



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)
ปริญญา

.....
วิทยาศาสตรการอาหาร

สาขา

.....
วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร

ภาควิชา

เรื่อง ผลของสารทดแทนไขมันและสารให้ความหวานต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิ

Effect of Fat Replacer and Sweetener on Qualities of Coconut Milk Ice Cream

นามผู้วิจัย นางสาวศิวพร พุดตาล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(.....
รองศาสตราจารย์สมจิต สุรพัฒน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(.....
อาจารย์มาศอุบล ทองงาม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(.....
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนະบุญย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(.....
รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสารทดแทนไขมันและสารให้ความหวานต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิ

Effect of Fat Replacer and Sweetener on Qualities of Coconut Milk Ice Cream

โดย

นางสาวศิวพร พุดตาล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2550

ศิวพร พุดตาล 2550: ผลของสารทดแทนไขมันและสารให้ความหวานต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิ
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์สมจิต สุรพัฒน์, Ph.D. 103 หน้า

ไอศกรีมกะทิเป็นไอศกรีมที่คนไทยนิยมบริโภคมากที่สุดชนิดหนึ่ง โดยใช้กะทิเป็นแหล่งไขมัน กะทิ
ได้จากมะพร้าว ซึ่งน้ำมันมะพร้าว ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากกว่าร้อยละ 90 มีบทบาทต่อการเพิ่ม
ระดับคอเลสเตอรอลในเลือด นอกจากนี้ไอศกรีมกะทิมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 12-20 หากบริโภคมากเกินไป
ก่อให้เกิดโรคเบาหวาน โรคอ้วน ประกอบกับปัจจุบันผู้บริโภคให้ความใส่ใจสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นการลด
ปริมาณไขมันและน้ำตาลในไอศกรีมกะทิ จึงเป็นการเพิ่มทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภค แต่ทำให้คุณภาพและการ
ยอมรับลดลง จึงปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมโดยใช้สารทดแทนไขมัน (เรมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียว) และ
สารให้ความหวานอื่น (มอลทิทอลไซรัป) ไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม (ไขมันร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก) ผันแปร
ปริมาณสารให้ความหวาน (ครีโมแดน) ร้อยละ 0.35 0.40 และ 0.45 (โดยน้ำหนัก) พบว่าไอศกรีมมีกซ์มีความ
หนืดและความแน่นแข็งของไอศกรีมมากขึ้น ส่วนการขึ้นฟูและการละลายลดลงเมื่อปริมาณครีโมแดนเพิ่มขึ้น
ครีโมแดนร้อยละ 0.40 ให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมและการยอมรับรวมสูงสุด ไอศกรีมกะทิลด
ไขมัน (ไขมันร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก) ใช้สารทดแทนไขมัน (เรมีไลน์ หรือสตาร์ชข้าวเหนียว) ร้อยละ 0.5 1.0
1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนัก) มีคุณสมบัติทางกายและคุณภาพทางประสาทสัมผัสต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุม
อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบการใช้สารทดแทนไขมันในปริมาณเท่ากัน เรมีไลน์ให้ความหนืดของ
ไอศกรีมมีกซ์และความแน่นแข็งของไอศกรีมมากกว่า การขึ้นฟูต่ำ และไอศกรีมละลายช้ากว่าการใช้สตาร์ชข้าว
เหนียว ในขณะที่การเติมเรมีไลน์ในไอศกรีมลดไขมันร้อยละ 1.5 และ 2.0 ให้การรับกลิ่นรส และความรู้สึกใน
ปากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่การเติมเรมีไลน์ร้อยละ 2.0 มีการยอมรับใกล้เคียงกับไอศกรีม
สูตรควบคุมมากที่สุด ($p \geq 0.05$) จากนั้นใช้มอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายในไอศกรีมลดไขมันอัตราส่วน
2.5:7.5 5.0:5.0 7.5:2.5 และ 10.0:0 (โดยน้ำหนัก) พบว่าความหนืดของไอศกรีมมีกซ์และความแน่นแข็งของ
ไอศกรีมลดลง การขึ้นฟูและการละลายของไอศกรีมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลทิทอลไซรัปเพิ่มขึ้นซึ่งต่างจาก
ไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การใช้มอลทิทอลไซรัปร้อยละ 2.5
ร่วมกับน้ำตาลทรายร้อยละ 7.5 ไอศกรีมมีรสหวานน้อย แต่ให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับไม่
ต่างจากไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ น้ำตาลทรายอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

Sivaporn Phudtal 2007: Effect of Fat Replacer and Sweetener on Qualities of 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. 103 pages.

Coconut milk ice cream is one of the most favorite ice cream in Thailand. It contains coconut milk as the fat source. Coconut milk consists of saturated fatty acids more than 90% which can cause higher cholesterol level in blood. Furthermore, coconut milk ice cream consists of 12-20% sugar, therefore, over consumption can cause diabetes and obesity. Recently, consumers are much more interested in taking care of their health. Therefore, reduced fat and sugar ice cream is an interesting new choice for these consumers. Reduction of fat and sugar contents in ice cream lowers its qualities and acceptance. Utilization of (Remyline AX-DR or waxy rice starch) fat replacer and (maltitol syrup) sugar substitute to improve qualities of ice cream was studied. Concentrations of stabilizers (Cremodan[®] SE709-M) varied at 0.35 0.40 and 0.45% w/w of control coconut milk ice cream (8% fat w/w). Results showed that viscosity and hardness of ice cream increased while overrun and meltdown decreased with increased Cremodan[®]. Ice cream with 0.40% Cremodan[®] showed the highest scores in sensory characteristics and overall acceptance. Then fat in coconut milk ice cream (1% fat w/w) was substituted at 0.5 1.0 1.5 and 2.0% (w/w) with fat replacer (Remyline or waxy rice starch). Results revealed that physical properties and sensory characteristics of reduced fat ice cream were significantly different from the control ($p < 0.05$). Ice cream with Remyline had higher viscosity and hardness but lower overrun and meltdown than waxy rice starch at the same concentration. While, reduced fat coconut milk ice cream with 1.5 and 2.0% Remyline did not show any significant difference ($p < 0.05$) in flavor intensity and mouthfeel. Anyway, 2.0% Remyline showed the most acceptance and was similar to the control ($p \geq 0.05$). Then combination of maltitol syrup and sucrose in the ratio of 2.5:7.5 5.0:5.0 7.5:2.5 10.0:0 (w/w) in reduced fat coconut milk ice cream was studied. Results showed that the combined sugars decreased viscosity and hardness of ice cream while increased overrun and meltdown, and were significantly different from reduced fat ice cream with 10% sucrose ($p < 0.05$). Ice cream with 2.5% maltitol syrup and 7.5% sucrose was less sweet but its sensory qualities were highly accepted and significantly different from reduced fat ice cream with 10% sucrose ($p < 0.05$).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมจิต สุรพัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับแนวทางดำเนินการวิจัย ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มาศอุบล ทองงาม กรรมการสาขาวิชาเอก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่าน ที่กรุณามอบความรู้และอบรมสั่งสอนระหว่างการศึกษา เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจน พี่น้อง และเพื่อนที่เสียสละเวลาเพื่อมาฝึกฝน และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ขอขอบคุณ บริษัท เบอร์ลี่ ยุคเกอร์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ครีโมแดน บริษัท ดีพีโอ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์รีมีไลน์ บริษัท โรงเส้นหมีขอเฮง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สตาร์ชข้าวเหนียว บริษัท เพียว เคมี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์มอลทิทอลไซรัป และ บริษัท ไอเอฟเอฟ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ กลิ่นมะพร้าว

สุดท้ายนี้ ขอกราบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา และกำลังใจมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศิวพร พุดตาล

สิงหาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	34
อุปกรณ์	34
วิธีการ	35
ผลและวิจารณ์	42
สรุปและข้อเสนอแนะ	68
สรุป	68
ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	80
ภาคผนวก ข เครื่องปั้นไอสกรี้มและเครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอสกรี้ม	85
ภาคผนวก ค องค์ประกอบของสารทดแทนไขมัน	87
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	89
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของไอศกรีม	3
2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของการพาสเจอร์ไรซ์แบบต่างๆ	9
3	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของกะทิที่ไม่มีการเติมน้ำ	14
4	กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าว	15
5	คำจำกัดความของอาหารที่มีการลดปริมาณพลังงาน กำหนดโดยองค์การอาหารและยา (FDA) ของสหรัฐอเมริกา	17
6	ประเภทของไอศกรีมโดยใช้ปริมาณไขมันเป็นเกณฑ์ในการจำแนก	18
7	ประเภทของพอลิออล	28
8	คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิออลเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส	30
9	ความหวานของพอลิออลเปรียบเทียบกับสารละลายน้ำตาลซูโครส	31
10	ส่วนประกอบของมอลทิทอลไซรัป	31
11	อัตราการเพิ่มของระดับน้ำตาลในเลือด	32
12	สูตรไอศกรีมกะทิผันแปรปริมาณครีมเดน	42
13	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructured line scale	47
14	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมโดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale	49
15	สูตรไอศกรีมกะทิผันแปรชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมัน	50
16	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่ใช้เรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวทดแทนไขมันโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructured line scale	57
17	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่ใช้เรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวทดแทนไขมันโดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale	59
18	สูตรไอศกรีมกะทิลดน้ำตาลที่ใช้มอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่ใช้น้ำมันหอยรำข้าวร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructured line scale	65
20	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่ใช้น้ำมันหอยรำข้าวร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานโดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale	66
ตารางผนวกที่		
ค1	องค์ประกอบของเคมีไลน์และสสารชีวเคมี	88
ง1	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณครีมเดนต่อพีเอชของไอศกรีมกะทิควบคุม	90
ง2	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณครีมเดนต่อความหนืดของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม	90
ง3	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณครีมเดนต่อร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม	90
ง4	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณครีมเดนต่อความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม	91
ง5	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณครีมเดนต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม	91
ง6	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณครีมเดนต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructured line scale	92
ง7	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณครีมเดนต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมโดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง8 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเคมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อพีเอชของไอศกรีมกะทิลดไขมัน	94
ง9 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเคมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อความหนืดของไอศกรีมกะทิลดไขมัน	94
ง10 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเคมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมกะทิลดไขมัน	94
ง11 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเคมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อความแน่นแข็งของไอศกรีมกะทิลดไขมัน	95
ง12 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเคมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่ออัตรา การละลายของไอศกรีมกะทิลดไขมัน	95
ง13 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเคมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิลดไขมัน โดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructured line scale	96
ง14 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเคมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิลดไขมัน โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale	97
ง15 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อพีเอชของไอศกรีม กะทิลดน้ำตาล	98
ง16 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อความหนืดของ ไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล	98
ง17 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อร้อยละการขึ้นฟูของ ไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล	98
ง18 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อความแน่นแข็งของ ไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ง19	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่ออัตราการละลายของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล	99
ง20	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาลโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructured line scale	100
ง21	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาลโดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale	101

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการผลิตไอศกรีม	8
2	โครงสร้างของไอศกรีมมิกซ์และไอศกรีม	12
3	การเกิดโครงสร้างร่างแหของเม็ดไขมันในไอศกรีม	19
4	โครงสร้างของอะไมโลส	23
5	โครงสร้างของอะไมโลเพกติน	24
6	การเกิดเจลลาติในเซชันของสตาร์ช	26
7	โครงสร้างของมอลทิทอล	29
8	การผลิตไอศกรีม	36
9	ผลของปริมาณครีโมแดนต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์	43
10	ผลของปริมาณครีโมแดนต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์	43
11	ผลของปริมาณครีโมแดนต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีม	44
12	ผลของปริมาณครีโมแดนต่ออัตราการละลายของไอศกรีม	46
13	ผลของปริมาณเรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์	50
14	ผลของปริมาณเรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์	51
15	ผลของปริมาณเรมีไลน์ต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีม	53
16	ผลของปริมาณสตาร์ชข้าวเหนียวต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีม	54
17	ผลของปริมาณเรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่ออัตราการละลายของไอศกรีม	56
18	ผลของปริมาณมอลทิทอลไซร้ร่วมกับน้ำตาลทรายต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์	61
19	ผลของปริมาณมอลทิทอลไซร้ร่วมกับน้ำตาลทรายต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์	61
20	ผลของปริมาณมอลทิทอลไซร้ร่วมกับน้ำตาลทรายต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีม	62
21	ผลของปริมาณมอลทิทอลไซร้ร่วมกับน้ำตาลทรายต่ออัตราการละลายของไอศกรีม	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข1 เครื่องปั่นไอศกรีม	86
ข2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอศกรีม	86

ผลของสารทดแทนไขมันและสารให้ความหวานต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิ

Effect of Fat Replacer and Sweetener on Qualities of Coconut Milk Ice Cream

คำนำ

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผู้นิยมบริโภคจำนวนมากตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน นอกจากบริโภคเพื่อเป็นของหวานให้ความรู้สึกสดชื่นแล้ว ไอศกรีมยังให้คุณค่าทางอาหารสูง ไอศกรีมกะทิมีสรสชาติหวานมัน เป็นไอศกรีมที่คนไทยนิยมบริโภคมากชนิดหนึ่ง โดยใช้กะทิเป็นแหล่งไขมัน กะทิเป็นผลิตภัณฑ์ได้จากมะพร้าว ซึ่งน้ำมันมะพร้าว ประกอบด้วย กรดไขมันชนิดอิ่มตัวโดยเฉพาะ กรดลอริก (lauric acid) และกรดไมริสติก (myristic acid) ที่มีบทบาทต่อการเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด นอกจากนี้ไอศกรีมกะทิมีปริมาณน้ำตาลค่อนข้างสูง ส่งผลต่อการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด การบริโภคไขมันและน้ำตาลในปริมาณมาก ก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจขาดเลือด โรคเบาหวาน โรคอ้วน เป็นต้น ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจกับสุขภาพมากขึ้น จึงเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เพื่อหลีกเลี่ยงโรคต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น ผลิตภัณฑ์ลดไขมันหรือไขมันต่ำ และผลิตภัณฑ์ที่มีการลดน้ำตาล จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภค

การลดปริมาณไขมันและน้ำตาลในไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีคุณภาพด้อยลง โดยเฉพาะคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ และกลิ่นรส ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับเท่าที่ควร จึงพัฒนาปรับปรุงโดยใช้สารทดแทนไขมันจากสตาร์ชข้าวเหนียว ซึ่งมีคุณสมบัติในการเกิดเจล ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมรวมกับการใช้มอลทิทอลเป็นสารให้ความหวานและสารเพิ่มเนื้อ (bulk sweetener) ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส และความรู้สึกในปาก (mouth feel) ให้ดีขึ้น ดังนั้นการใช้สารทดแทนไขมันจากสตาร์ชข้าวเหนียวร่วมกับมอลทิทอลในไอศกรีม จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาไอศกรีมลดไขมัน น้ำตาล และเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัว (ครีโมเดน) ต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม
2. ศึกษาชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมัน (เรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียว) ต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิลดไขมัน
3. ศึกษาปริมาณสารให้ความหวาน (มอลทิทอลไซรัป) ต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล

การตรวจเอกสาร

ไอศกรีม

ไอศกรีม หมายถึง ผลิตภัณฑ์นมแช่เยือกแข็งที่ผลิตจากการแช่เยือกแข็งส่วนผสมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้ว นำไปปั่น เพื่อรวมตัวกับอากาศ และได้ลักษณะที่คงตัว ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์นม (ไขมันนม และนม) สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารให้กลิ่นรส และอาจเติมส่วนผสมอื่นๆ เช่น ไข่ สี และกลีسيرอล เป็นต้น (Arbuckle, 1986) ปริมาณของส่วนประกอบในไอศกรีม แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของไอศกรีม

ส่วนประกอบ	ปริมาณความเข้มข้น (ร้อยละ)
ไขมันนม	> 10-16
เนื้อมันไม่รวมมันเนย (โปรตีน แลคโตส และแร่ธาตุ)	9-12
สารให้ความหวาน	
- ซูโครส	10-14
- น้ำเชื่อมข้าวโพด (corn syrup)	3-5
สารให้ความคงตัว	0-0.25
อิมัลซิไฟเออร์	0-0.25
น้ำ	55-64

ที่มา: Goff and Hartel (2004)

องค์ประกอบของไอศกรีม

1. ไขมันนม (Milk fat)

ไขมันเป็นส่วนประกอบสำคัญของไอศกรีม อาจอยู่ในรูปไขมันนมที่มาจากนมสด

ครีมสด ครีมแช่แข็ง (frozen cream) มันเนย (butter oil) หรืออยู่ในรูปน้ำมันพืช ไขมันพืช หากเป็น ไอศกรีมดัดแปลงไขมัน เช่น กะทิ น้ำมันมะพร้าว เป็นต้น (Marshall and Arbuckle, 1996) ไขมันทำหน้าที่ให้ความรู้สึกเป็นครีม ให้รสชาติและความมัน (richness) ที่ดี ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส ในกระบวนการปั่นไอศกรีม เมื่อดีไขมันเกาะรอบๆ เซลล์อากาศในลักษณะที่เป็นฟิล์มบางๆ ช่วยลดขนาดของเกล็ดน้ำแข็ง ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน การละลายช้าลง ไขมันเป็นตัวพากลิ่นรส (flavor carrier) ทำให้มีกลิ่นรสดี หากใช้ไขมันในปริมาณมากเกินไป ไขมันจะขัดขวางการเติมอากาศในระหว่างกระบวนการปั่นเยือกแข็ง ทำให้การขึ้นฟูของไอศกรีมลดลง ต้นทุนในการผลิต ไอศกรีมสูง และให้พลังงานสูง (Arbuckle, 1986)

2. เนียนมไม่รวมมันเนย (Milk solid not fat, MSNF)

เนียนมไม่รวมมันเนยได้จาก น้ามน นมข้น นมผง หรือหางนมผง ประกอบด้วย

2.1 โปรตีน (Protein) มีอยู่ประมาณร้อยละ 36.7 ประกอบด้วย เคซีน และเวย์ โปรตีนจึงเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้ไอศกรีม ช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นฟู และการอุ้มน้ำของ ไอศกรีม นอกจากนี้โปรตีนนมมีคุณสมบัติเป็นสารให้ความคงตัว และอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้ ไอศกรีมมีความแน่นเนื้อและเรียบเนียน

2.2 น้ำตาลแลคโตส (Lactose) มีอยู่ประมาณร้อยละ 55.5 ช่วยให้จุดเยือกแข็งของ ไอศกรีมต่ำลง ไอศกรีมมีเนื้อนุ่ม สามารถตัดได้ง่ายขึ้น และช่วยเพิ่มความหวานให้ไอศกรีมเล็กน้อย แต่น้ำตาลแลคโตสมีความสามารถในการละลายต่ำ แลคโตสจึงตกผลึกได้ หากเติมเนียนมไม่รวม มันเนยปริมาณมากเกินไป ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อหยาบเหมือนทราย (sandiness)

2.3 เกลือแร่ (Mineral) มีอยู่ประมาณร้อยละ 7.8 เช่น แคลเซียม, แมกนีเซียม ฟอสเฟต เป็นต้น เกลือแร่มีผลต่อคุณลักษณะของไอศกรีมต่างกัน เช่น ช่วยปรับปรุงลักษณะปรากฏของ ไอศกรีม ความเหนียวของไอศกรีม ความต้านทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (heat shock resistance) และช่วยปรับปรุงกลิ่นรสของไอศกรีม (Marshall and Arbuckle, 1996)

โดยปกติไม่ควรเติมเนียนมไม่รวมมันเนยเกิน 17 ส่วน ต่อน้ำ 100 ส่วน ทำให้ไอศกรีมมีรส เฝื่อน หรือแฉะ เนื่องจากปริมาณเกลือแร่ที่มากเกินไป (Olsen, 1993)

3. สารให้ความหวาน (Sweetener)

สารให้ความหวานที่ใช้ในไอศกรีมมีหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลทราย กลูโคสไซรัป ฟรุคโตสไซรัป เป็นต้น หน้าที่ของสารให้ความหวานในไอศกรีม คือ ทำให้เกิดรสหวาน ช่วยเพิ่มรสชาติ เพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดให้แก่ไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ ไอศกรีมตักง่าย และยืดอายุการเก็บรักษาของไอศกรีม (Marshall *et al.*, 2003) ปริมาณสารให้ความหวานที่ใช้ในไอศกรีมขึ้นอยู่กับความหวานที่ต้องการ ข้อจำกัดในการใช้สารให้ความหวานในไอศกรีม คือ ถ้าเติมมากเกินไป ทำให้ไอศกรีมละลายเร็ว เนื้อและ และมีรสหวานเกินไป อาจใช้กลูโคสไซรัปแทนที่ซูโครสได้ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของแข็งโดยทำให้ไอศกรีมไม่หวานเกินไป แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไป อาจทำให้เกิดลักษณะเนื้อเหนียว (gummy texture) หรือให้กลิ่นรสผิดปกติ (off-flavor) และให้พลังงานสูง (Arbuckle, 1986)

4. สารให้ความคงตัว (Stabilizer)

สารให้ความคงตัวเป็นสารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ เจลาติน โซเดียมอัลจิเนต คาราจีแนน กวักกัม โคล์สปีนกัน และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น สารเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการเกิดเจลในน้ำ และการเกิดพันธะกับโมเลกุลของน้ำ สารให้ความคงตัวช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในไอศกรีม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่อุณหภูมิห้องเก็บรักษาไม่คงที่ เนื่องจากสารให้ความคงตัวมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น จึงลดการเคลื่อนที่ของสารต่างๆ รวมทั้งน้ำ ซึ่งเป็นการขัดขวางการโตของผลึกน้ำแข็ง (Budiaman and Fennema, 1987) สารให้ความคงตัวมีส่วนสำคัญต่อการให้เนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน และให้รูปร่างต่อไอศกรีม ช่วยเพิ่มความหนืด แต่ไม่มีผลต่อการลดจุดเยือกแข็ง นอกจากนี้ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ มีความต้านทานต่อการละลายดี การใช้สารให้ความคงตัวในปริมาณมากเกินไป ทำให้ไอศกรีมมีสมบัติการละลายไม่ดี ไอศกรีมและและเหนียวหนัก (Marshall *et al.*, 2003)

5. อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

5.1 อิมัลซิไฟเออร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น โปรตีนในนม ไข่แดง และเลซิทีน เป็นต้น

5.2 อิมัลซิไฟเออร์ที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น โมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์

อิมัลซิไฟเออร์สามารถส่งเสริมการเกิดอิมัลชัน เนื่องจากสามารถลดแรงตึงผิวได้ เพราะในโมเลกุลประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ชอบไขมันจึงสามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างเฟสของของเหลว 2 ชนิด (Olsen, 1993) เมื่อได้รับแรงเฉือนในระหว่างการแช่แข็งเม็ดไขมันบางส่วนถูกทำลายและเริ่มไม่คงตัว เกิดการ flocculate แล้วเชื่อมตัวกันไปเคลือบอยู่ที่ผิวของฟองอากาศ ทำให้ฟองอากาศคงตัว หากไม่มีอิมัลซิไฟเออร์เม็ดไขมันจะเชื่อมตัวกันได้ง่ายมาก การใช้อิมัลซิไฟเออร์อย่างเหมาะสมช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่แห้ง ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง ไอศกรีมมีเนื้อเรียบเนียนมากขึ้น มีรูปร่างแน่นขึ้น ลดเวลาการตีให้ขึ้นฟู คุณภาพในการขึ้นฟูสม่ำเสมอ ฟองอากาศมีขนาดเล็กลง กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และช่วยลดอัตราการละลายของไอศกรีม แต่การใช้อิมัลซิไฟเออร์มากเกินไป อาจทำให้ไอศกรีมละลายช้าลง รูปร่าง และเนื้อสัมผัสไม่ดี (Marshall and Arbuckle, 1996)

6. สารปรุงแต่งกลิ่นรส (Flavoring agent) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

6.1 กลิ่นรสที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ผงโกโก้ ผงกาแฟ น้ำผลไม้เข้มข้น กลิ่นวานิลลา รวมถึงกลิ่นรสที่สกัดมาจากผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติต่างๆ เช่น น้ำมันจากผิวมะนาว

6.2 กลิ่นรสที่ได้จากการสังเคราะห์หมีทั้งกลิ่นที่พบได้ในธรรมชาติ เช่น วานิลลิน เมนทอล และกลิ่นรสที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น ethyl vanillin

กลิ่นรสเป็นลักษณะสำคัญของไอศกรีม ควรมีความเข้มข้นที่ทำให้ผู้บริโภครับรู้ได้ (Marshall and Arbuckle, 1996)

7. สี (Color) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

7.1 สีที่ได้จากธรรมชาติ เช่น สีเขียว (Chlorophyll) สีเหลือง (Turmeric) สีเหลืองส้ม (Annatto) เป็นต้น

7.2 สีที่ได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ สีมผสมอาหารทั่วไป เช่น สีแดง (Carmoisine) สีเหลือง (Tartrazine) สีฟ้า (Brilliant blue) เป็นต้น

ไอศกรีมควรมีสีที่ดึงดูดใจ และสอดคล้องกับกลิ่นรส ปกติแล้วไอศกรีมที่มีการเติมกลิ่นรสต้องเติมสีลงไปเล็กน้อย เช่น ไอศกรีมวานิลลา เติมสีเหลือง เพื่อให้ได้สีเหลืองทองของครีม (Marshall and Arbuckle, 1996) ปัจจุบันแนวโน้มการใช้สีสังเคราะห์ลดลง การใช้สีสังเคราะห์ต้องใช้ตามปริมาณที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยากำหนดไว้เท่านั้น (Olsen, 1993)

8. อากาศ (Air)

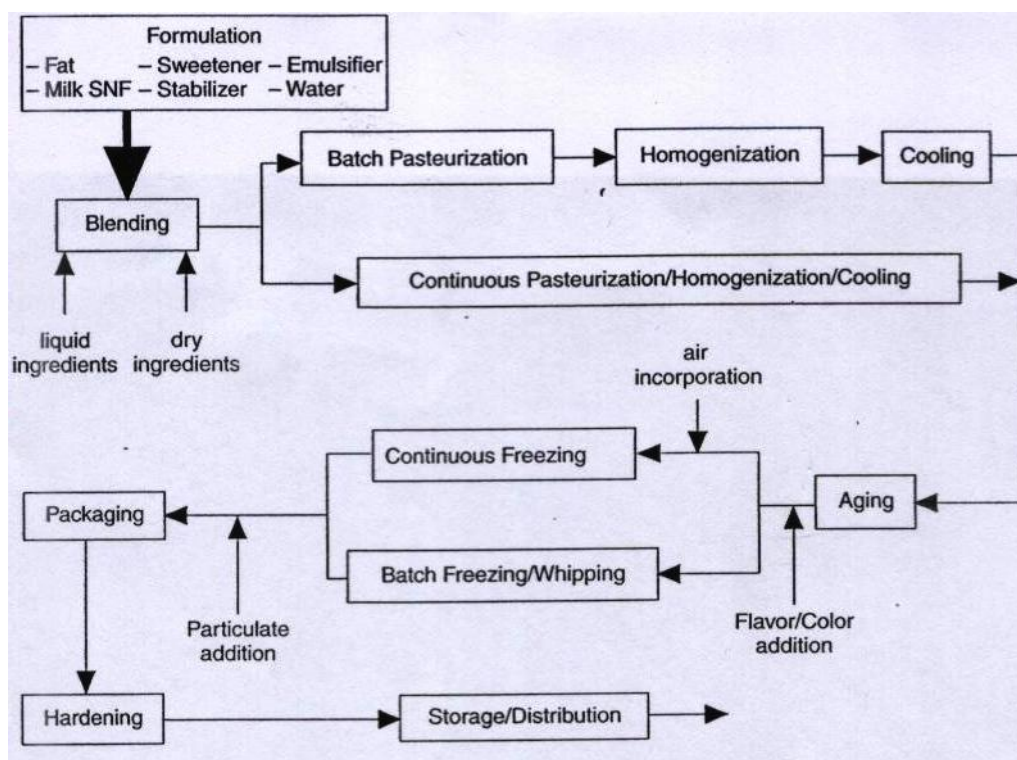
อากาศมีผลต่อความง่ายในการตัดไอศกรีม ถ้าไอศกรีมเก็บกักอากาศได้มาก จะมีร้อยละการขึ้นฟูสูง (ปริมาณของอากาศในเนื้อไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นขณะปั่นเยือกแข็ง) ทำให้ปริมาตรของไอศกรีมเพิ่มขึ้น (Marshall and Arbuckle, 1996)

9. น้ำ (Water)

น้ำ เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุด และเป็นตัวทำละลายส่วนผสมต่างๆ ในไอศกรีม น้ำที่ใช้ควรสะอาด ปราศจากสิ่งสกปรก และจุลินทรีย์ (Marshall and Arbuckle, 1996)

กระบวนการผลิตไอศกรีม

การผลิตไอศกรีมตามขั้นตอนในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตไอศกรีม

ที่มา: Goff and Hartel (2004)

1. คำนวณหาส่วนผสมทั้งหมด (Calculation of mix)

โดยคำนึงถึงปริมาณไขมัน เนื้อมันในผลิตภัณฑ์นม และในส่วนผสมอื่นๆ จากนั้นนำส่วนผสมที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำ, ครีม, นำนม และกลูโคสไซรัป เทลงในถังผสม ให้ความร้อนพร้อมทั้งกวนผสม เมื่ออุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงนำส่วนผสมที่เป็นของแข็ง ได้แก่ นมผง, น้ำตาล, สารให้ความคงตัว และ อิมัลซิไฟเออร์ เติมลงไปในถัง และกวนผสมต่อจนละลายของผสมที่ได้เรียกว่า ไอศกรีมเหลว หรือ ไอศกรีมมิกซ์ (ice cream mix) (Marshall and Arbuckle, 1996)

2. การพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization)

วัตถุประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และช่วยให้ส่วนผสมที่เป็นของแข็ง เช่น โปรตีน สารให้ความคงตัว ละลายน้ำดีขึ้น วิธีการพาสเจอร์ไรซ์ที่เหมาะสมนั้น ควรให้ความร้อนถึงอุณหภูมิที่กำหนดอย่างรวดเร็ว และคงที่ ณ อุณหภูมินั้นตามเวลาที่กำหนด แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส (Arbuckle, 1986; Marshall and Arbuckle, 1996) วิธีพื้นฐานสำหรับการพาสเจอร์ไรซ์มีทั้งแบบ batch หรือการใช้อุณหภูมิต่ำเวลานาน (low-temperature long-time: LTLT) และแบบต่อเนื่องซึ่งสามารถทำได้โดยใช้อุณหภูมิและเวลาได้หลายระดับ ดังตารางที่ 2 (Marshall and Arbuckle, 1996)

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของการพาสเจอร์ไรซ์แบบต่างๆ

การพาสเจอร์ไรซ์	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส / องศาฟาเรนไฮต์)
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. การโฮโมจิไนซ์ (Homogenization)

วัตถุประสงค์เพื่อลดขนาดเม็ดไขมันให้ต่ำกว่า 2 ไมครอน ทำให้ผลิตภัณฑ์คงตัว นอกจากนี้เป็นการเพิ่มปริมาตรพื้นที่ผิวของเม็ดไขมันและจับกันเป็นกลุ่ม (cluster) ทำให้เกิดโครงสร้างอิมัลชัน ช่วยให้ไอศกรีมเรียบเนียนมากขึ้น เพิ่มความมัน (richness) และลดอัตราการละลาย (Marshall and Arbuckle, 1996)

4. การบ่ม (Aging)

ควรบ่มไอศกรีมมิกซ์ อย่างน้อย 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส แต่ไม่ถึงระดับแช่แข็ง ในระหว่างการบ่มไอศกรีมมิกซ์ ส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิก เช่น โปรตีน และสารให้ความคงตัว คือน้ำและพองตัวได้เต็มที่ ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อเนียนละเอียด (Marshall and Arbuckle, 1996) เกิดผลึกไขมันในเม็ดไขมัน เป็นโครงสร้างที่มีความสลับซับซ้อนของผลึกรูปเข็ม (needle-like crystals) ภายในเม็ดไขมันซึ่งประกอบด้วยไขมันเหลวที่มีจุดหลอมเหลวต่ำล้อมรอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง เม็ดไขมันที่เกาะตัวกันเป็นกลุ่ม (clump) และเชื่อมโยงกันเป็นสายนั้นเกิดจากกระบวนการที่เรียกว่า partial coalescence จำนวนผลึกไขมันภายในเม็ดไขมันจำเป็นต่อการเกิด destabilized fat ถ้าจำนวนผลึกไขมันน้อย ความสามารถในการเก็บกักอากาศลดลง การบ่มไอศกรีมมิกซ์เป็นเวลานานขึ้น สามารถเพิ่มจำนวนผลึกไขมันภายในเม็ดไขมัน (Walstra and Jonkman, 1998)

5. การปั่นแข็ง (Freezing)

สามารถเติมสี กลิ่น หรือผลไม้ในไอศกรีมมิกซ์ก่อนปั่นแข็ง แล้วจึงใส่ถึงปั่นไอศกรีม และลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วเพื่อให้ส่วนที่เป็นน้ำในไอศกรีมมิกซ์แข็งตัวอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดเล็ก ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อเนียนละเอียด ขณะเดียวกันมีการเติมอากาศเข้าไปในไอศกรีมมิกซ์ ซึ่งมีไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์ดูดซับบนผิวหน้าเพื่อรักษาความคงตัว เม็ดไขมันเป็นผลึกมากขึ้น เกิดการหลอมรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างแบบโฟม และหลังจากผ่านการปั่นเป็นไอศกรีม น้ำประมาณร้อยละ 50 ในไอศกรีมมิกซ์เป็นน้ำแข็ง ปริมาตรเพิ่มขึ้น เฟสต่อเนื่องเป็นไขมันเข้มข้น ขณะที่เฟสไม่ต่อเนื่องประกอบด้วย เซลล์อากาศ ผลึกน้ำแข็ง เม็ดไขมัน เลซินไมเซลล์ และไฮโดรคอลลอยด์อื่นๆ กลายเป็นไอศกรีม มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว หรือลักษณะ soft serve ice cream (Marshall and Arbuckle, 1996)

6. การบรรจุ ขึ้นรูป และการแช่เยือกแข็ง (Filling, shape forming and hardening)

หลังจากได้ไอศกรีมที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว ควรนำไปแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วที่ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า แต่นิยมทำที่ -25 องศาเซลเซียส ถึง -30 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็ก ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน เวลาของการแช่เยือกแข็งประเมินจากเวลา

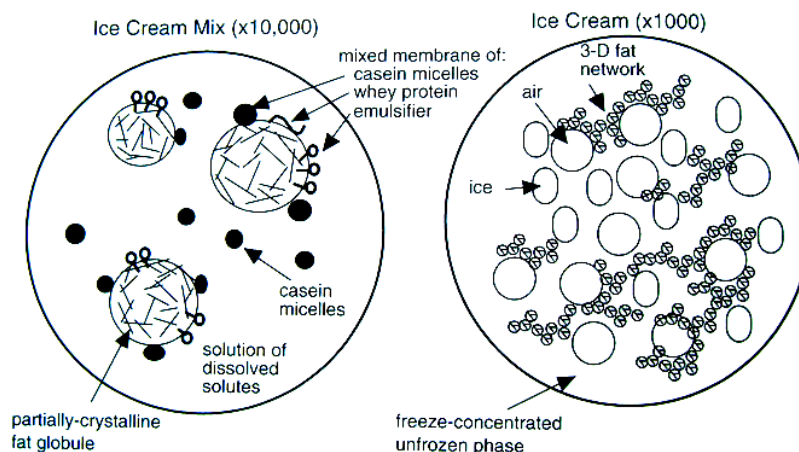
ที่ใช้ในการทำให้อุณหภูมิของไอศกรีม ณ ใจกลางภาชนะบรรจุลดเหลือ -18 องศาเซลเซียส น้ำประมาณร้อยละ 72 กลายเป็นผลึกน้ำแข็ง เรียกว่า hardened ice cream (Marshall and Arbuckle, 1996)

7. การเก็บรักษา (Storage)

หลังจากที่ไอศกรีมถูกแช่เยือกแข็ง อาจจำหน่ายทันทีหรือเก็บรักษาไว้ 1-2 สัปดาห์ อาจใช้ห้องแช่เยือกแข็งเป็นห้องเก็บรักษา หรือแยกไอศกรีมเก็บไว้ในห้องเก็บรักษาต่างหาก โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง -18 องศาเซลเซียส ถึง -25 องศาเซลเซียส (Arbuckle, 1986) ในระหว่างการเก็บรักษาไอศกรีม เซลล์อากาศอาจเกิดกระบวนการที่เรียกว่า Oswald ripening ได้ เนื่องจากแรงดันภายในเซลล์อากาศมีมากกว่าแรงดันภายนอก และเซลล์อากาศขนาดเล็กมีแรงดันมากกว่าเซลล์อากาศขนาดใหญ่ เซลล์อากาศขนาดเล็กจึงละลายได้ดีกว่าเซลล์ขนาดใหญ่ และหายไป ในขณะที่เซลล์อากาศขนาดใหญ่มีขนาดใหญ่มากขึ้นเรื่อยๆ ลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบ แต่กระบวนการนี้สามารถป้องกันได้โดยการหุ้มผนังของเซลล์อากาศให้มีความหนาด้วยชั้นของเม็ดไขมัน และเก็บรักษาไอศกรีมที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้เนื้อไอศกรีมแข็งตัวทั้งหมด (Walstra and Jonkman, 1998)

โครงสร้างของไอศกรีมมิกซ์และไอศกรีม

ไอศกรีมมิกซ์ ประกอบด้วยเม็ดไขมันที่เกิดผลึกบางส่วน (partially crystalline fat globules) และเคซีนไมเซลล์ (casein micelles) เป็นส่วนที่ไม่ละลาย กระจายตัวอยู่ในสารละลายของน้ำตาล เกลือ โปรตีนเวย์ และสารให้ความคงตัว บริเวณพื้นผิวของเม็ดไขมันบางส่วนถูกจับด้วยเคซีนไมเซลล์ โปรตีนเวย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ เบต้าเคซีน (β -casein) และอิมัลซิไฟเออร์ เมื่อปั่นเป็นไอศกรีมมีลักษณะโครงสร้างเป็นระบบ 3 เฟส ประกอบด้วยฟองอากาศ และผลึกน้ำแข็งกระจายตัวอยู่ในส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัว และมีเม็ดไขมันที่เกาะกันล้อมรอบอยู่บนพื้นผิวของฟองอากาศ ทำให้ฟองอากาศมีความคงตัว ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีโปรตีน และอิมัลซิไฟเออร์ล้อมรอบ โดยอาจมีการเชื่อมต่อระหว่างผิวของฟองอากาศที่อยู่ใกล้เคียง ในส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัวประกอบไปด้วยเม็ดไขมันที่แข็งตัว โปรตีน เกลือ ผลึกแลคโตส สารให้ความคงตัว และน้ำตาล (Marshall *et al.*, 2003) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของไอศกรีมมิกซ์และไอศกรีม

ที่มา: Marshall *et al.* (2003)

สมบัติทางกายภาพของไอศกรีม

1. พีเอช (pH)

พีเอชของไอศกรีมมิกซ์เปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบในไอศกรีมมิกซ์ ได้แก่ โปรตีน นม เกลือแร่ (โดยเฉพาะ ฟอสเฟต และซิเตรต) และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในนม การเพิ่มปริมาณเนื้อมะพร้าวมันเนย มีผลต่อการเพิ่มความเป็นกรดของไอศกรีมมิกซ์ ทำให้พีเอชลดลง โดยทั่วไปไอศกรีมมีค่าพีเอชประมาณ 6.3 (Marshall and Arbuckle, 1996)

2. ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด แสดงถึงความต้านทานการไหลของของเหลว ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดอยู่ในช่วง 50-300 เซนติพอยซ์ ไอศกรีมมิกซ์ที่มีความหนืดสูง ทำให้ส่วนผสมแข็งตัวเร็ว ยืดระยะเวลาการละลายของไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อดี เนื้อสัมผัสเรียบเนียน ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของไอศกรีม ได้แก่ องค์ประกอบของไอศกรีม เช่น ไขมัน และสารให้ความคงตัว มีผลต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์มากกว่าองค์ประกอบอื่น ชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต เช่น การพาสเจอร์ไรซ์ การโฮโมจิไนซ์ และการบ่ม เป็นต้น

ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สามารถตรวจสอบได้ โดยวัดเวลาการเคลื่อนที่ของ ไอศกรีมมิกซ์ในปิเปต หรือภายใต้หลอดความดันที่กำหนด หรือวัดแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของ Parallel Plates หรือ Coaxial Cylinder ในไอศกรีมมิกซ์ หรือใช้เครื่อง Brookfield Viscometer หรือ วัดการเคลื่อนที่ของบอลในไอศกรีมที่อยู่ในคอลัมน์ (Marshall and Arbuckle, 1996)

3. การขึ้นฟู (Overrun)

การขึ้นฟู แสดงถึงปริมาตรของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตรของไอศกรีมมิกซ์ ซึ่งเกิดจากการเก็บกักอากาศในขณะที่ปั่นเยือกแข็ง ไอศกรีมแต่ละชนิดมีการขึ้นฟูต่างกัน โดยทั่วไปมีการขึ้นฟูที่ร้อยละ 40-100 และค่าการขึ้นฟูคำนวณจาก ร้อยละของปริมาตรไอศกรีมที่เพิ่มขึ้น หรือ ร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ที่หายไป (Marshall and Arbuckle, 1996; Goff and Hartel, 2004)

4. ความแน่นแข็ง (Hardness)

ลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมสัมพันธ์กับความแน่นแข็งของไอศกรีม ไอศกรีมที่ดี ต้องไม่แข็งมากหรือน้อยเกินไป ถ้าไอศกรีมมีความแน่นแข็งน้อยเกินไป ทำให้ไอศกรีมเหลวง่าย ปัจจัยที่มีผลต่อความแน่นแข็งของไอศกรีม ได้แก่ ปริมาตรของเฟสที่เป็นน้ำแข็ง การขึ้นฟู และ คุณสมบัติการไหล (rheological properties) ของไอศกรีมมิกซ์ (Muse and Hartel, 2004)

ความแน่นแข็งของไอศกรีมสามารถตรวจสอบได้ โดยใช้เครื่องมือวัดความแน่นแข็ง Cone Penetrometer สำหรับวัดความแน่นแข็งของครีม หรือ ไขมัน (Marshall and Arbuckle, 1996)

5. อัตราการละลาย (Meltdown)

การละลายของไอศกรีมเกิดจากน้ำแข็งในไอศกรีมละลาย ร่วมกับการยุบตัว (collapse) ของโครงสร้างไขมันที่หุ้มฟองอากาศ แต่การละลายของน้ำแข็งอย่างเดียวไม่ได้ทำให้ ไอศกรีมเกิดการละลายจนกว่าโครงสร้างของไขมันจะเกิดการยุบตัว ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของ น้ำแข็งในไอศกรีม ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก และ อัตราการถ่ายเทความร้อน (heat transfer)

อัตราการละลายของไอศกรีมมีความสำคัญต่อการบริโภคไอศกรีมแบบโคน หรือแบบ

แท่ง ไอศกรีมที่มีจุดเยือกแข็งต่ำจะละลายเร็ว และทำให้เกิด heat shock ได้เร็ว ไอศกรีมที่ดีควรละลายภายใน 10-15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (Marshall and Arbuckle, 1996)

กะทิและไขมันในกะทิ

กะทิ หมายถึง ของเหลวที่ได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าว (solid coconut endosperm) จากมะพร้าวแก่ อาจมีการเติมน้ำหรือไม่ก็ได้ ลักษณะทั่วไปมีสีขาวทึบแสง อยู่ในรูปอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water) โดยการยึดเกาะระหว่างโปรตีน เม็ดไขมัน และน้ำ เม็ดน้ำมันในกะทิถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรนของฟอสโฟไลปิด (phospholipid) ได้แก่ เลซิทีน (lecithin) และเซฟาลิน (cephalin) ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ตามธรรมชาติในระบบอิมัลชัน ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวเพิ่มขึ้น แต่ไม่เพียงพอที่จะทำให้กะทิตกตัวอยู่ได้ (Salunkhe *et al.*, 1992) เนื่องจากกะทิมีปริมาณไขมันอยู่มากเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีน ซึ่งมีไม่มากพอที่จะป้องกันการรวมตัว (coalescence) ของเม็ดไขมัน เมื่อตั้งกะทิทิ้งไว้ประมาณ 5-10 ชั่วโมง กะทิแยกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นล่างเป็นชั้นหางกะทิ (coconut skim milk) ซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีน และชั้นบนเป็นหัวกะทิ (coconut cream) เป็นแหล่งไขมัน มีปริมาณไขมันและแคลอรีสูง อิมัลชันที่มีการแยกชั้นนี้สามารถกลับเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยการเขย่า (กรพกา, 2539)

องค์ประกอบทางเคมีของกะทิแตกต่างกันขึ้นกับ พันธุ์ สภาพภูมิศาสตร์ การเพาะปลูก ความแก่อ่อนของมะพร้าว วิธีการคั้น เป็นต้น ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของกะทิที่ไม่มีการเติมน้ำ

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
คาร์โบไฮเดรต	8.3
โปรตีน	4.4
ไขมัน	32.2
เถ้า	1.0
ความชื้น	54.1

ที่มา: Seow and Gwee (1997)

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าวจากกะทิ ประกอบด้วย กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดโอเลอิก (oleic acid; C18:1) และกรดไลโนเลอิก (linoleic acid; C18:2) ประมาณร้อยละ 10 ของกรดไขมัน ส่วนกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีมากกว่าร้อยละ 90 โดยพบกรดลอริก (lauric acid; C12:0) มากที่สุด ประมาณร้อยละ 45-50 รองลงมา คือ กรดไมริสติก (myristic acid; C14:0) ประมาณร้อยละ 15-19 และกรดปาล์มิติก (palmitic acid; C16:0 หรือ lauric oil) ประมาณร้อยละ 8-18 (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันอิ่มตัว C_6 - C_{10} ซึ่งไม่พบในน้ำมันพืชชนิดอื่น เนื่องจากกรดไขมันอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีมากในน้ำมันมะพร้าว ทำให้น้ำมันมะพร้าวมีจุดหลอมเหลว 24-27 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในการแข็งตัวประมาณ 5 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า ความแก่-อ่อนของมะพร้าวขณะเก็บเกี่ยวมีผลต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน โดยน้ำมันที่ได้จากมะพร้าวอ่อนมีกรดลอริกต่ำ กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกสูงกว่าจากมะพร้าวแก่ (Salunkhe *et al.*, 1992)

ตารางที่ 4 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าว

กรดไขมัน	ปริมาณ (ร้อยละ)
Caproic acid (C6:0)	0.3-0.5
Caprylic acid (C8:0)	6-8
Capric acid (C10:0)	5-8
Lauric acid (C12:0)	45-50
Myristic acid (C14:0)	15-19
Palmitic acid (C16:0)	8-18
Stearic acid (C18:0)	2-3
Oleic acid (C18:1)	6-8
Linoleic acid (C18:2)	1.5-2

ที่มา: Salunkhe *et al.* (1992)

น้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์โซ่ยาวปานกลาง (medium chain triglyceride, MCT) ในปริมาณสูง ซึ่งมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีคาร์บอนอะตอมอยู่ระหว่าง 8-12 อะตอม MCT ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในกระเพาะและลำไส้ได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์กว่าไตรกลีเซอไรด์โซ่ยาว

(long chain triglyceride, LCT) ซึ่งต้องใช้เอนไซม์ไลเปส (lipase) จากตับอ่อน แต่การย่อย MCT ไม่จำเป็นต้อง กรดไขมันและโมโนกลีเซอไรด์ของ MCT ละลายน้ำได้ดีกว่า LCT การดูดซึมจึงไม่ต้องอาศัยน้ำดี (bile salt) โมเลกุลของ MCT มีขนาดเล็กสามารถผ่านเข้าไปยังผนังลำไส้ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการย่อย แต่อย่างไรก็ตาม MCT ประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัวสูง ซึ่งสามารถเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และก่อให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง เส้นเลือดอุดตัน และโรคหัวใจได้ (Kaunitz, 1979) Mohamed *et al.* (2002) ศึกษาผลของน้ำมันปลา (menhaden oil) น้ำมันมะกอก (olive oil) และน้ำมันมะพร้าวต่อปริมาณไขมันในเลือดของหนู จำนวน 30 ตัว แบ่งเป็นกลุ่มๆ ละ 10 ตัว หนูที่ให้น้ำมันปลามีปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ลดลงต่ำกว่าหนูที่ได้รับน้ำมันมะกอกและน้ำมันมะพร้าว ขณะที่ปริมาณ HDL เพิ่มขึ้นสูงกว่าหนูที่ให้น้ำมันมะกอกและน้ำมันมะพร้าว ปริมาณและชนิดของกรดไขมันมีผลต่อคอเลสเตอรอลในเลือดสูง โดยกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) ในน้ำมันมะพร้าวมีผลต่อระดับไขมันในเลือดมากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด monounsaturated fatty acids ในน้ำมันมะกอกและกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด polyunsaturated fatty acids ในน้ำมันปลา ตามลำดับ

ความสำคัญของไขมันและน้ำตาลในไอศกรีม

การลดปริมาณการบริโภคไขมันในอาหาร เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจกับปริมาณพลังงานที่ได้รับจากอาหาร จึงได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยใช้สารทดแทนไขมันและสารให้ความหวานมาเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ สถาบัน Nutrition Labeling and Education ได้กำหนดมาตรฐานของอาหารลดพลังงาน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คำจำกัดความของอาหารที่มีการลดปริมาณพลังงาน กำหนดโดยองค์การอาหารและยา (FDA) ของสหรัฐอเมริกา

ประเภทอาหาร	คำจำกัดความ
อาหารลดพลังงาน (อาหารลดไขมัน)	อาหารที่ให้พลังงานลดลงร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับอาหารปกติ ต่อ 1 หน่วยบริโภค
อาหารประเภท Light	อาหารที่ให้พลังงานลดลง 1 ใน 3 หรือปริมาณไขมันลดลงร้อยละ 50
อาหารพลังงานต่ำ (อาหารไขมันต่ำ)	อาหารที่ให้พลังงานไม่เกิน 40 กิโลแคลอรี โดยมีปริมาณไขมัน 3 กรัม ปริมาณไขมันอิ่มตัว 1 กรัม หรือปริมาณคอเลสเตอรอล 20 มิลลิกรัมต่อ 1 หน่วยบริโภค
อาหารปราศจากพลังงาน (อาหารปราศจากไขมัน)	อาหารที่ให้พลังงานน้อยกว่า 2 กิโลแคลอรี โดยมีปริมาณไขมันน้อยกว่า 0.5 กรัม ปริมาณไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า 0.5 กรัม หรือปริมาณคอเลสเตอรอลน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อ 1 หน่วยบริโภค

ที่มา: James (1996)

ไขมันเป็นองค์ประกอบสำคัญและเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของไอศกรีม ดังนั้น The International Ice Cream Association ได้เสนอมาตรฐานของไอศกรีม โดยใช้ไขมันเป็นเกณฑ์ในการจำแนก ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ประเภทของไอศกรีมโดยใช้ปริมาณไขมันเป็นเกณฑ์ในการจำแนก

ประเภทไอศกรีม	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)
ไอศกรีมทั่วไป (full fat)	ไม่ต่ำกว่า 8
ไอศกรีมลดไขมัน (reduced fat)	2-7
ไอศกรีมไขมันต่ำ (low fat)	0.5-2
ไอศกรีมปราศจากไขมัน (fat free)	0.5

ที่มา: White (1993)

ความสำคัญของไขมันในไอศกรีม

ไอศกรีมกะทิเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเมลโลรีน (mellorine type product) ซึ่งใช้ไขมันพืชหรือเรียกว่า ไอศกรีมดัดแปลงไขมัน (สมจิต, 2544) ไขมันมีความสำคัญต่อไอศกรีม ดังนี้

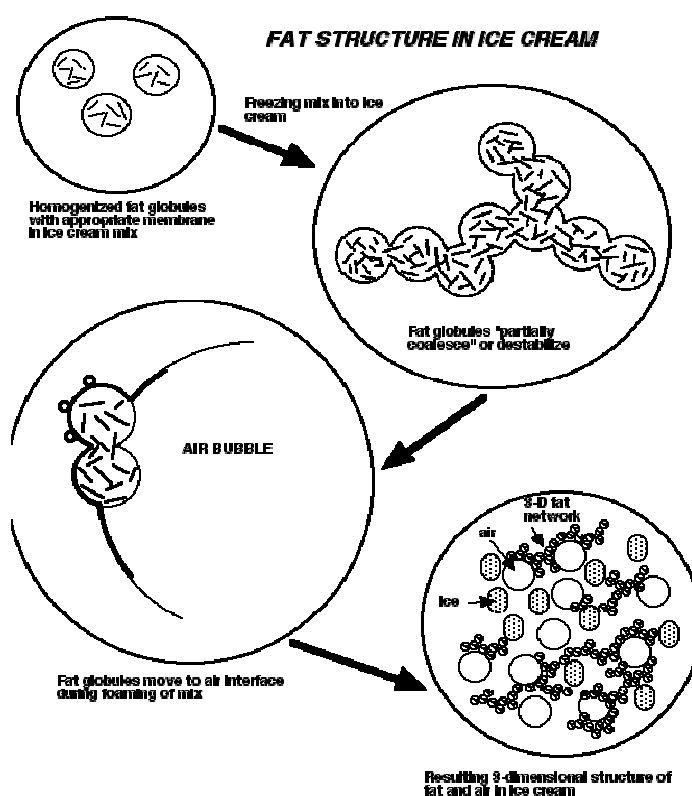
1. ด้านกลิ่นรส

ไขมันทำหน้าที่ให้กลิ่นรสและเป็นตัวพาสารให้กลิ่นรส (flavor carrier) ในไอศกรีม ขณะที่ไอศกรีมละลายในปาก ทั้งกลิ่นที่ต้องการ เช่น กลิ่นครีม, กลิ่นวานิลลา และกลิ่นนมสด และกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น กลิ่นน้ำเชื่อม, กลิ่นโปรตีนเวย์ และกลิ่นนมดัด เป็นต้น (Ohmes *et al.*, 1998) ไขมันเป็นตัวละลายโมเลกุลของสารให้กลิ่นรสหรือโมเลกุลของสารให้กลิ่นรสที่ผิดปกติ สารให้กลิ่นรสที่สามารถละลายได้ในไขมัน เช่น วานิลลา ถูกพาโดยไขมัน ถ้ามีปริมาณไขมันไม่เพียงพอสำหรับเป็นตัวพากลิ่นรส ทำให้รับกลิ่นรสได้รวดเร็ว และมีแนวโน้มว่ากลิ่นรสนั้นจะหายไปเร็วกว่าปกติด้วย กลิ่นรสสามารถรับรู้ได้เมื่อสารให้กลิ่นรสถูกปลดปล่อยเข้าไปอยู่ในส่วนของ headspace ในปาก แล้วส่งผ่านไปยังหน่วยรับกลิ่นรส (olfactory system) ในจมูก (Marshall and Arbuckle, 1996)

2. ด้านเนื้อสัมผัส

หลังจากที่ไอศกรีมมีกซ์ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ เมื่อไขมันมีขนาดเล็กลง ทำให้

เพิ่มพื้นที่ผิวของเม็ดไขมัน ในระหว่างกระบวนการบ่มไอศกรีมมิกซ์ เม็ดไขมันเกิดโครงสร้างผลึกที่ซับซ้อนของผลึกรูปเข็ม (needle-like crystals) หลังจากนั้นนำไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านกระบวนการบ่มไปปั่นเยือกแข็ง (freezing) และเติมอากาศ (whipping) ผลึกไขมันที่เกิดขึ้นแทงผนังของเม็ดไขมัน ทำให้ไขมันเหลวไหลออกมาเชื่อมเม็ดไขมันที่อยู่ใกล้เคียงกัน ทำให้เม็ดไขมันเกาะกันเป็นกลุ่ม (clump) เชื่อมโยงกันเป็นสาย กระบวนการนี้เรียกว่า partial coalescence (ภาพที่ 2) เซลล์อากาศถูกหุ้มด้วยชั้นของเม็ดไขมัน ทำให้เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นสามารถคงรูปอยู่ได้ในไอศกรีม (Walstra and Jonkman, 1998) ดังนั้นโครงสร้างของไอศกรีมจึงประกอบด้วยเซลล์อากาศที่มีเม็ดไขมันล้อมรอบ และมีผลึกน้ำแข็งกระจายตัวอยู่ในส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัว โครงสร้างของไอศกรีมดังกล่าวส่งผลต่อลักษณะปรากฏ ความรู้สึกในปาก และเนื้อสัมผัสที่ดี



ภาพที่ 3 การเกิดโครงสร้างร่างแหของเม็ดไขมัน (Fat globules network) ในไอศกรีม
ที่มา: Goff (2006)

ความสำคัญของสารให้ความหวานในไอศกรีม

สารให้ความหวานที่ใช้ในไอศกรีมมีหลายชนิด เช่น ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส น้ำผึ้ง น้ำตาลทรายแดง และคอร์นไซรัป เป็นต้น ที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ ซูโครส โดยอาจใช้ในรูปแบบของซูโครสเพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับสารให้ความหวานชนิดอื่น ปริมาณสารให้ความหวานที่ใช้ในไอศกรีมขึ้นอยู่กับความหวานที่ต้องการ การใช้สารให้ความหวาน ช่วยเพิ่มการยอมรับของไอศกรีม เติร์มกลีนรสครีม (creamy flavor) เพิ่มปริมาณของแข็งในไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อมากขึ้น เนื้อสัมผัสเรียบเนียน เพิ่มความหนืดให้กับไอศกรีมมิกซ์ ลดจุดเยือกแข็งของไอศกรีมมิกซ์ การแข็งตัวของไอศกรีมจึงเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ไอศกรีมแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ ไอศกรีมนุ่ม และตักง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะการละลายที่ดี และช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาของไอศกรีม การใช้สารให้ความหวานชนิดอื่นร่วมกับน้ำตาลซูโครส มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณของแข็งในไอศกรีมโดยไม่ทำให้ไอศกรีมมีรสหวานมากเกินไป ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในไอศกรีมโดยทั่วไปร้อยละ 12-20 แต่ที่ผู้บริโภคมักชอบรับประทานในช่วงร้อยละ 14-16 ไอศกรีมมีรสชาติดี (Marshall *et al.*, 2003) การเลือกสารให้ความหวานต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทั้งชนิดและปริมาณ ทั้งนี้สารให้ความหวานที่ใช้ต้องทำให้จุดเยือกแข็งของไอศกรีมมิกซ์สูงพอที่จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในปริมาณที่เหมาะสม เพราะจุดเยือกแข็งที่ต่ำเกินไป ทำให้ไอศกรีมมีปริมาณน้ำที่ไม่แข็งตัวอยู่มากจนไอศกรีมมีลักษณะนุ่มเกินไป (Smith and Bradly, 1983) และถ้ามีปริมาณสารให้ความหวานมากเกินไป ไอศกรีมมีลักษณะเหนียวหนืด (sticky) และแฉะ (soggy) (Marshall and Arbuckle, 1996)

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับไอศกรีมลดไขมันและน้ำตาล

ไอศกรีมลดไขมันมีความสามารถในการต้านทานการเกิด heat shock ต่ำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาหรือการขนส่ง ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมีความเสถียรน้อยกว่าผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทำให้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กละลาย และรวมตัวกับผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (recrystallization) ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบขึ้น หากเกิด heat shock หลายๆ ครั้ง อาจทำให้ไอศกรีมเกิดการยุบตัว หรือเรียกว่า shrinkage เนื่องจากไอศกรีมลดไขมันมีโครงสร้างร่างแหของไขมันที่ล้อมรอบเซลล์อากาศน้อย เซลล์อากาศขนาดเล็กสามารถเคลื่อนที่มาเชื่อมกันเป็นเซลล์อากาศขนาดใหญ่ในระหว่างการแช่เยือกแข็งไอศกรีมและระหว่างกระบวนการเก็บรักษาไอศกรีม แรงดันในเซลล์อากาศขนาดเล็กมากกว่าเซลล์อากาศขนาด

ใหญ่ ทำให้รวมกันเป็นเซลล์อากาศขนาดใหญ่ขึ้น ไอศกรีมยุบตัวและมีปริมาตรลดลง (Marshall *et al.*, 2003)

การลดปริมาณสารให้ความหวานในไอศกรีม ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดบางส่วนหายไป ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบ เนื้อไม่แน่น และเกิดผลึกน้ำแข็ง อีกทั้งคุณภาพไอศกรีมด้อยลงในด้านความหวาน กลิ่นรส และความรู้สึกในปาก (Marshall *et al.*, 2003)

การลดไขมันและน้ำตาลในไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีคุณภาพด้อยลงในด้านลักษณะปรากฏ ไอศกรีมเป็นเกล็ดน้ำแข็งมากขึ้น ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อหยาบ ความรู้สึกในปากด้อยลง และการรับรู้กลิ่นรสไม่ดี (Ohmes *et al.*, 1998) ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีการพัฒนาปรับปรุงใช้สารทดแทนไขมันและสารให้ความหวานเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความรู้สึกในปาก การทดแทนดังกล่าวต้องคำนึงถึงต้นทุนในการผลิต การยอมรับจากผู้บริโภค ลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม เนื้อสัมผัส กลิ่นรส ความคงตัวขณะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสุขภาพของผู้บริโภค

สารทดแทนไขมันและสารให้ความหวาน

ประเภทของสารทดแทนไขมัน

1. สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากไขมัน (Fat-based fat replacers)

เป็นสารที่ได้จากการปรับปรุงโครงสร้างไขมันหรือเลียนแบบไขมันตามธรรมชาติ สามารถทนต่อการย่อยของน้ำย่อยในร่างกาย จึงไม่ให้พลังงานหรือให้พลังงานน้อยมาก เช่น OlestraTM, DDM (dialkyl dihexadecylmalonate), EPG (esterified propoxylated glycerol), TATCA (trialkoxymethyltricarballate) (White, 1993)

2. สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากโปรตีน (Protein-based fat replacers)

สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากโปรตีนมีโมเลกุลขนาดเล็กจำนวนมากจึงให้ความรู้สึก

คล้ายครีม โครงสร้างทางเคมีมีพันธะไดซัลไฟด์จึงสามารถจับกับโมเลกุลน้ำได้ ผลผลิตจากโปรตีนนม และโปรตีนไข่ซึ่งแยกไขมันออกแล้ว ได้แก่ Simplese[®], Prolo 11 เป็นต้น โดยสารทดแทนไขมันที่ผลิตจากโปรตีน 1 กรัม ผสมน้ำ 2 กรัม สามารถทดแทนไขมัน 3 กรัม ลดพลังงานจาก 27 กิโลแคลอรีเป็น 4 กิโลแคลอรี (Anonymous, 1990)

3. สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate-based fat replacers)

เป็นสารทดแทนไขมันกลุ่มใหญ่ที่สุด ได้แก่ กัม สารจำพวกเซลลูโลส อินนูลิน เป็นต้น สารกลุ่มนี้สามารถเลียนแบบพฤติกรรมบางอย่างของไขมัน เช่น ให้ความหนืดแก่ไอศกรีมมิชซ์ ทำให้โฟมคงตัว ควบคุมการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง และควบคุมการแยกตัวของน้ำ สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ผสมน้ำ 3 กรัม สามารถทดแทนไขมันได้ 4 กรัม ลดพลังงานจาก 36 กิโลแคลอรีเป็น 4 กิโลแคลอรี (Marshall and Arbuckle, 1996)

เรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียว (Remyline and native waxy rice starch)

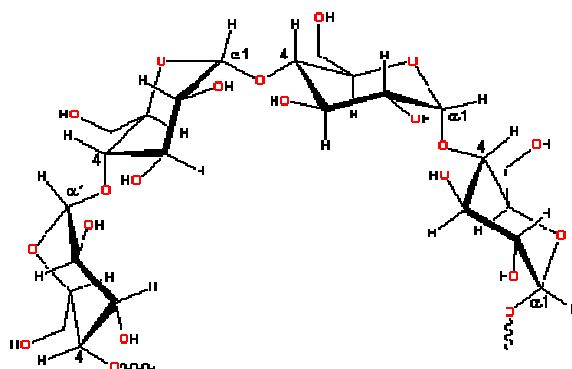
เรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียว สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ เช่น ไอศกรีม โยเกิร์ต น้ำสลัด เป็นต้น ได้จากสตาร์ชข้าวเหนียว สามารถจับกับโมเลกุลน้ำเกิดเป็นโครงสร้างเจล ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืด มีลักษณะเป็นครีม และให้ความเคลือบมัน ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและเนื้อสัมผัส (Geeroms, 2000; Bao and Bergman, 2004) Aime *et al.* (2001) ศึกษาการใช้สารทดแทนไขมันในกลุ่ม modified pea starch ในไอศกรีมวานิลลาชนิดต่างๆ ได้แก่ Regular fat (RF) ไขมันร้อยละ 10, Light (L) ไขมันร้อยละ 5, Low fat (LF) ไขมันร้อยละ 2.5 และ Fat free (FF) ไขมันร้อยละ 0.4 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเย็นและความแน่นแข็งระหว่างไอศกรีมทั้ง 4 ชนิด แต่ไอศกรีม LF และ FF ให้ความหนืด ความเรียบเนียน และความเคลือบมันในปากต่ำกว่าไอศกรีม RF และ L ในขณะที่ ไอศกรีม RF และ L มีความหนืด ความเรียบเนียน และความเคลือบมันใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณไขมันมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและความเคลือบมันในปาก Kailasapathy and Songvanich (1998) ศึกษาการใช้ N-LiteTM D, Paselli SA2 เป็นสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต และ Simplese[®] สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนในไอศกรีมไขมันร้อยละ 13 และ 2 ไอศกรีมสูตรต่างๆ มีลักษณะปรากฏแตกต่างกัน ไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ N-LiteTM D และ Paselli SA2 ให้ความรู้สึกเคลือบมันมากกว่า Simplese[®] เนื่องจากโมเลกุลของแป้งดูดซับน้ำ และพองตัวขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบรับรู้สึกคล้ายความมัน

กระบวนการผลิตสตาร์ชข้าวทำได้โดยการนำข้าวมาล้างให้สะอาด แยกสิ่งปลอมปนออก แช่วในสารละลายต่างพร้อมกับมีการกวนช้าๆ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อแยกโปรตีนที่ติดอยู่กับแป้งออก ปล่อยให้เมล็ดข้าวตกตะกอน แยกส่วนใสที่มีโปรตีนออก ทำซ้ำขั้นตอนนี้จนกระทั่งเมล็ดข้าวนิ่ม แล้วนำเมล็ดข้าวมาบดเปียกด้วยสารละลายต่าง ล้างน้ำ และเหวี่ยงแยกโปรตีนส่วนที่ติดอยู่ในสารแขวนลอยออก นำมาผ่านไฮโดรไซโคลอน กำจัดน้ำ แล้วทำให้แห้ง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสตาร์ชข้าว (rice starch) (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

องค์ประกอบภายในของสตาร์ช

สตาร์ช เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากที่สุดในข้าว โมเลกุลของสตาร์ชรวมกันเป็นเม็ดสตาร์ชมีขนาด 3-5 ไมครอน โดยเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้ามีขนาด 1.6-8.7 ไมโครเมตร ส่วนเม็ดสตาร์ชข้าวเหนียวมีขนาด 1.9-8.1 ไมโครเมตร สตาร์ชซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคสมี 2 ชนิด คือ อะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งจัดเรียงตัวกันแน่นจนเป็นเม็ดสตาร์ช การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชหรือเม็ดสตาร์ชเกิดขึ้น เมื่อมีน้ำและความร้อน ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยพองตัว อุ่นน้ำ และเกิดโครงสร้างเจล (Fitzgerald, 2004)

อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสประมาณ 200 ถึง 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) ชนิดแอลฟา -1,4 มีโซ่กิ่ง 3-4 กิ่ง (ภาพที่ 4) อะไมโลสในสตาร์ชแต่ละชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน

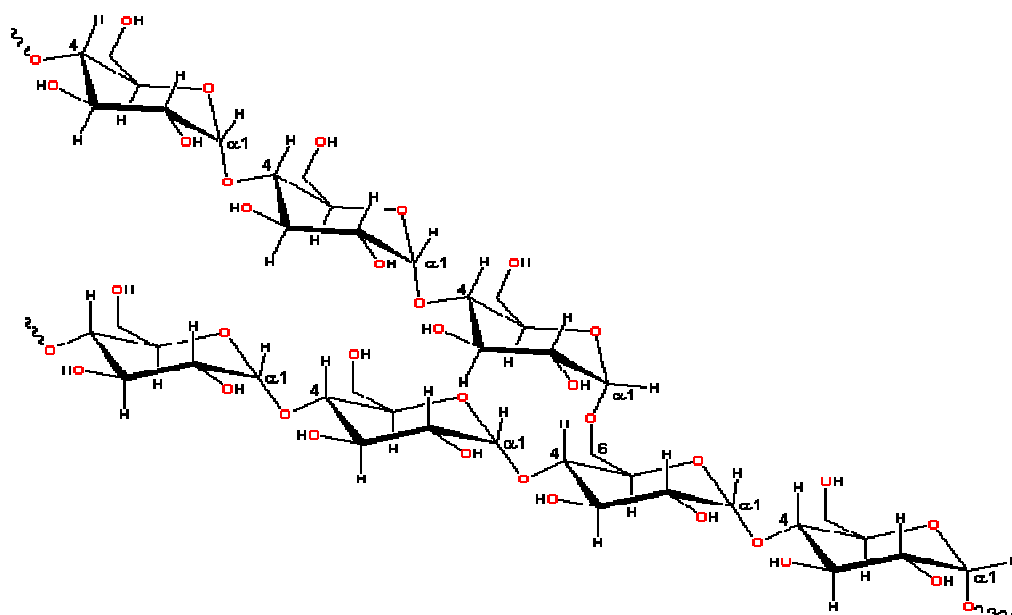


ภาพที่ 4 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: Chaplin (2004)

อะไมโลส สามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน อะไมโลส พันเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ ทำให้สารประกอบเหล่านี้ไม่ละลายน้ำ อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีน ให้สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงสตาร์ชที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ

อะไมโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์สายสั้น มีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1,6 (ภาพที่ 5) สตาร์ชที่ประกอบด้วยอะไมโลเพกตินเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีอะไมโลส เรียกว่า waxy starch ซึ่งมีคุณสมบัติที่ไม่เกิดการคืนตัว เมื่อทำให้เย็นลง หรือเกิดการคืนตัวเพียงเล็กน้อย (Whister and Bemiller, 1999)



ภาพที่ 5 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน

ที่มา: Chaplin (2004)

คุณสมบัติของสตาร์ช

1. การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในสตาร์ชและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง สตาร์ชดูดซับน้ำ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สตาร์ชไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ใกล้ๆ กัน และสามารถพองตัวในน้ำเย็นได้เล็กน้อย ซึ่งเป็นการพองตัวในลักษณะผันกลับได้ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารละลายสตาร์ชเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนส์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เมื่อดูดซับน้ำเกิดการพองตัว ทำให้การละลายและความหนืดเพิ่มขึ้น คุณสมบัติในการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกัน ข้าวเจ้าข้าวเหนียวมีกำลังการพองตัว 56 และความสามารถในการละลายเท่ากับ 13 ที่ 95 องศาเซลเซียส (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546; Leach, 1965) Li and Yeh (2001) ศึกษา กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งและสตาร์ช พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งและสตาร์ชเพิ่มขึ้น

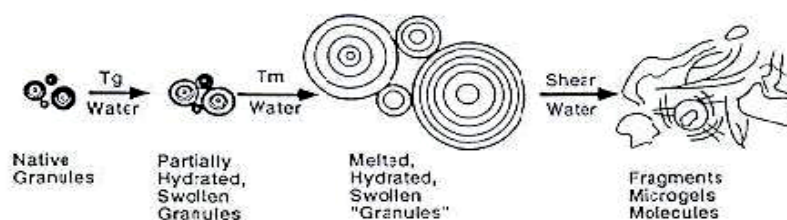
2. ความหนืด

เมื่อนำสตาร์ชผสมน้ำ เม็ดสตาร์ชดูดซับน้ำได้จำกัด แต่เมื่อให้ความร้อน เม็ดสตาร์ชเริ่มดูดน้ำ และพองตัว เป็นผลให้ปริมาตรของเม็ดสตาร์ชในของเหลวเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด เม็ดสตาร์ชที่พองตัวเต็มที่ที่มีความหนืดสูงสุดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาพร้อมกับกวนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้โครงสร้างภายในแตกออก ทำให้ความหนืดลดลง เมื่อลดอุณหภูมิลง ความหนืดเพิ่มขึ้นอีก จากการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ช (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

3. การเกิดเจลาติไนเซชัน

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดสตาร์ชอยู่ในรูปของร่างแห ทำให้ละลายยากในน้ำเย็น จึงดูดซับน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย เมื่อให้ความร้อนแก่สตาร์ชในสภาพที่มีน้ำ

จะทำลายพันธะไฮโดรเจนที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ช ทำให้โมเลกุลน้ำแทรกเข้าไปภายใน และเกิดการพองตัวขึ้น สารละลายสตาร์ชมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่รอบเม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลงจึงเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด เรียกว่า เกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) (ภาพที่ 6) (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชแต่ละชนิดต่างกัน สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การพองตัวและการละลายเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Sanders *et al.*, 1990) อุณหภูมิเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวเจ้าอยู่ในช่วง 58-74 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับอุณหภูมิเจลาติไนเซชันสตาร์ชข้าวเหนียว (Waniska and Gomez, 1992)



ภาพที่ 6 การเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ช

ที่มา: Waniska and Gomez (1992)

4. การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อให้ความร้อนแก่สตาร์ชจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน และให้ความร้อนต่อเม็ดสตาร์ชพองตัวมากขึ้นและแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กที่กระจัดกระจายแตกออก ทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่ไม่สามารถอุ้มน้ำและคูดน้ำได้อีก เป็นเจลเหนียว เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเกิดการคืนตัวมาก และเร็วกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูง เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงอีก การเรียงตัวของโครงสร้างแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในถูกบีบออกมาจนเกิด เรียกว่า syneresis (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

ประเภทของสารให้ความหวาน

1. สารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Nutritive sweeteners)

สารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงาน มีผลต่อระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด สารให้ความหวานในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารให้ความหวานในตระกูลพอลิออล เช่น sorbitol, mannitol, xylitol, maltitol, isomalt, lactitol เป็นต้น

2. สารให้ความหวานที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Non - nutritive sweeteners)

สารให้ความหวานที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ เป็นสารให้ความหวานที่ไม่ให้พลังงาน จึงไม่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด ได้แก่ saccharin, cyclamate, aspartame, sucralose, acesulfame K เป็นต้น (Marshall *et al.*, 2003)

พอลิออล (Polyols)

พอลิออล (polyols) เป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำ และเป็นสารเพิ่มเนื้อ (bulk sweetener) ในผลิตภัณฑ์ปราศจากน้ำตาล พอลิออลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohols) ซึ่งเป็นอนุพันธ์น้ำตาลที่ได้จากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำตาลอิสระ ทำให้หมู่ $-CHO$ ถูกแทนที่ด้วยหมู่ $-CH_2OH$ พอลิออลบางชนิดสามารถพบได้ในผัก ผลไม้ตามธรรมชาติ เช่น ไซลิทอล พบในสตอเบอรี่ ราสป์เบอรี่ เห็ด ส่วนซอร์บิทอล พบในเชอร์รี่ แอปเปิ้ล ดอกกะหล่ำ และแมนนิทอล พบในสับปะรด หน่อไม้ฝรั่ง แครอท มะกอก เป็นต้น

พอลิออลมีคุณสมบัติเฉพาะสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก รักษาสุขภาพ หรือผู้ป่วยเบาหวาน พอลิออลแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพต่างกัน แต่มีลักษณะทั่วไปคล้ายคาร์โบไฮเดรต คือ ทนต่อความร้อน สารเคมี เอนไซม์ และไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหาร พอลิออลให้ความหวานใกล้เคียงกับน้ำตาลและไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง จึงมีการใช้ทดแทนน้ำตาล เพื่อให้ความหวานและเพิ่มเนื้อสัมผัสอย่างแพร่หลาย

พอลิออลมี 3 ประเภท ได้แก่ พอลิออลที่ได้จากปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) ในน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (hydrogenated monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (hydrogenated disaccharides) และทั้งจากน้ำตาลและพอลิแซ็กคาไรด์ (mixture of hydrogenated saccharides and polysaccharides) (Embuscado, 2006) ดังตารางที่ 7

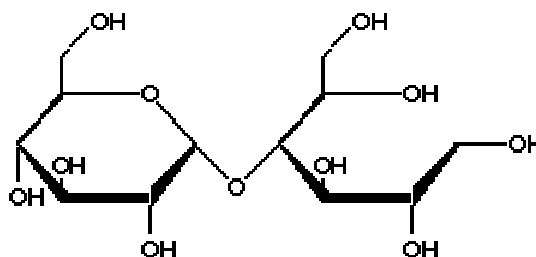
ตารางที่ 7 ประเภทของพอลิออล

ประเภทพอลิออล	ตัวอย่าง	น้ำตาลที่เป็นอนุพันธ์	จำนวนคาร์บอนอะตอม
Hydrogenated monosaccharides	Xylitol	Xylose	5
	Sorbitol	Glucose	6
	Mannitol	Mannose	6
Hydrogenated disaccharides	Maltitol	Maltose	12
	Lactitol	Lactose	12
	Isomalt	Sucrose	12
Mixture of hydrogenated saccharides and polysaccharides	Hydrogenated glucose syrup (HGS)	Glucose syrup	
	Hydrogenated starch	Starch	
	hydrolyzate (HSH)	hydrolyzate	

ที่มา: Embuscado (2006)

มอลทิทอล (Maltitol)

มอลทิทอล (*O*- α -D-glucopyranosyl-(1-4)-sorbitol) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์โมเลกุลคู่ที่ได้จากปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) ในมอลโทส (Baer, 1991) โดยมีสูตรทางเคมี คือ $C_{12}H_{24}O_{11}$



ภาพที่ 7 โครงสร้างของมอลทิทอล

ที่มา: Heume and Rapaille (1996)

มอลทิทอลเป็นอนุพันธ์ของมอลโทสที่ผลิตจากสตาρχ โดยกระบวนการทางเอนไซม์ เมื่อการทำงานของเอนไซม์สิ้นสุดลง จะได้สารละลายข้นหนืดของมอลโทส จากนั้นนำไปผ่านการเติมไฮโดรเจน และทำให้บริสุทธิ์ด้วย filtration, ion exchange และ/หรือ carbon treatment ได้มอลทิทอลไซรัป แล้วทำแห้งโดย crystallization หรือ spray drying ได้มอลทิทอลที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว (Heume and Rapaille, 1996)

มอลทิทอลสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล น้ำหนักโมเลกุลและจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครสแต่ให้พลังงานต่ำ (ตารางที่ 8) มอลทิทอลละลายในน้ำดีกว่าน้ำตาลซูโครสเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 62 องศาเซลเซียส และละลายดีที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำตาลแอลกอฮอล์โมเลกุลคู่ชนิดอื่น ทำให้มีความหนืดสูงสามารถทดแทนกลูโคสไซรัปได้ในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด (Heume and Rapaille, 1996)

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิออลเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส

น้ำตาล	น้ำหนักโมเลกุล	พลังงาน (kcal/g)	จุดหลอมเหลว (°C)	Heat of solution (J/g)	ความสามารถใน การละลาย (g/100g@20°C)
ไซลิทอล	152	2.4-3.0	92-96	-153	63
ซอร์บิทอล	182	2.6-3.0	101	-111	75
แมนนิทอล	182	1.6-2.0	166-168	-121	20
มอลทิทอล	344	2.0-3.0	150	-23	63
ไอโซมอลท์	344	2.0	145	-39	24.5
แลคทิทอล	344	2.0	121-123	-53	56
ซูโครส	342	4.0	160-186	-18	66.7

ที่มา: Embuscado (2006)

มอลทิทอลมีรสหวานธรรมชาติ และไม่ให้ความรู้สึกลื่น ความหวานอยู่ในช่วง 80-90 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส (ตารางที่ 9) เนื่องจากให้รสหวานใกล้เคียงกับน้ำตาล จึงใช้เป็นสารให้ความหวานในผลิตภัณฑ์ปราศจากน้ำตาล โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารให้ความหวานชนิดร่วมด้วย

ตารางที่ 9 ความหวานของพอลิออลเปรียบเทียบกับสารละลายน้ำตาลซูโครส (10% ในน้ำ; 20°C)

น้ำตาล	ระดับความหวาน
ไซลิทอล	80-100
ซอร์บิทอล	50-60
แมนนิทอล	50-60
มอลทิทอล	80-90
ไอโซมอลท์	50-60
แลคทิทอล	30-40
ซูโครส	100

ที่มา: Heume and Rapaille (1996)

มอลทิทอลผง มี 2 เกรด คือ เกรดที่มีมอลทิทอลร้อยละ 86-90 ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 1 และเกรดที่มีมอลทิทอลร้อยละ 99 ขึ้นไป ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 0.5 ส่วนมอลทิทอลไซรัปมีหลายเกรดขึ้นอยู่กับปริมาณมอลทิทอล ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบของมอลทิทอลไซรัป

ปริมาณมอลทิทอล (ร้อยละ)	ปริมาณซอร์บิทอล (ร้อยละ)	น้ำหนักรวม (ร้อยละ)
50-55	ไม่เกิน 8	75-85
72-77	ไม่เกิน 5	75-83
80-90	ไม่เกิน 5	70

ที่มา: Heume and Rapaille (1996)

ไอศกรีมปราศจากน้ำตาล ควรใช้มอลทิทอลไซรัปที่มีความเข้มข้นร้อยละ 75 เนื่องจากให้รสหวานที่พอดี ทำให้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งและสามารถต้านทานการละลายได้ดี (Heume and Rapaille, 1996) Bordi *et al.* (2004) ศึกษาการใช้มอลทิทอลในไอศกรีมวานิลลาปราศจากน้ำตาล และทดสอบด้านประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบรวมด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะ

ปรากฏจากผู้ทดสอบ 22 คน อายุระหว่าง 20-26 ปี พบว่าความชอบด้านรสชาติ และเนื้อสัมผัสแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างไอศกรีมวานิลลาและไอศกรีมวานิลลาปราศจากน้ำตาล แต่ไม่แตกต่างด้านลักษณะปรากฏ ไอศกรีมปราศจากน้ำตาลให้รสหวานน้อยกว่าไอศกรีมวานิลลาแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามไอศกรีมปราศจากน้ำตาลซึ่งมีรสหวานน้อยกว่าแต่มีคะแนนการยอมรับสูงกว่าไอศกรีมวานิลลาซึ่งหวานมากเกินไป

มอลทิทอลเป็นสารให้ความหวานที่ไม่ทำให้ฟันผุ เนื่องจากไม่ถูกย่อยหรือหมักให้เป็นกรด โดย *Streptococcus mutans* ซึ่งเป็นแบคทีเรียในปาก ดังนั้นความเป็นกรดของน้ำตาลในปากจึงมากกว่า 5.7 และไม่ทำให้เกิดการกร่อนของสารเคลือบฟัน ส่งผลให้ฟันไม่ผุ (Heume and Rapaille, 1996) และให้พลังงานต่ำ เนื่องจากมอลทิทอลไม่สามารถผ่านเยื่อผนังลำไส้เล็กได้ด้วยวิธีการลำเลียงโดยใช้พลังงาน (active transport) จึงถูกดูดซึมโดยอาศัยการแพร่ (diffusion) ซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลินในร่างกายลดลง (low glycemic index) (ตารางที่ 11) ส่วนที่เหลือเคลื่อนไปยังลำไส้ใหญ่ เกิดกระบวนการหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ เกิดเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids; VFAs) คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน พลังงานที่ได้จากการหมักร้อยละ 20 ถูกแบคทีเรียใช้ในการเจริญเติบโต ร้อยละ 50 ถูกใช้ในร่างกายมนุษย์ และที่เหลือลำไส้ดูดซึม VFAs เข้าสู่กระแสเลือดและเมตาบอไลต์โดยดัดก่อนเก็บในรูปแบบของไขมัน (Heume and Rapaille, 1996; Embuscado, 2006) Wheeler *et al.* (1990) ศึกษาผลของมอลทิทอลต่อระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานและผู้ที่มิสุขภาพดี พบว่าผู้ที่มิสุขภาพดีมีระดับน้ำตาลในเลือดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรับบริโภคน้ำตาลกลูโคสหรือซูโครส แต่ผู้ป่วยเบาหวานมีระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรับบริโภคน้ำตาลซูโครส

ตารางที่ 11 อัตราการเพิ่มของระดับน้ำตาลในเลือด (glycemic index)

น้ำตาล	Glycemic index
มอลทิทอล	30
กลูโคส	103
ซูโครส	64

ที่มา: Embuscado (2006)

แม้ว่าพอลิออกพลอคภัยและไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ องค์การอนามัยโลก (WHO) และสำนักงานอาหารและยา (FDAs) ทั่วโลกต่างยอมรับและรับรองความปลอดภัย (Generally Recognized As Safe; GRAS) เราควรบริโภคมอลทิทอลในปริมาณที่จำกัดต่อวัน คือ ไม่เกิน 100 กรัมต่อวัน หรือมากกว่าในกรณีของผู้ที่ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับช่องท้อง เช่น ท้องอืด ปวดท้อง ท้องเสีย เป็นต้น (Embuscado, 2006)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 กะทิสำเร็จรูปยูเอชที (ตราชาวเกาะ; บริษัท เทพผดุงพระมะพร้าว จำกัด)
- 1.2 เกลือ
- 1.3 หางนมผง (skim milk powder)
- 1.4 น้ำตาลทราย
- 1.5 สารให้ความคงตัวทางการค้า (Cremodan® SE 709; บริษัท เบอรัลยูคเกอร์จำกัด (มหาชน))
- 1.6 สารทดแทนไขมัน
 - เรมีไลน์ (Remyline AX-DR; บริษัท ดีพีโอ (ไทยแลนด์) จำกัด)
 - สตาร์ชข้าวเหนียว (บริษัท โรงเส้นหมี่ชองแสง จำกัด)
- 1.7 สารให้ความหวาน
 - มอลทิทอลไซรัป (Maltitol M65; บริษัท เฟียว เคมี จำกัด)
- 1.8 กลิ่นมะพร้าว (บริษัท อินเตอร์เนชันแนล เฟลเวอร์ แอนด์ ฟลาแกรนส์ จำกัด)

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม

- 2.1 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Ohaus; Model GT4100; USA)
- 2.2 เครื่องปั่นผสมอาหาร (Blender; ยี่ห้อ Panasonic; Model MX-J210GN; China)
- 2.3 เครื่องปั่นไอศกรีม (ยี่ห้อ Moulinex; Model Gelati; Italy)
- 2.4 เทอร์โมมิเตอร์
- 2.5 ตู้อุ่น ตู้อุ่นแข็ง
- 2.6 เครื่องกรว

3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

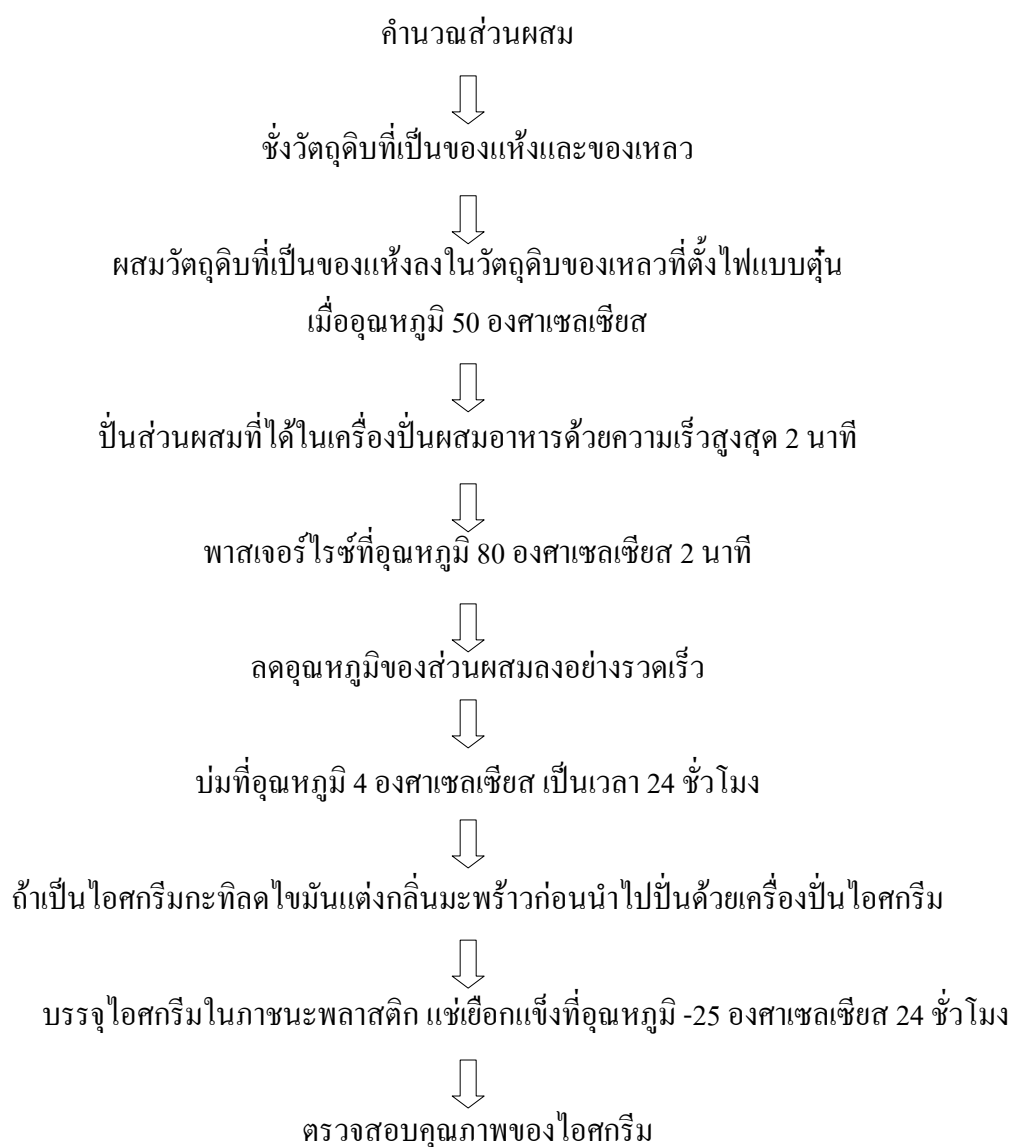
- 3.1 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Digital Rheometer; Model RV DV-III; USA)
- 3.2 เครื่องวัดพีเอช (pH meter; ยี่ห้อ Orion; Model 210A; Germany)
- 3.3 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอศกรีม (Texture Analyzer; Model TA/XT.plus; Australia)
- 3.4 ถ้วยพลาสติกสำหรับวัดการขึ้นฟู
- 3.5 ตะแกรงพลาสติกขนาด 272 ช่องต่อตารางนิ้ว
- 3.6 อุปกรณ์สำหรับการชิม

วิธีการ

1. การศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม

1.1 การผลิตไอศกรีมกะทิ

ขั้นตอนการผลิตดัดแปลงจากสมจิต (2544) ดังภาพที่ 8 โดยผสมวัตถุดิบที่เป็นของแห้งได้แก่ หางนมผง น้ำตาลทราย สารให้ความคงตัว เกลือ ให้เข้ากัน นำวัตถุดิบที่เป็นของเหลวได้แก่ น้ำสะอาดและกะทิสำเร็จรูปยูเอชที ตั้งไฟแบบตุ๋น เมื่ออุณหภูมิถึง 50 องศาเซลเซียส เติมวัตถุดิบที่เป็นของแห้งลงไปคนจนละลายดี และมีอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส จึงนำส่วนผสมที่ได้ไปปั่นในเครื่องปั่นผสมอาหารด้วยความเร็วสูงสุด 2 นาที เพื่อให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ลดอุณหภูมิของส่วนผสมลงอย่างรวดเร็ว และบ่มไอศกรีมมิกซ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (แต่กถิ่นมะพร้าวถ้าเป็นไอศกรีมลดไขมัน) ก่อนนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม บรรจุไอศกรีมที่ได้ลงในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิด นำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆ



ภาพที่ 8 การผลิตไอศกรีม

ที่มา: สมจิต (2544)

1.2 การศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม

ไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม ประกอบด้วย ไขมันกะทีย้อยละ 8 (จากกะทิที่มี ไขมันร้อยละ 18) หางนมผงร้อยละ 10 น้ำตาลทรายร้อยละ 10 และเกลือร้อยละ 0.03 โดยผันแปร ปริมาณครีมเดนรีย้อยละ 0.35 0.40 และ 0.45 (โดยน้ำหนัก) แล้วผลิตไอศกรีมตามการผลิตในข้อ 1.1

1.3 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD)

1.3.1 การวัดพีเอชของไอศกรีมมิกซ์

วัดพีเอช หรือความเป็นกรด-ด่างของไอศกรีมมิกซ์หลังผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดพีเอช โดยที่ไอศกรีมมิกซ์ขณะวัดมีอุณหภูมิ 25 ± 0.5 องศาเซลเซียส วัดทริทเมนต์ละ 2 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

1.3.2 การวัดความหนืดของไอศกรีมมิกซ์

วัดความหนืดของไอศกรีมมิกซ์หลังผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเครื่องวัดความหนืด ใช้หัวหมุนเบอร์ 21 อัตราการเหวี่ยง 232.5 1/วินาที ความเร็วรอบการหมุน 100 รอบต่อนาที อ่านค่าที่ได้หลังมอเตอร์หมุน 30 วินาที ควบคุมอุณหภูมิ ไอศกรีมมิกซ์ที่ 4 ± 0.5 องศาเซลเซียส (โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ TC 500) วัดทริทเมนต์ละ 2 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ตัวอย่าง (ดัดแปลงจากนันทินา, 2544)

1.3.3 การวัดการขึ้นฟู (Overrun) ของไอศกรีม

ชั่งน้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ในถ้วยพลาสติกบนเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง บันทึก น้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ หลังจากปั่นเป็นไอศกรีมแล้ว ชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่บรรจุในถ้วยพลาสติกใบ เดิม บันทึกน้ำหนักไอศกรีม (ปริมาตรคงที่) จากนั้นนำไปคำนวณค่าร้อยละการขึ้นฟูดังสมการ วัดทริทเมนต์ละ 2 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัวอย่าง (Arbuckle, 1986)

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

1.3.4 การวัดอัตราการละลายของไอศกรีม

นำไอศกรีมที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทราบน้ำหนักที่แน่นอน วางบนตะแกรงพลาสติก ซึ่งรองรับไอศกรีมที่ละลายด้วย แก้วพลาสติกเปล่า เริ่มจับเวลาการละลายเมื่อไอศกรีมเริ่มละลาย โดยควบคุมอุณหภูมิห้อง 25 ± 1 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 50 นาที คำนวณหาน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายต่อ 100 กรัม ดังสมการ นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟกับเวลา (นาที) เพื่อหาความชัน ณ เวลาที่ 20 และ 30 นาที รายงานเป็นอัตราการละลาย วัดทริทเมนต์ละ 2 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ตัวอย่าง (ดัดแปลงจากนันทิษา, 2544)

$$\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลายต่อ 100 กรัม} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย}}{\text{น้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น}} \times 100$$

1.3.5 การวัดเนื้อสัมผัสของไอศกรีม

วัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส อาศัยแรงกดที่กระทำต่อไอศกรีมด้วยระยะทางคงที่ โดยบรรจุไอศกรีมลงถ้วยพลาสติก บันทึคน้ำหนัก นำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใช้หัววัดชนิดทรงกรวยเบอร์ P/45C โหลดเซลล์รับน้ำหนักได้ 50 กิโลกรัม ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดก่อนทดสอบ ขณะทดสอบ หลังทดสอบ 2.0 1.0 และ 1.0 มิลลิเมตร/วินาที ตามลำดับ วัดแรงเมื่อหัววัดลึก 15 มิลลิเมตร เริ่มวัดเนื้อสัมผัสเมื่อไอศกรีมมี อุณหภูมิ -12 ± 0.1 องศาเซลเซียส ที่ระดับความลึกจากผิวหน้า 1 เซนติเมตร วัดทริทเมนต์ละ 2 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัวอย่าง (กนกพร, 2545)

1.4 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ (Hedonic scale) ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 30 คน และทดสอบแบบให้คะแนนโดยใช้เส้นตรงไม่มีสเกล (Unstructured line scale)

ยาว 15 เซนติเมตร บอกระดับความเข้มของคุณภาพ โดยผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ป้ายัยที่ทดสอบได้แก่ กลิ่นรสกะทิ (flavor intensity) ความเรียบเนียน (smoothness) ความแน่นเนื้อ (firmness) การละลายในปาก (meltdown) ความเหนียวหนืดในปาก (gummy) ความเคลือบมันในปาก (mouth coating) และความหวาน (sweetness) (ดัดแปลงจาก Aime *et al.*, 2001)

1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และ RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทริทเมนต์โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. การศึกษาชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมันต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิลดไขมัน

ผลิตไอศกรีมกะทิลดไขมันโดยใช้ปริมาณครีโมแดนที่เลือกตามข้อ 1 และลดปริมาณไขมันลงจากสูตรควบคุมเป็นร้อยละ 1 ผันแปรชนิดของสารทดแทนไขมัน ได้แก่ เรมี่ไลน์ และสตาร์ชข้าวเหนียว และผันแปรปริมาณร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนัก) ไอศกรีมทุกทริทเมนต์นำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุม

2.1 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามข้อ 1.3

2.2 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามข้อ 1.4

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติตามข้อ 1.5 เพื่อเลือกชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

3. การศึกษาปริมาณสารให้ความหวานต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล

ผลิตไอศกรีมกะทิลดน้ำตาลโดยใช้ชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันที่เลือกได้ตามข้อ 2 และใช้มอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน สัดส่วน 1:3 2:2 3:1 และ 4:0 ตามลำดับ (โดยน้ำหนัก) เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับไอศกรีมสูตรควบคุม

3.1 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามข้อ 1.3

3.2 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามข้อ 1.4

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติตามข้อ 1.5 เพื่อเลือกปริมาณมอลทิทอลไซรัปที่มีการยอมรับมากที่สุด

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองเริ่มตั้งแต่ มิถุนายน 2549 สิ้นสุดเดือน มีนาคม 2550

ผลและวิจารณ์

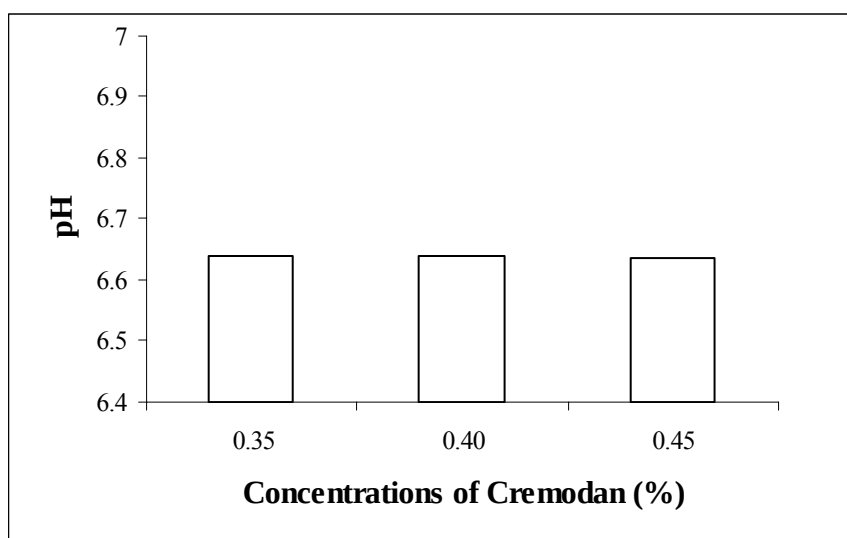
การศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม

1. ผลของปริมาณสารให้ความคงตัวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม

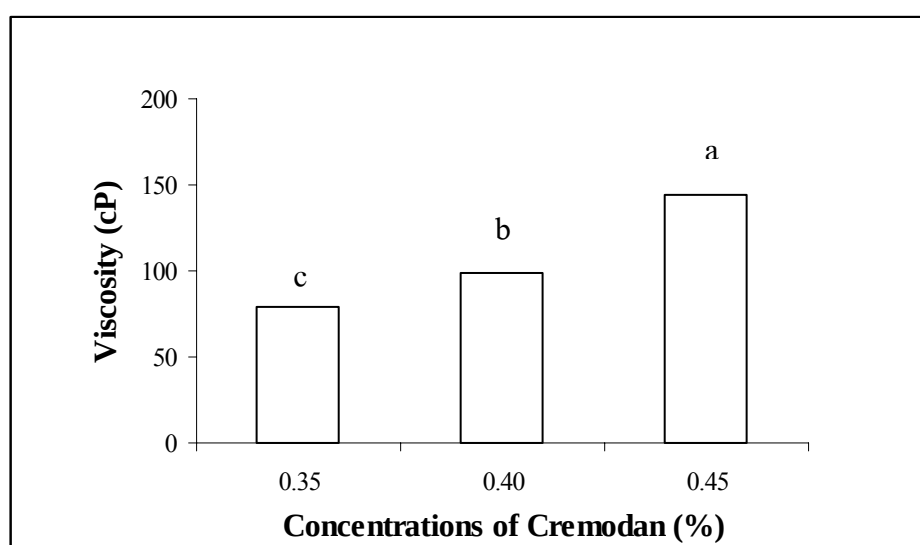
ไอศกรีมกะทิจัดอยู่ในกลุ่มไอศกรีมดัดแปลงไขมัน ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 33 (2522) กำหนดให้ไอศกรีมดัดแปลงต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก การศึกษาครั้งนี้กำหนดให้มีไขมันร้อยละ 8 (จากกะทิที่มีไขมันร้อยละ 18) ในไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมและผันแปรปริมาณสารให้ความคงตัว (ครีโมเดน) ร้อยละ 0.35 0.40 และ 0.45 (โดยน้ำหนัก) (ตารางที่ 12) หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และพบว่าครีโมเดนไม่มีผลต่อพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีผลต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ การขึ้นฟู ความแน่นแข็ง และร้อยละการละลายของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 9-12)

ตารางที่ 12 สูตรไอศกรีมกะทิผันแปรปริมาณครีโมเดน

ส่วนประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ทรีทเมนต์		
	1	2	3
ไขมัน	8.00	8.00	8.00
หางนมผง	10.00	10.00	10.00
น้ำตาลทราย	10.00	10.00	10.00
สารให้ความคงตัว (ครีโมเดน)	0.35	0.40	0.45
เกลือ	0.03	0.03	0.03



ภาพที่ 9 ผลของปริมาณครีโมเดนต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์



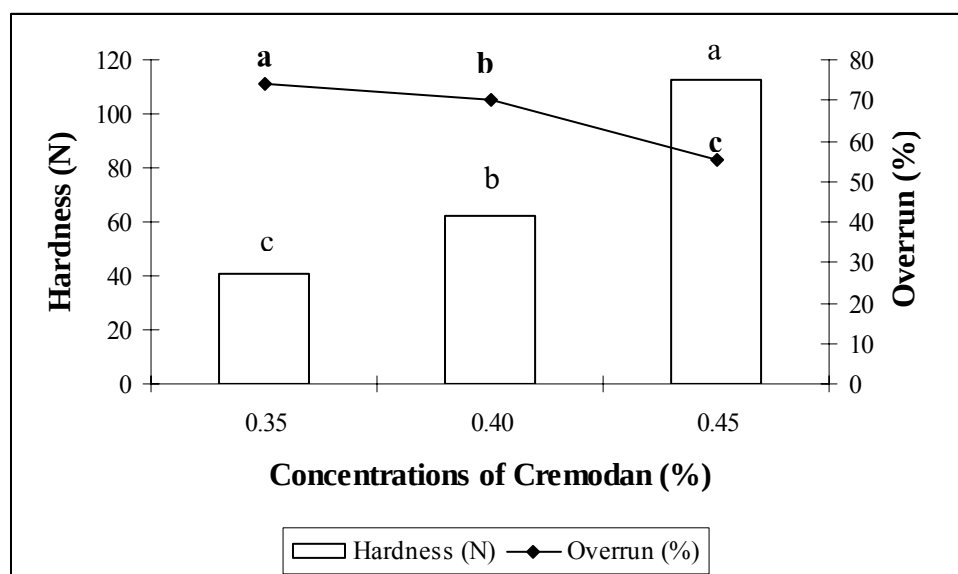
ภาพที่ 10 ผลของปริมาณครีโมเดนต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ไอศกรีมมิกซ์ที่เติมปริมาณครีโมเดนต่างกันที่ร้อยละ 0.35 0.40 และ 0.45 มีพีเอช 6.64 เท่ากัน (ภาพที่ 9) แสดงว่าสารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Martinou-Voulasiki and Zerfiridis (1990) ที่พบว่าชนิดและความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ แต่ปริมาณครีโมเดนที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความหนืดของ

ไอศกรีมมิกซ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากภาพที่ 10 การเติมครีโมเดนร้อยละ 0.35 0.40 และ 0.45 ทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 79.00 98.63 และ 143.88 เซนติพอยซ์ ตามลำดับ เนื่องจากครีโมเดนเป็นสารให้ความคงตัวทางการค้าประกอบด้วยอิมัลซิไฟเออร์ คือ โมโน-ไดกลีเซอไรด์ และสารให้ความคงตัว คือ คาราจีแนน กวักกัม และโลคัสบีนกัน ซึ่งเป็นไฮโดรคอลลอยด์สามารถเกิดปฏิกิริยาระหว่างโพลิเมอร์และภายในโพลิเมอร์ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ อุ่นน้ำได้ ทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง ส่งผลให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดเพิ่มขึ้น (Arbuckle, 1986) Schmidt and Smith (1992) พบว่าคาราจีแนน กวักกัม และแซนแทนกัน มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กับโปรตีนนม ทำให้ความหนืดของมิกซ์เพิ่มขึ้น

การเติมครีโมเดนในปริมาณต่างกัน ส่งผลให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดต่างกัน ทำให้ไอศกรีมมีการขึ้นฟู และมีความแน่นแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 11

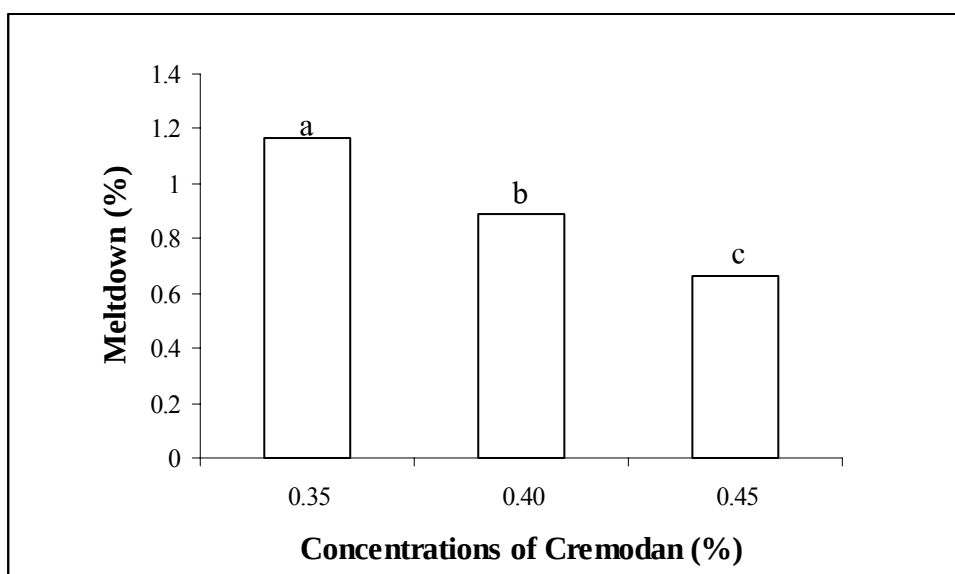


ภาพที่ 11 ผลของปริมาณครีโมเดนต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีม
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อนำไอศกรีมมิกซ์ มาผ่านกระบวนการปั่นเยือกแข็งแล้ววัดร้อยละการขึ้นฟู หลังบรรจุในภาชนะพลาสติก แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดแรงกดอัดที่ทำให้ไอศกรีมเสียรูปร่างด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอศกรีม พบว่า ปริมาณครีโมเดนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการขึ้นฟูต่ำลง ส่งผลให้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น

Abd El-Rahman *et al.* (1997) พบว่าการใช้อิมัลซิไฟเออร์ปริมาณมากขึ้น ทำให้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น ไอศกรีมที่เติมครีโมแดนร้อยละ 0.35 ให้การขึ้นฟูสูง แต่ไอศกรีมมีความแน่นแข็งต่ำ ในขณะที่ครีโมแดนร้อยละ 0.45 ไอศกรีมมีการขึ้นฟูต่ำ ให้ความแน่นแข็งสูง การเติมสารให้ความคงตัวมากเกินไป ทำให้ไอศกรีมสามารถจับอากาศได้ลดลง ได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน เนื้อแน่นมากขึ้น และช่วยลดการละลายของไอศกรีม (Arbuckle, 1986) เนื่องจากความหนืดทำให้ฟองอากาศเคลื่อนที่ช้าลง และคงตัวอยู่ได้ในระหว่างกระบวนการปั่นเยือกแข็ง อิมัลซิไฟเออร์ที่ผสมอยู่กับสารให้ความคงตัว ทำให้เกิดกระบวนการ partial coalescence หรือ destabilized fat ของเม็ดไขมัน ซึ่งเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหล้อมรอบเซลล์อากาศ (Olsen, 1993; Flack, 1996) Baer *et al.* (1997) ศึกษาผลของสารให้ความคงตัวในไอศกรีม พบว่าปริมาณสารให้ความคงตัวที่เพิ่มขึ้น ทำให้ไอศกรีมสามารถต้านทานการละลายเพิ่มขึ้น และช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีม แต่ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการตีอากาศในช่วงกระบวนการปั่นเยือกแข็งไม่ดี ไอศกรีมจับอากาศได้น้อยลงจึงมีร้อยละการขึ้นฟูลดลง

สำหรับการศึกษาอัตราการละลายได้ผลแสดงดังภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่าสารให้ความคงตัวมีบทบาทในการลดการละลายของไอศกรีม เนื่องจากสารให้ความคงตัวทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับโปรตีนนม และจับโมเลกุลน้ำ เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห ทำให้ปริมาณน้ำอิสระในไอศกรีมลดลง จึงลดการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Groven, 1995) ปริมาณครีโมแดนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.35 0.40 และ 0.45 ไอศกรีมมีอัตราการละลายลดลงจาก 1.17 0.89 และ 0.66 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัว ส่งผลให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้น ลดการขึ้นฟูของไอศกรีมขณะตีอากาศในกระบวนการปั่นเยือกแข็ง เพิ่มความเรียบเนียน และชะลอการละลายของไอศกรีม (Arbuckle, 1986) Schmidt (1994) ศึกษาผลของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของไอศมิลค์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ความคงตัว ไอศมิลค์มีความหนืดมากขึ้น ในขณะที่อัตราการละลาย และการเกิดผลึกน้ำแข็งลดลง เนื่องจากปริมาณสารให้ความคงตัวที่เพิ่มขึ้น สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง ส่งผลให้ไอศมิลค์ละลายช้าลง Fennema (1996) กล่าวว่า การนำความร้อนของน้ำแข็งสูงกว่าน้ำ ดังนั้นไอศกรีมที่เติมสารให้ความคงตัว ทำให้ระบบมีความหนืดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำแข็งลดลง เป็นผลให้การส่งผ่านความร้อนในระบบช้าลง คงความเย็นได้นานขึ้น จึงทำให้ไอศกรีมที่เติมสารให้ความคงตัวละลายช้ากว่าไอศกรีมที่ไม่เติมสารให้ความคงตัวหรือเติมในปริมาณน้อย แต่การเติมในปริมาณมาก ทำให้ไอศกรีมละลายช้าเกินไป และเมื่อเติมในปริมาณน้อย ทำให้ไอศกรีมละลายเร็ว ดังนั้นไอศกรีมละลายได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาณสารให้ความคงตัว



ภาพที่ 12 ผลของปริมาณครีมเดนต่ออัตราการละลายของไอศกรีม

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลของปริมาณสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้เส้นตรงไม่มีสเกล (unstructured line scale) ยาว 15 เซนติเมตร เป็นการบอกระดับความเข้มของคุณภาพ โดยผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน และให้คะแนนความชอบ (hedonic scale) 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) ของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมปรับปริมาณครีมเดนได้ผลดังตารางที่ 13 และ 14 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมโดยใช้แบบทดสอบ
15-cm Unstructured line scale*

ทริทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	การรับรู้ กลิ่นรส	ความเรียบ เนียน	ความแน่น เนื้อ	การละลาย ในปาก	ความเหนียว หนืดในปาก	ความเคลือบ มันในปาก
Cremodan 0.35%	9.12 ^a	7.95 ^b	7.73 ^b	11.89 ^a	6.44 ^b	9.46 ^b
Cremodan 0.40%	9.96 ^a	9.66 ^{ab}	10.05 ^a	8.53 ^b	9.15 ^a	9.58 ^b
Cremodan 0.45%	10.43 ^a	11.36 ^a	11.66 ^a	7.81 ^b	10.76 ^a	11.43 ^a

* 1 = ความเข้มข้นน้อย ถึง 15 = ความเข้มข้นมาก

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณครีโมแดนที่เติมในไอศกรีมต่างกัน ทำให้การรับรู้กลิ่นรสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากไขมันทำหน้าที่ให้กลิ่นรสและพาสารให้กลิ่นรสในไอศกรีม ขณะที่ไอศกรีมละลายในปาก การรับรู้กลิ่นรสเกิดขึ้น เมื่อสารให้กลิ่นรสถูกปลดปล่อยเข้าไปอยู่ในส่วนเนื้อช่องปากแล้วถูกส่งผ่านไปยังหน่วยรับกลิ่นรส (olfactory system) ในจมูก การเพิ่มปริมาณครีโมแดนหรือสารให้ความคงตัวจึงไม่มีผลต่อการรับรู้กลิ่นรสของผู้บริโภค (Ohmes, 1998) นอกจากนี้ปริมาณครีโมแดนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.35 0.40 และ 0.45 ไอศกรีมมีความเรียบเนียนมากขึ้น การใช้สารให้ความคงตัว ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเป็นเกล็ดน้ำแข็งน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมที่ไม่ใช้สารให้ความคงตัว และเมื่อใช้ในปริมาณมากขึ้น เกล็ดน้ำแข็งลดลง ส่งผลให้ไอศกรีมเรียบเนียนมากขึ้น (Moore and Shoemaker, 1981) เนื่องจากสารให้ความคงตัว ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมีค่าเพิ่มขึ้น จึงลดการเคลื่อนที่ของน้ำและขัดขวางการโตของผลึกน้ำแข็ง (Muhr and Blanshard, 1986) Hagiwara and Hartel (1996) ศึกษาผลของสารให้ความคงตัวต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งของไอศกรีม พบว่าไอศกรีมที่เติมสารให้ความคงตัวมีอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ต่ำกว่าไอศกรีมที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว นอกจากนี้สารให้ความคงตัวยังทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็ก เมื่อเก็บรักษาไอศกรีมที่ 15.2 องศาเซลเซียส 24 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ Buyong and Fennema (1988) ที่ว่ากลไกของสารให้ความคงตัว ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน อาจเกี่ยวข้องกับความสามารถในการคัดแปรรูปร่างของผลึกน้ำแข็ง ส่งผลให้เนื้อสัมผัสเรียบเนียน หรือ

เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหล จึงช่วยบดบังผลึกน้ำแข็งที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผู้ทดสอบรับรู้และให้คะแนนความเรียบเนียนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมครีโมแดนมากขึ้นยังทำให้ความแน่นเนื้อ ความเหนียวหนืด และความเคลือบมันในปากมากขึ้น ส่วนการละลายในปากช้าลง การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้เส้นตรงไม่มีสเกลจึงสอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม ในด้านความหนืด ความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น ร้อยละการขึ้นฟู และการละลายลดลง

ครีโมแดนไม่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภคด้านกลิ่นรสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบรวม ปริมาณครีโมแดนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ (ภาพที่ 10) ความแน่นแข็งของไอศกรีมเพิ่มขึ้น แต่ร้อยละการขึ้นฟู (ภาพที่ 11) และการละลายลดลง (ภาพที่ 12) ทำให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 14) จากตารางที่ 13 การเติมครีโมแดนร้อยละ 0.35 ไอศกรีมมีความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเหนียวหนืดในปาก และความเคลือบมันในปากน้อย การละลายค่อนข้างเร็ว จึงได้รับความชอบน้อย (ตารางที่ 14) ในขณะที่ร้อยละ 0.45 ให้ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเหนียวหนืดในปาก และความเคลือบมันในปากสูงสุด การละลายช้าที่สุด (ตารางที่ 13) แต่ได้รับความชอบน้อยกว่าการเติมที่ร้อยละ 0.40 (ตารางที่ 14) แม้ว่าครีโมแดนร้อยละ 0.40 และ 0.45 ให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของไอศกรีมไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 13) คะแนนความชอบรวมของร้อยละ 0.40 สูงสุด (ตารางที่ 14) และใช้ครีโมแดนปริมาณน้อยกว่าจึงเลือกใช้ครีโมแดนร้อยละ 0.40 ในการผลิตไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมโดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale*

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส			
	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความรู้สึกในปาก	ความชอบรวม
Cremodan 0.35%	6.83 ^a	5.77 ^b	6.17 ^b	5.90 ^c
Cremodan 0.40%	7.17 ^a	7.50 ^a	7.60 ^a	7.70 ^a
Cremodan 0.45%	7.20 ^a	7.53 ^a	7.40 ^a	7.33 ^b

* 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉย, 9 = ชอบมากที่สุด

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิลดไขมัน

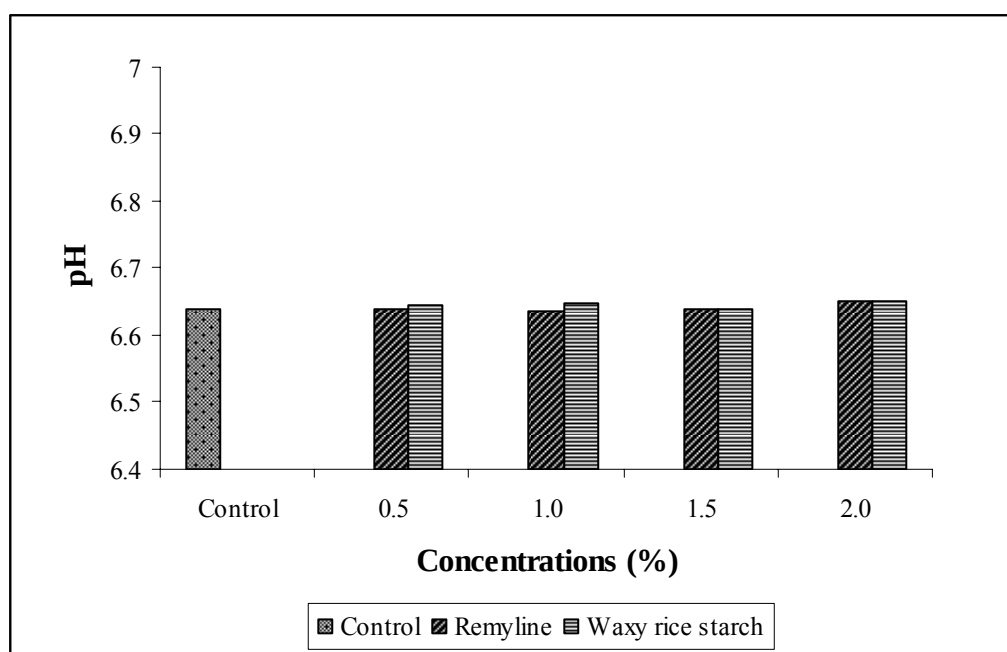
1. ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมกะทิลดไขมัน

การลดปริมาณไขมันของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 1 โดยใช้ ครีโมแดนเป็นสารให้ความคงตัวร้อยละ 0.40 และทดแทนไขมันด้วยเรมีไลน์ (Remyline) หรือ สตาร์ชข้าวเหนียว (waxy rice starch) ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 (ตารางที่ 15) พบว่าสารทดแทนไขมันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม ส่วนผลของเรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียว ต่อพีเอชในไอศกรีมมิกซ์ แสดงดังภาพที่ 13

ตารางที่ 15 สูตรไอศกรีมกะทิพันธุ์แปรรูปและปริมาณสารทดแทนไขมัน

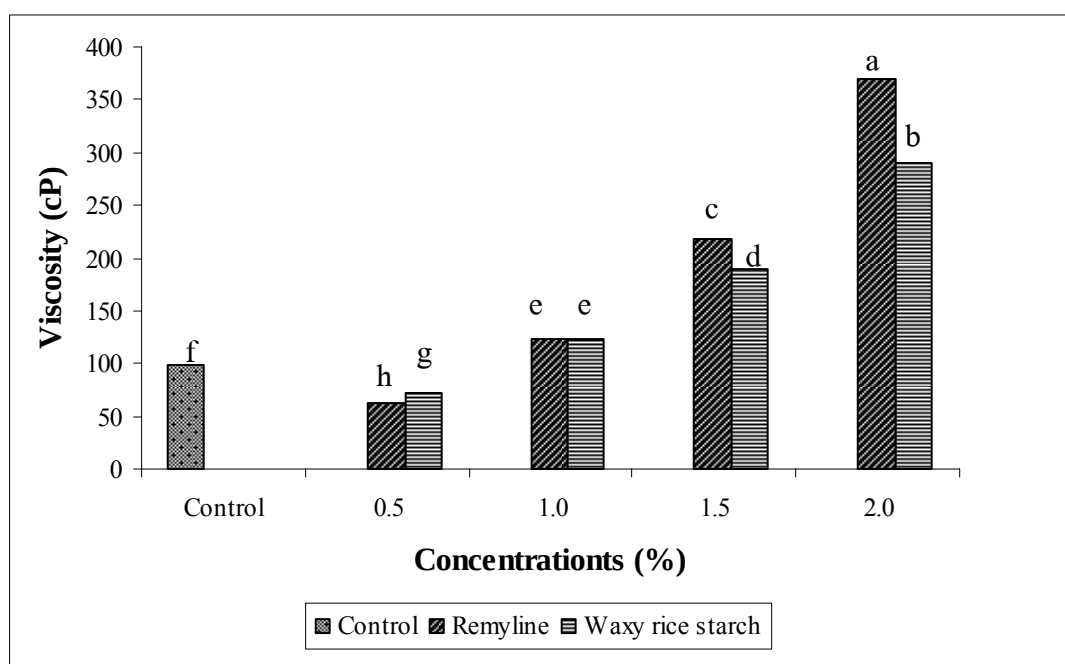
ส่วนประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	พรีทเมนต์				
	สูตรควบคุม	1	2	3	4
ไขมัน	8.00	1.00	1.00	1.00	1.00
สารทดแทนไขมัน* (เรมีไลน์)	-	0.50	1.00	1.50	2.00
หางนมผง	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
น้ำตาลทราย	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
สารให้ความคงตัว (ครีโมเดน)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
เกลือ	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

* ทดแทนไขมันด้วยสตาร์ชข้าวเหนียวในปริมาณร้อยละที่เท่ากับเรมีไลน์



ภาพที่ 13 ผลของปริมาณเรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์

การใช้สารทดแทนไขมันเรมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวในไอศกรีมกะทิลดไขมัน พบว่า ไอศกรีมมิกซ์มีพีเอชอยู่ระหว่าง 6.64-6.66 ซึ่งไม่แตกต่างจากไอศกรีมมิกซ์สูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าปริมาณของเรมีไลน์ หรือสตาร์ชข้าวเหนียวที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ Marshall and Arbuckle (1996) กล่าวว่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเนื้อมะพร้าวรวมไขมันเนย ได้แก่ โปรตีนนม กลีโอะแร (ฟอสเฟต และซีเทรต) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในนม นอกจากนี้การเจริญของแบคทีเรียเป็นสาเหตุทำให้พีเอชต่ำลง ไอศกรีมมิกซ์ไม่คงตัว การลดไขมันจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 1 ทำให้ปริมาณเนื้อมะพร้าวรวมไขมันเนยลดไปบ้างแต่ไม่มากนัก จึงไม่มีผลต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ ในขณะที่ปริมาณเรมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นมาก (ภาพที่ 14) ความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น การละลายเร็วขึ้น แต่การขึ้นฟูลดลงแตกต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 14 ผลของปริมาณเรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

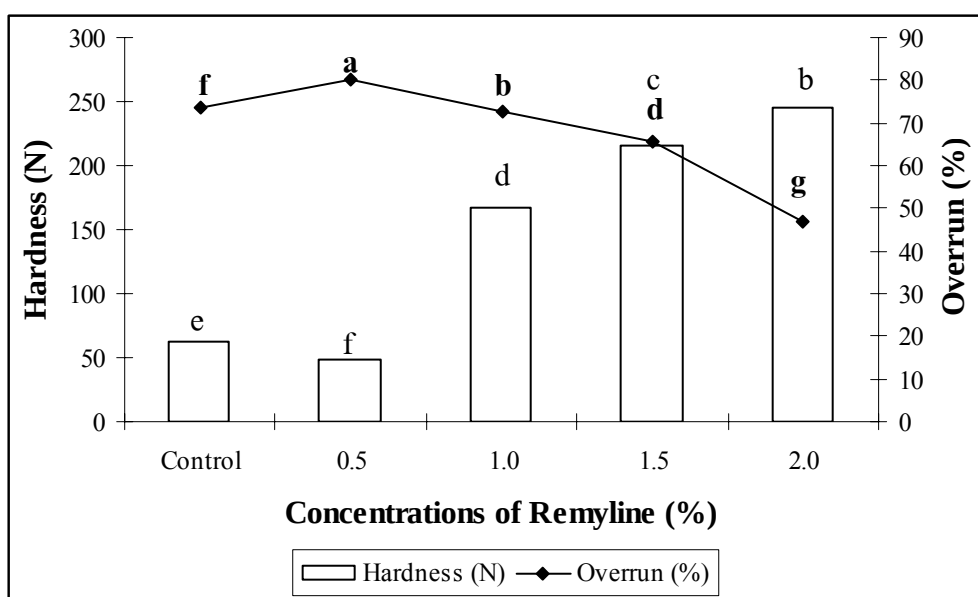
ความหนืดของไอศกรีมขึ้นอยู่กับปริมาณไขมัน และสารให้ความคงตัว ปริมาณไขมันที่ลดลง ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ลดลง (Marshall and Arbuckle, 1996) แต่เมื่อทดแทนไขมันด้วยเรมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียว ส่งผลให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้น

Morris (1990) กล่าวว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น โอกาสที่โมเลกุลจะทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างโพลิเมอร์ (intermolecular interaction) และภายในโพลิเมอร์ (intramolecular interaction) ด้วยพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น เกิดจุดเชื่อม (junction zone) และโครงสร้างร่างแหที่สามารถอุ้มน้ำได้ สารละลายจึงมีความหนืดมากขึ้น โดยเริ่มมีไลน์ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดเพิ่มขึ้นมาจาก 60 เซนติพอยซ์ ถึง 370 เซนติพอยซ์ เช่นเดียวกับการใช้สตาร์ชข้าวเหนียวร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นจาก 72 เซนติพอยซ์ ถึง 290 เซนติพอยซ์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากไอศกรีมมิกซ์สูตรควบคุมที่มีความหนืด 98.63 เซนติพอยซ์ การเติมเริ่มมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวร้อยละ 0.5 และ 1.0 ทำให้ไอศกรีมมิกซ์หนืดใกล้เคียงกัน เริ่มมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวเพิ่มความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพราะเป็นสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ รวมตัวกับน้ำได้ดี เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ โมเลกุลของน้ำอิสระน้อยลง จำกัดการเคลื่อนที่ของน้ำ และองค์ประกอบอื่นๆที่ละลายน้ำ รวมทั้งเป็นผลจากกระบวนการแปรรูป เช่น การพาสเจอร์ไรซ์ การโฮโมจิไนซ์ การบ่มเป็นต้น (Marshall and Arbuckle, 1996) แต่ที่เริ่มมีไลน์ร้อยละ 1.5 และ 2.0 ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงกว่าการใช้สตาร์ชข้าวเหนียว เมื่อให้ความร้อนในสภาวะที่มีน้ำกับเริ่มมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชเกิดการดูดซับน้ำและพองตัว (สตาร์ชมีปริมาณเพิ่มขึ้น) โมเลกุลของน้ำอิสระในสารละลายลดลง ส่งผลต่อความหนืด (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเริ่มมีไลน์มีปริมาณสตาร์ช (ร้อยละ 97) สูงกว่าสตาร์ชข้าวเหนียว (ร้อยละ 80) และไม่ได้หักปริมาณความชื้น ทำให้เริ่มมีไลน์มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบมากกว่าสตาร์ชข้าวเหนียว เมื่อเติมในปริมาณเท่ากัน ส่งผลให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่เติมเริ่มมีไลน์สูงกว่าสตาร์ชข้าวเหนียว Bahnassey and Breene (1994) พบว่าระบบที่มีไฮโดรคอลลอยด์และสตาร์ช ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์เกิดปฏิกิริยาระหว่างโพลิเมอร์และภายในโพลิเมอร์ด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ อุ้มน้ำได้ และการเปลี่ยนแปลงขนาด รูปร่างของสตาร์ชระหว่างการพองตัว เมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นสตาร์ชที่มีไฮโดรคอลลอยด์ในระบบจึงหนืดกว่าสตาร์ชที่ไม่มีไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้ไอศกรีมมิกซ์ที่เติมเริ่มมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวหนืดสูงกว่าไอศกรีมมิกซ์สูตรควบคุม แต่สตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณไขมันและโปรตีนสูงกว่าเริ่มมีไลน์ (ภาคผนวก ค) จึงยับยั้งการดูดซับน้ำและการพองตัวของสตาร์ช ส่งผลต่อการเกิดเจลลาติไนเซชัน ทำให้ความหนืดลดลง (Bao and Bergman, 2004) Hamaker and Griffin (1993) กล่าวว่าโปรตีนมีผลต่อการเกิดเจลลาติไนเซชันของสตาร์ช โดยขัดขวางการจับกันระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชและน้ำ การพองตัวของสตาร์ชลดลง ทำให้ความหนืดต่ำลง Schmidt *et al.* (1993) พบว่าการใช้

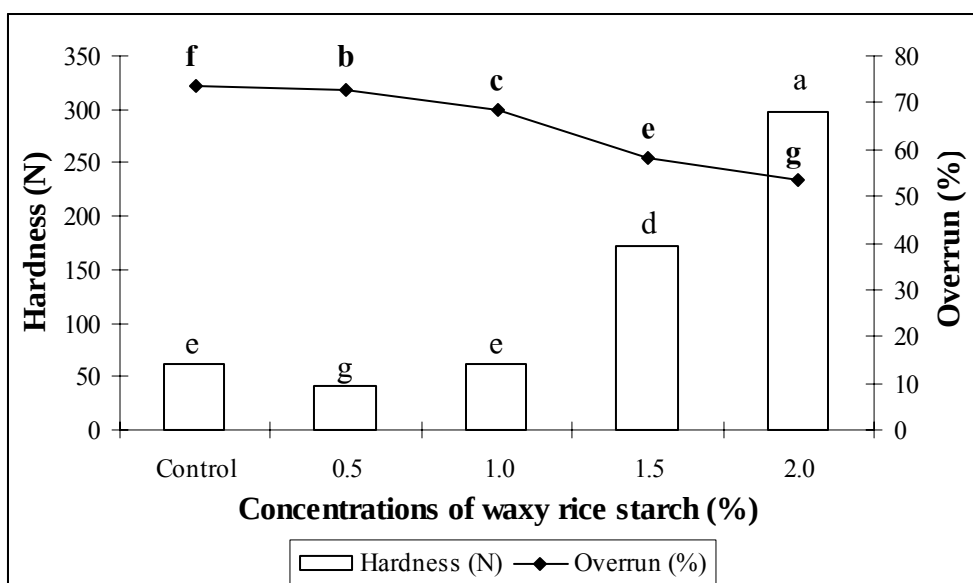
เอ็นไลท์ดี (N-Lite D) ซึ่งเป็นสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์ไอศมิลค์ ทำให้ไอศมิลค์มิกซ์ลดไขมันมีความหนืดมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไอศมิลค์มิกซ์สูตรควบคุม

ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การขึ้นฟูของไอศกรีมลดลง ทำให้ไอศกรีมแน่นแข็งมากขึ้นแตกต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงดังภาพที่ 15 และ

16



ภาพที่ 15 ผลของปริมาณเรมีไลน์ต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีม



ภาพที่ 16 ผลของปริมาณสตาร์ชข้าวเหนียวต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีม
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

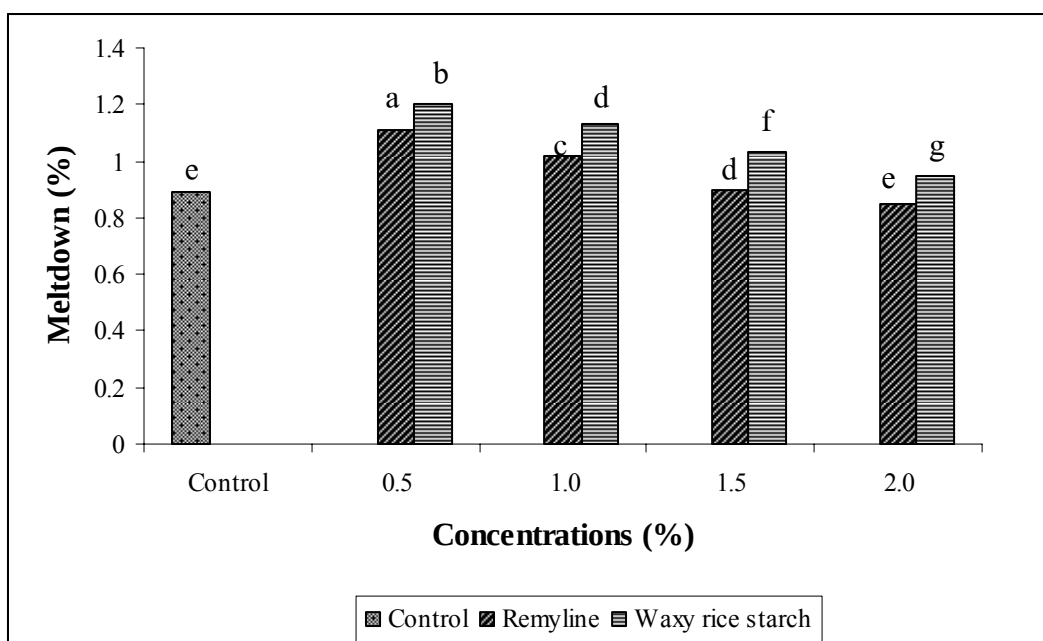
Wilbey *et al.* (1998) กล่าวว่า การขึ้นฟูของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความแน่นแข็งของไอศกรีมลดลง จากภาพที่ 15 และ 16 จะเห็นว่าร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีมมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อปริมาณเริ่มไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวสูงขึ้น การขึ้นฟูของไอศกรีมลดลงแตกต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากเริ่มไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียว ทำให้ไอศกรีมมีกัมมีความหนืดสูง จึงควรใช้เครื่องปั่นไอศกรีมที่มีแรงเฉือนสูง การใช้เครื่องปั่นไอศกรีมแบบครัวเรือนซึ่งมีแรงเฉือนต่ำ ประกอบกับความหนืดสูงจึงขัดขวางการตีอากาศในระหว่างกระบวนการปั่นเยือกแข็ง ไอศกรีมขึ้นฟูยาก (Marshall and Arbuckle, 1996) การเติมเริ่มไลน์ ไอศกรีมมีกัมมีความหนืดสูงกว่าการใช้สตาร์ชข้าวเหนียวในปริมาณที่เท่ากัน ส่งผลให้ไอศกรีมขึ้นฟูต่ำ เนื่องจากปริมาณอะไมโลเพกตินสูง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลต่อการพองตัวที่สูงขึ้น ทำให้ความหนืดสูงขึ้น (Lii *et al.*, 1995) ส่วน Schmidt *et al.* (1993) ใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต เพิ่มความหนืดสูงแก่ไอซ์มิลค์ลดไขมัน ร้อยละการขึ้นฟูจึงต่ำ ดังนั้นความหนืดสูงหรือต่ำเกินไป ทำให้การตีอากาศในการปั่นเยือกแข็งเกิดขึ้นได้ไม่ดี ส่งผลต่อการขึ้นฟูของไอศกรีม ช่วงความหนืดของไอศกรีมมีกัมที่เหมาะสม ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีการขึ้นฟูสูง

เมื่อเพิ่มปริมาณเริ่มไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียว ทำให้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งสูง ลดการขึ้นฟู และต้องใช้แรงกดที่ทำให้ไอศกรีมเสียรูปร่างสูง แสดงว่าการลดไขมัน ไอศกรีมทนต่อแรงที่

ทำให้เสียรูปร่างได้เพิ่มขึ้น ไอศกรีมแน่นแข็งมากขึ้น เนื่องจากสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต เพิ่มความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ ลดความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีม และไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสแน่นแข็งขึ้น ไอศกรีมที่เติมเริ่มไคน์มีเนื้อสัมผัสแน่นแข็งกว่าสตาร์ชข้าวเหนียว เพราะโปรตีนที่อยู่ล้อมรอบสตาร์ชยับยั้งการดูดซับน้ำและการพองตัวของสตาร์ช ทำให้ความหนืดลดลง ไอศกรีมจึงแน่นแข็งลดลง (Martin and Fitzgerald, 2002) ความแน่นแข็งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำส่วนที่ไม่แข็งตัว หรือเฟสที่ไม่แข็งตัวของไอศกรีมและปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ สตาร์ช และสารให้ความคงตัวจับกับน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ เมื่อเฟสที่ไม่แข็งตัวในไอศกรีมมีความหนืดสูงมีผลให้สามารถต้านทานแรงกดได้มากขึ้น (Hermansson, 1995; Muse and Hartel, 2004) Dunkley (1982) กล่าวว่า การลดปริมาณไขมัน ส่งผลให้ไอศกรีมแน่นแข็งมากขึ้น เนื่องจากไขมันมีผลต่อความนุ่มของไอศกรีม ซึ่งสอดคล้องกับ Yackle and Cox (1992) ที่พบว่า การใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็งไขมันต่ำ ทำให้ความแน่นแข็งของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

เริ่มไคน์และสตาร์ชข้าวเหนียวมีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 17) Ohmes *et al.* (1998) พบว่าไอศกรีมสูตรควบคุมละลายช้ากว่าไอศกรีมลดไขมัน เนื่องจากโครงสร้างของไอศกรีมสามารถคงอยู่ได้ด้วยกระบวนการ partial coalescence หรือ destabilized fat ของเม็ดไขมันซึ่งเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหล้อมรอบเซลล์อากาศ และมีผลกั้นน้ำแข็งกระจายตัวอยู่ในส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัว โครงสร้างของไอศกรีมดังกล่าวช่วยชะลอและรักษารูปร่างของไอศกรีมขณะละลาย (Marshall and Arbuckle, 1996) การที่ไอศกรีมลดไขมันละลายเร็ว เพราะปริมาณไขมันที่น้อย ทำให้โอกาสการเกิดโครงสร้างร่างแหของไขมันและเซลล์อากาศมีน้อย เกิด partial coalescence น้อยลง และไขมันถูกแทนที่ด้วยน้ำหรือผลิตภัณฑ์น้ำแข็งซึ่งมีอุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำกว่าเม็ดไขมัน (Walstra and Jonkman, 1998) การเติมเริ่มไคน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้การละลายของไอศกรีมลดลง โดยไอศกรีมที่เติมเริ่มไคน์ละลายช้ากว่าสตาร์ชข้าวเหนียว เมื่อเติมเริ่มไคน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวร้อยละ 0.5 และ 1.0 ไอศกรีมละลายเร็วกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม การละลายของไอศกรีมเกี่ยวข้องกับปริมาณไขมัน การลดไขมันลง ทำให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้น เป็นผลจากปริมาณไขมันน้อย ทำให้โครงสร้างร่างแหของไขมันที่ล้อมรอบเซลล์อากาศเกิดน้อย ส่งผลต่อการคงรูปและการละลายของไอศกรีม (Marshall and Arbuckle, 1996) แต่การทดแทนไขมันด้วยเริ่มไคน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียว ช่วยชะลอการละลายของไอศกรีมลดไขมัน เมื่อเติมปริมาณเท่ากัน เริ่มไคน์มีปริมาณสตาร์ชสูงกว่าสตาร์ชข้าว

เหนียว ทำให้ไอศกรีมละลายช้ากว่าการใช้สตาร์ชข้าวเหนียว และการเติมเรมีไลน์ร้อยละ 1.5 และ 2.0 ไอศกรีมละลายช้าใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม (ไขมันร้อยละ 8)



ภาพที่ 17 ผลของปริมาณเรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่ออัตราการละลายของไอศกรีม
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลของชนิดและปริมาณสารทดแทนไขมันต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสดไขมัน

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้เส้นตรงไม่มีสเกลบอกระดับความเข้มข้นของคุณภาพ ยาว 15 เซนติเมตร โดยผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน (ตารางที่ 16) และให้คะแนนการยอมรับด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่ใช้เรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียว แสดงดังตารางที่

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของ ไอศกรีมกะทิที่ใช้รีมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวทดแทนไขมัน โดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructured line scale*

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	การรับรู้กลิ่นรส	ความเรียบเนียน	ความแน่นเนื้อ	การละลายในปาก	ความเหนียวหนืดในปาก	ความเคลือบมันในปาก
Control	10.61 ^a	10.23 ^{ab}	10.55 ^{ab}	7.04 ^b	10.27 ^{bcd}	10.22 ^c
Remyline 0.5%	7.63 ^d	9.06 ^d	8.15 ^d	6.91 ^b	8.95 ^e	8.00 ^d
Remyline 1.0%	9.16 ^c	9.90 ^{bcd}	8.94 ^{cd}	6.11 ^c	9.76 ^{cde}	8.81 ^d
Remyline 1.5%	10.91 ^{ab}	10.90 ^{abc}	10.20 ^{bc}	5.30 ^{de}	11.20 ^{ab}	10.85 ^{bc}
Remyline 2.0%	10.98 ^a	11.65 ^a	11.05 ^{ab}	4.73 ^e	12.10 ^a	11.87 ^a
WRS ¹ 0.5%	5.88 ^e	7.48 ^e	8.64 ^d	8.93 ^a	6.58 ^f	6.94 ^e
WRS ¹ 1.0%	7.60 ^d	9.36 ^{cd}	10.10 ^{bc}	7.24 ^b	9.25 ^{de}	8.78 ^d
WRS ¹ 1.5%	9.28 ^{bc}	10.44 ^{abcd}	11.39 ^{ab}	5.66 ^{cd}	10.41 ^{bcd}	10.32 ^c
WRS ¹ 2.0%	10.26 ^{ab}	11.24 ^{ab}	11.63 ^a	4.87 ^e	10.85 ^{bc}	11.16 ^{ab}

* 1 = ความเข้มข้นน้อย ถึง 15 = ความเข้มข้นมาก

¹WRS = Waxy rice starch

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การลดไขมันหรือลดปริมาณกะทิ ทำให้กลิ่นรสกะทิด้อยลง เนื่องจากไขมันเป็นตัวพากลิ่นรสและห่อหุ้มกลิ่นรส จึงเติมกลิ่นมะพร้าวในไอศกรีมกะทิลดไขมันเพื่อเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภค จากตารางที่ 16 ปริมาณรีมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การรับรู้กลิ่นรสดีขึ้น ไอศกรีมลดไขมันเติมสารทดแทนไขมันรีมีไลน์ หรือสตาร์ชข้าวเหนียวร้อยละ 0.5 และ 1.0 ให้ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเหนียวหนืดในปาก และความเคลือบมันในปากต่ำและ

แตกต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณเรมีไลน์ หรือสตาร์ช ข้าวเหนียวเป็นร้อยละ 1.5 และ 2.0 ไอศกรีมมีความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเหนียวหนืดในปาก และความเคลือบมันในปากเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม เนื่องจากเรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวสามารถจับน้ำ ทำให้น้ำที่จะแข็งตัวเป็นผลึกน้ำแข็งลดลง (Miller-Livney and Hartel, 1997) ส่งผลให้ไอศกรีมเรียบเนียนและสตาร์ชสามารถดูดน้ำ และพองตัว ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์จึงเพิ่มขึ้น และให้ความรู้สึกในปากคล้ายครีม (Kailasapathy and Songvanich, 1998) ทำให้คะแนนความเรียบเนียน ความเหนียวหนืด และความเคลือบมันในปากเพิ่มขึ้น ส่วนการละลายในปากช้าลงเพราะปริมาณเรมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้น ให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไอศกรีมละลายช้าลง (Marshall and Arbuckle, 1996)

จากตารางที่ 17 ปริมาณเรมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวต่างกันมีผลให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเคลือบมันในปาก และความเหนียวหนืดในปากเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเรมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การเติมเรมีไลน์หรือสตาร์ชข้าวเหนียวร้อยละ 2.0 ไอศกรีมมีความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเคลือบมันในปาก และความเหนียวหนืดในปากใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 16) แต่ไอศกรีมที่ใช้สตาร์ชข้าวเหนียว ผู้ทดสอบได้กลิ่นสตาร์ชแรงกว่าการใช้เรมีไลน์ จึงเลือกเรมีไลน์ทดแทนไขมันในไอศกรีม โดยเรมีไลน์ร้อยละ 1.5 และ 2.0 มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความชอบรวมใกล้เคียงกัน และไม่แตกต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่การเติมเรมีไลน์ร้อยละ 2.0 มีคะแนนการยอมรับสูงใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุมมากที่สุด (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่ใช้เรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวทดแทนไขมัน โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale*

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส			
	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความรู้สึกในปาก	ความชอบรวม
Control	7.50 ^a	7.70 ^{ab}	7.40 ^{ab}	7.50 ^{ab}
Remyline 0.5%	5.50 ^{cd}	6.00 ^d	5.90 ^d	5.90 ^c
Remyline 1.0%	6.40 ^b	6.60 ^{cd}	6.40 ^{cd}	6.50 ^c
Remyline 1.5%	7.15 ^a	7.10 ^{bc}	7.30 ^{ab}	7.10 ^b
Remyline 2.0%	7.35 ^a	7.90 ^a	7.90 ^a	7.80 ^a
WRS ¹ 0.5%	4.80 ^d	4.90 ^e	4.60 ^e	4.90 ^d
WRS ¹ 1.0%	6.10 ^{bc}	6.10 ^d	6.30 ^d	6.30 ^c
WRS ¹ 1.5%	6.40 ^b	7.70 ^{ab}	7.30 ^{ab}	7.60 ^{ab}
WRS ¹ 2.0%	6.90 ^{ab}	7.30 ^{ab}	7.00 ^{bc}	7.30 ^{ab}

* 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉย, 9 = ชอบมากที่สุด

¹WRS = Waxy rice starch

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาปริมาณสารให้ความหวานต่อคุณภาพของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล

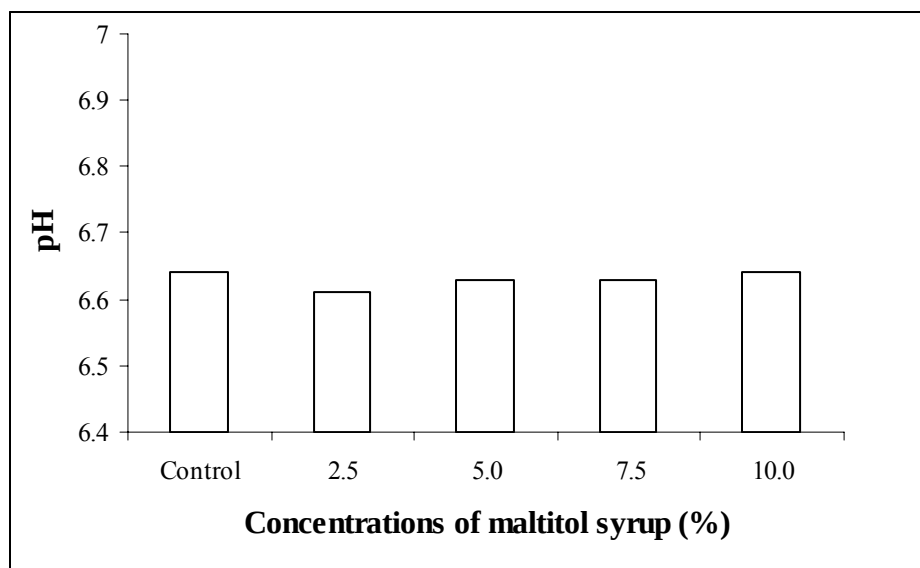
1. ผลของปริมาณสารให้ความหวานต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล

ผลิตไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล ไขมันร้อยละ 1 โดยใช้เริ่มมีไลน์ทดแทนไขมัน และใช้มอลทิทอลโซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน สัดส่วน 1:3 2:2 3:1 และ 4:0 เมื่อคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2.5:7.5 5.0:5.0 7.5:2.5 และ 10:0 ตามลำดับ (ตารางที่ 18) กำหนดให้ทุกทริทเมนต์มีสารให้ความหวานร้อยละ 10 แล้วศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมมิกซ์ระหว่างทริทเมนต์ที่ใช้ น้ำตาลทรายร้อยละ 10 (โดยน้ำหนัก) กับทริทเมนต์ที่ใช้มอลทิทอลโซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายและใช้มอลทิทอลโซรัปอย่างเดียว การตรวจสอบพีเอชและความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ แสดงดังภาพที่ 18 และ 19 ตามลำดับ

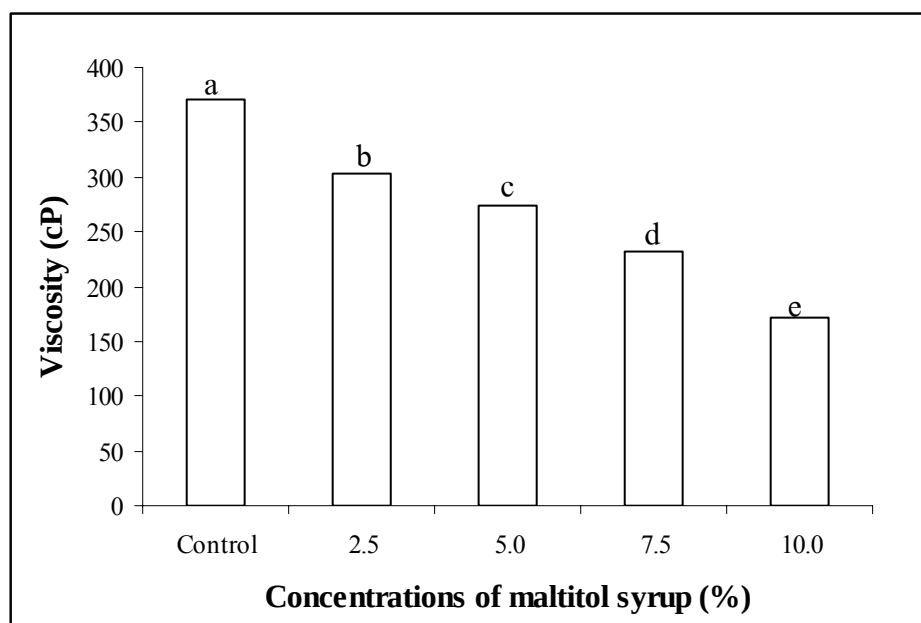
ตารางที่ 18 สูตรไอศกรีมกะทิลดน้ำตาลที่ใช้มอลทิทอลโซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน

ส่วนประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ทริทเมนต์				
	สูตรควบคุม	1	2	3	4
ไขมัน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
สารทดแทนไขมัน (เริ่มมีไลน์)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
หางนมผง	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
สารให้ความหวาน*					
มอลทิทอลโซรัป	-	2.50	5.00	7.50	10.00
น้ำตาลทราย	10.00	7.50	5.00	2.50	-
สารให้ความคงตัว (กรีโมแดน)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
เกลือ	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

* สัดส่วนของมอลทิทอลโซรัปต่อน้ำตาลทราย ทริทเมนต์ที่ 1 2 3 และ 4 คือ 1:3 2:2 3:1 และ 4:0 ตามลำดับ กำหนดให้ไอศกรีมกะทิลสูตรควบคุมน้ำตาลทรายร้อยละ 10 (สัดส่วนของมอลทิทอลโซรัปต่อน้ำตาลทราย เท่ากับ 0:4)



ภาพที่ 18 ผลของปริมาณมอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์

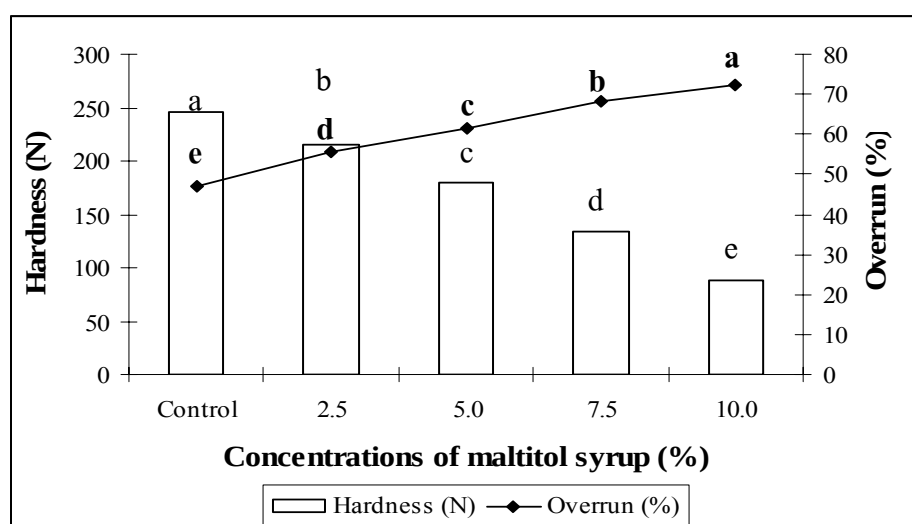


ภาพที่ 19 ผลของปริมาณมอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากภาพที่ 18 พีเอชของไอศกรีมมิกซ์ระหว่างไอศกรีมที่ใช้ น้ำตาลทรายอย่างเดียวกับมอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทราย และมอลทิทอลไซรัปอย่างเดียวกัมีค่าใกล้เคียงกัน (6.61-6.64)

ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แสดงว่ามอลทิทอลไซรัป ไม่มีผลต่อพีเอชของ ไอศกรีมมิกซ์ ($p \geq 0.05$) แต่การใช้มอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทราย ทำให้ความหนืดของ ไอศกรีมมิกซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่ออัตราส่วนของมอลทิทอลไซรัปมากขึ้น ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ลดลงเมื่อเทียบกับไอศกรีมมิกซ์สูตรควบคุมที่ใช้ น้ำตาลทรายอย่างเดียว เนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมดในไอศกรีมลดลง ปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้น ความหนืดของ ไอศกรีมมิกซ์จึงลดลง ไอศกรีมมิกซ์ที่เติมมอลทิทอลไซรัปอย่างเดียวย้อยละ 10.0 มีความหนืดต่ำกว่าไอศกรีมมิกซ์ที่เติมมอลทิทอลไซรัปร้อยละ 7.5 ร่วมกับน้ำตาลทรายร้อยละ 2.5 มอลทิทอลไซรัปร้อยละ 5.0 ร่วมกับน้ำตาลทรายร้อยละ 5.0 และมอลทิทอลไซรัปร้อยละ 2.5 ร่วมกับน้ำตาลทรายร้อยละ 7.5 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ (ภาพที่ 19) Goff *et al.* (1990) ศึกษาการใช้คอร์นไซรัปที่มีค่า Dextrose Equivalent (DE) ต่างกันในการผลิตไอศกรีม พบว่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ลดลงเมื่อใช้คอร์นไซรัป DE สูง เนื่องจาก DE สูง ช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่า DE กลาง และต่ำ ส่งผลให้ความหนืดและคุณสมบัติของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป

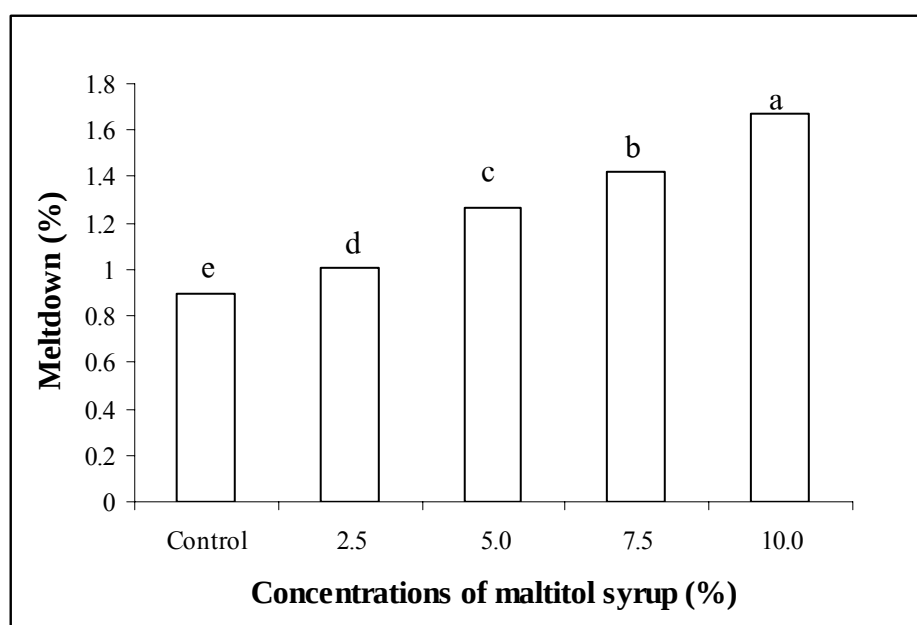
ปริมาณมอลทิทอลไซรัปต่างกัน ส่งผลให้การขึ้นฟู แรงกดที่ทำให้ไอศกรีมเสียรูปร่าง หรือ ค่าความแน่นแข็งและการละลายของไอศกรีมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงดังภาพที่ 20 และ 21 ตามลำดับ



ภาพที่ 20 ผลของปริมาณมอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีม

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนด้วยมอลทิทอลไซรัป ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมีกซ์ลดลง ส่งผลให้การขึ้นฟูของไอศกรีมเพิ่มขึ้น มอลทิทอลไซรัปร้อยละ 10.0 ไอศกรีมมีการขึ้นฟูสูงกว่าการใช้ร้อยละ 7.5 5.0 และ 2.5 ตามลำดับ เมื่อปริมาณมอลทิทอลไซรัปมากขึ้น ไอศกรีมขึ้นฟูเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุมที่ใช้น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียว การที่ความหนืดของไอศกรีมมีกซ์สูงขึ้น ทำให้เครื่องปั้นไอศกรีมขนาดเล็กมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก ไม่สามารถตีอากาศเข้าไปในไอศกรีม การเติมมอลทิทอลไซรัปช่วยลดปริมาณของแข็งในไอศกรีม ส่งผลให้ความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีมเพิ่มขึ้น (Marshall *et al.*, 2003) เมื่อวัดแรงกดที่ทำให้ไอศกรีมเสียรูปร่างพบว่าใช้แรงกดสูงสุดต่ำเมื่อปริมาณมอลทิทอลไซรัปมากขึ้น แสดงว่าการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยมอลทิทอลไซรัป ทำให้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งลดลงเมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุม ($p < 0.05$) มอลทิทอลไซรัปร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 ทำให้ไอศกรีมมีการขึ้นฟูเพิ่มขึ้น ความแน่นแข็งของไอศกรีมต่ำลงตามลำดับ เนื่องจากปริมาณอากาศในไอศกรีมสูง ไอศกรีมด้านทานแรงกดต่ำ ทำให้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งต่ำ และมอลทิทอลไซรัป สามารถลดจุดเยือกแข็งของไอศกรีมมีกซ์ ทำให้ส่วนที่เป็นของเหลวที่ไม่แข็งตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้น ผลึกน้ำแข็งน้อยลง ไอศกรีมมีความนุ่มขึ้น และตักได้ง่าย



ภาพที่ 21 ผลของปริมาณมอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายต่ออัตราการละลายของไอศกรีม
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สารให้ความหวานมีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีม การทดแทนน้ำตาลทรายด้วยมอลทิทอลไซรัป ทำให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้นต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมที่ใช้น้ำตาลทรายอย่างเดียวย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การเติมมอลทิทอลไซรัปร้อยละ 10.0 ไอศกรีมละลายเร็วกว่าการใช้มอลทิทอลไซรัปร้อยละ 7.5 5.0 และ 2.5 ตามลำดับ สารให้ความหวานสามารถลดจุดเยือกแข็งของสารละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุล สารให้ความหวานที่มีความเข้มข้นมาก น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค่า freezing point depression สูง) ช่วยลดจุดเยือกแข็งของสารละลายต่ำกว่าสารให้ความหวานที่มีความเข้มข้นน้อยและน้ำหนักโมเลกุลสูง (ค่า freezing point depression ต่ำ) ส่งผลให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้น (Lindley, 2006) มอลทิทอลไซรัปมีค่า freezing point depression ใกล้เคียงกับน้ำตาลทราย ทำให้การละลายของไอศกรีมไม่ต่างกัน แต่เมื่อเติมมอลทิทอลไซรัปมากขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง จึงมีปริมาณน้ำในสูตรไอศกรีมมากขึ้น เกิดผลึกน้ำแข็งเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้น เนื่องจากค่าการนำความร้อนของน้ำแข็งสูงกว่าน้ำ ทำให้การส่งผ่านความร้อนของระบบเร็วขึ้น (Fennema, 1996) สอดคล้องกับการทดลองของอุษา (2541) ที่พบว่าการใช้กลูโคสไซรัปมีผลต่อการละลายของเชอร์เบท ปริมาณกลูโคสไซรัป ($DE = 29$) เพิ่มขึ้น การละลายของเชอร์เบทเร็วขึ้น ดังนั้นการเติมมอลทิทอลไซรัปเพิ่มขึ้น ทำให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุม ($p < 0.05$) การเลือกใช้สารให้ความหวานจึงควรคำนึงถึงชนิดและปริมาณที่เหมาะสม เพราะจุดเยือกแข็งที่ต่ำเกินไป ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ไม่แข็งตัวมาก (ผลึกน้ำแข็งลดลง) ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะนุ่มเกินไปและเกิด heat shock ง่าย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาหรือการขนส่ง (Smith and Bradley, 1983)

2. ผลของปริมาณสารให้ความหวานต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสดน้ำตาล

การใช้มอลทิทอลไซรัปทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนหรือทั้งหมด ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนืดของไอศกรีมมิکش ร้อยละการขึ้นฟู ความแน่นแข็งและการละลายของไอศกรีมเปลี่ยนไปจากไอศกรีมที่ใช้น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียว คุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนไปส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้เส้นตรงไม่มีสเกลบอกระดับความเข้มของคุณภาพ ยาว 15 เซนติเมตร โดยผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน (ตารางที่ 19) และให้คะแนนการยอมรับด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่ใส่มอลทิทอลไซรัปร่วมกับ น้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructured line scale*

ทริทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส						ความหวาน
	การรับรู้กลิ่นรส	ความเรียบเนียน	ความแน่นเนื้อ	การละลายในปาก	ความเหนียวหนืดในปาก	ความเคลือบมันในปาก	
Control	10.81 ^a	11.34 ^a	10.61 ^a	4.99 ^c	12.00 ^a	11.78 ^a	10.77 ^a
Maltitol 2.5%	9.94 ^{ab}	10.49 ^a	10.06 ^{ab}	5.21 ^c	9.17 ^b	10.32 ^b	8.35 ^b
Maltitol 5.0%	9.69 ^b	9.48 ^b	9.44 ^a	7.06 ^b	8.45 ^{bc}	9.50 ^c	7.15 ^c
Maltitol 7.5%	8.57 ^c	8.95 ^{bc}	8.64 ^c	8.73 ^a	8.18 ^c	8.37 ^d	6.37 ^c
Maltitol 10.0%	7.57 ^d	8.13 ^c	8.03 ^c	8.99 ^a	7.10 ^d	7.54 ^e	5.22 ^d

* 1 = ความเข้มข้นน้อย ถึง 15 = ความเข้มข้นมาก

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณมอลทิทอลไซรัปเพิ่มขึ้น ให้ความความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ลดลง เมื่อนำมาผ่านการตีอากาศในกระบวนการปั่นเยือกแข็ง ไอศกรีมขึ้นฟูเพิ่มขึ้น ความแน่นแข็งลดลง สอดคล้องกับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เมื่อเติมมอลทิทอลไซรัปมากขึ้น ไอศกรีมมีความเรียบเนียน ความเหนียวหนืดในปากและความเคลือบมันในปากลดลงต่ำกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม เป็นผลจากปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรไอศกรีมลดลง (ปริมาณน้ำมากขึ้น) ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ลดลง ผลึกน้ำแข็งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมคล้าย Donhowe *et al.* (1991) พบว่าเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบ ความแน่นแข็งของไอศกรีมสัมพันธ์กับร้อยละการขึ้นฟูในทิศทางตรงกันข้าม (Wilbey *et al.*, 1998) เมื่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการเก็บกักอากาศหรือร้อยละการขึ้นฟูเพิ่มขึ้น ทำให้ไอศกรีมมีความแน่นเนื้อลดลง และการละลายในปากเร็วขึ้น เนื่องจากความเรียบเนียนของไอศกรีมลดลง (ผลึกน้ำแข็งมากขึ้น) ทำให้การส่งผ่านความร้อนเกิดเร็วขึ้น

ไอศกรีมจึงละลายเร็วเมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุม การใช้มอลทิทอลไซรัปทดแทนน้ำตาลทราย ทำให้ความหวานของไอศกรีมลดลงต่ำกว่าไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แม้ว่ากำหนดให้ทุกทรีทเมนต์มีสารให้ความหวานร้อยละ 10 เท่ากัน เนื่องจากมอลทิทอลไซรัปมีค่าความหวานเท่ากับ 80 ส่วนน้ำตาลทรายมีความหวานเท่ากับ 100 ที่ความเข้มข้นเท่ากัน (Kearsley and Deis, 2006) Bordi *et al.* (2004) ศึกษาการใช้มอลทิทอลไซรัปในไอศกรีมวานิลลาปราศจากน้ำตาลต่อการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าไม่มีความแตกต่างด้านลักษณะปรากฏระหว่างไอศกรีมวานิลลาและไอศกรีมวานิลลาปราศจากน้ำตาล แต่ด้านรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ไอศกรีมปราศจากน้ำตาลมีลักษณะเนื้อสัมผัสด้อยลงและให้รสหวานน้อยกว่าแต่มีการคะแนนยอมรับสูงกว่าไอศกรีมวานิลลาซึ่งหวานมากเกินไป

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิที่ใช้มอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale*

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความรู้สึกในปาก	ความหวาน	ความชอบรวม
Control	7.6 ^a	7.7 ^a	7.5 ^a	7.7 ^a	7.7 ^a
Maltitol 2.5%	6.4 ^b	7.1 ^{ab}	7.0 ^{ab}	6.7 ^b	7.2 ^a
Maltitol 5.0%	6.4 ^b	6.4 ^b	6.3 ^{bc}	6.3 ^{bc}	6.2 ^b
Maltitol 7.5%	6.0 ^{bc}	5.5 ^c	5.9 ^c	5.5 ^c	5.7 ^b
Maltitol 10.0%	5.2 ^c	5.2 ^c	5.0 ^d	4.1 ^d	4.5 ^c

* 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉย, 9 = ชอบมากที่สุด

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การใช้มอลทิทอลโซลไซร้ทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนหรือทั้งหมด ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสด้อยลงเมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุมที่ใช้น้ำตาลทรายอย่างเดียว เนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง ส่งผลให้ความหนืดของไอศกรีมมีค่าต่ำลง ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่รวมกันกลายเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้น ไอศกรีมมีความเรียบเนียนน้อยลง ทำให้คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสลดลง ไอศกรีมที่ใช้มอลทิทอลโซลไซร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 มีความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเหนียวหนืดในปาก ความเคลือบมันในปากและความหวานลดลงตามลำดับ (ตารางที่ 19) เนื่องจากปริมาณสารให้ความหวานที่ใช้ร่วมกันระหว่างมอลทิทอลโซลไซร้เพิ่มขึ้นกับน้ำตาลทรายลดลง มอลทิทอลโซลไซร้ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก และความหวาน เพราะปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง Cook *et al.* (2002) ศึกษาผลของสารให้ความหวาน (น้ำตาลทราย) ต่อการรับรู้กลิ่นรสและการรับรสหวาน พบว่าความเหนียวหนืดในปากลดลง ทำให้การรับรู้กลิ่นรสและการรับรสหวานดีขึ้น เพราะน้ำตาลทราย ช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มความเหนียวหนืด เมื่อปริมาณน้ำตาลทรายน้อยลง ส่งผลให้ความเหนียวหนืดในปากลดลง แต่ไม่มีผลมากต่อการรับรู้กลิ่นรสและความหวาน จึงทำให้การรับรู้กลิ่นรสและการรับรสหวานดีขึ้น และการใช้สารให้ความหวานคนละชนิด จึงทำให้ผลการทดลองขัดแย้งกับการทดลองนี้ การใช้มอลทิทอลโซลไซร้ทดแทนน้ำตาลทรายทั้งหมดร้อยละ 10.0 ได้รับการยอมรับรวมต่ำ แต่ไม่มีความแตกต่างของการยอมรับด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปากและความหวานระหว่างไอศกรีมที่ใช้มอลทิทอลโซลไซร้อยละ 2.5 และ 5.0 โดยมอลทิทอลโซลไซร้อยละ 2.5 มีการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสและความรู้สึกในปากไม่ต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ส่วนการยอมรับด้านความหวานใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม (ตารางที่ 20) เนื่องจากสูตรนี้ใช้มอลทิทอลโซลไซร้อยละ 2.5 ร่วมกับน้ำตาลทรายน้อยละ 7.5 โดยน้ำตาลให้รสหวานแหลมมากกว่ามอลทิทอลโซลไซร้ ซึ่งมีผลต่อการรับรสหวาน ประกอบกับผู้ทดสอบอาจตัดสินจากความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อของไอศกรีม เมื่อละลายแล้วให้ความเหนียวหนืดและความเคลือบมันในปากสูง (ตารางที่ 19) ทำให้คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก ความหวานและความชอบรวมสูงใกล้เคียงกับไอศกรีมลดไขมันสูตรควบคุมที่ใช้น้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน ($p < 0.05$)

ดังนั้นการลดปริมาณไขมันแล้วทดแทนด้วยนมไขมันร้อยละ 2.0 (โดยน้ำหนัก) ไอศกรีมมีลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับใกล้เคียงกับไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมที่มีไขมันร้อยละ 8 ร่วมกับการเติมมอลทิทอลโซลไซร้อยละ 2.5 และน้ำตาลทรายน้อยละ 7.5 (โดยน้ำหนัก) ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับใกล้เคียงกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้น้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน ส่งผลให้ไอศกรีมกะทิมีพลังงานลดลง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การเติมครีโมเดน ร้อยละ 0.35 0.40 และ 0.45 ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์และความแน่นแข็งของไอศกรีมเพิ่มขึ้น การขึ้นฟูและการละลายของไอศกรีมลดลง
2. ครีโมเดนร้อยละ 0.35 ไอศกรีมมีความเรียบเนียน ความเหนียวหนืดในปาก ความเคลือบมันในปากต่ำ และไอศกรีมละลายเร็ว เมื่อเพิ่มปริมาณครีโมเดนเป็นร้อยละ 0.45 ไอศกรีมมีความเรียบเนียน ความเหนียวหนืดในปาก ความเคลือบมันในปากสูง และไอศกรีมละลายช้าลง ทำให้การยอมรับเพิ่มขึ้น ในขณะที่ครีโมเดนร้อยละ 0.40 และ 0.45 ไอศกรีมมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน คะแนนความชอบรวมของร้อยละ 0.40 สูงกว่าและใช้ปริมาณครีโมเดนน้อยกว่า จึงเลือกใช้ครีโมเดนร้อยละ 0.40 ผลิตไอศกรีมกะทิสูตรควบคุม
3. การเติมเมล็ดไลน์ทดแทนไขมันร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์และความแน่นแข็งของไอศกรีมเพิ่มขึ้น การขึ้นฟูและการละลายของไอศกรีมลดลง เช่นเดียวกับการใช้สตาร์ชข้าวเหนียวทดแทนไขมัน
4. การใช้เมล็ดไลน์ทดแทนไขมันร้อยละ 2.0 ไอศกรีมมีความเรียบเนียน ความเหนียวหนืดในปาก ความเคลือบมันในปากสูงและการละลายช้ากว่าการใช้สตาร์ชข้าวเหนียว ทำให้การยอมรับใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม
5. การใช้มอลทิทอลไซรัปร่วมกับน้ำตาลทราย มอลทิทอลไซรัปที่เพิ่มขึ้น ทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดและความแน่นแข็งของไอศกรีมลดลง การขึ้นฟูและการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้น้ำตาลเพียงอย่างเดียว
6. การใช้มอลทิทอลไซรัปร้อยละ 2.5 ร่วมกับน้ำตาลทรายร้อยละ 7.5 ทำให้ไอศกรีมมีพลังงานลดลง มีลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับใกล้เคียงกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้น้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน

7. สูตรไอศกรีมกะทิสดไขมันร่วมกับลดน้ำตาล ประกอบด้วย

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ไขมันกะทิ	1.0
สารทดแทนไขมัน (เรมีไลน์)	2.0
หางนมผง	10.0
มอลทิทอลไซรัป*	2.5
น้ำตาลทราย*	7.5
สารให้ความคงตัว (ครีโมเดน)	0.4
เกลือ	0.03

* สัดส่วนของมอลทิทอลไซรัปต่อน้ำตาลทราย เท่ากับ 1:3

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้สารทดแทนไขมันในไอศกรีม นอกจากสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต อาจใช้สารทดแทนไขมันประเภทอื่น ได้แก่ โปรตีนและไขมัน หรือใช้หลายประเภทรวมกันในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อปรับปรุงให้ไอศกรีมมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีขึ้น
2. การใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล อาจใช้มอลทิทอลไซรัปร่วมกับสารให้ความหวานชนิดอื่น เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสและเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภค
3. การผลิตไอศกรีมกะทิลดไขมันร่วมกับลดน้ำตาล กลุ่มเป้าหมาย คือ ผู้ที่รักสุขภาพ และคนวัยทำงาน หากผลิตเพื่อจำหน่าย ควรเพิ่มกลุ่มลูกค้าให้มากขึ้น เช่น วัยรุ่น อาจเติมเนื้อมะพร้าว ช่วยเพิ่มความมัน วุ้นมะพร้าว ข้าวโพด หรือขนุน ช่วยเพิ่มรสหวาน เพื่อเพิ่มทางเลือกการบริโภคไอศกรีม และเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภค

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนกพร ลีลาวิโรจน์สกุล. 2545. ผลของกะทิที่ผ่านความร้อนต่อคุณสมบัติของไอศกรีมกะทิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรพกา อรรถนิตย์. 2539. การผลิตน้ำกะทิลักษณะเปลี่ยนแปลงไขมันบางส่วนด้วยน้ำมันพืชบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแข็ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นันทินา เทียงธรรม. 2542. การใช้สารทดแทนไขมันแบบผสมในไอศกรีมกะทิไขมันต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมจิต สุรพัฒน์. 2544. ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุษา นาคจิรังกูร. 2541. ผลของสารคงตัวต่อไอศกรีมเชอร์เบตมิกซ์รสผลไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

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.

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

Arbuckle, W.S. 1986. **Ice Cream**. 4th ed. AVI Publishing Co. Inc., New York.

Baer, A. 1991. Sugar alcohols in the diabetic diet, pp.131-150. *In* N. Kretchmer and C.B. Hollenbeck, eds. **Sugar and Sweeteners**. CRC Press, London.

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

Bahnassey, Y.A. and W.M. Breene. 1994. Rapid visco-analyzer (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (*A. hypochondriacus* and *A. cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locus bean gums. **Starch**. 46:134-141.

Bao, J. and C.J. Bergman. 2004. The functionality of rice starch, pp. 258-294. *In* A.C. Eliasson, ed. **Starch in Food**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Bordi, P., D. Cranage, J. Stokols, T. Palchak and L. Powell. 2004. Effect of polyols versus sugar on the acceptability of ice cream among a student and adult population. **Food Res. Int.** 15: 41-50.

Budiaman, E.R. and O. Fennema. 1987. Linear rate of water crystallization as influenced by temperature of hydrocolloid suspensions. **J. Dairy Sci.** 70: 534-546.

Buyong, N. and O.R. Fennema. 1988. Amount and size of ice crystals in frozen samples as influenced by hydrocolloids. **J. Dairy Sci.** 71: 2630-2639.

Chaplin, M. 2004. Starch. **Water Structure and Science**. Available Source: <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>, December 30, 2006.

- Cook, D.J., T.A. Hollowood, R.S.T. Linforth and A.J. Taylor. 2002. Perception of taste intensity in solutions of random-coil polysaccharides. **Food Quality and Preference** 13: 473-480.
- Donhowe, D.P., R.W. Hartel and R.L. Bradley. 1991. Determination of ice crystal size distributions in frozen desserts. **J. Dairy Sci.** 74: 3334-3344.
- Dunkley, W.L. 1982. Reducing fat in milk and dairy products by processing. **J. Dairy Sci.** 65: 454-458.
- Embuscado, M.E. 2006. Polyols, pp. 153-174. In W.J. Spillane, ed. **Optimising Sweet Taste in Foods**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Fennema, O.R. 1996. **Food Chemistry**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Fitzgerald, M. 2004. Starch. In E.T. Champagne. **Rice: Chemistry and Technology**. 3rd ed. The American Association of Cereal Chemist, Inc., Minnesota.
- Flack, E. 1996. The role of emulsifiers in low-fat food products, pp. 213-234. In S. Roller and S.A. Jone., eds. **Handbook of Fat Replacers**. CRS Press, New York.
- Geeroms, J. 2000. Remyline AX-DR. **Remy Industries**. Available Source: <http://www.remylineindustries.com/remyline.html>, June 24, 2006.
- Goff, H.D. n.d. Structure of ice cream. **Dairy Science and Technology**. Available Source: <http://www.foodsci.uoguelph.ca/deicon/icstruc.html>, December 30, 2006.
- Goff, 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.

- Goff, R.D. 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.
- Groven, S. 1995. **Application of Emulsifiers and Hydrocolloids in Selected Dairy Products**. A Grindsted Technical Paper, Brabrand.
- Hagiwara, T. and R.W. Hartel. 1996. Effect of sweetener, stabilizer and storage temperature on ice recrystallization in ice cream. **J. Dairy Sci.** 79: 735-744.
- Hamaker, B.R. and V.K. Griffin. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chem.** 70: 377-380.
- Hermansson, A.M. 1995. The importance of biopolymers in structure engineering. *In* E. Dickinson and D. Lorlet. **Food Macromolecules and Colloids**. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Heume, M. and A. Rapaille. 1996. Versatility of maltitol in different forms as a sugar substitute, pp. 85-107. *In* T.H. Grenby, ed. **Advances in Sweeteners**. Chapman & Hall, Glasgow.
- James, G. 1996. Fats, oils and fat replacers. **Food Technol.** 50 (4): 78-83.
- Kailasapathy, K. and W. Songvanich. 1998. Effect of replacing fat in ice cream with fat mimetics. **Food Australia.** 50 (4): 169-173.
- Kaunitz, H. 1979. Nutritional properties of coconut oil: Its use in filled milk. **Phil. J. Coco. Stud.** 4 (3): 39-43.

- Kearsley, M.W. and R.C. Deis. 2006. Maltitol and maltitol syrups, pp. 223-248. *In* H. Mitchell, ed. **Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology**. Blackwell Publishing Ltd. Oxford.
- Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch, pp. 153-173. *In* R.L. Whister and E.F. Paschall, eds. **Starch Chemistry and Technology**. Academic Press, New York.
- Li, J.Y. and A.I. Yeh. 2001. Relation between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starch. **J. of Food Eng.** 50: 141-148.
- Lii, C.Y., M.L. Tsai and K.H. Tseng. 1995. Gelation mechanism and rheological properties for rice starch. **Cereal Chem.** 72 (1): 393-400.
- Lindley, M. 2006. Bulk sweet tasting compounds in food product development, pp. 375-387. *In* W.J. Spillane, ed. **Optimising Sweet Taste in Foods**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- 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.
- Martin, M. and M.A. Fitzgerald. 2002. Protein in rice grains influence cooking properties. **J. of Cereal Sci.** 36: 285-294.
- 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.

- Miller-Livney, T. and R.W. Hartel. 1997. Ice recrystallization in ice cream: Interaction between sweeteners and stabilizers. **J. Dairy Sci.** 80: 447-456.
- Mohamed, A.I., A.S. Hussein, S.J. Bhathena and Y.S. Hafez. 2002. The effect of dietary menhaden, olive, and coconut oil fed with three levels of vitamin E on plasma and liver lipids and plasma fatty acid composition in rats. **J. Nutr Biochem.** 13: 435-441.
- Moore, L.J. and C.F. Shoemaker. 1981. Sensory texture properties of stabilized ice cream. **J. Food Sci.** 46: 399-409.
- Morris, E.R. 1990. Industrial hydrocolloid, p. 449. *In* D.M. Bloor and E. Wyn-Jones, eds. **The Structure, Dynamics and Equilibrium Properties of Colloidal System.** Kluwer Academic Publishers, New York.
- Muhr, A.H. and J.M. Blanshard. 1986. Effect of polysaccharide stabilizers on the rate of growth of ice. **Food Technol.** 21 (6): 683-710.
- Muse, M.R. and R.W. Hartel. 2004. Ice cream structure elements that affect melting rate and hardness. **J. Dairy Sci.** 87: 7-10.
- Ohmes, R.L., R.T. Marshall and H. Heymann. 1998. Sensory and physical properties of ice creams containing milk fat or fat replacers. **J. Dairy Sci.** 81: 1222-1228.
- Olsen, S. 1993. Properties and analysis. **Encyclopaedia of Food Science Food Technology and Nutrition.** 4: 2461-2465.
- Salunkhe, D.K., J.K. Chavan, R.N. Adsule and S.S. Kadam. 1992. **World Oilseeds: Chemistry, Technology and Utilization.** Van Nostrand, New York.

- Sanders, E.R., D.B. Thompson and C.D. Boyer. 1990. Thermal behavior during gelatinization and amylopectin fine structure for selected maize genotype as expressed in four inbred lines. **Cereal Chem.** 67: 594-602.
- Schmidt, K. 1994. Effect of milk proteins and stabilized on ice milk quality. **J. Food Quality** 17 (1): 9-19.
- _____, K.A. and D.E. Smith. 1992. Rheological properties of gum and milk protein interactions. **J. Dairy Sci.** 75: 36-42.
- _____, K., A. Lundy, J. Reynolds and L.N. Yee. 1993. Carbohydrate or protein based fat mimicker effects on ice milk properties. **J. Food Sci.** 58: 761-763.
- 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.
- Walstra, P. and M. Jonkman. 1998. The role of milk fat and protein in ice cream, pp. 17-24. *In Ice Cream.* Proceedings of the International Symposium held in Athens, Greece, 18-19 September 1997.
- Waniska, R.D. and M.H. Gomez. 1992. Dispersion behavior of starch. **Food Technol.** 46 (2): 110-118.
- Wheeler, M.L., S.E. Fineberg, R. Gibson and N. Fineberg. 1990. Metabolic response to oral challenge of hydrogenated starch hydrolysate versus glucose in diabetes. **Diabetes Car.** 11: 733-740.

- Whistler, R.L. and J.N. Bemiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists.** The American Association of Cereal Chemist., Inc., Minnesota.
- 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.
- Wilbey, R.A., T. Cooke and G. Dimos. 1998. Effect of solute concentration, overrun and storage on the hardness of ice cream, pp. 186-187. *In* **Ice Cream.** Proceedings of the International Symposium held in Athens, Greece, 18-19 September 1997.
- Yackle, W.C. and C. Cox. 1992. Application of starch-based fat replacers. **Food Technol.** 46 (6): 146-148.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

คำจำกัดความลักษณะเนื้อสัมผัส (ดัดแปลงจาก Aime *et al.*, 2001; อุษา, 2541)

1. การรับรู้กลิ่นรสในปาก (Flavor intensity)

หมายถึง ความแรงของการรับรู้กลิ่นรสของไอศกรีมอยู่ในปาก; ค่ามาก หมายถึง การรับรู้กลิ่นรสมาก

2. ความเรียบเนียน (Smoothness)

หมายถึง ความเนียนหรือหยาบ เนื่องจากผลึกน้ำแข็งของไอศกรีมกระทบลิ้นหรือเพดานปาก ถ้าผลึกน้ำแข็งละเอียด แสดงว่าไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเนียน; ค่ามาก หมายถึง เนื้อไอศกรีมเนียนมาก

3. ความแน่นเนื้อ (Firmness)

หมายถึง แรงที่ต้องใช้ลิ้นกดไอศกรีมกับเพดานปาก หากใช้แรงมาก แสดงว่าไอศกรีมเนื้อแน่นมาก; ค่ามาก หมายถึง ไอศกรีมเนื้อแน่นมาก

4. การละลายในปาก (Meltdown)

หมายถึง ไอศกรีมละลายเป็นของเหลวจนหมดในปาก หากไอศกรีมละลายเป็นของเหลวเร็ว แสดงว่าไอศกรีมละลายในปากได้เร็ว; ค่ามาก หมายถึง ไอศกรีมละลายเร็ว

5. ความเหนียวหนืดในปาก (Gummy)

หมายถึง การรับรู้ถึงความเหนียวหลังจากไอศกรีมละลายในปาก; ค่ามาก หมายถึง ไอศกรีมให้ความรู้สึกเหนียวหนืดในปากมาก

6. ความเคลือบมันในปาก (Mouth coating)

หมายถึง ความรู้สึกมีไขมันเคลือบในปากขณะไอศกรีมละลายกลายเป็นของเหลวในปาก; ค่ามาก หมายถึง ไอศกรีมให้ความเคลือบมันในปากมาก

7. การรับรสหวาน (Sweetness)

หมายถึง การรับรู้รสหวานขณะไอศกรีมละลายในปาก; ค่ามาก หมายถึง ไอศกรีมมีรสหวานมาก

8. ความรู้สึกในปาก (Mouth feel)

หมายถึง การรับรู้ถึงความเหนียวหนืด เคลือบมัน และการละลายในปากขณะไอศกรีมละลายกลายเป็นของเหลว; ค่ามาก หมายถึง ไอศกรีมให้ความรู้สึกในปากดี

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Unstructured line scale

ชื่อผู้ทดสอบ:

วันที่:

จุดประสงค์: เพื่อทราบระดับความเข้มของคุณภาพของไอศกรีมกะทิ

คำแนะนำ: กรุณาชิมตัวอย่างไอศกรีมกะทิแล้วทำเครื่องหมายขีด (|) พร้อมทั้งเขียนรหัสของตัวอย่างกำกับ

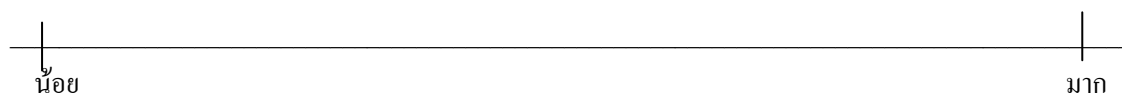
1. การรับรู้กลิ่นรสในปาก (Flavor intensity)



2. ความเรียบเนียน (Smoothness)



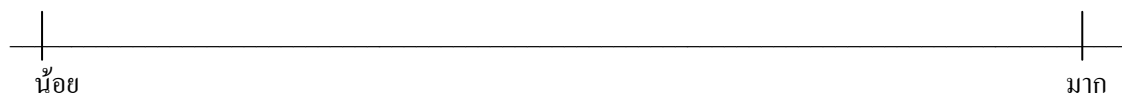
3. ความแน่นเนื้อ (Firmness)



4. การละลายในปาก (Meltdown)



5. ความเหนียวหนืดในปาก (Gummy)



6. ความเคลือบมันในปาก (Mouth coating)



7. การรับรสหวาน (Sweetness)



แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic scale

ชื่อผู้ทดสอบ:

วันที่:

ชื่อผลิตภัณฑ์: ไอศกรีมกะทิ

คำแนะนำ: กรุณาชิมตัวอย่างแต่ละรหัสแล้วให้คะแนนตามลักษณะต่างๆ ที่ตรงกับความรู้สึกโดยให้คะแนนตามระดับความชอบดังนี้

ระดับความชอบ	ระดับคะแนน	ระดับความชอบ	ระดับคะแนน
ชอบมากที่สุด	9	ไม่ชอบเล็กน้อย	4
ชอบมาก	8	ไม่ชอบปานกลาง	3
ชอบปานกลาง	7	ไม่ชอบมาก	2
ชอบเล็กน้อย	6	ไม่ชอบมากที่สุด	1
เฉย	5		

รหัสตัวอย่าง

คุณภาพของไอศกรีม

1. การรับรู้กลิ่นรส

2. ลักษณะเนื้อสัมผัส

3. ความรู้สึกในปาก

4. ความหวาน

5. ความชอบรวม

ข้อเสนอแนะ..... ..

..... ..

..... ..

ภาคผนวก ข

เครื่องปั้นไอสกริมและเครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอสกริม



ภาพผนวกที่ ข1 เครื่องปั่นไอศกรีม



ภาพผนวกที่ ข2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอศกรีม

ภาคผนวก ค

องค์ประกอบของสารทดแทนไขมัน

ตารางผนวกที่ ค1 องค์ประกอบของเรมีไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียว

องค์ประกอบ (ร้อยละ)	สารทดแทนไขมัน	
	เรมีไลน์	สตาร์ชข้าวเหนียว
สตาร์ช	97.0 (min)	80.0 (min)
โปรตีน (Nx6.25)	0.5 (max)	1.5 (max)
ไขมัน	0.1 (max)	1.0 (max)

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ๑1 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณกรีมเดนต่อพีเอชของไอศกรีมกะทิ
ควบคุม

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	2	1.11	5.56	1.00 ^{ns}
Error	14	5.56	5.56	
Total	18	779.467		

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑2 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณกรีมเดนต่อความหนืดของไอศกรีมกะทิ
สูตรควบคุม

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	2	17710.583	8855.292	64402.121*
Error	20	2.750	0.138	
Total	24	293346.000		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑3 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณกรีมเดนต่อร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีม
กะทิสูตรควบคุม

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	2	415.722	207.861	489.143*
Error	26	11.049	0.425	
Total	30	92970.874		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๔ การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณกรีโมแคนต่อความแน่นแข็งของไอศกรีม
กะทิสูตรควบคุม

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	2	27062.262	13531.131	2448.005*
Error	26	143.713	5.527	
Total	30	181737.000		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๕ การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณกรีโมแคนต่ออัตราการละลายของไอศกรีม
กะทิสูตรควบคุม

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	2	1.048	0.524	278.232*
Error	20	0.038	0.002	
Total	24	20.853		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๖ การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณครีโมเดนต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructured line scale

Sensory Attributes	Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
การรับรู้กลิ่นรส	Treatment	2	8.787	4.394	0.799 ^{ns}
	Rep	9	67.294	7.477	1.360 ^{ns}
	Error	18	98.961	5.498	
	Total	30	3076.466		
ความเรียบเนียน	Treatment	2	58.038	29.019	28.893*
	Rep	9	128.943	14.327	14.265*
	Error	18	18.079	1.004	
	Total	30	3001.824		
ความแน่นเนื้อ	Treatment	2	78.009	39.004	35.062*
	Rep	9	99.946	11.105	9.983*
	Error	18	20.024	1.112	
	Total	30	3086.043		
การละลายในปาก	Treatment	2	94.463	47.232	17.037*
	Rep	9	61.307	6.812	2.457 ^{ns}
	Error	18	49.903	2.772	
	Total	30	2864.186		
ความเหนียวหนืดในปาก	Treatment	2	62.223	31.111	14.342*
	Rep	9	35.483	3.943	1.817 ^{ns}
	Error	18	39.048	2.169	
	Total	30	2278.997		
ความเคลือบมันในปาก	Treatment	2	24.252	12.126	6.682*
	Rep	9	39.071	4.341	2.392 ^{ns}
	Error	18	32.665	1.815	
	Total	30	3191.739		

* แสดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่แสดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณครีโมเดนต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสูตรควบคุมโดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale

Sensory Acceptability	Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
กลิ่นรส	Treatment	2	2.467	1.233	3.222*
	Rep	29	24.933	0.860	2.246*
	Error	58	22.200	0.383	
	Total	90	4544.000		
เนื้อสัมผัส	Treatment	2	61.267	30.633	78.155*
	Rep	29	9.600	0.331	0.845 ^{ns}
	Error	58	22.733	0.392	
	Total	90	4420.000		
ความรู้สึกลิ้นในปาก	Treatment	2	36.156	18.078	33.630*
	Rep	29	19.389	0.669	1.244 ^{ns}
	Error	58	31.178	0.538	
	Total	90	4567.000		
ความชอบรวม	Treatment	2	54.289	27.144	85.667*
	Rep	29	11.289	0.389	1.229 ^{ns}
	Error	58	18.378	0.317	
	Total	90	4466.000		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๘ การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณแร่มีไลนและสตาร์ชข้าวเหนียวต่อพีเอชของไอศกรีมกะทิลดไขมัน

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	8	0.001	8.38	3.187 ^{ns}
Error	44	0.001	2.63	
Total	54	2382.504		

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๙ การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณแร่มีไลนและสตาร์ชข้าวเหนียวต่อความหนืดของไอศกรีมกะทิลดไขมัน

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	8	702076.625	87759.579	119481.4*
Error	62	45.924	0.741	
Total	72	2837863.250		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑๐ การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณแร่มีไลนและสตาร์ชข้าวเหนียวต่อร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมกะทิลดไขมัน

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	8	11155.652	1394.457	397.353*
Error	80	280.749	3.509	
Total	90	367997.801		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเริ่มไถนและสตาร์ชข้าวเหนียวต่อความ
แน่นแข็งของไอศกรีมกะทิลดไขมัน

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	8	737572.172	92196.521	1871.416*
Error	80	3941.252	49.266	
Total	90	2656147.087		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 12 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเริ่มไถนและสตาร์ชข้าวเหนียวต่ออัตรา
การละลายของไอศกรีมกะทิลดไขมัน

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	8	0.939	0.117	221.026*
Error	62	0.033	0.001	
Total	72	65.138		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 13 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเริ่มไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อคุณภาพ
ทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสดไขมัน โดยใช้แบบทดสอบ
15-cm Unstructured line scale

Sensory Attributes	Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
การรับรู้กลิ่นรส	Treatment	8	231.508	28.938	24.613*
	Rep	9	49.652	5.517	4.692*
	Error	72	84.652	1.176	
	Total	90	7763.868		
ความเรียบเนียน	Treatment	8	129.132	16.141	5.960*
	Rep	9	118.588	13.176	4.865*
	Error	72	194.995	2.708	
	Total	90	9492.784		
ความแน่นเนื้อ	Treatment	8	123.938	15.492	8.080*
	Rep	9	128.230	14.248	7.431*
	Error	72	138.042	1.917	
	Total	90	9516.046		
การละลายใน ปาก	Treatment	8	146.981	18.373	27.106*
	Rep	9	48.240	5.360	7.908*
	Error	72	48.802	0.678	
	Total	90	3826.841		
ความเหนียว หนืดในปาก	Treatment	8	201.790	25.224	15.406*
	Rep	9	49.799	5.533	3.380*
	Error	72	117.883	1.637	
	Total	90	9244.906		
ความเคลือบมัน ในปาก	Treatment	8	209.732	26.217	33.094*
	Rep	9	27.425	3.047	3.847*
	Error	72	57.038	0.792	
	Total	90	8697.101		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 14 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณเริ่มไลน์และสตาร์ชข้าวเหนียวต่อ
คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิลดไขมัน โดยใช้แบบทดสอบ
Hedonic scale

Sensory Acceptability	Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
กลิ่นรส	Treatment	8	240.067	30.008	48.821*
	Rep	29	39.200	1.352	2.199*
	Error	232	142.600	0.615	
	Total	270	12342.000		
เนื้อสัมผัส	Treatment	8	238.467	29.808	68.571*
	Rep	29	38.033	1.311	3.017*
	Error	232	100.867	0.435	
	Total	270	12903.000		
ความรู้สึกลิ้นปาก	Treatment	8	241.067	30.133	64.571*
	Rep	29	33.633	1.160	2.485*
	Error	232	108.267	0.467	
	Total	270	12423.000		
ความชอบรวม	Treatment	8	261.600	27.075	68.227*
	Rep	29	21.633	0.746	1.830*
	Error	232	92.067	0.397	
	Total	270	12693.000		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 15 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อพีเอชของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	4	0.000	0.00	16.435 ^{ns}
Error	24	0.000	6.39	
Total	30	1321.626		

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 16 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อความหนืดของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	4	261769.250	65442.313	295195.8*
Error	34	7.538	0.222	
Total	40	3809468.250		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 17 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	4	2594.307	648.577	3611.891*
Error	44	7.901	0.180	
Total	50	196481.114		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อความแน่นแข็งของ
ไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	4	159180.369	39795.092	6997.170*
Error	44	250.242	5.687	
Total	50	1650041.090		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 19 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่ออัตราการละลายของ
ไอศกรีมกะทิลดน้ำตาล

Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
Treatment	4	3.100	0.775	28955.670*
Error	34	0.001	2.680	
Total	40	65.951		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 20 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลไซร้ต่อคุณภาพทาง
ประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิสดน้ำตาลโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm

Unstructured line scale

Sensory Attributes	Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
การรับรู้กลิ่นรส	Treatment	4	63.653	15.913	17.054*
	Rep	9	22.649	2.517	2.697*
	Error	36	33.590	0.933	
	Total	50	4459.660		
ความเรียบเนียน	Treatment	4	63.928	15.982	16.062*
	Rep	9	92.864	10.318	10.370*
	Error	36	35.821	0.995	
	Total	50	4874.248		
ความแน่นเนื้อ	Treatment	4	43.612	10.903	15.423*
	Rep	9	10.806	1.201	1.698 ^{ns}
	Error	36	25.450	0.707	
	Total	50	4455.669		
การละลายใน ปาก	Treatment	4	142.168	35.542	288.114*
	Rep	9	1.110	0.123	1.000 ^{ns}
	Error	36	4.410	0.123	
	Total	50	2594.360		
ความเหนียว หนืดในปาก	Treatment	4	136.012	34.003	53.740*
	Rep	9	77.990	8.666	13.696*
	Error	36	22.778	0.633	
	Total	50	4268.800		
ความเคลือบมัน ในปาก	Treatment	4	109.958	27.490	67.529*
	Rep	9	31.292	3.477	8.541*
	Error	36	14.655	0.407	
	Total	50	4668.216		

ตารางผนวกที่ 20 (ต่อ)

Sensory Attributes	Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
ความหวาน	Treatment	4	179.916	44.979	59.199*
	Rep	9	11.883	1.320	1.738 ^{ns}
	Error	36	27.352	0.760	
	Total	50	3085.457		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 21 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณมอลทิทอลโซร็ปต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมกะทิลดน้ำตาลโดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale

Sensory Acceptability	Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
กลิ่นรส	Treatment	4	90.240	22.560	48.679*
	Rep	29	62.640	2.160	4.661*
	Error	116	53.760	0.463	
	Total	150	6198.000		
เนื้อสัมผัส	Treatment	4	132.840	33.210	54.137*
	Rep	29	107.340	3.701	6.030*
	Error	116	71.160	0.613	
	Total	150	6417.000		
ความรู้สึกลงปาก	Treatment	4	113.160	28.290	39.235*
	Rep	29	70.860	2.443	3.389*
	Error	116	83.640	0.721	
	Total	150	6297.000		

ตารางผนวกที่ ง21 (ต่อ)

Sensory Acceptability	Source	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value
ความหวาน	Treatment	4	219.360	54.84	63.716*
	Rep	29	49.260	1.699	1.974*
	Error	116	99.840	0.861	
	Total	150	5877.000		
ความชอบรวม	Treatment	4	191.160	47.790	101.088*
	Rep	29	64.860	2.237	4.731*
	Error	116	54.840	0.473	
	Total	150	6189.000		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นางสาวศิวพร พุดตาล

วัน เดือน ปี ที่เกิด

20 มิถุนายน 2526

สถานที่เกิด

ชลบุรี

ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2547 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจาก
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง