต่ปริมาณสารคงตัวที่มากเกินไป ทำให้ไอศกรีมมีกลิ่นความหนืดสูงขึ้น และลดเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีม



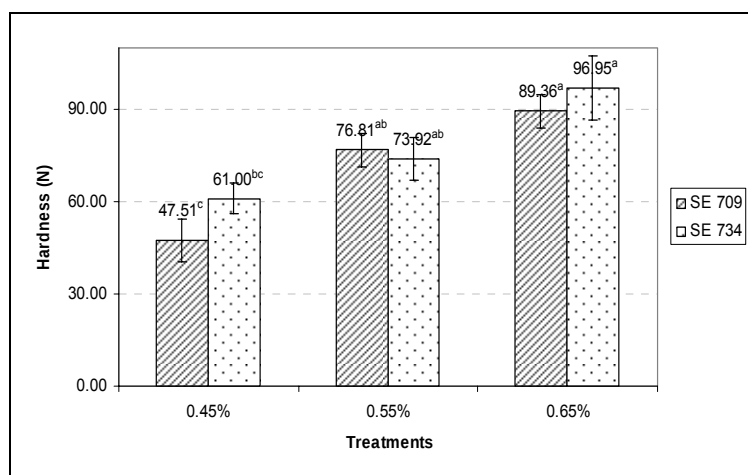
ภาพที่ 14 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมกะทิ ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

หมายเหตุ: SE 709 = ครีโมเดน 709-M

SE 734 = ครีโมเดน 734-M

ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวมีผลต่อความแน่นแข็งของไอศกรีม (ภาพที่ 15) จะเห็นว่าชนิดของสารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อความแน่นแข็งของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัวความแน่นแข็งของไอศกรีมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Martinou-Voulasiki and Zerfiridis (1990) ที่ว่าไอศกรีมที่ใช้สารให้ความคงตัวมีความแน่นแข็งกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณสารให้ความคงตัวน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณสารคงตัวที่เพิ่มขึ้นสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำทำให้เกิดเจล ไอศกรีมจึงมีแรงในการต้านทานการกดมากขึ้น (Aime *et al.*, 2001) อย่างไรก็ตามความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการผันแปรชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวไม่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีม



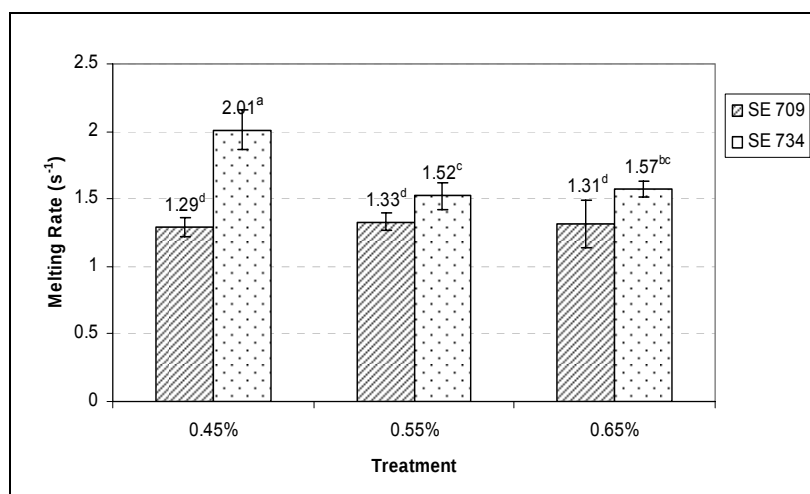
ภาพที่ 15 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่อความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิ
ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

หมายเหตุ: SE 709 = ครีโมเดน 709-M

SE 734 = ครีโมเดน 734-M

ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวมีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 16) ครีโมเดน 734-M ทำให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายสูงกว่าครีโมเดน 709-M ที่ความเข้มข้นเท่ากัน และเมื่อเพิ่มปริมาณครีโมเดน 734-M ทำให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายลดลง แต่ปริมาณครีโมเดน 709-M ไม่มีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) อาจเนื่องจากครีโมเดน 709 ประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีประสิทธิภาพช่วยให้ไอศกรีมมีความสามารถในการต้านทานการละลายสูง แม้ใช้ในปริมาณต่ำ การเพิ่มปริมาณครีโมเดนจึงไม่มีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีม สอดคล้องกับ Martinou-Voulasiki and Zerfiridis (1990); Marshall and Arbuckle (1996) ที่กล่าวว่า สารให้ความคงตัวทำให้ไอศกรีมละลายช้าลง และไอศกรีมมิกซ์ที่มีความหนืดมากกว่า (ตารางที่ 12) ต้านทานการละลายได้ดีกว่า



ภาพที่ 16 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิ
ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

หมายเหตุ: SE 709 = ครีโมแดน 709-M

SE 734 = ครีโมแดน 734-M

ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิ ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

ชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิ
ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นตรวจสอบด้วยการจัดสเกลบอกระดับความเข้มของคุณภาพ
ทางประสาทสัมผัส (unstructured line scale ยาว 15 เซนติเมตร) โดยผู้ชิมที่ผ่านการทดสอบ
ความสามารถทางประสาทสัมผัสและได้รับการฝึกฝน จำนวน 10 คน และวิธีให้คะแนนความชอบ
(Hedonic scale) คะแนน 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่
ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ผลแสดงดัง ตารางที่ 13 และ 14

ตารางที่ 13 ระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างกัน

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ความเรียบเนียน	ความเคลือบมัน	กลิ่นรสกะทิ	ความเหนียวหนืดในปาก	การละลายในปาก	ความแน่นเนื้อ
0.45% SE 709	7.86 ^a ±1.41	7.72 ^a ±1.03	6.89 ^a ±1.02	7.01 ^a ±1.45	6.89 ^a ±0.62	6.31 ^{ab} ±1.23
0.55% SE 709	7.40 ^a ±1.44	7.42 ^{ab} ±0.83	7.93 ^a ±1.21	6.24 ^a ±0.97	7.04 ^a ±1.69	7.26 ^{ab} ±0.61
0.65% SE 709	8.44 ^a ±1.87	8.57 ^a ±1.34	6.69 ^a ±0.84	8.04 ^a ±0.77	6.19 ^a ±1.22	8.32 ^a ±0.76
0.45% SE 734	7.64 ^a ±0.77	7.44 ^{ab} ±0.78	5.46 ^a ±0.65	6.60 ^a ±0.81	7.51 ^a ±1.47	6.97 ^{ab} ±0.57
0.55% SE 734	7.50 ^a ±0.50	7.17 ^{ab} ±1.05	5.52 ^a ±0.58	6.14 ^a ±1.35	6.66 ^a ±2.05	7.21 ^{ab} ±1.42
0.65% SE 734	7.90 ^a ±1.19	7.87 ^a ±1.07	6.32 ^a ±1.00	6.66 ^a ±1.08	6.07 ^a ±0.81	7.12 ^{ab} ±1.17

หมายเหตุ: 1 = ความเข้มน้อย ถึง 15 = ความเข้มนมาก

SE 709 = ครีโมแดน 709-M

SE 734 = ครีโมแดน 734-M

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 13 จะเห็นว่าชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมทางด้าน ความเรียบเนียน ความเหนียวหนืดในปาก และความเร็วในการละลายในปากอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ความเร็วในการละลายในปากมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัวสอดคล้องกับอัตราการละลายของไอศกรีม (ภาพที่ 16) Aime *et al.* (2001) กล่าวว่า ค่าความหนืดปรากฏที่วัดได้จากเครื่องมือ และ ค่า K (Consistency index) มีความสัมพันธ์กับค่าความเคลือบมันของไอศกรีม ไอศกรีมที่มีปริมาณสารให้ความคงตัว 0.65

เปอร์เซ็นต์ มีค่า K สูง (ตารางที่ 12) ค่าความเคลือบมันจึงมีแนวโน้มสูงกว่าทรีทเมนต์อื่นซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความเหนียวหนืดในปากและความเรียบเนียนของไอศกรีม เนื่องจากความหนืดที่สูงขึ้นทำให้ไอศกรีมจะมีความเรียบเนียนมากขึ้น (Kaya and Tekin, 2001) และเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัว ไอศกรีมมีค่า K สูงขึ้น ส่งผลให้ไอศกรีมมีความเคลือบมันสูงขึ้น ค่าความแน่นเนื้อและความแน่นแข็งของไอศกรีมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 15) นอกจากนี้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่เติมครีโมแดน 709-M มีแนวโน้มสูงกว่าไอศกรีมที่เติมครีโมแดน 734-M

ระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างกัน แสดงดังตารางที่ 14 จะเห็นว่าคะแนนความชอบทางด้านความเคลือบมัน ความเหนียวหนืดในปาก และความเร็วในการละลายในปากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัว แสดงว่าผู้ชิมมีความชอบไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีเวย์โปรตีนเข้มข้นที่มีความเคลือบมันและความเหนียวหนืดในปากสูงแต่มีการละลายในปากต่ำ (ตารางที่ 13) และมีแนวโน้มชอบไอศกรีมที่มีกลิ่นรสกะทิสูง (ตารางที่ 13) สำหรับคะแนนความชอบรวม พบว่าผู้ชิมมีความชอบไอศกรีมกะทิที่เติมครีโมแดน 709-M ที่ระดับความเข้มข้น 0.45 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์มากที่สุด การใช้ปริมาณสารคงตัวน้อยทำให้ประหยัดต้นทุนการผลิต ดังนั้นจึงเลือกใช้ครีโมแดน 709-M ที่ระดับ 0.45 เปอร์เซ็นต์เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 14 ระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างกัน

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ความเรียบเนียน	ความเคลือบมัน	กลิ่นรสกะทิ	ความเหนียวหนืดในปาก	การละลายในปาก	ความชอบรวม
0.45% SE 709	6.03 ^{ab} ±1.26	6.03 ^a ±1.45	6.80 ^a ±1.33	6.07 ^a ±1.11	6.10 ^a ±0.33	6.43 ^a ±0.39
0.55% SE 709	6.43 ^a ±0.78	6.13 ^a ±1.23	6.33 ^{ab} ±1.03	6.20 ^a ±1.67	6.30 ^a ±0.45	6.37 ^{ab} ±0.76
0.65% SE 709	6.53 ^a ±1.45	6.23 ^a ±1.27	5.70 ^b ±0.78	6.27 ^a ±0.75	6.53 ^a ±0.63	6.43 ^a ±1.81
0.45% SE 734	5.80 ^{ab} ±1.40	5.77 ^a ±1.29	5.68 ^b ±0.95	5.60 ^a ±0.56	6.10 ^a ±0.55	5.60 ^{bc} ±0.37
0.55% SE 734	6.03 ^{ab} ±0.54	5.70 ^a ±1.34	5.73 ^b ±0.46	5.93 ^a ±0.83	6.13 ^a ±0.94	6.10 ^{ab} ±0.34
0.65% SE 734	5.53 ^b ±1.40	5.80 ^a ±1.26	5.57 ^b ±0.77	5.90 ^a ±0.56	6.23 ^a ±0.61	6.07 ^{ab} ±0.24

หมายเหตุ: 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉย, 9 = ชอบมากที่สุด

SE 709 = ครีโมเดน 709-M

SE 734 = ครีโมเดน 734-M

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมันต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

1. ผลของชนิดและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินต่อความหนืดปรากฏของสารละลายมอลโทเด็กซ์ทริน

มอลโทเด็กซ์ทริน ได้จากการย่อยสลายข้าวสาลีบางส่วน มอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า Dextrose Equivalent (DE) ต่ำสามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมันได้ เนื่องจากสามารถเกิดเจลที่มีเนื้อสัมผัสคล้ายไขมันที่ให้ความรู้สึกเรียบเนียนในปาก (ภัทรา, 2540) Coninck and Vanhelrijck (1991) กล่าวว่า สารละลายมอลโทเด็กซ์ทรินที่ได้จากการย่อยมอลโทเด็กซ์ทรินด้วยกรดมีความหนืดลดลงซึ่งอาจส่งผลต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ เมื่อทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็กซ์ทริน จึงได้ศึกษาความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือนต่างๆ และพบว่าสารละลายมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE 5 และ 10 ที่ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ มีความหนืดของสารละลายมอลโทเด็กซ์ทรินมีค่าต่ำและมีแนวโน้มไม่ต่างกัน (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ความหนืดปรากฏของสารละลายมอลโทเด็กซ์ทริน

อัตราเฉือน (s ⁻¹)	ความหนืดปรากฏ (mPa.s)			
	1.5%MD/DE5	2%MD/DE5	1.5%MD/DE10	2%MD/DE10
18.6	2.50 ^a ±0.29	วัดค่าไม่ได้	3.33 ^a ±0.00	2.83 ^a ±0.29
46.5	1.33 ^{ab} ±0.58	1.33 ^{ab} ±0.00	3.00 ^a ±0.58	1.67 ^{ab} ±0.58
93.0	1.67 ^{ab} ±0.29	2.17 ^{ab} ±0.00	2.50 ^a ±0.29	2.50 ^a ±0.00

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

MD = มอลโทเด็กซ์ทริน (Maltodextrin)

2. ผลของชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมันต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

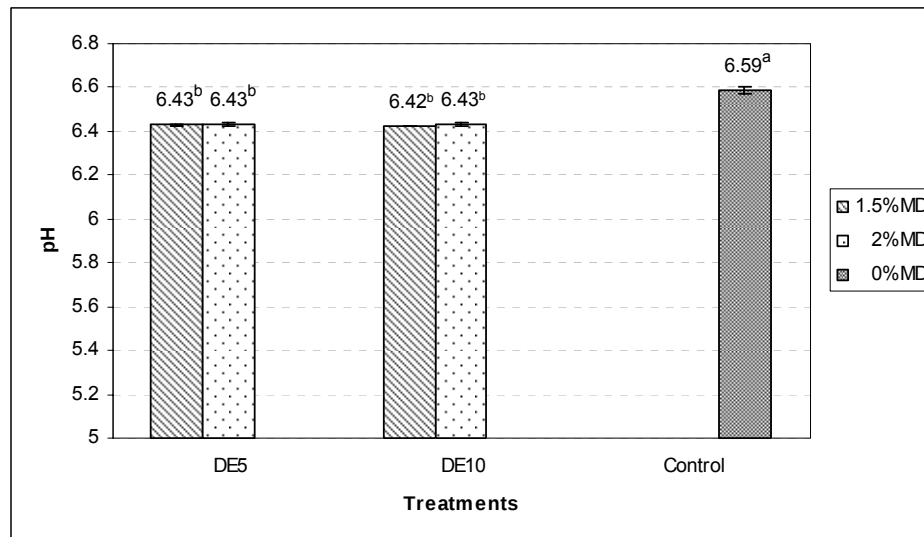
ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมันต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น โดยนำไอศกรีมไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นมาทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า Dextrose Equivalent (DE)

5 หรือ 10 ที่ระดับความเข้มข้น 1.50 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 16) พบว่า สารทดแทนไขมันมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 16 สูตรไอศกรีมกะทิที่มีการแปรผันชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมัน

ส่วนผสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ทริทเมนต์		
	สูตรควบคุม	1	2
ไขมัน	2.00	2.00	2.00
น้ำตาล	11.00	11.00	11.00
เวย์โปรตีนเข้มข้น	1.00	1.00	1.00
หางนมผง	9.00	9.00	9.00
สารให้ความคงตัว	0.45	0.45	0.45
เกลือ	0.03	0.03	0.03
สารทดแทนไขมัน	-	1.50	2.00
ของแข็งทั้งหมด	23.48	24.98	25.48

การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ (ภาพที่ 17) พบว่า ไอศกรีมมิกซ์มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.42 – 6.43 ซึ่งต่ำกว่าสูตรควบคุมหรือไอศกรีมที่ไม่ได้ทดแทนไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงว่าปริมาณและค่า DE ของมอลโทเด็คซ์ทรินไม่มีผลต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ที่มีการทดแทนไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากมอลโทเด็คซ์ทรินมีค่าพีเอชประมาณ 4-5 เมื่อเติมลงในไอศกรีมมิกซ์จึงทำให้ค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ลดลง (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

MD = มอลโทเด็คซ์ทริน (Maltodextrin)

เมื่อศึกษาการแปรผันค่า DE และปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินเพื่อทดแทนไขมันในไอศกรีมพบว่า ไอศกรีมมิกซ์มีลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดปรากฏลดลง ซึ่งอยู่ในช่วง 57.5- 200.0 mPa.s Cottrell *et al.* (1980); Arbuckle (1986) กล่าวว่า ไอศกรีมมิกซ์มีคุณสมบัติการไหลแบบ shear thinning ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเม็ดไขมันที่เกาะกลุ่มกันภายในโครงสร้างของไอศกรีม การทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็คซ์ทรินทำให้ ไอศกรีมมิกซ์มีลักษณะการไหลเข้าใกล้ของไหลแบบ Newtonian มากขึ้น (ค่า n เข้าใกล้ 1 มากขึ้น) และมีค่า K ต่ำลง ไอศกรีมที่เติมมอลโทเด็คซ์ทรินที่มีค่า DE ต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า n แต่มอลโทเด็คซ์ทรินที่มีค่า DE 10 ทำให้ไอศกรีมมีค่า K ต่ำกว่า DE 5 (ตารางที่ 17) สอดคล้องกับ Goff *et al.* (1990) ที่พบว่า คอรัลไซรปที่มี DE สูงสามารถเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดได้น้อยกว่าคอรัลไซรปที่มี DE ต่ำกว่า จึงทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดลดลง เมื่อใช้คอรัลไซรปที่มี DE สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่า flow behavior index (n) ระหว่างไอศกรีมมิกซ์ที่มีการแปรผันปริมาณสารให้ความคงตัว (ตารางที่ 12) กับไอศกรีมมิกซ์ที่เติมมอลโทเด็คซ์ทรินที่ใช้ ครีโมเดน 709-M ที่ปริมาณ 0.45 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไอศกรีมมิกซ์ที่เติมครีโมเดนทั้ง 2 ชนิด ปริมาณ 0.45 0.55 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ มีค่า n ต่ำกว่าไอศกรีมมิกซ์ที่เติมมอลโทเด็คซ์ทริน แสดงว่ามีลักษณะการไหลเข้าใกล้แบบ Pseudoplastic มากกว่า และไอศกรีมมิกซ์ที่แปรผันปริมาณสารให้ความคงตัวที่ไม่ได้เติมมอลโท

เด็กซ์ทริน (ตารางที่ 12) มีค่า Consistency index (K) สูงกว่าไอศกรีมมิกซ์ที่เติมมอลโทเด็กซ์ทรินซึ่งอาจเนื่องจากเกิด thermodynamic incompatibility ของอนุภาคของไฮโดรคอลลอยด์และมอลโทเด็กซ์ทรินในระบบ ทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีลักษณะการไหลเข้าใกล้ของไหลแบบ Newtonian มากขึ้น (ค่า n เข้าใกล้ 1 มากขึ้น) และมีค่า K ต่ำลง

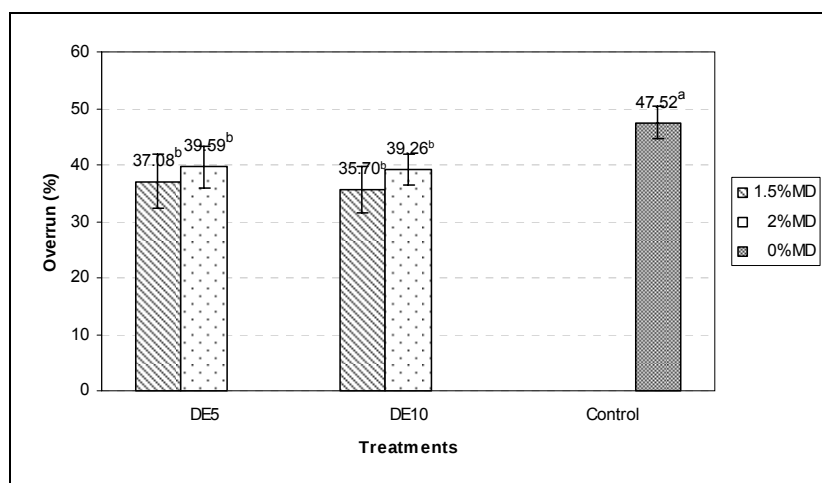
ตารางที่ 17 ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อลักษณะการไหลไอศกรีมกะทิ
ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

Treatments	Flow behavior index, n	Consistency index, K (mPa.s ⁿ)
No MD	0.9040 ^b ±0.004	210.96 ^a ±8.73
1.5% MD DE5	0.9620 ^a ±0.010	186.54 ^{ab} ±19.33
2.0% MD DE5	0.9580 ^a ±0.006	167.03 ^{bc} ±11.04
1.5% MD DE10	0.9708 ^a ±0.016	150.10 ^c ±29.04
2.0% MD DE10	0.9652 ^a ±0.005	112.26 ^d ±10.44

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

MD = มอลโทเด็กซ์ทริน (Maltodextrin)

ส่วนการทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็กซ์ทรินทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูต่ำกว่าไอศกรีมสูตรควบคุมที่ไม่ได้ทดแทนไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 18) เนื่องจากการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรเพิ่มขึ้น กอปรกับความหนืดที่ลดลงทำให้เปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำมีค่าลดลง (Arbuckle, 1986) แต่ปริมาณและค่า DE ของมอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมมิกซ์ที่มีการทดแทนไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

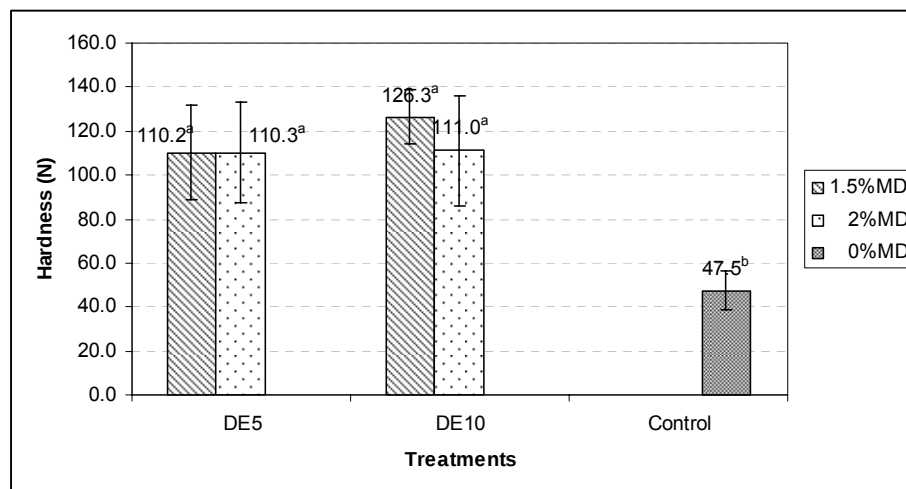


ภาพที่ 18 ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมกะทิ ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

MD = มอลโทเด็คซ์ทริน (Maltodextrin)

ส่วนค่าความแน่นแข็งของไอศกรีมที่เป็นผลจากการเติมมอลโทเด็คซ์ทริน (ภาพที่ 19) พบว่ามีแนวโน้มสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีม (ภาพที่ 18) นั่นคือไอศกรีมที่มี ทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็คซ์ทรินมีความแน่นแข็งกว่าไอศกรีมที่ไม่ได้ทดแทนไขมัน สอดคล้อง กับที่ Arbuckle (1986) กล่าวว่า ความแน่นแข็งของไอศกรีมแสดงถึงสมบัติการเสีรูปร่างของ ไอศกรีม โดยไอศกรีมที่มีเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูมาก มีฟองอากาศในโครงสร้างค่อนข้างมาก มีความ แน่นเนื้อน้อย เมื่อได้รับแรงกดจึงเกิดการเสีรูปร่างได้ง่าย และเมื่อเปรียบเทียบกับความแน่นแข็ง ของไอศกรีมที่แปรผันปริมาณสารให้ความคงตัวที่ไม่ได้เติมมอลโทเด็คซ์ทริน (ภาพที่ 15) พบว่า มอลโทเด็คซ์ทรินทำให้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งกว่าไอศกรีมที่ไม่ได้เติมมอลโทเด็คซ์ทริน ถึงแม้ว่า จะมีการเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัวถึงระดับ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ไอศกรีมก็ยังคงมีความแน่นแข็งน้อย กว่า อาจเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของมอลโทเด็คซ์ทรินจึงทำให้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งสูง

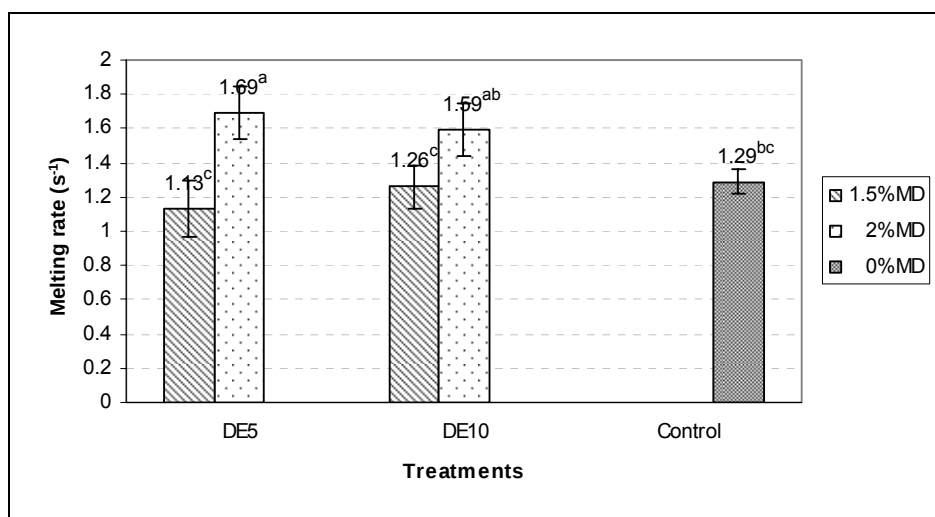


ภาพที่ 19 ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิ
ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

MD = มอลโทเด็คซ์ทริน (Maltodextrin)

ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น แสดงดังภาพที่ 20 พบว่า การทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็คซ์ทรินที่ระดับความเข้มข้น 1.50 เปอร์เซ็นต์ ไอศกรีมมีอัตราการละลายต่ำหรือช้ากว่าการทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็คซ์ทรินที่ระดับความเข้มข้น 2.00 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) และไม่แตกต่างกับไอศกรีมที่ไม่มีการทดแทนไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากการทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็คซ์ทรินทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีจุดเยือกแข็งต่ำลง (Roland *et al.*, 1999) เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรินขึ้นอาจทำให้ไอศกรีมมีจุดเยือกแข็งลดลง ไอศกรีมมีอัตราการละลายสูงขึ้นหรือละลายเร็วขึ้น (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิ
ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

MD = มอลโทเด็คซ์ทริน (Maltodextrin)

3. ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิ ไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น

การใช้มอลโทเด็คซ์ทรินทดแทนไขมันในไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีการเติมเวย์โปรตีนเข้มข้น ทำให้คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ เช่น ค่าพีเอช ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ เปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู ความแน่นแข็งและอัตราการละลายของไอศกรีมเปลี่ยนไปจากไอศกรีมที่ไม่ได้ทดแทนไขมัน การศึกษาคุณสมบัติเคมีทางกายภาพที่ส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมสามารถตรวจสอบด้วยการจัดสเกลบอกระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัส (unstructured line scale ยาว 15 เซนติเมตร) โดยผู้ชิมที่ผ่านการทดสอบความสามารถทางประสาทสัมผัสและได้รับการฝึกฝน จำนวน 10 คน และวิธีให้คะแนนความชอบ (Hedonic scale) คะแนน 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ได้ผล แสดงดังตารางที่ 18 และ 19

ตารางที่ 18 ระดับความเข้มของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่างกัน

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ความเรียบเนียน	ความเคลือบมัน	กลิ่นรสกะทิ	ความเหนียวหนืดในปาก	การละลายในปาก	ความแน่นเนื้อ
Control	5.77 ^b ±0.73	5.76 ^b ±1.85	5.73 ^a ±1.70	6.58 ^a ±2.08	6.02 ^{ab} ±1.35	6.99 ^{ab} ±1.98
1.5% MD DE 5	7.54 ^a ±1.44	7.36 ^a ±1.47	6.20 ^a ±1.56	6.37 ^a ±1.43	6.7 ^a ±1.63	7.58 ^a ±1.90
2.0% MD DE 5	7.67 ^a ±1.31	6.37 ^{ab} ±1.33	6.42 ^a ±1.91	5.27 ^{ab} ±1.57	5.66 ^{ab} ±1.48	5.41 ^{ab} ±0.35
1.5% MD DE 10	7.39 ^a ±1.14	7.09 ^{ab} ±1.62	5.50 ^a ±1.72	4.89 ^{ab} ±1.80	5.90 ^{ab} ±1.24	6.83 ^{ab} ±1.00
2.0% MD DE 10	5.98 ^b ±1.51	4.74 ^b ±1.34	5.45 ^a ±1.75	4.28 ^b ±1.40	4.48 ^b ±1.85	5.25 ^b ±1.91

หมายเหตุ: 1 = ความเข้มน้อย ถึง 15 = ความเข้มนมาก

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

MD = มอลโทเด็คซ์ทรีน (Maltodextrin)

ชนิดและปริมาณมอลโทเด็คซ์ทรีนมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ (ตารางที่ 18) การทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็คซ์ทรีนทำให้ไอศกรีมมีลักษณะการไหลเข้าใกล้ Newtonian มากขึ้นและมีค่า K ลดลง (ตารางที่ 17) สอดคล้องกับคะแนนความเหนียวหนืดในปากที่ลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อคะแนนความเคลือบมันของไอศกรีม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมที่แปรผันชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัว (ตารางที่ 13) พบว่า ไอศกรีมที่เติมมอลโทเด็คซ์ทรีนมีความเคลือบมันน้อยกว่าไอศกรีมที่แปรผันชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัว สอดคล้องกับค่า K ที่ลดลง อัตราการละลายที่เปลี่ยนไป (ภาพที่ 20) และความแน่นแข็งของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมมอลโทเด็คซ์ทรีน (ภาพที่ 19) ไม่ส่งผลต่อความเร็วในการละลายในปากและความแน่นเนื้อของไอศกรีม อย่างไรก็ตาม การทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็คซ์ทรีนทำให้

ไอศกรีมมีความเรียบเนียนมากขึ้น สอดคล้องกับ Roland *et al.* (1999) ที่พบว่า การทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็กซ์ทรินสามารถลดการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ไอศกรีมไขมันต่ำมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน และมีกลิ่นรสครีมใกล้เคียงไอศกรีมที่มีไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ แต่จากการทดลองนี้พบว่า มอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อกลิ่นรสกะทิอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 19 จะเห็นว่า การแปรผันปริมาณและค่า DE ของมอลโทเด็กซ์ทรินไม่มีผลต่อระดับความชอบกลิ่นรสกะทิอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความเข้มข้นกลิ่นรสกะทิ (ตารางที่ 18) เช่นเดียวกับค่าความเคี้ยวหนึบของไอศกรีมที่เปลี่ยนไป (ตารางที่ 18) ซึ่งไม่ส่งผลต่อความชอบด้านความเคี้ยวหนึบของไอศกรีม ผู้ชิมมีความชอบไอศกรีมที่มีการทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็กซ์ทรินมากกว่าไอศกรีมที่ไม่มีการทดแทนไขมัน โดยผู้ชิมมีความชอบไอศกรีมที่มีความเรียบเนียนมาก ความเหนียวหนืดต่ำ และละลายในปากช้า เมื่อไอศกรีมมีความเรียบเนียน และละลายในปากช้า แต่มีแนวโน้มที่มีความเหนียวหนืดและเคี้ยวหนึบในปากต่ำ ซึ่งอาจเป็นผลจากความชอบด้านความเรียบเนียนและการละลายในปากช้า ซึ่งการละลายของไอศกรีมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ปริมาณและขนาดของผลึกน้ำแข็ง ฟองอากาศ และองค์ประกอบของไอศกรีม อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้สารทดแทนไขมันในไอศกรีมควรคำนึงถึงต้นทุนในการผลิต โดยไอศกรีมที่มีการทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE 10 ที่ระดับความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากไอศกรีมที่มีการทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE 5 ที่ระดับความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่า เนื่องจากการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินในปริมาณที่น้อยกว่า

ตารางที่ 19 ระดับความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิไขมันต่ำที่มีชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่างกัน

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ความเรียบ	ความ	กลิ่นรส	ความเหนียว	การละลาย	ความชอบ
	เนียน	เคลือบมัน	กะทิ	หนืดในปาก	ในปาก	รวม
Control	5.50 ^b ±0.45	5.83 ^a ±1.32	5.63 ^a ±1.57	5.13 ^b ±1.69	5.57 ^b ±0.21	5.63 ^b ±1.43
1.5% MD DE 5	6.53 ^a ±0.67	6.20 ^a ±1.33	5.93 ^a ±1.60	6.00 ^a ±1.30	6.03 ^{ab} ±1.24	6.57 ^a ±1.21
2.0% MD DE 5	6.10 ^{ab} ±0.83	6.03 ^a ±0.86	6.00 ^a ±0.68	5.93 ^a ±1.05	6.43 ^a ±0.47	6.23 ^{ab} ±1.31
1.5% MD DE 10	6.60 ^a ±0.52	6.07 ^a ±0.58	5.77 ^a ±0.54	6.17 ^a ±0.64	6.33 ^a ±1.41	6.33 ^{ab} ±1.28
2.0% MD DE 10	6.40 ^a ±0.54	6.20 ^a ±0.57	5.73 ^a ±0.59	5.83 ^a ±0.37	6.57 ^a ±1.33	6.63 ^a ±0.69

หมายเหตุ: 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉย, 9 = ชอบมากที่สุด

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดังแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ไอศกรีมกะทิที่มีไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพีเอชและอัตราการละลายสูงขึ้น เมื่อมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้นและหางนมผงน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ไอศกรีมกะทิที่มีน้ำตาล 11 เปอร์เซ็นต์ และหางนมผง 10 เปอร์เซ็นต์มีคะแนนความชอบสูงสุด จึงเลือกไอศกรีมสูตรนี้เพื่อพัฒนาเป็นไอศกรีมกะทิไขมันต่ำต่อไป

2. การทดแทนหางนมผงด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้นในไอศกรีมกะทิไขมันต่ำมีส่งผลให้ค่าพีเอชและอัตราการละลายของไอศกรีมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กลิ่นรสจากเวย์โปรตีนเข้มข้นไม่ส่งผลต่อคะแนนความชอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) และผู้ชิมมีความชอบไอศกรีมกะทิที่เติมเวย์โปรตีนเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์มากที่สุด

3. ชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัว (ครีโมเดน) ส่งผลต่อลักษณะการไหลของไอศกรีมมิکشอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การเพิ่มปริมาณครีโมเดนทำให้ไอศกรีมมีคุณสมบัติการไหลเข้าใกล้ของไหลแบบ Non-newtonian มากขึ้น และมีค่า Consistency index (K) สูงขึ้น ผู้ชิมมีความชอบไอศกรีมที่เติม ครีโมเดน 709-M มากกว่าครีโมเดน 734-M และชอบไอศกรีมที่ใช้ครีโมเดน 709 ที่ความเข้มข้น 0.45 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เพื่อประหยัดต้นทุนการผลิต จึงเลือกใช้ครีโมเดน 709-M 0.45 เปอร์เซ็นต์ ไปใช้ศึกษาต่อในการทดลองต่อไป

4. การทดแทนไขมันด้วยมอลโทเด็คซ์ทรินมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ไอศกรีมมิکشมีค่าพีเอช Consistency index (K) และเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูลดลง มีลักษณะการไหลเข้าใกล้ของไหลแบบ Newtonian มากขึ้น และความเรียบเนียนของไอศกรีมที่เติมมอลโทเด็คซ์ทรินมีแนวโน้มสูงกว่าไอศกรีมที่ไม่ได้เติมมอลโทเด็คซ์ทรินโดยผู้ชิมให้คะแนนความชอบไอศกรีมที่เติมมอลโทเด็คซ์ทรินที่มีค่า DE 5 ที่ระดับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ DE 10 ที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์สูงสุด แต่การเติมมอลโทเด็คซ์ทรินในปริมาณที่ต่ำกว่าสามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตไอศกรีมได้

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้สารทดแทนหางนมผง นอกจากเวย์โปรตีนเข้มข้น 80 เปอร์เซนต์แล้ว อาจใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า หรือ เวย์โปรตีนไอโซเลทเพื่อศึกษาและพัฒนาคุณภาพของไอศกรีมให้ดีขึ้น
2. สามารถศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Heat shock) ในระหว่างการเก็บรักษาว่าไอศกรีมมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อมีการเปลี่ยนสูตรไอศกรีม
3. การทดแทนไขมันในไอศกรีม สามารถใช้สารทดแทนไขมันชนิดอื่นนอกจากสารทดแทนไขมันจากคาร์โบไฮเดรต เช่น สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากไขมันและโปรตีน หรืออาจใช้หลายชนิดรวมกันเพื่อปรับปรุงไอศกรีมให้มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กนกพร ลีลาวิโรจน์สกุล. 2545. ผลของกะทิที่ผ่านความร้อนต่อคุณสมบัติของไอศกรีมกะทิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นรินทร์ ทองศิริ. 2528. เทคโนโลยีอาหารนม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- พัชรินทร์ รักถาวร. 2542. การผลิตและปรับปรุงคุณภาพไอศกรีมกะทิลดไขมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภคินี เรือนสุภา. 2550. อิทธิพลของสารให้ความหวานต่อคุณภาพไอศกรีมเชอร์เบทปราศจากน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภัทรา กุลกิจจโรภาส. 2540. การพัฒนาไอศกรีมลดพลังงานกลิ่นรสผลไม้ไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมจิต สุรพัฒน์. 2544. ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____ 2550. ไอศกรีมทำง่ายขายดี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อภิรดี อินจันทร์, ผกากรอง สวนโน และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. ม.ป.ป. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากกะทิ. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อุษา นาคจิรังกูร. 2541. ผลของสารคงตัวต่อไอศกรีมเชอร์เบทมิกซ์รสผลไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Aime, D. B., S. D. Arntfield, L. J. Malcolmson and D. Ryland. 2001. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. **Food Res. Int.** 34: 237-246.

- Arbuckle, W. S. 1986. **Ice Cream**. 4th ed. AVI Publishing Co. Inc., New York.
- Baer, R. J., M. D. Wolkow and K. M. Kasperson. 1997. Effect of emulsifier on the body and texture of low fat ice cream. **J. Dairy Sci.** 80(12): 3123-3132.
- Coninck, V. D. E. and J. Vanhelrijck. 1991. Carbohydrate as fat replacers in calorie reduced foods. **J. Am. Coll. Nutr.** 2: 5-7.
- Cottrell, J. I. L., P. Geoffrey and G. O. Philips. 1980. The effect of stabilizers on the viscosity of an ice cream mix. **J. Sci. Food Agric.** 31: 1066-1070.
- De Wit, J. N. 1998. Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food. **J. Dairy Sci.** 81: 597- 608.
- De la Fuente, M. A., Y. Hemar, M. Tamehana, P. A. Munro and H. Singh. 2001. Process-induced changes in whey proteins during the manufacture of whey protein concentrates. **Int. Dairy J.** 12: 361–369.
- Early, R. 1998. **The Technology of Dairy Products**. 2th ed. Blackie Academic & Professional, Shropshire.
- Frye, A. M. and C. S. Setser. 1993. Bulking agents and fat substitutes, pp. 211-251. *In* A. M. Altschul, ed. **Low-Calorie Foods Handbook**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Garcia, R. S., R. T. Marshall and H. Heymann. 1995. Low fat ice creams from freeze-concentrated versus heat concentrated nonfat milk solids. **J. Dairy Sci.** 78(11): 2345-2351.
- Goff, H. D., R. D. Curdy and E. A. Gullett. 1990. Replacement of carbon-refined corn syrups with ion-exchanged corn syrup in ice cream formulation. **J. Food Sci.** 55: 827-829.

- _____. 1994. Emulsion in ice cream. **Food Res. Int.** 27: 187-189.
- _____. 1997. Colloidal aspect of ice cream, a review. **Int. Dairy J.** 7: 363-373.
- _____. 2002. Formation and stabilization of structure in ice cream and related products. **Curr. Opin. Colloid Interface Sci.** 7: 432-437.
- _____ and R. W. Hartel. 2004. Ice cream and frozen desserts, pp. 499-570. *In* Y. H. Hui, P. Cornillon, I. G. Legaretta, M. H. Lim, K. D. Murrell and W. K. Nip, eds. **Handbook of Frozen Foods**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Guinard, J. X., C. Z. Morse, L. Mori, B. Uatoni, D. Panyam and A. Kilara. 1997. Sugar and fat effects on sensory properties of ice cream. **J. Food Sci.** 62: 1087-1094.
- Huang, V. and S. Platt. 1995. The latest developments in ice cream technology. **Chemistry and Industry.** 2(16): 51-54.
- Kaya, S. and A. R. Tekin. 2001. The effect of salep content on the rheological characteristics of a typical ice-cream mix. **J. Food Eng.** 47: 59-62.
- Marshall, R. T., H. D. Goff and R. W. Hartel. 2003. **Ice Cream**. 6th ed. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- _____ and W. S. Arbuckle. 1996. **Ice Cream**. 5th ed. Chapman & Hall, New York.
- Marten, B., M. Pfeuffer and J. Schrezenmeir. 2006. Medium-chain triglycerides. **Int. Dairy J.** 16: 1374-1382.
- Martinou-Voulasiki, I. S. and G. K. Zerfiridis. 1990. Effect of some stabilizers on textural and sensory characteristics of yogurt ice cream from sheep's milk. **J. Food Sci.** 55: 703-707.

- Nabors, L. O. and R. Lemieux. 1993. History of the commercial development of low-calorie foods, pp. 91-137. *In* A.M. Altschul, ed. **Low-Calorie Foods Handbook**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Nevin, K. G. and T. Rajamohan. 2004. Beneficial effects of virgin coconut oil on lipid parameters and *in vitro* LDL oxidation. **Clin. Biochem.** 37: 830–835.
- _____. 2006. Virgin coconut oil supplemented diet increases the antioxidant status in rats. **Food Chem.** 99: 260–266.
- Nussinovitch, A. 1997. **Hydrocolloid Applications: Gum Technology in the Food and Other Industries**. 1st ed. Chapman & Hall, New York.
- Olsen, S. 1993. Properties and analysis. **Encyclopedia of Food Science Food Technology and Nutrition**. 4: 2461-2465.
- Patel, M. R., R. J. Baer and M. R. Acharya. 2006. Increasing the protein content in ice cream. **J. Dairy Sci.** 89: 1400-1406.
- Patmore, J. V., H. D. Goff and S. Fernandes. 2003. Cryo-gelation of galactomannans in ice cream models systems. **Food Hydrocolloid**. 17: 161-169.
- Pichitvittayakarn, W., P. Narataruksa, P. J. Heggs and S. Tia. 2006. Effects of fluid flow rate on coconut milk fouling at pasteurization temperature (70°C - 74.5°C). **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 28 (6): 1275-1288.
- Prindiville, E. A., R. T. Marshall and H. Heymann. 1999. Effect of milk fat on the sensory properties of chocolate ice cream. **J. Dairy Sci.** 82: 1425-1432.
- Renner, E. and M. H. Abd El-Salam. 1991. **Application of Ultrafiltration in the Dairy Industry**. Elsevier Science Publisher, Essex.

- Roland, A. M., L. G. Phillips and K. J. Boor. 1999. Effects of fat replacers on the sensory properties, color, melting, and hardness of ice cream. **J. Dairy Sci.** 82:2094-2100.
- Ruger, P. R., R. J. Baer and K. M. Kasperson. 2002. Effect of double homogenization and whey protein concentrate on the texture of ice cream. **J. Dairy Sci.** 85: 1684-1692.
- Salunkhe, D. K., J. K. Chavan, R. N. Adsule and S. S. Kadam. 1992. **World Oilseeds: Chemistry, Technology and Utilization.** Van Nostrand Reinhold, New York.
- Seow, C. C. and C. N. Gwee. 1997. Coconut milk: Chemistry and technology. **Int. J. Food Sci. Technol.** 32: 189-201.
- Smith, K. E. and R. L. Bradley. 1983. Effect on freezing point of carbohydrates commonly used in frozen desserts. **J. Dairy Sci.** 66: 2464-2467.
- Toledo, R. T. 1991. **Fundamental of Food Engineering.** 2nd ed. Chapman & Hall, New York.
- Tirumalesha, A. and H. M. Jayaprakasha. 1998. Effect of admixture of spray dried whey protein concentrate and butter milk powder on physicochemical and sensory characteristics of ice cream. **Indian J. Dairy Sci.** 51: 13-19.
- Whetstine, M. E. C., A. E. Croissant and M. A. Drake. 2005. Characterization of dried whey protein concentrates and isolate flavor. **J. Dairy Sci.** 88: 3826-3839.
- White, C. H. 1993. Low-fat dairy products, pp. 253-271. *In* A. M. Altschul, ed. **Low-Calorie Foods Handbook.** Marcel Dekker, Inc., New York.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบชิม _____ โทร. _____ วันที่ _____

ชื่อผลิตภัณฑ์ ไอศกรีมกะทิ

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาแล้วให้บอกว่าตัวอย่างใดที่มีความหวานมากกว่า

ผลิตภัณฑ์ที่มีความหวานมากกว่าคือ _____

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาโดยทำการทดสอบตามที่กำหนดแล้วทำเครื่องหมาย

ขีดขวาง (|) พร้อมทั้งระบุหมายเลขของตัวอย่างลงบนเส้นแสดงลักษณะต่างๆ ตามระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ความเรียบเนียน

น้อย | _____ | มาก

ความแรงของกลิ่นรสกะทิ

น้อย | _____ | มาก

ข้อเสนอแนะ _____

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบชิม _____ วันที่ _____

ชื่อผลิตภัณฑ์ ไอศกรีมกะทิ

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้อย่างระมัดระวังและให้ระดับความชอบและไม่ชอบต่อลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์โดยใช้ระดับคะแนนที่เหมาะสมเพื่อแสดงให้เห็นว่าท่านได้อธิบายความรู้สึกชอบและไม่ชอบในระดับใดโดยมีคะแนนความชอบดังนี้

ระดับของความชอบ	ระดับคะแนน	ระดับของความชอบ	ระดับคะแนน
ชอบมากที่สุด (Like extremely)	9	ไม่ชอบเล็กน้อย (Dislike slightly)	4
ชอบมาก (Like very much)	8	ไม่ชอบปานกลาง (Dislike moderately)	3
ชอบปานกลาง (Like moderately)	7	ไม่ชอบมาก (Dislike very much)	2
ชอบเล็กน้อย (Like slightly)	6	ไม่ชอบมากที่สุด (Dislike extremely)	1
เฉยๆ (Neither like or dislike)	5		

ลักษณะผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง		
ความเรียบเนียน			
ความเคี้ยวมัน			
กลิ่นรส			
ความเหนียวหนืด			
การละลายในปาก			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ _____

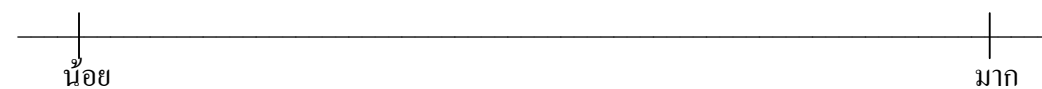
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบชิม _____ วันที่ _____

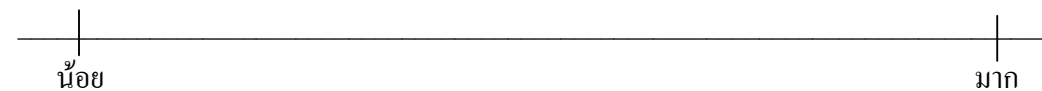
ชื่อผลิตภัณฑ์ ไอศกรีมกะทิ

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาโดยทำการทดสอบตามที่กำหนดแล้วทำเครื่องหมายขีดขวาง (|) พร้อมทั้งระบุหมายเลขของตัวอย่างลงบนเส้นแสดงลักษณะต่างๆ ตามระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ความเรียบเนียน



ความเคลือบมัน



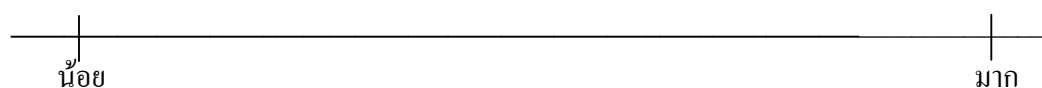
ความเหนียวหนืด



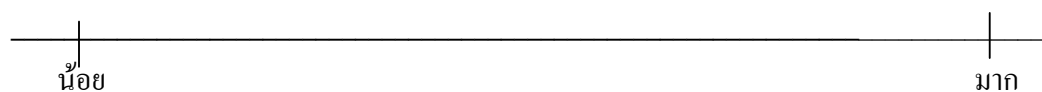
การละลายในปาก



ความแน่นเนื้อ



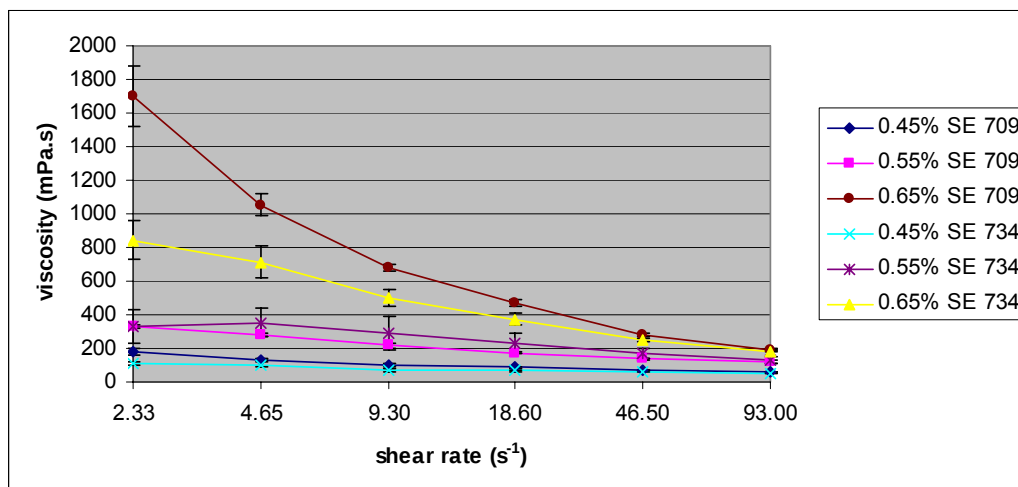
ความแรงของกลิ่นรสกะทิ



ข้อเสนอแนะ _____

ภาคผนวก ข

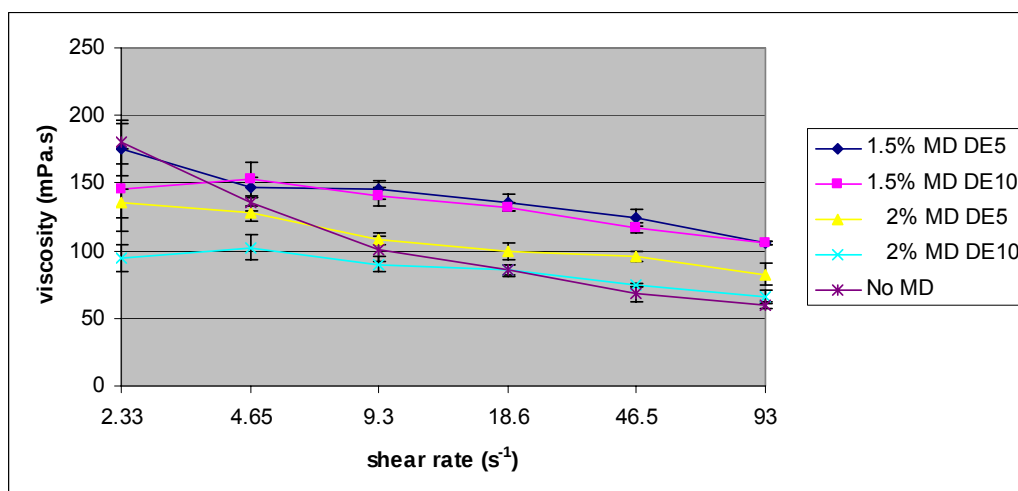
ความหนักของไอศกรีมกะทิที่อัตราเลื่อนต่างๆ



ภาพผนวกที่ ข1 ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่มีการแปรผันสารให้ความคงตัว

หมายเหตุ SE 709 = ครีโมเดน 709-M

SE 734 = ครีโมเดน 734-M



ภาพผนวกที่ ข2 ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่มีการแปรผันมอลโทเด็คซ์ทริน

หมายเหตุ MD = มอลโทเด็คซ์ทริน

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

ปิยะธิดา เกิดช่วย

วัน เดือน ปี ที่เกิด

6 กันยายน พ.ศ. 2526

สถานที่เกิด

จังหวัดสระบุรี

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจาก

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะ

อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์