วิทยานิพนธ์

ผลของผลิตภัณฑ์จากข้าวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม

Effect of Rice Products on Physical Properties of Ice Cream

นางสาวนรัมภา วรนันตกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร — **สาขา**

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร — **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของผลิตภัณฑ์จากข้าวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม

Effect of Rice Products on Physical Properties of Ice Cream

นามผู้วิจัย นางสาวนรัมภา วรนันตกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมจิต สุรพัฒน์, Ph.D.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปาริฉัตร หงสประภาส, Ph.D.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์งามผ่อง คงคาทิพย์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบูลย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... **เดือน**..... **พ.ศ.**.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของผลิตภัณฑ์จากข้าวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม

Effect of Rice Products on Physical Properties of Ice Cream

โดย

นางสาวนรัมภา วรนันตกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)
พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2683-5

นรัมภา วรนันตกุล 2549: ผลของผลิตภัณฑ์จากข้าวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมจิต สุรพัฒน์, Ph.D. 81 หน้า
ISBN 974-16-2683-5

การนำผลิตภัณฑ์จากข้าวทดแทนผลิตภัณฑ์จากนมในไอศกรีม มีผลช่วยลดต้นทุนการผลิตไอศกรีม รวมทั้งเป็นแนวทางเพิ่มมูลค่าข้าว เมื่อนำแป้งข้าวเจ้ามาทดแทนหางนมผงร้อยละ 20 40 และ 60 พบว่า ไอศกรีมมีสมบัติทางกายภาพต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) มีผลต่อการเพิ่มความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เป็น 154, 174 และ 194 เซนติพอยซ์ ตามลำดับ ความแน่นแข็งของไอศกรีมเพิ่มเป็น 63, 119 และ 150 นิวตัน ตามลำดับ และการขึ้นฟูของไอศกรีมลดลงเป็นร้อยละ 43, 36 และ 35 ตามลำดับ ไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 40 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุด เมื่อแปรปริมาณและชนิดสารคงตัว คาราจีแนนให้ความหนืดไอศกรีมมิกซ์และความแน่นแข็งของไอศกรีมสูงสุด รองลงมาคือกัวร์กัมและคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส ตามลำดับ การใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.1 และ 0.2 เป็นสารคงตัว ได้ไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้าที่มีความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ 64 เซนติพอยซ์ และความแน่นแข็งของไอศกรีม 19 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ส่วนไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 20 40 และ60 สมบัติทางกายภาพของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกับไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้น เป็น 218, 399 และ 1181 เซนติพอยซ์ ตามลำดับ ค่าความแน่นแข็งสูงขึ้น เป็น 22, 41 และ 166 นิวตัน ตามลำดับ และการขึ้นฟูลดลงเป็นร้อยละ 45, 48 และ 40 ตามลำดับ ส่วนผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงปริมาณต่างกัน ความชอบรวมไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และเมื่อแปรปริมาณและชนิดของสารคงตัว สมบัติทางกายภาพของไอศกรีมยังคงต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกัวร์กัมให้ความหนืดต่ำกว่าคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสและการใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.1 ได้ไอศกรีมจากนมข้าวผงที่มีคะแนนความชอบรวมสูงสุด

/ /

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Narumpa Voranantakul 2006: Effect of Rice Products on Physical Properties of Ice Cream. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Somjit Surapat, Ph.D. 81 pages.
ISBN 974-16-2683-5

Dairy ingredients in ice cream could be substituted by rice products in order to reduce the capital cost and value added to rice. When skim milk powder (SMP) in ice cream mix was substituted at 20, 40 and 60%(w/w) with rice flour, it's physical properties were significantly different from control ($p<0.05$). Results showed that higher viscosity of ice cream mixes (154,174 and 194 cP), higher hardness of ice creams (63, 119 and 150 N), and lower overrun (43, 36 and 35%) than control (50 cP, 12 N and 64%), respectively. Ice cream with 40%(w/w) rice flour substituted was the most acceptable. The study of stabilizers revealed that carrageenan gave the highest viscous mix and hardness of ice cream. Guar gum (GG) and carboxymethyl cellulose (CMC) gave lower properties. Using 0.1 and 0.2%(w/w) CMC, viscosity of rice flour ice cream was 64 cP, hardness of ice cream was 19 N and both were not significantly different from the control ($p\geq0.05$). SMP was substituted by rice milk powder at 20, 40 and 60%(w/w). The physical properties of ice cream changed in similar pattern of rice flour ice cream, i.e. higher viscosity (218, 399 and 1181 cP), higher hardness (22, 41 and 166 N) and lower overrun (45,48 and 40%). Sensory evaluation of rice milk ice cream showed that overall acceptance did not show any significant difference ($p\geq0.05$). When different stabilizers used, their physical properties were significantly different from the control ($p<0.05$), i.e. viscosity from GG was lower than CMC and 0.1%(w/w) GG was the most overall acceptance.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สมจิต สุรพัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางดำเนินการวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้อง ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ปาริฉัตร หงสประภาส กรรมการสาขาวิชาเอก รองศาสตราจารย์งามผ่อง คงคาทิพย์ กรรมการสาขาวิชารอง และ อ.สุพร ลีจีรจำเนียร ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์และถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนวิจัย เพื่อสนับสนุนงานวิจัย คุณมโนรม น้อยใจรักษ์ สำหรับคำแนะและการดูแลการปลูกข้าวปลอดสารพิษ บริษัทเบอรี่ ยุกเกอร์ที่อนุเคราะห์คาราจีแนน กัวร์กัมและอิมัลซิไฟเออร์ และบริษัทเฮล์มหาบุญ จำกัด ที่อนุเคราะห์คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสในงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่าน ที่กรุณาให้ความรู้และอบรมสั่งสอนระหว่างการศึกษา เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อนร่วมสถาบันที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจที่ดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัววรนันตกุล ที่ให้คำปรึกษา การสนับสนุน และกำลังใจที่ดีที่สุดมาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นรัมภา วรนันตกุล

กันยายน 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
ข้าว	4
ผลิตภัณฑ์จากผลพลอยได้ของข้าว	9
ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม	10
ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเทียม (Non-Dairy Ice Cream)	24
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	32
สถานที่ทำการทดลอง	34
ผลและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	58
สรุป	58
ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	60
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก	69
ภาคผนวก ข	72
ภาคผนวก ค	75
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	81

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบและคุณค่าอาหารหลักของนมแม่ นมวัว และนมถั่วเหลือง……..	26
2	ร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของนมข้าวผงและแป้งข้าวเจ้า.....	35
3	สูตรไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้า.....	37
4	ค่าสีของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ปริมาณต่างกัน.....	38
5	ลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าปริมาณต่างกัน.....	39
6	ผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าในปริมาณต่างกัน.....	41
7	สูตรไอศกรีมแป้งข้าวเจ้าแปรชนิดและปริมาณกัม.....	43
8	ผลทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 40 แปรชนิดและปริมาณสารคงตัว.....	44
9	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสบอกระดับเนื้อสัมผัสของไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้า……	46
10	ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมแป้งข้าวเจ้า.....	47
11	สูตรไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผง.....	47
12	ค่าสีของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงที่ปริมาณต่างกัน.....	48
13	ลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงที่ปริมาณต่างกัน.....	49
14	ผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงในปริมาณต่างกัน.....	51
15	สูตรไอศกรีมนมข้าวผงแปรชนิดและปริมาณกัม.....	52
16	ผลทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 60 แปรชนิดและปริมาณกัม.....	53
17	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสบอกระดับเนื้อสัมผัสของไอศกรีมนมข้าวผง	55
18	ผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมข้าวผง แปรชนิดและปริมาณกัมต่างกัน	55
19	องค์ประกอบทางเคมีของไอศกรีม.....	56

สารบัญตาราง

ตารางผนวกที่		หน้า
ค1	การปลูก ดูแลและการเจริญเติบโตของต้นข้าว	76

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1	ผังแสดงการเจริญเติบโตของต้นข้าว……..	5
2	โครงสร้างของอะไมโลส.....	6
3	โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....	7
4	โครงสร้างของคาราจีแนน…….....	14
5	คาราจีแนนเกิดปฏิกิริยากับโปรตีน.....	14
6	โครงสร้างกัวร์กัม.....	15
7	โครงสร้างคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส.....	16
8	เม็ดไขมัน (สีเหลือง) มีผลึกไขมันเล็กน้อย (เส้นสีอ่อนภายในเม็ดไขมัน) และโปรตีนเป็นทรงกลมสีดำ ส่องโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดลำแสงส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope)……..	19
9	เม็ดไขมันขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (สีเหลือง) มีผลึกไขมันสมบูรณ์ในเม็ดไขมัน (เส้นสีอ่อนภายในเม็ดไขมัน) ส่องโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดลำแสงส่องผ่าน.....	20
10	โครงสร้างไอศกรีม.....	20
11	ขยายภาพหยดไขมันในโครงสร้างไอศกรีม.....	21
12	โครงสร้างไขมันในไอศกรีม.....	22
13	ผลิตภัณฑ์จากข้าว.....	36
14	อัตราการละลายของไอศกรีมแป้งข้าวเจ้า (กรัม/นาที).....	40
15	อัตราการละลายของไอศกรีมนมข้าวผง (กรัม/นาที).....	50

ภาพผนวกที่

ก1	การเจริญเติบโตของต้นข้าว	79

ผลของผลิตภัณฑ์จากข้าวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม

Effect of Rice Products on Physical Properties of Ice Cream

คำนำ

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผู้นิยมบริโภคเป็นจำนวนมากตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน นอกจากบริโภคเพื่อเป็นของหวานรับประทานให้รู้สึกสดชื่นแล้ว ไอศกรีมยังให้คุณค่าทางอาหารสูง องค์ประกอบในไอศกรีมแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ ไขมันนม นมสด นมผง และหางนมผง และ (2) กลุ่มที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ สารให้ความหวาน สารคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารปรุงแต่งกลิ่นรสและสี กลุ่มของผลิตภัณฑ์นม มีข้อจำกัดคือมีราคาแพง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ไอศกรีมมีราคาแพง ให้โคเลสเตอรอลสูงจึงไม่เหมาะกับผู้ที่ดูแลสุขภาพ และผู้บริโภคบางส่วนที่มีอาการแพ้นม (Lactose Intolerance) ทำให้ไม่สามารถบริโภคไอศกรีมที่มีส่วนผสมของนมและผลิตภัณฑ์จากนมได้

ข้าวเป็นหนึ่งในผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญและเป็นอาหารหลักของประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยมีคู่แข่งการส่งออกสินค้าข้าว จึงจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวให้มีคุณภาพสูงกว่าสินค้าจากประเทศคู่แข่ง การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวเป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าข้าว นอกจากนี้ข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น วิตามินบี1 วิตามินบี2 และวิตามินอี ช่วยบำรุงร่างกาย สายตา ป้องกันโรคเหน็บชาและเสริมสร้างกระดูกให้แข็งแรง ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวเจ้าหอมที่นิยมนำมาหุงต้มใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณร้อยละ 15-19 ข้าวสุกมีความนุ่มเหนียวเหมือนกัน และมีความหอม แต่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปัญหาคือ คุณภาพการสีต่ำ และเก็บได้ไม่นาน เพราะจะมีปริมาณข้าวเมล็ดเหลืองเกิดขึ้นเร็วในเวลาไม่นานหลังเก็บเกี่ยว (จารุวรรณ, ม.ป.ป.) ดังนั้นการนำเมล็ดข้าวมาแปรรูปเป็นแป้งข้าว หรือเก็บเกี่ยวขณะที่ข้าวเจริญในระยะน้ำนมเพื่อนำมารีดเป็นน้ำนมข้าว จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการนำข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 มาใช้ประโยชน์มากขึ้น

ในปัจจุบันการผลิตไอศกรีมมีการใช้ไขมันพืชแทนไขมันนมอย่างแพร่หลาย แต่การนำผลิตภัณฑ์จากพืชมาทดแทนเนื้อนมไม่รวมมันเนยยังมีไม่มาก ดังนั้นการใช้ข้าวมาเป็นวัตถุดิบแทนผลิตภัณฑ์นมในการผลิตไอศกรีม จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าแก่ข้าว การนำแป้งข้าวเจ้า

หอมมาใช้ประโยชน์ ลดต้นทุนการผลิตไอศกรีม และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ไอศกรีม รวมทั้งเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาไอศกรีมที่ปราศจากผลิตภัณฑ์นมเป็นองค์ประกอบต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมข้าว

2. ศึกษาหาสารคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อไอศกรีมข้าว

3. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมข้าว

การตรวจเอกสาร

ข้าว

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย เป็นอาหารหลักและสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศ ประมาณร้อยละ 40 ของผลผลิตข้าวในประเทศอยู่ในรูปข้าวสาร ส่วนที่เหลือถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แป้งข้าว และอาหารเส้น

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

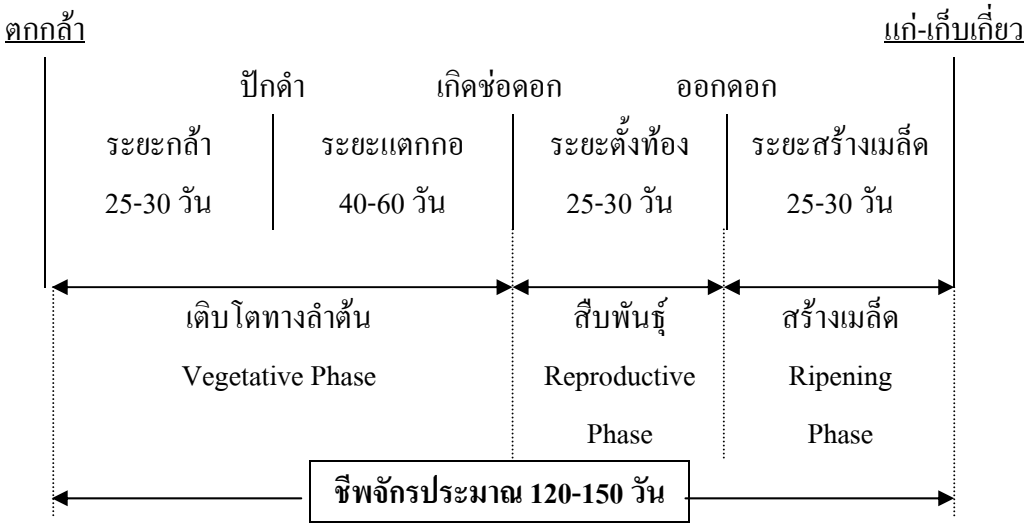
เป็นข้าวเจ้าหอม คุณภาพคล้ายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ทั้งฤดูนาปีและนาปรัง เป็นข้าวหอมมะลิมีลักษณะ ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวมีขน ใบแก่ช้า กาบในและปล้องสีเขียว ใบธงยาว ตั้งตรงปานกลาง คอรวงสั้น รวงอยู่ใต้ใบธง เปลือกเมล็ดสีฟางมีขน มีหาง (เอกสงวน, ม.ป.ป.)

อายุการเก็บเกี่ยว

ระยะน้ำนม		100 วัน
ระยะเมล็ดแก่	นาดำ	113-126 วัน
	นาหว่านน้ำตม	104-114 วัน
ระยะพักตัวของเมล็ด		ประมาณ 3-4 สัปดาห์
เมล็ดข้าวกล้อง		ยาว 7.6 มม.
ผลผลิตเฉลี่ย		650-774 กก./ไร่
ลักษณะพันธุ์		ไม่ไวต่อแสง
คุณภาพข้าวสุก		นุ่มเหนียวมีกลิ่นหอม
เปอร์เซ็นต์แป้งอะไมโลส		16-18

<u>การเจริญเติบโตของต้นข้าว (Plant Growth)</u>

เริ่มจากต้นข้าวงอกจากเมล็ด แตกกอ สร้างดอกอ่อน ตั้งท้อง ออกดอก และผสมพันธุ์ หลังจากผสมพันธุ์แล้ว สร้างเมล็ดเป็นน้ำนม (หลังวันออกดอก 8-13 วัน) โดยช่วงแรกเป็นน้ำเหลวก่อน ต่อมาจึงเจริญเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำนมที่เหนียวข้น และเป็นเนื้อเมล็ดอย่างอ่อน แล้วเปลี่ยนแปลงเป็นแป้ง พร้อมระเหยน้ำออกจนเป็นเมล็ดอย่างแข็ง (ประมาณวันที่ 14-25 หลังวันออกดอก) และเจริญเป็นเมล็ดแก่ซึ่งมีเนื้อเมล็ดแข็ง ใส และไม่มีสีเขียวอ่อนปรากฏบนผิวต่อไป (ภาพที่ 1) (จำรัส, 2534)



<u>ภาพที่ 1</u> ผังการแสดงการเจริญเติบโตของต้นข้าว
ที่มา : อรอนงค์ (2547)

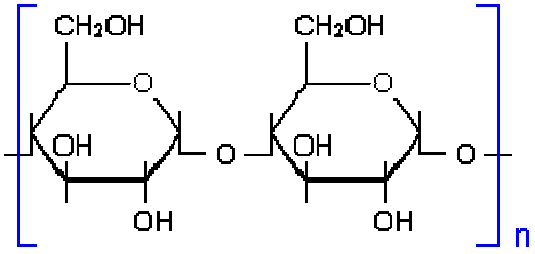
องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร องค์ประกอบในข้าว (อรอนงค์, 2547) ได้แก่

1. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต พบมากที่สุดในเนื้อเมล็ดข้าว (ประมาณร้อยละ 90) คือสตาร์ช โมเลกุลของ สตาร์ชรวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ชมีขนาด 3-5 ไมครอน ประกอบด้วยโพลิเมอร์ของกลูโคส 2 ลักษณะ คือ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน ซึ่งจัดเรียงตัวแน่นจนเป็นเม็ดสตาร์ช การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชหรือเม็ดสตาร์ชในเมล็ดข้าวหรือแป้งข้าว เกิดขึ้นเมื่อมีน้ำและความร้อนทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการพองตัวอุ้มน้ำเข้าไป และเกิดโครงสร้างเจล (Fitzgerald, 2004)

อะไมโลส เป็นโพลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 (ภาพที่ 2) อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ในธรรมชาติมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก โดยแป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นมีแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง

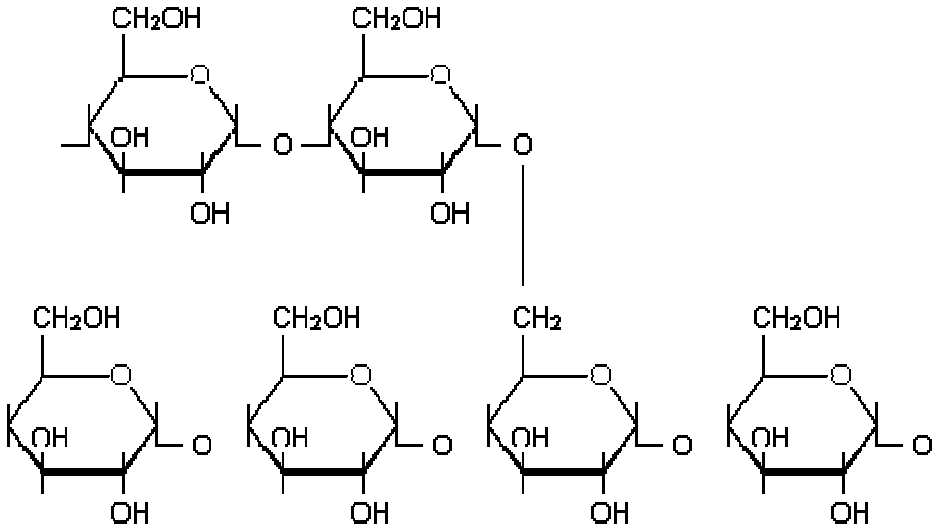


ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: Anonymous (2001)

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน อะไมโลสพันเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ ทำให้สารประกอบเหล่านี้ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส

อะไมโลเพคติน เป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิดแอลฟา-1,4 ส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก แอลฟา-1,6 (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา: Anonymous (2001)

2. โปรตีน

ปริมาณโปรตีนขึ้นกับสายพันธุ์ข้าว การคำนวณปริมาณโปรตีนข้าวใช้แฟคเตอร์ 5.95 คูณร้อยละไนโตรเจน โปรตีนที่พบมีประมาณร้อยละ 6.8-8.5 และพบว่ามีโปรตีนที่ละลายในน้ำหรือแอลบิวมิน (albumin) ประมาณร้อยละ 3.8-8.8 ของโปรตีนทั้งหมด โปรตีนที่ละลายในเกลือหรือโกลบิวลิน (globulin) ประมาณร้อยละ 9.6-10 ของโปรตีนทั้งหมด โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์ 70% หรือโพรลามิน (prolamin) เป็นโปรตีนหลักมีประมาณร้อยละ 66.1-78.0 ของโปรตีนทั้งหมด (Cagampang *et al*.,1996)

โมเลกุลที่รวมตัวกันเป็นโปรตีนมีกลูเทลิน (glutelin) เป็นองค์ประกอบหลักภายในมี 3 รูปแบบ คือ แบบผลึก แบบรูปร่างกลมขนาดเล็ก และรูปร่างกลมขนาดใหญ่ โปรตีนที่กระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเมล็ดจะเป็นโปรตีนรูปร่างกลมขนาดเล็ก ส่วนโปรตีนรูปร่างกลมขนาดใหญ่มีปริมาณ

น้อยกว่า และมีมากในส่วนใจกลางเมล็ดเท่านั้น โดยองค์ประกอบของโปรตีนเป็นโพรลามินร่วมกับกลูเทลิน สำหรับร่างแหโปรตีนพบน้อยมาก ถ้าพบจะมีลักษณะเชื่อมโยงเป็นเส้นใยระหว่างโปรตีนกับเม็ดสตาร์ชซึ่งอาจมีผลต่อการเกิดเจลาติไนซ์ของเม็ดสตาร์ช ทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชไม่เสียรูปร่างได้ง่าย และทำให้โมเลกุลของอะไมโลสไม่ซึมผ่านออกไป มีผลต่อลักษณะความอ่อนหรือแข็งของเจลเมื่อเย็นลง (อรอนงค์, 2547)

3. ไขมัน

ข้าวมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 3 อยู่ส่วนด้านนอกของเมล็ดมากกว่าในใจกลางเมล็ด การขัดสีข้าวให้ขาว ทำให้ข้าวสารมีไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.3-0.5 ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่ คือ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมาคือฟอสฟอลิปิด ไกลโคลิพิดและเทอร์พีนอยด์ ทั้งไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบโมโนแอซิล ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว แต่กรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่า นอกจากนี้ไขมันภายในเม็ดสตาร์ชยังมีไลโซเลซิติน และกรดไขมัน (Henry and Kettlewell, 1996)

การคลายตัวของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันกับโมเลกุลอะไมโลสทำให้เกิดการเกาะกันของโมเลกุลอะไมโลสระหว่างกัน เป็นสาเหตุหนึ่งในการเกิดรีโทรกราเดชัน (อรอนงค์, 2547)

4. ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นเป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญเพื่อการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อและผู้ขายเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าวหรือบ่งบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี เนื่องจากข้าวที่มีความชื้นสูงเสื่อมเสียเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ (Juliano, 1985)

5. กลิ่นสารระเหยของข้าว

ข้าวบางสายพันธุ์มีกลิ่นของสารระเหยบางชนิดที่ผู้บริโภคบางกลุ่มชอบ แต่บางกลุ่มไม่ชอบ ข้าวหอมคือพันธุ์ข้าวที่มีสาร 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งเป็นสารหลักของกลิ่นหอมจากข้าว โดย

ในข้าวสารมี 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนกลิ่นเหม็นอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิ่มตัว กรดอะมิโนที่มีสารซัลเฟอร์ในโมเลกุล สารประเภทไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ อะซิแทลดีไฮด์ซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Juliano,1985)

ผลิตภัณฑ์จากผลพลอยได้ของข้าว

1. แป้งข้าว

แป้งข้าวเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวหักที่ไม่นิยมใช้บริโภคโดยตรง แต่มักนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร กึ่งอาหาร และไม่ใช่อาหารก่อน การผลิตเริ่มจากนำข้าวหักมาทำความสะอาดโดยผ่านเครื่องแยกแม่เหล็ก เครื่องแยกหิน และเครื่องขัดขาว เพื่อขัดผิวข้าวหักให้สะอาด และโม่ซึ่งทำได้ 3 วิธี คือ

1) การโม่เปียกหรือการโม่น้ำ
2) การโม่ผสม
3) การโม่แห้ง

แป้งที่ได้จากการโม่แห้งมีคุณภาพต่ำ เม็ดแป้งค่อนข้างหยาบและมีสิ่งเจือปนสูง อายุการเก็บรักษาสั้น เพราะเกิดกลิ่นหืนและถูกทำลายจากแมลงได้ง่าย สำหรับวิธีการโม่เปียกเป็นวิธีการผลิตแป้งข้าวในปัจจุบัน แป้งที่ได้มีคุณภาพดี มีความละเอียดและมีสิ่งเจือปนน้อย เป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนามาช้านาน พันธุ์ข้าวไทยดั้งเดิมส่วนใหญ่มีอะไมโลสสูง ดังนั้นการผลิตแป้งข้าวในปัจจุบันยังคงเน้นแป้งข้าวเจ้าชนิดอะไมโลสสูง โดยแป้งข้าวเจ้ามีองค์ประกอบ ดังนี้ ไขมันร้อยละ 0.8 โปรตีนร้อยละ 0.45 เถ้าร้อยละ 0.5 และฟอสฟอรัสร้อยละ 0.1 (Swinkel, 1985)

2. น้ำนมข้าว

น้ำนมข้าวเป็นเครื่องดื่มแปรรูปจากข้าว ผลิตมานานในหลายประเทศในทวีปเอเชีย เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ไม่ผ่านกระบวนการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์อย่าง อุ น้ำข้าว หรือเบียร์ ความหมายของน้ำนมข้าว คือ การคั้นเอาของเหลวจากข้าวอ่อนหรือข้าวระยะตั้งท้อง มีสี

เขียวอ่อน กลิ่นหอม หวานมัน โดยธรรมชาติมีรสมันเป็นรสเด่น ถ้านำข้าวอ่อนมาโม่เปียกแล้วปรุงรสเรียกว่าข้าวยาคู นอกจากนี้สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด ได้แก่ คุกกี้ ขนมปัง และซาลาเปาไส้น้ำนมข้าว เป็นต้น (จันทร์ศิริ, 2545) และมีการแปรรูปน้ำนมข้าวให้อยู่ในรูปผง ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาและลดต้นทุนค่าขนส่งน้ำนมข้าวในกรณีที่ผู้บริโภคอยู่ห่างไกล (สืบสกุลและคณะ, 2547)

ช่วงอายุของข้าวที่นำมาทำน้ำนมข้าวเรียกว่า ระยะพลับพลึง เมล็ดข้าวมีสีเขียวและสะสมสารอาหารไว้มาก รุจิราและคณะ (ม.ป.ป.) วิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งข้าวระยะน้ำนม (อะไมโลส ร้อยละ 16-19) พบว่ามีโปรตีนร้อยละ 3.70-6.37 ปริมาณไขมันร้อยละ 1.13-1.55 วิตามินบีหนึ่ง 0.13-0.19 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.12-0.13 มิลลิกรัม ข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้ข้าวระยะพลับพลึงในการผลิต คือ ทำให้สามารถปลูกข้าวได้ตลอดทั้งปี ปีละหลายรอบ จึงได้ข้าวที่นำมาผลิตเป็นน้ำนมข้าวได้ตลอดปีไม่ขาดแคลน (มูลนิธิข้าวไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2545)

นอกจากแป้งข้าวและน้ำนมข้าว ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาจากข้าวในปัจจุบันมีหลายชนิดและเป็นสินค้าส่งออก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เส้น เช่น เส้นหมี่และก๋วยเตี๋ยว น้ำมันรำข้าว เครื่องดื่มที่ทำจากข้าว เช่น น้ำนมข้าวยาคู ชาใบข้าว และขนมที่ทำจากข้าว เช่น ข้าวหอมมะลิกรอบปรุงรส แครกเกอร์ คุ้กกี้ ซาลาเปาและอาหารหวานแช่แข็งต่างๆ เช่น ไอศกรีมข้าว เชอร์เบทข้าว (Yozo and Hamada, 1991; Gu *et al*., 1995; Shaoshun, 1999; Philippe and Andre, 2002)

ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นระบบคอลลอยด์ซับซ้อน (complex-colloidal system) ประกอบด้วยส่วนที่แข็งตัว ได้แก่ ผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) ฟองอากาศ (air bubble) เม็ดไขมัน (partially coalescenced fat globule) และส่วนที่ไม่แข็งตัว ได้แก่ น้ำตาล โปรตีน เกลือ โพลิแซคคาร์ไรด์และน้ำ โดยองค์ประกอบรวมตัวอยู่ในลักษณะของระบบที่มี 3 เฟส คือ ของเหลว อากาศ และของแข็ง (Goff, 2002)

<u>องค์ประกอบของไอศกรีม</u>

ไอศกรีมแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามองค์ประกอบหลักโดยทั่วไปได้แก่

1. ไขมัน (Milk fat)

ไขมันเป็นส่วนผสมหลักของไอศกรีมมีปริมาณร้อยละ 8-20 ผันแปรตามแต่ละท้องถิ่น (Marshall and Arbuckle, 1996) อาจอยู่ในรูปไขมันนมในน้ำนม ครีมสด ครีมแช่แข็ง (frozen cream) มันเนย (butter oil) หรืออาจใช้น้ำมันพืช (ไอศกรีมดัดแปลงไขมัน) ได้แก่ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น ไขมันช่วยเพิ่มรสชาติ ปรับปรุงเนื้อสัมผัส ช่วยให้มีรสมัน ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อนุ่ม สร้างลักษณะเนื้อ (body) และความหนืดให้แก่ไอศกรีม ให้กลิ่นรสที่ดี ทำให้การขึ้นฟูลดลง ไม่มีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีม แต่มีข้อจำกัด คือ ราคาแพงและให้พลังงานสูง (Goff and Hartel, 2004)

2. เนื้อนมไม่รวมมันเนย (Milk solid-not-fat)

เนื้อนมไม่รวมมันเนย หมายถึง องค์ประกอบต่างๆในน้ำนมซึ่งไม่รวมไขมันและความชื้น เช่น โปรตีน แร่ธาตุและแลคโตส ส่วนมากใช้ในรูปของนมผงขาดมันเนย (skim milk powder) ในปริมาณร้อยละ 8-15 เนื้อนมไม่รวมมันเนยประกอบด้วย โปรตีนร้อยละ 37 แลคโตสร้อยละ 55 และเกลือแร่ร้อยละ 8 โปรตีนในเนื้อนมไม่รวมมันเนยช่วยให้เนื้อสัมผัสแน่นและเรียบเนียน โดยเคซีนไมเซลล์ (casein micelle) เคลือบที่ผิวของเม็ดไขมันระหว่างการโฮโมจิไนซ์ ทำให้อิมัลชันไอศกรีมมิกซ์เสถียร ส่งเสริมการทำงานของอิมัลซิไฟเออร์และสารคงตัวในไอศกรีม ถ้าต้องการให้อากาศเข้าแทรกในเนื้อไอศกรีมมากต้องเพิ่มปริมาณให้เหมาะสม ไม่เช่นนั้นไอศกรีมจะมีลักษณะเนื้อไม่แน่น และรูปร่างไม่อยู่ตัว ส่วนแลคโตสช่วยให้เกิดรสหวานและเกลือแร่ให้รสเค็ม ซึ่งเป็นกลิ่นรสในไอศกรีม นอกจากนี้เนื้อนมไม่รวมมันเนย ช่วยเพิ่มความหนืด ปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส สร้างลักษณะเนื้อและการขึ้นฟูสูงขึ้น ป้องกันการเกิดเกล็ดน้ำแข็งระหว่างแช่แข็งและยืดระยะเวลาการละลายของไอศกรีม แต่ถ้าเติมเนื้อนมไม่รวมมันเนยมากเกินไปอาจทำให้จุดเยือกแข็งลดต่ำลงมากเกินไป และปริมาณแลคโตสสูงขึ้นมีผลให้ไอศกรีมเกิดลักษณะเนื้อทราย (sandiness) จากผลึกแลคโตสได้ และมีเกลือแร่สูงขึ้นทำให้มีรสชาติเค็มและอาจมีกลิ่น cooked

flavor ผู้บริโภคไม่ยอมรับ โดยแหล่งของเนื้อนมไม่รวมมันเนยที่นิยมใช้ได้แก่ นมสดปราศจากไขมัน นมปราศจากไขมันเข้มข้น และหางนมผง (Marshall and Arbuckle, 1996; Goff and Hartel, 2004)

3. สารให้ความหวาน (Sweetener)

สารให้ความหวานทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น ช่วยปรับปรุงคุณภาพของลักษณะเนื้อ เพิ่มเนื้อสัมผัสและไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม เพิ่มความหนืดให้แก่ไอศกรีมมิกซ์ ลดจุดเยือกแข็งในไอศกรีมทำให้ยืดระยะเวลาแช่แข็งไอศกรีม นอกจากนี้ทำให้การขึ้นฟูลดลงและใช้เวลาปั่นไอศกรีมนานขึ้น การเพิ่มปริมาณน้ำตาลทำให้ได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนขึ้น แต่ถ้าปริมาณน้ำตาลสูงเกินจะทำให้ไอศกรีมหวานมากไป มีเนื้อแฉะ และแลคโตสสามารถตกผลึกออกมาทำให้เกิดความรู้สึกเป็นทรายเวลารับประทาน น้ำตาลที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำตาลทรายและกลูโคสไซรัป (Marshall and Arbuckle, 1996)

4. สารให้สีและกลิ่นรส (Coloring and Flavoring agents)

สารให้สีและกลิ่นรสเติมลงไปเพื่อให้มีกลิ่นรสและลักษณะปรากฏที่ดี ช่วยดึงดูดความสนใจต่อผลิตภัณฑ์ และบอกให้ทราบว่าไอศกรีมมีกลิ่นอะไร สร้างความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคและช่วยให้ไอศกรีมมีกลิ่นรสที่หลากหลายมากขึ้น โดยทั่วไปมีการเติมสีในการผลิตไอศกรีม เพื่อให้เข้ากับรสของไอศกรีมนั้นๆ ยกเว้นไอศกรีมชอคโกแลต ซึ่งมีกลิ่นรสและสีจากผงโกโก้ ส่วนไอศกรีมวานิลานิยมเติมสีเหลืองครีม แต่สีที่เติมมากไปทำให้ไอศกรีมมีสีเข้มเกินไปอาจไม่เป็นที่นิยม (Marshall and Arbuckle, 1996)

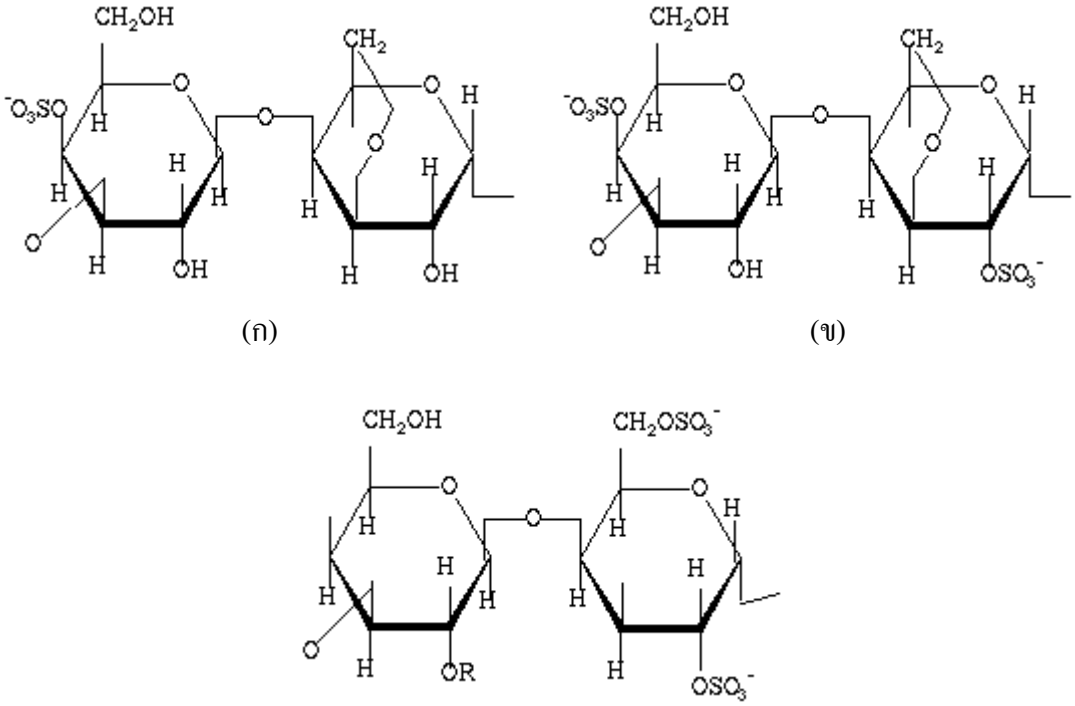
5. สารให้ความคงตัว (Stabilizer)

สารให้ความคงตัวช่วยเพิ่มความเนียนของไอศกรีม ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อ เพิ่มความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ (Goff and Hartel, 2004) ทำให้อนุภาคที่เติมลงไปเช่น ถั่ว กระจายตัวอยู่ในไอศกรีมสม่ำเสมอ ทำให้อาหารเกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเจล ช่วยให้ของผสมที่ได้เป็นเนื้อเดียวกันโดยน้ำไม่แยกออกจากส่วนประกอบอื่นทั้งก่อนและหลังแช่แข็ง เพิ่มความทนทานต่อ heat shock และป้องกันไม่ให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขณะแช่แข็งและเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ

ไม่คงที่ ทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมหยาบ (Granger *et al*., 2005) แต่ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไปมีผลทำให้ไอศกรีมเหนียวแฉะ (soggy) มีเนื้อหยาบ เนื้อไอศกรีมแน่น เหนียว และละลายยากเวลารับประทาน สารคงตัวที่นิยมใช้ ได้แก่ เจลาติน คาราจีแนน กัวร์กัม อัลจีเนต และอนุพันธ์ของเซลลูโลส ซึ่งทำงานได้ดีในอาหารที่มีปริมาณน้ำอิสระสูง

สารคงตัวชนิดต่างๆที่นิยมใช้ในไอศกรีม ได้แก่

คาราจีแนน (Carrageenan) เป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกาแลคโตส ได้แก่ 3-linked-β-D-galactose และ 4-linked α-D galactose เป็นหลัก เกิดเอสเทอร์กับหมู่ซัลเฟตบางตำแหน่ง คาราจีแนนมี 3 ชนิด ได้แก่ แคปป้า-คาราจีแนน (κ-Carrageenan, ภาพที่4(ก)) ไอออต้า-คาราจีแนน (ι-Carrageenan, ภาพที่4(ข)) และแลมด้า-คาราจีแนน (λ-Carrageenan, ภาพที่4(ค)) คาราจีแนนแต่ละชนิดมีปริมาณหมู่ซัลเฟตของน้ำตาลกาแลคโตสต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติต่างกัน แลมด้า-คาราจีแนนละลายได้ในนมเย็นและเกิดเป็นเจลแบบอ่อน ไอออต้า-คาราจีแนนละลายได้ในนมร้อน (55 องศาเซลเซียส) เกิดเจลแบบยืดหยุ่นเมื่อมีแคลเซียมไอออน ต้านทานการเกิดการแยกน้ำ ส่วนแคปป้า-คาราจีแนนละลายได้ในนมร้อน (<70 องศาเซลเซียส) เกิดเจลได้เมื่อมีโพแทสเซียมไอออน เป็นเจลแบบเปราะและไม่ต้านการแยกน้ำ ที่อุณหภูมิสูงไอออต้า- และแคปป้า-คาราจีแนนเกิดเจลแบบอ่อน เพราะโมเลกุลอยู่เดี่ยวๆ แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำลงเกิดโครงสร้างเจล อาจใช้แคปป้า-คาราจีแนนร่วมกับโลคัสบีนกัมเพื่อทำให้เกิดเจลที่ยืดหยุ่น (elastic) ยึดเกาะ (cohesive) และไม่เกิดการแยกน้ำ นอกจากนี้ไอออต้า- และแคปป้า-คาราจีแนนสามารถเกิดปฏิกิริยาแบบอิเล็คโตรสแตติกกับแคปป้า-เคซีน (ภาพที่5) เกิดเป็นร่างแห 3 มิติสามารถช่วยป้องกันการแยกเฟสของไอศกรีมมิกซ์ได้ ปริมาณคาราจีแนนที่ใช้ในไอศกรีมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.15 ของน้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ (Marshall and Arbuckle, 1996; David, 1998; Luis, 2005)



(ก) (ข)

(ค)

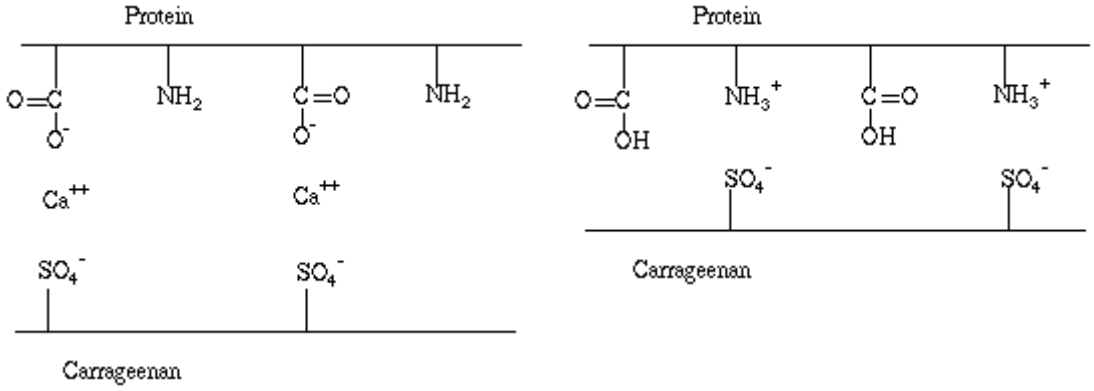
ภาพที่ 4 โครงสร้างของคาราจีแนน

(ก) แคปป้า-คาราจีแนน

(ข) ไอออต้า-คาราจีแนน

(ค) แลมด้า-คาราจีแนน

ที่มา: Luis(2005)



(ก) (ข)

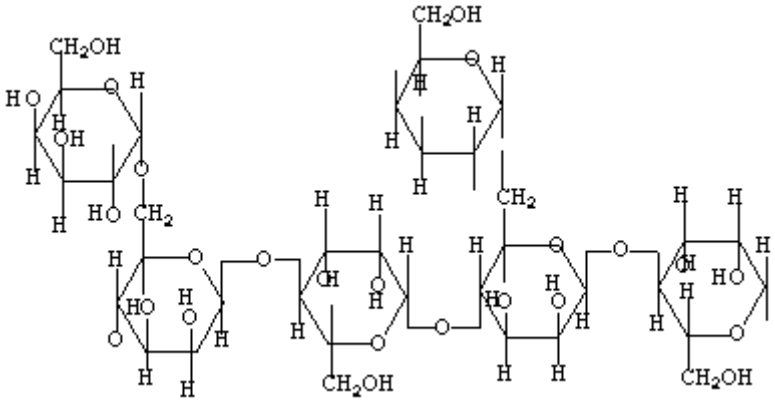
ภาพที่ 5 คาราจีแนนเกิดปฏิกิริยากับโปรตีน

(ก) โปรตีนแสดงประจุลบ

(ข) โปรตีนแสดงประจุบวก

ที่มา: Luis (2005)

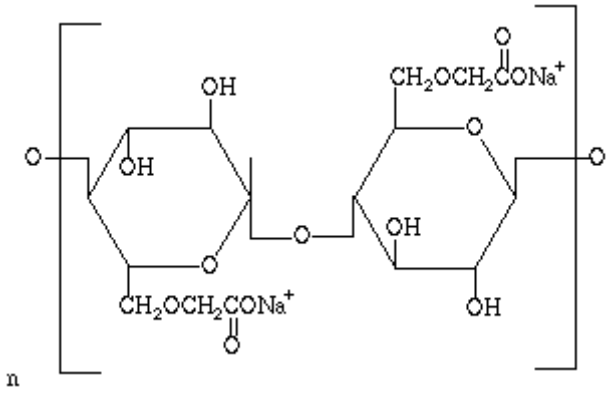
กัวร์กัม (Guar gum) เป็นโพลิแซคคาไรด์ชนิดกาแลคโตแมนแนน (Galactomannan) สายหลักเป็น 1,4-β-D-manno-pyranosyl และมีกิ่งเป็น 1,6-α-D-galacto-pyranosyl (ภาพที่ 6)สามารถละลายได้ในน้ำเย็น จึงเหมาะสำหรับการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิสูงเวลาสั้น ให้ความหนืดสูงถึงแม้จะใช้ความเข้มข้นต่ำ ความหนืดเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ นิยมใช้ร่วมกับสารให้ความคงตัวชนิดอื่น โดยเฉพาะแซนแทนกัมและแคปป้า-คาราจีแนน ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.2-0.3 (Marshall and Arbuckle, 1996)



ภาพที่ 6 โครงสร้างกัวร์กัม

ที่มา: Luis (2005)

คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) (ภาพที่7)สามารถละลายได้ในน้ำเย็น มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำสูง เกิดเป็นเจลอ่อนๆได้ด้วยตัวเอง ทำให้ไอศกรีมต้านทานการเกิด heat shock มีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้ร่วมกับสารให้ความคงตัวชนิดอื่น โดยเฉพาะคาราจีแนน โลคัสบีนกัม และกัวร์กัม ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีเนื้อเหนียว เนื้อสัมผัสเรียบเนียน และปรับปรุงสมบัติการขึ้นฟู โดยปริมาณการใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.1-0.2 ของน้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ (Marshall and Arbuckle, 1996)



ภาพที่ 7 โครงสร้างคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส

ที่มา: Luis (2005)

6. อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

อิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่ได้ดีในอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับสารคงตัว เป็นสารที่ช่วยให้เกิดอิมัลชันที่คงตัว อิมัลซิไฟเออร์ที่ใส่เข้าไปเกิดเป็นฟิล์มรอบเม็ดไขมัน ลดแรงตึงผิวของเม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันสามารถมารวมกันเกิดเป็นโครงสร้างหุ้มฟองอากาศได้ ช่วยทำให้เนื้อไอศกรีมเนียน มีเนื้อสัมผัสที่ไม่เย็นจัดเกินไปขณะรับประทาน สร้างกลิ่นรส และลดแรงตึงผิว ช่วยลดระยะเวลาการตีขึ้นฟู ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง ช่วยให้ส่วนผสมกระจายตัวดีขึ้น ช่วยลดขนาดฟองอากาศในเนื้อไอศกรีม ทั้งยังช่วยให้ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะแห้ง คงรูปและขึ้นฟูได้ดี ช่วยลดอัตราการละลาย และเพิ่มความทนทานต่อ heat shock แต่ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไป จะทำให้เกิดโฟมหรือฟองขณะไอศกรีมละลาย (Marshall and Arbuckle, 1996; Goff and Hartel, 2004)

7. อากาศ (Air)

อากาศมีผลต่อความยากง่ายในการตักไอศกรีม และถ้าไอศกรีมเก็บอากาศได้มาก (ร้อยละการขึ้นฟูสูง) ช่วยให้ปริมาตรของไอศกรีมที่ผลิตเพิ่มขึ้น ร้อยละการขึ้นฟู หมายถึงปริมาตรของอากาศในเนื้อไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นขณะตีปั่นให้แข็ง ซึ่งเป็นปริมาณของอากาศที่เพิ่มขึ้นของส่วนผสมของไอศกรีมหลังจากมีการอัดอากาศเข้าไปในส่วนผสมแล้วทำให้แข็งตัว (Marshall and Arbuckle, 1996)

8. น้ำ (Water)

น้ำเป็นตัวทำละลายส่วนผสมแห้งต่างๆ เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในไอศกรีม ในปริมาณร้อยละ 55-80 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด น้ำที่ใช้ควรมีคุณภาพดี สะอาดปราศจากสิ่งสกปรกและจุลินทรีย์ (Marshall and Arbuckle, 1996)

<u>กระบวนการผลิตไอศกรีม</u>

1. การผสมส่วนผสมทั้งหมด (Blending of the mix ingredients)

คำนวณปริมาณส่วนผสมทั้งหมดโดยคำนึงถึงปริมาณไขมัน เนื้อนมในผลิตภัณฑ์นม และส่วนผสมอื่นๆ จากนั้นนำส่วนผสมที่เป็นของเหลว เช่น นม นมข้น ครีม น้ำเชื่อมเทลงในถัง ให้ความร้อนพร้อมคนผสม และเติมส่วนผสมที่เป็นของแห้ง เช่น น้ำตาล สารคงตัว เนื้อนมไม่รวมมันเนย เป็นต้น ลงในของเหลวเมื่ออุณหภูมิถึง 50 องศาเซลเซียส (Marshall and Arbuckle,1996)

2. การพาสเจอไรซ์ (Pasteurization)

วัตถุประสงค์เพื่อทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค ลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เสื่อมเสีย เช่น พวกไซโครโทรป (psychrotrophs) และช่วยให้ส่วนผสมที่เป็นของแข็ง เช่น โปรตีนและสารคงตัวละลายน้ำดีขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิระดับพาสเจอไรซ์เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการโฮโมจิไนซ์ (Marshall and Arbuckle,1996)

3. การโฮโมจิไนซ์และทำให้เย็น (Homogenization and Cooling)

จุดประสงค์เพื่อรักษาความคงตัวและลดขนาดเม็ดไขมันให้ต่ำกว่า 2 ไมครอน ทำให้ไม่เกิดชั้นครีม จึงไม่เกิดความรู้สึกเป็นมัน (greasy) เป็นเนย (buttery) และความรู้สึกในปาก (mouthfeel) หลังจากแช่แข็ง ในธรรมชาติเม็ดไขมันถูกหุ้มด้วยฟอสฟอลิปิด ระหว่างการโฮโมจิไนซ์เม็ดไขมันถูกลดขนาดลง แต่ฟอสฟอลิปิดมีจำกัด ทำให้อิมัลซิไฟเออร์ที่เติมเข้าไปถูกดูดซับบนผิวไขมันใหม่ ช่วยรักษาขนาดของเม็ดไขมันให้มีขนาดเล็กระหว่างการผลิต การลดขนาดเม็ดไขมันทำให้เกิดโครงสร้างอิมัลชัน ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเนียนมากขึ้น เพิ่มความมัน (richness) และ

ละลายช้าลง ควรใช้อุณหภูมิที่พาสเจอไรซ์ในการโฮโมจิไนซ์ เนื่องจากในขั้นนี้ต้องทำให้ไขมันเป็นของเหลวจึงต้องใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสขึ้นไป หลังจากโฮโมจิไนซ์ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Marshall and Arbuckle,1996)

4. การบ่ม (Aging)

บ่มอย่างน้อย 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส แต่ไม่ถึงระดับแช่แข็ง ระหว่างการบ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง ได้แก่ ส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิก เช่น โปรตีนและสารคงตัวดูดน้ำได้เต็มที่ ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และในขั้นนี้โปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันถูกแทนที่ด้วยอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้ความคงตัวของไขมันลดลง มีโอกาสเกิดการหลอมรวมตัวบางส่วนได้ง่าย ทำให้สามารถหุ้มอากาศได้ดีขณะปั่นไอศกรีม การลดอุณหภูมิทำให้ไขมันบางส่วนตกผลึก (partial fat crystallization) จึงหุ้มอากาศได้ดีขณะปั่นไอศกรีม นอกจากนี้การทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียสเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดผลึกไขมัน เพิ่มความสามารถในการแช่แข็ง และช่วยกำจัดจุลินทรีย์ที่เจริญในมิกซ์ได้ (Marshall and Arbuckle,1996)

5. การปั่นแข็งไอศกรีม (Freezing)

ก่อนนำไปผ่านกระบวนการปั่นแข็งไอศกรีม สามารถเติมสี กลิ่น หรือผลไม้ในไอศกรีมมิกซ์ได้ ในขั้นนี้เกิดการกระจายของอนุภาคต่างๆ น้ำกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง ไซรัปเข้มข้นขึ้น มีการปั่นอากาศเข้าไปในไอศกรีมมิกซ์ เกิดเซลล์อากาศ ซึ่งมีไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์ดูดซับบนผิวหน้าเพื่อรักษาความคงตัว เม็ดไขมันเป็นผลึกมากขึ้น เกิดการหลอมรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างแบบโฟม และหลังจากผ่านการปั่นแข็งเป็นไอศกรีม น้ำประมาณร้อยละ 50 ในไอศกรีมมิกซ์เป็นน้ำแข็ง ปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากการกักอากาศของไขมัน เฟสต่อเนื่องเป็นสารละลายเข้มข้น ขณะที่เฟสไม่ต่อเนื่องประกอบด้วย เซลล์อากาศ ผลึกน้ำแข็ง เม็ดไขมัน เคซีนไมเซลล์ และไฮโดรคอลลอยด์อื่นๆ ไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านการปั่นแข็งไอศกรีม มีลักษณะกึ่งของแข็ง หรือลักษณะ soft serve ice cream (Marshall and Arbuckle,1996)

6. การบรรจุ ขึ้นรูปและแช่แข็ง (Filling, Shape Forming and Hardening)

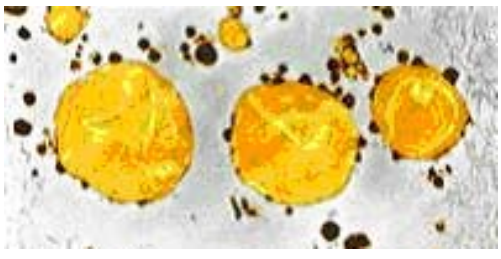
หลังจากปั่นไอศกรีมมิกซ์ได้ไอศกรีมที่มีลักษณะกึ่งของแข็ง ต้องนำไปแช่แข็งโดยลดอุณหภูมิลงให้ถึง -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่านั้นที่ -20 ถึง -30 องศาเซลเซียส การทำให้แข็งอย่างรวดเร็วทำให้ได้ไอศกรีมมีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก มีเนื้อสัมผัสที่ดี เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งถูกสมมติให้เป็นระยะเวลาที่อุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ต่ำลงถึง -18 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านการแช่แข็งน้ำประมาณร้อยละ 72 กลายเป็นผลึกน้ำแข็ง (Marshall and Arbuckle,1996)

7. การเก็บรักษา (Storage)

โดยทั่วไปนิยมเก็บไอศกรีมที่อุณหภูมิต่ำกว่า –25 องศาเซสเซียส เพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Marshall and Arbuckle,1996)

<u>โครงสร้างไอศกรีม (Ice Cream Structure)</u>

ไอศกรีมประกอบด้วย ครีม นม เนื้อนม น้ำตาล สารคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ผสมกัน ผ่านการพาสเจอไรซ์ และโฮโมจิไนซ์เพื่อทำให้เกิดอิมัลชันของไขมันนม ซึ่งประกอบด้วยหยดไขมันขนาดเล็กจำนวนมากกระจายในเฟสของน้ำ และเม็ดไขมันถูกหุ้มด้วยโปรตีนและอิมัลซิไฟเออร์ (ภาพที่ 8) ส่วนน้ำตาลละลายในน้ำ เมื่อส่วนผสมเย็นไขมันนมบางส่วนกลายเป็นของแข็ง ทำให้แต่ละหยดของไขมันประกอบด้วยผลึกไขมันและไขมันเหลว (ภาพที่ 8,9)



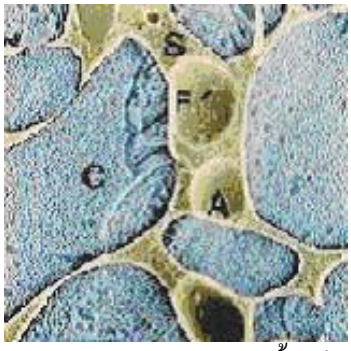
<u>ภาพที่ 8</u> เม็ดไขมัน (สีเหลือง) มีผลึกไขมันเล็กน้อย (เส้นสีอ่อนภายในเม็ดไขมัน) และโปรตีนเป็นทรงกลมสีดำ ส่องโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดลำแสงส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope)

ที่มา : Goff (1998)

ภาพที่ 9 เม็ดไขมันขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (สีเหลือง) มีผลึกไขมันสมบูรณ์ในเม็ดไขมัน (เส้นสีอ่อนภายในเม็ดไขมัน) ส่องโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดลำแสงส่องผ่าน

ที่มา : Goff (1998)

เมื่อปั่นมิกซ์เป็นไอศกรีมเกิดเฟสไม่ต่อเนื่อง 2 เฟส ได้แก่ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กและฟองอากาศกระจายในเฟสต่อเนื่อง น้ำจากนมและครีมกลายเป็นน้ำแข็ง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-50 ไมครอน และมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิไม่คงที่ขณะเก็บรักษา ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อหยาบ การตีอากาศช่วยรักษาการกระจายตัวของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก จากภาพที่ 10 แสดงภาพตัดขวางของไอศกรีมจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดกราดลำแสง (Cryo-Scanning Electron Microscope) เป็น 4 เฟส ได้แก่ ผลึกน้ำแข็ง (สีน้ำเงิน(C)) ฟองอากาศ (A) หยดไขมัน (F) (แสดงอย่างละเอียดดังภาพที่ 11) และเฟสที่ไม่แข็งตัว (สีเหลือง (S)) การตีอากาศทำให้อากาศอยู่ในรูปฟองอากาศมีขนาด 50-80 ไมครอน การกระจายของฟองอากาศขนาดเล็กทำให้ไอศกรีมมีเนื้อเนียน หยดไขมันช่วยรักษาความเรียบเนียนของไอศกรีม โดยอิมัลชันของไขมันเกิดการหลอมรวมตัวกันบางส่วน อยู่เป็นกลุ่ม (cluster) และเกาะกลุ่มกันรอบฟองอากาศเพื่อรักษาความคงตัวให้ฟองอากาศ (Goff, 1997)



ภาพที่ 10 โครงสร้างไอศกรีม C คือผลึกน้ำแข็ง (สีฟ้า) A คือฟองอากาศ F คือหยดไขมัน และ S คือเฟสที่ไม่แข็งตัว

ที่มา : Goff (1998)

ภาพที่ 11 ขยายภาพหยดไขมันในโครงสร้างไอศกรีม
ที่มา : Goff (1998)

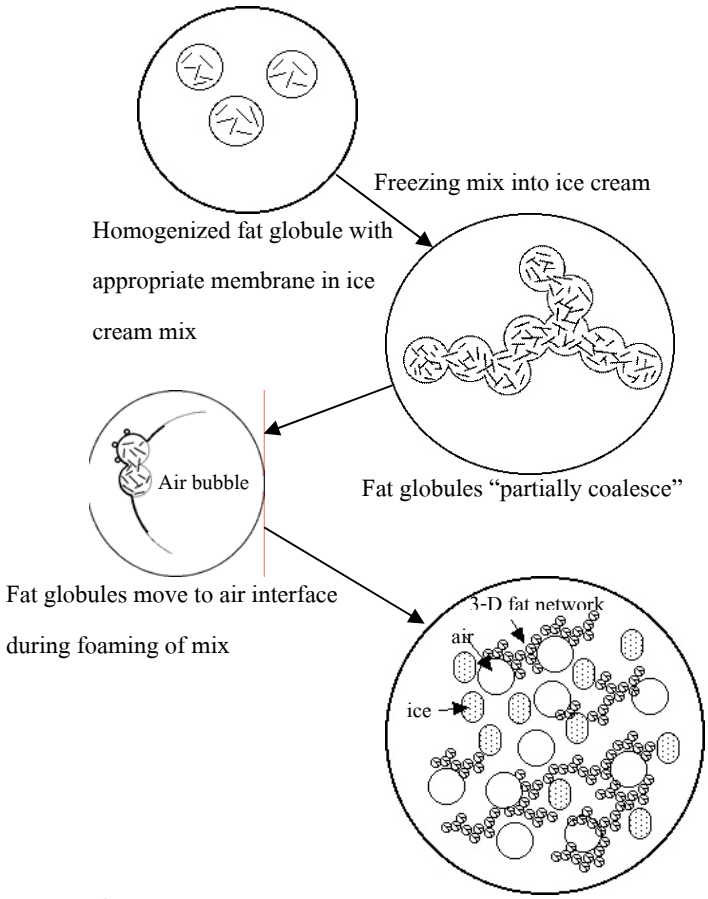
1. เม็ดไขมัน (Fat globule)

ในช่วงแรกเม็ดไขมันมีขนาดเล็กและคงตัว หลังผ่านการโฮโมจิไนซ์ เม็ดไขมันกระจายอยู่ในมิกซ์ เมื่อปั่นแข็งเป็นไอศกรีม เม็ดไขมันบางส่วนหลอมรวมกันเป็นสายและหุ้มฟองอากาศทำให้ฟองอากาศคงตัวอยู่ในไอศกรีมได้ (ภาพที่12) ดังนั้นเม็ดไขมันจึงมีผลต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อเรียบเนียน มีความคงตัวและมีผลต่อการละลาย โดยส่วนมากเม็ดไขมันมีขนาด 0.5-0.9 ไมโครเมตร ขึ้นกับความดันในการโฮโมจิไนซ์และชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ ความดันในการโฮโมจิไนซ์ ทำให้ไขมันมีขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของเม็ดไขมันในการเกาะกลุ่ม ส่วนอิมัลซิไฟเออร์เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ดีกว่าโปรตีนจะไปเกาะแทนที่โปรตีนบนผิวของเม็ดไขมัน ทำให้ไขมันไม่คงตัวขณะปั่นไอศกรีมและเกิดการเกาะกลุ่มกันได้ดี (Bolliger *et al*., 2000)

2. ฟองอากาศ (Air bubble)

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างขึ้นจากการให้อากาศอยู่ในลักษณะโฟมแช่แข็ง ไอศกรีมมีปริมาตรของอากาศ ตั้งแต่ร้อยละ 10-15 จนถึงมากกว่าร้อยละ 50 ในรูปฟองอากาศ ขั้นตอนการปั่นแข็งไอศกรีมมีผลต่อผลึกน้ำแข็งและการกระจายของฟองอากาศ ซึ่งมีผลต่อความเรียบเนียนของไอศกรีม การใช้เวลาปั่นไอศกรีมสั้นทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็ก ส่วนการปั่นที่ใช้เวลานานทำให้ฟองอากาศมีขนาดเล็ก แต่ถ้าต้องการให้ผลึกน้ำแข็งและฟองอากาศมีขนาดเล็ก ควรผลิตด้วยวิธีเอ็กทรูชันที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้อิมัลซิไฟเออร์มีผลช่วยเพิ่มความคงตัวของฟองอากาศ ทำให้

ฟองอากาศกระจายได้ดีเมื่อมีปริมาณมาก และช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขณะเกิด heat shock (Goff, 2002)



<u>ภาพที่ 12</u> โครงสร้างไขมันในไอศกรีม
ที่มา : Goff (n.d.)

3. ผลึกน้ำแข็ง (Ice crystals)

เป็นเฟสไม่ต่อเนื่องในไอศกรีม มีผลต่อความเรียบเนียนของไอศกรีม อุณหภูมิที่ไม่คงที่ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว ทำให้คุณภาพของไอศกรีมลดลง ซึ่งเราสามารถควบคุมการเกิดผลึกน้ำแข็งได้โดยการรักษาอุณหภูมิต่ำให้คงที่ และเติมสารคงตัว เช่น โพลิแซคคาไรด์ กัม รวมทั้งโครงสร้างไขมันที่เหมาะสมและฟองอากาศขนาดเล็กมีผลต่อการป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Goff, 2002)

4. ซีรัมเฟส (Serum phase)

ซีรัมเฟสประกอบด้วยน้ำส่วนที่ไม่แข็งตัว น้ำตาล โปรตีน เกลือและโพลิแซคคาไรด์ที่ละลายในน้ำ (Goff, 2002) ซึ่งมีความหนืดสูง และอยู่ในสภาวะแกลซซี่ (glassy state) มีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง เช่น cryo-gel ในซีรัมเฟสมีผลยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็ง โดยระบบที่มีโปรตีนและโพลิแซคคาไรด์ยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีโพลิแซคคาไรด์ (Goff, 2002)

<u>สมบัติทางกายภาพของไอศกรีม</u>

1. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์เปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบในไอศกรีมมิกซ์ ได้แก่ โปรตีนนม เกลือแร่ (ได้แก่ ฟอสเฟตและซิเตรต เป็นส่วนใหญ่) และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในนม การเพิ่มปริมาณเนื้อนมไม่รวมมันเนยมีผลต่อการเพิ่มความเป็นกรดของไอศกรีมมิกซ์ ทำให้ค่าพีเอชลดลง โดยค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์มีค่าประมาณ 6.3

ความเป็นกรดมีผลต่อการเพิ่มความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ ทำให้อัตราการอัดอากาศช้าลง (whipping rate) เกิดกลิ่นรสที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ไอศกรีมมิกซ์มีความคงตัวต่ำ และระหว่างให้ความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพได้เร็ว (Marshall and Arbuckle, 1996)

2. ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดแสดงถึงแรงต้านทานการไหลของของเหลว ไอศกรีมมิกซ์มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 50-300 เซนติพอยซ์ เมื่อให้แรงเฉือน (shear rate) สูงขึ้นความหนืดของไอศกรีมมิกซ์มีค่าลดลง ไอศกรีมมิกซ์ที่มีความหนืดสูงทำให้ส่วนผสมแข็งตัวได้เร็ว ยืดระยะเวลาการละลายของไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อดี เละเนื้อสัมผัสเรียบเนียน แต่ไอศกรีมมิกซ์ที่มีความหนืดสูงเหมาะกับเครื่องปั่นไอศกรีมที่มีกำลังสูง ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของไอศกรีม ได้แก่ (1) องค์ประกอบในไอศกรีม เช่น ไขมันและสารคงตัวมีผลต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์มากกว่าองค์ประกอบอื่นๆ (2) ชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบ (3) กระบวนการผลิต เช่นการพาสเจอไรซ์ การ

โฮโมจิไนซ์ และการบ่ม (4) ความเข้มข้นของไอศกรีมมิกซ์ ซึ่งหมายถึงปริมาณของแข็งทั้งหมด และ (5) อุณหภูมิ เป็นต้น

ค่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สามารถตรวจสอบได้ โดยวัดเวลาการเคลื่อนที่ของไอศกรีมในปิเปตหรือหลอดภายใต้ความดันที่กำหนด หรือวัดแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของ Parallel Plates หรือ Coaxial Cylinder ในไอศกรีมมิกซ์ หรือใช้เครื่อง Brookfield Viscometer หรือวัดการเคลื่อนที่ของบอลในไอศกรีมที่อยู่ในคอลัมน์ (Marshall and Arbuckle, 1996)

3. การขึ้นฟู (Overrun)

การขึ้นฟูแสดงถึงปริมาตรของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตรของไอศกรีมมิกซ์ที่เกิดจากการกักอากาศของไขมัน ไอศกรีมแต่ละชนิดมีการขึ้นฟูที่ต่างกัน โดยทั่วไปไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟูที่ร้อยละ 40-100 และค่าการขึ้นฟูคำนวณได้จากร้อยละของปริมาตรไอศกรีมที่เพิ่มขึ้น หรือร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่หายไป (Marshall and Arbuckle, 1996; Goff and Hartel, 2004)

4. ความแน่นแข็ง (Hardness)

เนื้อสัมผัสของไอศกรีมสัมพันธ์กับความแน่นแข็งของไอศกรีม ไอศกรีมที่ดีต้องไม่แข็งมากหรือน้อยเกินไป ถ้าไอศกรีมมีความแน่นแข็งน้อยเกินไป ทำให้ไอศกรีมเหลวง่าย ปัจจัยที่มีผลต่อความแน่นแข็งของไอศกรีม ได้แก่ ปริมาตรของเฟสที่เป็นน้ำแข็ง ขนาดผลึกน้ำแข็ง การขึ้นฟู และคุณสมบัติการไหล (Rheological properties) ของไอศกรีมมิกซ์ (Muse and Hartel, 2004)

ความแน่นแข็งของไอศกรีมสามารถตรวจสอบได้โดยใช้เครื่องมือวัดความแน่นแข็ง Cone Penetrometer สำหรับวัดความแน่นแข็งของครีมหรือไขมัน (Marshall and Arbuckle, 1996)

5. อัตราการละลาย (Melting rate)

การละลายของไอศกรีมเกิดจากน้ำแข็งในไอศกรีมละลาย ร่วมกับการยุบตัว (Collapse) ของโครงสร้างไขมันที่หุ้มฟองอากาศ อย่างไรก็ตามการละลายของน้ำแข็งอย่างเดียว ไม่ได้ทำให้ไอศกรีมเกิดการละลายจนกว่าโครงสร้างของไขมันจะเกิดการยุบตัว ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของ

น้ำแข็งในไอศกรีม ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก และอัตราการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) (Goff, n.d.)

อัตราการละลายของไอศกรีมมีความสำคัญต่อการบริโภคไอศกรีมแบบโคนหรือแบบแท่ง (Cone or stick) ไอศกรีมที่มีจุดเยือกแข็งต่ำจะละลายเร็ว และทำให้เกิด heat shock ได้เร็วซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ ไอศกรีมที่ดีควรละลายภายใน 10-15 นาทีที่อุณหภูมิห้อง (Marshall and Arbuckle, 1996)

ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเทียม

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมแช่แข็งที่มีผู้นิยมเป็นจำนวนมาก ไอศกรีมที่ผู้บริโภคยอมรับมักมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน นุ่ม ไม่เป็นเกล็ดน้ำแข็ง และวัตถุดิบหลักที่ทำให้เกิดลักษณะที่ต้องการของไอศกรีมมาจากส่วนของไขมันและเนื้อนมไม่รวมมันเนย ดังนั้นผลิตภัณฑ์นมจึงเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในไอศกรีม

ข้อจำกัดของการใช้ผลิตภัณฑ์นม คือ มีราคาแพง ทำให้การผลิตไอศกรีมใช้ต้นทุนสูง มีโคเลสเตอรอลสูง และเกิดปัญหาสำหรับผู้บริโภคที่เป็นโรคแพ้แลคโตสในนม จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ใช้ส่วนประกอบที่ไม่ใช่นม โดยนำไขมันพืชมาใช้แทนไขมันนม และน้ำนมข้าว น้ำนมอัลมอนด์มาใช้แทนน้ำนมวัว (Anonymous, 2004)

การใช้ไขมันพืชแทนไขมันนม

ชนิดของไขมันมีผลต่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในไอศกรีม การใช้ไขมันที่มีกรดไขมันสายยาวและมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากทำให้ได้ไอศกรีมที่มีเม็ดไขมันคงตัวไม่ดี มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคไขมันในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ยกตัวอย่างเช่น การใช้ hydrogenated coconut oil เปรียบเทียบกับการใช้ refined coconut oil เมื่อใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดเดียวกัน อนุภาคไขมันในไอศกรีมมีขนาดต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าไขมันทั้งสองชนิดต่างกันเฉพาะที่ปริมาณของกรดโอเลอิค แต่การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไขมันกับอิมัลซิไฟเออร์ต่างกัน และเกิดมากหรือน้อยขึ้นกับส่วนไฮโดรโฟบิคของโมเลกุล (Granger *et al*., 2004)

การใช้ refined coconut oil เป็นแหล่งไขมัน ได้ไอศกรีมที่มีความแน่นแข็งสูงกว่าเมื่อใช้ hydrogenated coconut oil และ refined palm oil เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเฉพาะระหว่างกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวบางส่วนของโมโน- และได-กลีเซอไรด์ กับ refined coconut oil ซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างไขมันที่เหมาะสม (Granger *et al*., 2004)

<u>การใช้ผลิตภัณฑ์จากพืชแทนเนื้อนมไม่รวมมันเนย</u>

ปัจจุบันการใช้ไขมันพืชแทนไขมันนมผลิตไอศกรีมมีอย่างแพร่หลาย เพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่การทดแทนเนื้อนมไม่รวมมันเนยยังมีไม่แพร่หลาย ในต่างประเทศนิยมใช้ น้ำนมถั่วเหลือง น้ำนมข้าว ทดแทนในส่วนนี้

1. การใช้นมถั่วเหลืองทดแทนผลิตภัณฑ์จากนม

นมถั่วเหลือง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าสูง ราคาถูก สามารถผลิตได้เองทุกระดับ และเป็นที่รู้จักทั่วไป นิยมใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับเด็กที่มีปัญหาการขาดโปรตีนและพลังงาน แต่ใช้แทนนมวัวเพื่อเป็นอาหารเสริมแคลเซียมไม่ได้ เพราะนมถั่วเหลืองมีแคลเซียมน้อยกว่านมวัวมาก จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าปริมาณน้ำในนมแม่ นมวัวและนมถั่วเหลืองไม่ต่างกัน โปรตีนในนมแม่ต่ำกว่านมวัวและนมถั่วเหลือง แต่เป็นปริมาณพอเหมาะสำหรับทารก โปรตีนในนมถั่วเหลืองไม่คงที่ขึ้นกับสัดส่วนของถั่วเหลืองและน้ำที่ใช้เตรียมนมถั่วเหลือง แต่มีค่าใกล้เคียงนมวัว เพียงแต่โปรตีนของนมถั่วเหลืองเป็นโปรตีนจากพืชซึ่งเป็นโปรตีนชนิดที่ไม่สมบูรณ์ คุณภาพด้อยกว่าโปรตีนจากนมวัว น้ำตาลแลคโตสมีเฉพาะในนมแม่และนมวัว หรือนมจากสัตว์เท่านั้น ในนมถั่วเหลืองเป็นน้ำตาลชนิดอื่น สำหรับไขมันในนมถั่วเหลืองมีต่ำกว่านมแม่และนมวัว คือประมาณ 1 ใน 3 ส่วนแคลเซียมในนมถั่วเหลืองมีประมาณ 1 ใน 6 หรือร้อยละ 16 ของนมวัว อย่างไรก็ตาม นมถั่วเหลืองเป็นทางเลือกของอาหารเสริมที่ใช้ในเด็กนักเรียนหรือเด็กทารกที่แพ้โปรตีนในนมวัว และผู้บริโภคที่ขาดเอนไซม์แลกเตส (ประไพศรี, 2549) ปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆจากถั่วเหลืองเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในหลายประเทศ เพื่อขยายตลาดและเพิ่มความนิยมการบริโภคถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ เช่น ไอศกรีม โยเกิร์ตถั่วเหลือง บัตเตอร์ถั่วเหลือง เป็นต้น และอาหารเสริมจากถั่วเหลือง เนื่องจากถั่วเหลืองมีสารเคมีที่เป็นประโยชน์หลายชนิด เช่น เลซิติน โอลิโกแซคคาไรด์ วิตามินอี สเตอรอล ไฟเตทเป็นต้น สามารถใช้ถั่วเหลืองเพื่อช่วยเพิ่มเยื่อใยและคุณค่าทางอาหาร

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบและคุณค่าอาหารหลักของนมแม่ นมวัว และนมถั่วเหลือง

ส่วนประกอบ กรัม/250 มิลลิลิตร	นมแม่	นมวัว	นมถั่วเหลือง
น้ำ	220	219	217
โปรตีน	3.8	8.5	6.3
น้ำตาลแลคโตส	17.5	12.3	-
ไขมัน	8	8	2.8
แคลเซียม	85	295	48
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	155	155	135

ที่มา : ประไพศรี (2549)

มณฑิราและวลัยพร (2538) ทดลองใช้นมถั่วเหลืองผงทดแทนเนื้อนมไม่รวมมันเนยบางส่วนในไอศกรีม พบว่า เมื่อปริมาณนมถั่วเหลืองผงในไอศกรีมสูงขึ้น ค่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้น มีผลโดยตรงต่อการขึ้นฟูที่ลดลง และไอศกรีมมีอัตราการละลายลดลง เนื่องจากนมถั่วเหลืองมีโปรตีน เส้นใยและโอลิโกแซคคาร์ไรด์ ซึ่งสามารถจับน้ำได้ดี เมื่อรวมกับผลของสารให้ความคงตัว เกิดความคงตัวมากเกิน (overstabilization) (Chan *et al*., 1992) ทำให้อัตราการละลายลดลง ไอศกรีมที่ละลายช้าเหมาะสำหรับนำไปผลิตไอศกรีมโคนหรือไอศกรีมแท่งสำหรับเด็ก ซึ่งสามารถใช้เวลารับประทานได้นานขึ้น โดยที่ไอศกรีมยังไม่ละลาย การใช้แป้งถั่วเหลืองและโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นทดแทนเนื้อนมไม่รวมมันเนยในสูตรไอศกรีมได้ร้อยละ 5 และโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลททดแทนได้ร้อยละ 40 (Simons *et al*., 1980) และนมถั่วเหลืองผงทดแทนได้ร้อยละ 60 (มณฑิราและวลัยพร, 2538) ไอศกรีมที่ได้มีการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุม Saleem *et al.* (1989) ศึกษาการใช้นมถั่วเหลืองทดแทนเนื้อนมไม่รวมมันเนยปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ในไอศกรีม ได้ไอศกรีมที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.0827-1.11042 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนืดสัมพันธ์ (relative viscosity) สูงขึ้น จุดเยือกแข็งลดลง ความสามารถในการขึ้นฟูลดลง และผลิตภัณฑ์ละลายช้าลงที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้นมถั่วเหลืองได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องจากมีกลิ่นรสถั่ว (beany flavour) ซึ่งแก้ไขโดยเติมกลิ่นรส หรือการพาสเจอไรซ์ภายใต้สุญญากาศ อย่างไรก็ตามการทดลองของเขาสามารถใช้นมถั่วเหลืองทดแทนเนื้อนมไม่รวมมันเนยได้ปริมาณไม่เกินร้อยละ 50 Tanaka (2000) นักวิจัยชาวญี่ปุ่นใช้นมถั่วเหลืองแทนนมวัว ผลิตภัณฑ์

ที่ได้มีเนื้อสัมผัสเป็นทราย ไม่เนียน ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงปรับปรุงสูตร โดยส่วนของแห้งประกอบด้วยน้ำนมถั่วเหลือง (น้ำหนักแห้ง) 10-21 ส่วน มันเทศ 5-12.5 ส่วน น้ำตาล 50-70 ส่วนจากของแข็งทั้งหมดในไอศกรีม และพบว่าได้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสนุ่มและเนียนเหมือนไอศกรีมทั่วไป Li *et al.* (1990) ใช้โปรตีนจากพืชแทนโปรตีนจากนม โดยใช้ข้าวฟ่างและถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักผลิตไอศกรีม Chan *et al.* (1992) ศึกษาการใช้โปรตีนถั่วไอโซเลท (Pea Protein Isolate, PPI) ในไอศกรีม พบว่า PPI ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดสูงขึ้น ร้อยละการขึ้นฟูและอัตราการละลายลดลง

2. การใช้ผลิตภัณฑ์จากข้าวทดแทนผลิตภัณฑ์จากนม

ปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวเลียนแบบนมวัวค่อนข้างมาก สมฤดี (2540) ผลิตเครื่องดื่มเลียนแบบนมจากปลายข้าวเจ้า โดยใช้แป้งจากปลายข้าวเจ้าในอัตราส่วนปลายข้าว:น้ำ 1:14 ให้ความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส 3 นาที และใช้ Recodan-RS Veg เป็นสารปรับปรุงลักษณะปรากฏด้านความคงตัวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เครื่องดื่มมีความคงตัวดี ไม่แยกชั้นและตกตะกอนเมื่อเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 7 วัน ศยามล (2544) ผลิตเครื่องดื่มข้าวหอมมะลิกลิ่นใบเตยมีความข้นหนืดใกล้เคียงนมถั่วเหลืองทางการค้าซึ่งผู้บริโภคต้องการ โดยใช้น้ำใบเตยเข้มข้น:แป้ง 23:1 น้ำตาลทรายร้อยละ 8 น้ำมันดอกทานตะวันร้อยละ 2 อิมัลซิไฟเออร์ Tween60 ร้อยละ 0.2 และแคลเซียมแลกเตตร้อยละ 0.92 มาลี (2521) ผลิตน้ำนมข้าวเจ้าโดยผสมนมวัวในอัตราน้ำนมข้าว:นมวัว เป็น 2.5:1 ทำให้เพิ่มปริมาณไลซีนที่เป็นกรดอะมิโนขั้นต่ำสุดของโปรตีนในน้ำนมข้าวเจ้าให้สูงขึ้นจาก 49 เป็น 107 เขมาภรณ์ (2535) พัฒนาเครื่องดื่มจากข้าว โดยมีข้าวและน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ถั่วลิสงและถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีน โดยมีกลิ่นข้าวและกลิ่นถั่วลิสงเป็นกลิ่นเด่นชัด มีกลิ่นถั่วเหลืองเล็กน้อย

นอกจากนี้มีการนำผลิตภัณฑ์จากข้าวมาเป็นส่วนประกอบในไอศกรีม Shaoshun (1999) ผลิตไอศกรีมข้าวเหนียว โดยต้มข้าวเหนียวเป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วเติมน้ำตาล ต้มอีก 1 ชั่วโมงใช้เป็นวัตถุดิบในไอศกรีม ได้ไอศกรีมที่มีการขึ้นฟูสูงขึ้นร้อยละ 30 Philippe and Andre (2002) ใช้ข้าวสุกที่เกิดเจลาติไนซ์เป็นองค์ประกอบในไอศกรีม และ Gu *et al.* (1995) ได้ศึกษาการใช้ข้าวจากประเทศไทย (black rice) ผสมกับแป้งข้าวเหนียว สารให้ความหวานและอิมัลซิไฟเออร์ ได้ไอศกรีมที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เนื่องจากมีสารอาหารที่ช่วยบำรุงร่างกาย ได้แก่ ธาตุเหล็ก และธาตุสังกะสี ส่วนเนื้อไอศกรีมมีลักษณะเหนียว แต่ไม่แข็งขณะบริโภค

<u>โรคแพ้แลคโตสในนม (Lactose Intolerance)</u>

ผู้ที่เป็นโรคนี้ไม่สามารถย่อยแลคโตส (น้ำตาลในนม) เนื่องจากขาดเอนไซม์แลคเตสในลำไส้เล็ก ดังนั้นอาหารที่จะบริโภคจึงต้องเป็นอาหารที่ไม่มีแลคโตส หรือมีในปริมาณน้อย และควรเสริมแคลเซียมให้ผู้ที่ขาดแลคโตส อาการของผู้ที่เป็นโรคแพ้นมคือ ปวดท้องอย่างเฉียบพลัน ท้องอืด ท้องเฟ้อ ท้องร่วง

ในปี 1990-2000 มีผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากแลคโตสเพิ่มขึ้นมาก เช่น เนยคอทเทจ (cottage cheese) เนยแข็งอเมริกัน (American cheese) และมีการผลิตไอศกรีมโดยใช้สารแทนที่นม (milk substitute) เช่น นมถั่วเหลือง นมข้าว และนมอัลมอนด์ แทนส่วนผสมที่เป็นนม การทดสอบสำหรับผู้ที่ไม่ทราบว่าตนเองเป็นโรคนี้หรือไม่ ทำได้โดยบริโภคสารละลายที่มีแลคโตส 50 กรัม ประมาณ 2-3 ชั่วโมง ถ้าร่างกายไม่สามารถย่อยแลคโตสได้ แบคทีเรียทางเดินอาหารจะสร้างก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งสามารถวัดได้ทางลมหายใจ นอกจากนี้ผู้ที่เป็นโรคนี้ควรหลีกเลี่ยงอาหารที่มีส่วนผสมของนม เนื้อนม เวย์โปรตีน เคซีน และแลคโตส

ผู้ที่เป็นโรคแพ้แลคโตสบางคนสามารถบริโภคแลคโตสได้ในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ (1) อาหารที่มีปริมาณแลคโตสเท่ากับนม ½ ถ้วย เช่น นมข้น 2 ช้อนโต๊ะ, วิปปิ้งครีม ¾ ถ้วย, ไอศกรีม 1 ถ้วย, ชีสสเปรด 3 ออนซ์, นมระเหย ¼ ถ้วย, โยเกิร์ต ½ ถ้วย และครีมเปรี้ยว ¾ ถ้วย เป็นต้น (2) อาหารที่มีปริมาณแลคโตสต่ำ เช่น คอทเทจชีส และ (3) การบริโภคนมสด (whole milk) ผู้ป่วยสามารถบริโภคได้มากกว่าหางนม (Anonymous, 1999)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1. ข้าวระยะน้ำนมพันธุ์ปทุมธานี 1
2. ข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1
3. ไขมันปาล์มดัดแปลง (Hydrogenated palm oil)
4. น้ำตาลทราย
5. มอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ของบริษัท Shandong duqing (China)
6. สารคงตัวทางการค้า (Palsgaard® 5924)
7. กัม ได้แก่

    คาราจีแนน (Grindsted carrageenan CL220) ของบริษัท Danisco

    คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose เกรด FH1800-2) ของบริษัท Wealthy Chemical (China)

    กัวร์กัม (Guar gum) ของบริษัท Lotus Gums & Chemicals (Indea)
8. อิมัลซิไฟเออร์ (Dimodan HP-C)

2. อุปกรณ์ในการผลิตไอศกรีม

1. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น Precision Advanced
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. เครื่องปั่นผสมอาหาร ยี่ห้อ Panasonic รุ่น MX-J210GN
4. เครื่องปั่นไอศกรีม ยี่ห้อ Moulinex รุ่น Gelati
5. ตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ White-Westinghouse
6. ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ White-Westinghouse

3. <u>อุปกรณ์ในการตรวจสอบคุณภาพของไอศกรีม</u>

1. เทอร์โมมิเตอร์
2. เครื่องแก้ว
3. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น TA XT Plus
4. Cone probe เบอร์ P/45C
5. เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Brookfield Viscometer รุ่น RV DV III
6. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) ยี่ห้อ ORION รุ่น Model 210A
7. ถ้วยพลาสติกสำหรับวัดร้อยละการขึ้นฟูสูง 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร
8. ตะแกรงลวดขนาด 272 ช่อง/ตารางนิ้ว
9. อุปกรณ์การชิม

4. <u>อุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบ</u>

1. ตะแกรงร่อนแป้งขนาด100 mesh
2. เครื่องโม่หินไฟฟ้า
3. เครื่องปั่นผสมอาหาร
4. เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบตะกร้า (Basket centrifuge)
5. เครื่องบดลดขนาด (Hammer mill)
6. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
7. เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer)

วิธีการ

1. เตรียมแป้งข้าวเจ้า

ทำความสะอาดข้าวสาร แล้วแช่น้ำสะอาด 4 ชั่วโมง นำใส่เครื่องโม่หินไฟฟ้าโดยอัตราส่วนข้าวสาร:น้ำ เป็น 1:2 นำไปแยกส่วนแป้งกับน้ำโดยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบตะกร้า นำแป้งข้าวเทใส่ถาดที่รองด้วยผ้าขาวบาง อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จากนั้นลดขนาดก้อนแป้งด้วยเครื่องบดลดขนาดและนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนแป้ง ได้แป้งข้าวเจ้า จากนั้นนำแป้งข้าวเจ้าไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

2. เตรียมนมข้าวผง

สกัดน้ำนมข้าวจากข้าวระยะน้ำนมพันธุ์ปทุมธานี 1 (นิรนาม, 2545) โดยรูดเมล็ดข้าวออกจากรวงข้าวระยะน้ำนม นำมาล้างทำความสะอาด และแช่ในน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นล้างน้ำสะอาดอีกครั้ง แล้วนำมาปั่นผสมกับน้ำโดยอัตราส่วนข้าว:น้ำ เป็น1:2 ด้วยความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 5 นาที นำไปกรอง ได้น้ำนมข้าว นำมาเติมมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 และคาราจีแนนร้อยละ 0.025 ของน้ำหนักน้ำนมข้าว ละลายให้เข้ากัน นำมาพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมินี้ 2 นาที ทำให้เย็นและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ข้ามคืน นำไปทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก ที่ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที ความดัน 25 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.4 มิลลิเมตร ได้นมข้าวผง จากนั้นนำนมข้าวผงไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3. ศึกษาปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีม

ผลิตไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 10 เนื้อนมไม่รวมมันเนยร้อยละ 10 น้ำตาลร้อยละ 12 สารคงตัว (Palsgaard® 5924) ร้อยละ 0.3 และน้ำร้อยละ 67.7 แปรปริมาณแป้งข้าวเจ้าเป็นร้อยละ 0 (ตัวอย่างควบคุม), 20, 40 และ 60 ของปริมาณเนื้อนมไม่รวมมันเนย และเติมหางนมผงให้ครบร้อยละ 100 ของปริมาณเนื้อนมไม่รวมมันเนย นำมาผลิตไอศกรีม (สมจิต, 2548) โดยตวงส่วนผสมที่เป็นของเหลวในภาชนะสแตนเลสมีด้ามจับ และชั่งส่วนผสมที่เป็นของแข็งรวมกันไว้ (ยกเว้นแป้งข้าวเจ้า) นำส่วนผสมของเหลวตั้งไฟแบบตุ๋นจนมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นค่อยๆ

เติมส่วนผสมของแข็งลงไป คนให้เป็นเนื้อเดียวกันจึงเติมแป้งข้าวเจ้า คนให้เข้ากัน ตั้งไฟจนส่วนผสมมีอุณหภูมิถึง 60 องศาเซลเซียสแล้วใส่เครื่องปั่นผสมอาหาร ปั่นที่ความเร็วสูงสุด 1 นาที จากนั้นนำไปพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 2 นาที ทำให้เย็น นำไปบ่มที่ 4 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ข้ามคืน (ประมาณ 18 ชั่วโมง) นำมาวัดค่าพีเอช และค่าความหนืด (ดัดแปลงวิธีของ Goff *et al*, 1990) แล้วนำไปปั่นเป็นไอศกรีมจนแข็งตัว บรรจุลงถ้วยพลาสติก เก็บที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง ก่อนนำไปวัดค่าการขึ้นฟู (Arbuckle, 1986) ค่าความแน่นแข็ง (วรรณพร, 2547) อัตราการละลาย (ดัดแปลงวิธีของ Garcia *et al*.,1995) และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

4. <u>ศึกษาปริมาณนมข้าวผงที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีม</u>

แปรปริมาณนมข้าวผงเป็นร้อยละ 0 (ตัวอย่างควบคุม) 20, 40 และ 60 ของปริมาณเนื้อนมไม่รวมมันเนย และเติมหางนมผงให้ครบร้อยละ 100 ของปริมาณเนื้อนมไม่รวมมันเนย นำมาผลิตไอศกรีมตามข้อ 3 และนำไอศกรีมมิกซ์หลังการบ่มแล้วไปวัดค่าพีเอชและค่าความหนืด และไอศกรีมหลังผ่านการแช่แข็งไปวัดค่าการขึ้นฟู ค่าความแน่นแข็ง อัตราการละลาย และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

5. <u>ศึกษาชนิดและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์และกัมที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมข้าว</u>

ผลิตไอศกรีมแป้งข้าวเจ้าและนมข้าวผง โดยแปรชนิดและปริมาณกัม (ได้แก่ คาราจีแนน, คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสและกัวร์กัม) เป็นร้อยละ 0.1, 0.15 และ 0.2 และเติมอิมัลซิไฟเออร์ให้สารคงตัวรวมกันได้ร้อยละ 0.3 ผลิตไอศกรีมตามข้อ 3 และนำไอศกรีมมิกซ์หลังการบ่มแล้วไปวัดค่าพีเอชและค่าความหนืด และไอศกรีมหลังผ่านการแช่แข็งไปวัดค่าการขึ้นฟู ค่าความแน่นแข็ง อัตราการละลาย และทดสอบทางประสาทสัมผัสบอกระดับของเนื้อสัมผัส และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

6. <u>ศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของไอศกรีมข้าวที่ผลิตจากนมข้าวผงและแป้งข้าวเจ้า</u>

เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ไขมัน โปรตีน และเถ้าระหว่างไอศกรีมที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าและนมข้าวผง

7. <u>การทดสอบทางประสาทสัมผัส</u>

ทดสอบการยอมรับ โดยใช้แบบทดสอบ 9-Point Hedonic Scale ผู้ทดสอบคือ นิสิตและบุคลากรคณะอุตสาหกรรมเกษตร จำนวน 40 คน เสิร์ฟตัวอย่างหลังจากนำออกจากตู้แช่แข็งประมาณ 3 นาที

ทดสอบระดับเนื้อสัมผัส โดยใช้แบบทดสอบ 15 cm Unstructure Line Scale ผู้ทดสอบคือ นิสิตคณะอุตสาหกรรมเกษตรที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 15 คน

8. <u>การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ</u>

ใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) สำหรับสมบัติทางกายภาพ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์โดย Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<u>สถานที่ทำการทดลอง</u>

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ผลและวิจารณ์

<u>การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของนมข้าวผงและแป้งข้าวเจ้า</u>

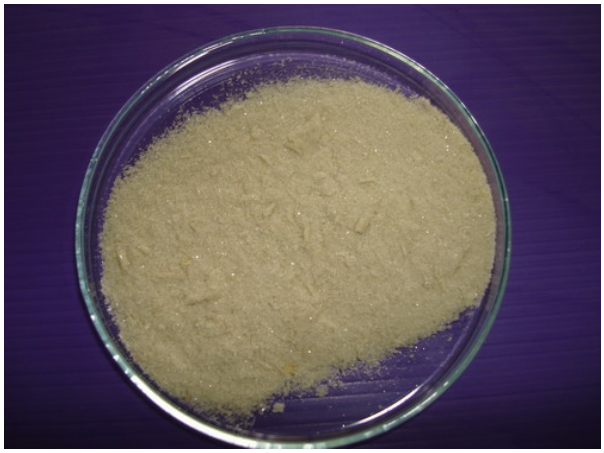
น้ำนมข้าวเตรียมจากข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 ระยะน้ำนมซึ่งมีอายุประมาณ 100 วัน และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ได้ผลิตภัณฑ์นมข้าวผงประมาณร้อยละ 14 ของน้ำนมข้าวปรุงแต่งเริ่มต้น นมข้าวผงมีสีเขียวอ่อน เป็นเกล็ด (ภาพที่9(ก)) สามารถละลายน้ำได้ดี นมข้าวผงมีความชื้นร้อยละ 9.48 โปรตีนร้อยละ 1.84 ไขมันร้อยละ 0.32 เส้นใยร้อยละ 0.27 ส่วนแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 เตรียมจากข้าวระยะแป้งซึ่งมีอายุประมาณ 120 วัน ลักษณะของแป้งข้าวเจ้าที่ได้มีสีขาวเป็นผงละเอียด (ภาพที่10 (ข)) มีความชื้นร้อยละ 10.41 โปรตีนร้อยละ 3.2 ไขมันร้อยละ 0.59 เส้นใยร้อยละ 0.09

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบระหว่างนมข้าวผงและแป้งข้าวเจ้า (ตารางที่ 2) พบว่า ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน เป็นผลจากระยะการเจริญของต้นข้าว และกระบวนการผลิตที่ต่างกัน โดยนมข้าวผงผ่านการทำแห้งที่ความร้อนสูงจากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง จึงมีค่าความชื้นต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า นอกจากนี้การผลิตนมข้าวผงต้องเติมมอลโตเด็กซ์ตรินลงไปเพื่อเพิ่มปริมาตรและเติมคาราจีแนนเพื่อเพิ่มความหนืด เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ดังนั้นองค์ประกอบของนมข้าวผงส่วนใหญ่จึงเป็นมอลโตเด็กซ์ตรินและคาราจีแนน

<u>ตารางที่ 2</u> ร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของนมข้าวผงและแป้งข้าว

ตัวอย่าง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย
นมข้าวผง	9.48±0.02	1.84±0.04	0.32±0.08	0.27±0.17
แป้งข้าวเจ้า	10.41±0.02	3.20±0.02	0.59±0.06	0.09±0.05

เนื่องจากนมข้าวผงและแป้งข้าวเจ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวระยะต่างกัน นมข้าวผงผลิตจากข้าวระยะน้ำนมซึ่งขณะนั้นองค์ประกอบในเมล็ดข้าวยังไม่เกิดการสังเคราะห์เป็นเม็ดสตาร์ช ดังนั้นการทดสอบโดยกล้องจุลทรรศน์จึงเป็นวิธีหนึ่งในการบอกความแตกต่างระหว่างแป้งข้าวเจ้าและนมข้าวผง โดยโครงสร้างของแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะเป็นเม็ดแกรนูลที่มีเหลี่ยมขนาดประมาณ 3-5 ไมครอน แต่ลักษณะนี้ไม่พบในนมข้าวผง



(ก)

(ข)

ภาพที่ 9 ผลิตภัณฑ์จากข้าว (ก) นมข้าวผง (ข) แป้งข้าวเจ้า

ศึกษาการทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าในไอศกรีม

1. ผลของแป้งข้าวเจ้าต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม

การทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าในไอศกรีม (ตารางที่ 3) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างควบคุมมีค่าพีเอช 6.42 ค่าความหนืด 50 เซนติพอยซ์ ค่าความแน่นแข็ง 12.39 นิวตัน ค่าการขึ้นฟู ร้อยละ 64.27 และอัตราการละลายช่วง 20-30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็น 0.22 กรัมต่อนาที

ตารางที่ 3 สูตรไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้า

สูตรที่	ไขมัน	หางนมผง	แป้งข้าวเจ้า	น้ำตาล	สารคงตัว	น้ำ
CTRL	10	10	0	12	0.3	67.7
1	10	8	2	12	0.3	67.7
2	10	6	4	12	0.3	67.7
3	10	4	6	12	0.3	67.7
4	10	6	4	13	0.3	66.7
5	10	6	4	14	0.3	65.7
6	10	4	6	13	0.3	66.7
7	10	4	6	14	0.3	65.7

เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าสีของไอศกรีมมิกซ์ (ตารางที่ 4) นั่นคือค่าความสว่าง (L) ของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้นแต่ไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่ค่า a* เป็นลบลดลงแสดงถึงความเป็นสีเขียวของไอศกรีมลดลง และค่า b* เป็นบวกลดลงแสดงถึงความเป็นสีเหลืองของไอศกรีมมิกซ์ลดลง เนื่องจากปริมาณแคโรทีนอยด์และไรโบฟลาวินในหางนมผงเป็นสารให้สีเหลืองและสีเขียว เมื่อปริมาณหางนมผงลดลง ส่งผลให้ค่าสีเหลืองและสีเขียวลดลง แต่ที่ค่าความเข้มของสีระดับนี้ไม่สามารถบอกความต่างจากการมองด้วยตาเปล่าได้

ตารางที่ 4 ค่าสีของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ปริมาณต่างกัน

ค่าสี	สูตรที่			
	CTRL	1	2	3
L	91.37[a]	90.86[a]	90.96[a]	90.96[a]
a*	-2.56[a]	-2.41[b]	-1.99[c]	-1.60[d]
b*	8.86[a]	8.16[a]	6.95[b]	6.35[c]

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลการทดสอบทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้า (ตารางที่ 5) พบว่าเมื่อใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนหางนมผงร้อยละ 20-40 (สูตรที่ 1-2) มีผลทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อทดแทนมากขึ้นเป็นร้อยละ 60 (สูตรที่3) ทำให้ค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ต่างไป เนื่องจากปริมาณหางนมผงที่ลดลง ทำให้ปริมาณโปรตีนและเกลือแร่ลดลง มีผลต่อการลดค่าความเป็นกรดของไอศกรีมมิกซ์ (Marshall and Arbuckle, 1996) แต่ปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่สูงขึ้นมีผลต่อค่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นจาก 50 เซนติพอยซ์ หนืดขึ้นถึง 200 เซนติพอยซ์ ซึ่งเป็นช่วงความหนืดที่เหมาะสมต่อการปั่นไอศกรีม (Marshall and Arbuckle, 1996) ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เป็นผลจากพันธะไฮโดรเจนและแรงยึดเหนี่ยววาลเดอวาวล์ระหว่างสารคงตัวพวกกัมกับโปรตีนเสียสภาพบางส่วน (Cherry, 1982) ทำให้เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ จำกัดการเคลื่อนที่ของน้ำและองค์ประกอบอื่นๆที่ละลายในน้ำในผลิตภัณฑ์ รวมทั้งเป็นผลจากกระบวนการแปรรูป เช่นการพาสเจอไรซ์ การโฮโมจิไนซ์และการบ่ม (Varnam and Sutherland, 1994; Marshall and Arbuckle, 1996) การทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 20 ความหนืดสูงขึ้นมากกว่าตัวอย่างควบคุมถึง 3 เท่า (153.67>50 เซนติพอยซ์) เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้าขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 60 ของหางนมผง ค่าความหนืดสูงขึ้นจากเดิม 20 และ 40 เซนติพอยซ์ ตามลำดับ ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่ม เนื่องจากสตาร์ชเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ดูดน้ำและพองตัวที่อุณหภูมิสูง ทำให้โมเลกุลน้ำอิสระลดลง (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546; Cherry, 1982; Belitz *et al*., 2004) ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์จึงสูงขึ้น เช่นเดียวกับการเติมกล้วยหอมผงในไอศกรีม (ทิพยา, 2542)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าปริมาณต่างกัน (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

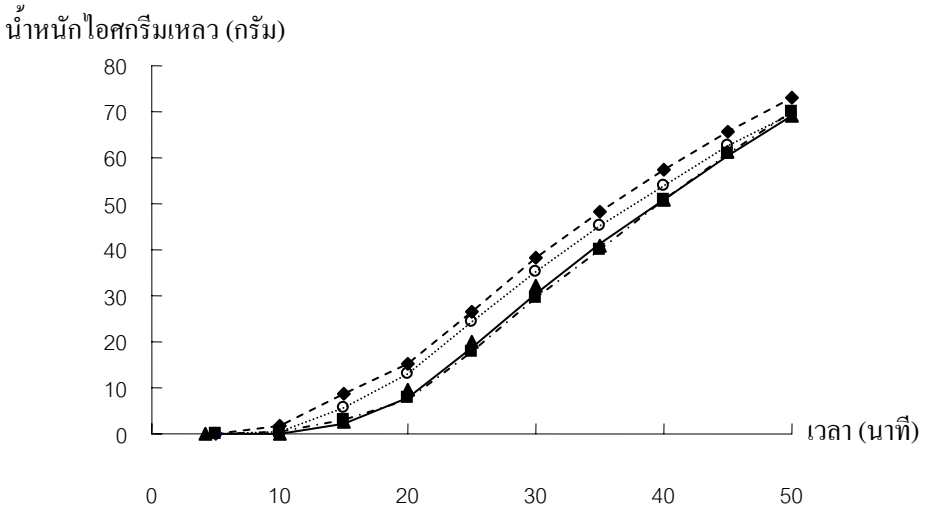
ลักษณะทางกายภาพ	สูตรที่			
	CTRL	1	2	3
พีเอช	$6.43^{a} \pm 0.01$	$6.45^{a} \pm 0.07$	$6.48^{a} \pm 0.05$	$6.59^{b} \pm 0.03$
ความหนืด (เซนติพอยซ์)	$50.00^{a} \pm 3.16$	$153.67^{b} \pm 1.03$	$173.67^{c} \pm 2.66$	$197.83^{d} \pm 11.94$
การขึ้นฟู (ร้อยละ)	$64.27^{a} \pm 1.54$	$42.71^{b} \pm 1.97$	$36.07^{c} \pm 1.14$	$34.46^{c} \pm 1.02$
ความแน่นแข็ง (นิวตัน)	$12.39^{a} \pm 2.43$	$65.92^{b} \pm 3.59$	$118.98^{c} \pm 13.26$	$149.82^{d} \pm 6.12$
อัตราการละลาย (กรัมต่อนาที)	$2.01^{a} \pm 0.12$	$2.31^{a} \pm 0.11$	$2.38^{a} \pm 0.13$	$2.55^{a} \pm 0.02$

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้นส่งผลให้การขึ้นฟูของไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่สูงขึ้นทำให้การขึ้นฟูของไอศกรีมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การทดลองนี้ใช้เครื่องปั่นไอศกรีมแบบครัวเรือนซึ่งมีค่าแรงเฉือนต่ำ ไอศกรีมมิกซ์ที่มีความหนืดสูงเหมาะสมกับเครื่องปั่นไอศกรีมที่มีค่าแรงเฉือนสูง หากใช้กับเครื่องที่มีแรงเฉือนต่ำทำให้การขึ้นฟูของไอศกรีมลดลง (Marshall and Arbuckle, 1996) นอกจากนี้เม็ดแป้งข้าวเจ้าบางส่วนแทรกตัวในโครงสร้างไขมัน มีผลต่อการหุ้มฟองอากาศของไขมันในไอศกรีมทำให้การขึ้นฟูลดลง และเมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าสูงขึ้น ค่าความแน่นแข็งของไอศกรีมสูงขึ้น ความแน่นแข็งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำส่วนไม่แข็งตัว (Bound water) (Hermansson, 1995) และปริมาณโพลิแซคคาร์ไรด์ ได้แก่ สตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าและสารคงตัวในผลิตภัณฑ์ซึ่งจับน้ำ แล้วเกิดโครงร่างตาข่าย เนื่องจากอุณหภูมิในการผลิต ไม่สูงพอที่ทำให้แป้งเกิดเจลาติไนซ์ แป้งข้าวเจ้าในไอศกรีมยังคงเป็นเม็ดแป้งและบางส่วนเกาะกลุ่มกัน เมื่อแช่แข็งเม็ดแป้งจัดเรียงตัวในไอศกรีมจึงอาจมีผลทำให้ต้านทานแรงเจาะทะลุสูง

แป้งข้าวเจ้ามีผลต่อการลดอัตราการละลายของไอศกรีมในช่วง 20 ถึง 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) (ภาพที่ 14) เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น การละลายของไอศกรีมช้าลง การที่ไอศกรีมละลายช้าลงเป็นผลจากสตาร์ชซึ่งเป็นโพลีแซคคาร์ไรด์โมเลกุลใหญ่จับน้ำในไอศกรีม ทำให้เปลี่ยนสถานะของน้ำจากของแข็งเป็นของเหลว และเกิดการแยกของเหลวช้า เมื่อไอศกรีมละลาย น้ำแข็งส่วนที่เป็นน้ำอิสระละลายออกมาก่อน น้ำแข็งที่จับกับโพลิแซคคาร์ไรด์โมเลกุลใหญ่ละลายตามออกมาทีหลัง (Fennema, 1985) ไอศกรีมที่ละลายช้าเหมาะสำหรับให้เด็กรับประทานและทำเป็น

ไอศกรีมแบบแท่ง ลักษณะไอศกรีมเหลวของไอศกรีมที่ทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้ามีความหนืดสูง เนียน และไม่เป็นโฟม ไอศกรีมที่ดีควรคงรูปร่างขณะละลาย ละลายไม่ช้าหรือเร็วเกินไปและส่วนที่ละลายควรเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 14 การละลายของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้า (กรัม/นาที)
ที่ร้อยละ 0(CTRL) - ◆ - ร้อยละ 20 ○ ร้อยละ 40 ■ ร้อยละ 60 - ▲ -

2. ผลของแป้งข้าวเจ้าต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

การทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้า (สูตรที่ 1-3) ได้คะแนนความชอบด้านสีไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 6) เมื่อทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 20 คะแนนความชอบด้านต่างๆ (ด้านสี กลิ่นรส ความหวาน เนื้อสัมผัส ความรู้สึกหลังรับประทาน) ไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 40 ความชอบด้านเนื้อสัมผัสไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) คะแนนความชอบที่ลดลงเป็นผลจากความแน่นแข็งของไอศกรีมที่สูงขึ้น แต่ผู้บริโภคไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ทำให้ความชอบไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่น ความหวาน ความรู้สึกหลังรับประทานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) มีผลให้คะแนนความชอบรวมลดลง การที่ความชอบด้านกลิ่นรสลดลงเนื่องจากแป้งข้าวเจ้าที่ใส่ลงไปลดกลิ่นหอมของนม และผู้บริโภคสามารถรับรู้สารให้กลิ่นในแป้งข้าวเจ้า ซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับในไอศกรีม ทำให้คะแนนด้านกลิ่นรสลดลง และโดยปกติในหางนมผงมีน้ำตาลแลคโตสเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 55 ดังนั้นการทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้า ทำให้ความ

หวานของไอศกรีมที่ได้จากน้ำตาลแลคโตสหายไปบางส่วน ส่งผลให้คะแนนความชอบลดลง ส่วนความชอบที่มีต่อความรู้สึกหลังรับประทาน (after taste) ซึ่งหมายถึงความรู้สึกเคลือบมันในปากรวมทั้งกลิ่นรสที่ติดค้างในปากหลังจากกลืนไอศกรีมแล้วมีค่าลดลง เป็นผลจากค่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่สูงขึ้นจากแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6 ผลทางประสาทสัมผัสทดสอบการยอมรับโดยใช้แบบทดสอบ 9-Point Hedonic Scale ของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวในปริมาณต่างกัน

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	สูตรที่							
	CTRL	1	2	3	4	5	6	7
สี	6.67^{a}	6.58^{a}	7.00^{a}	6.88^{a}	7.29^{a}	7.29^{a}	7.42^{a}	6.67^{a}
กลิ่น	6.92^{c}	6.63^{bc}	5.33^{a}	5.25^{a}	6.71^{bc}	6.88^{c}	6.13^{bc}	5.92^{ab}
ความหวาน	6.92^{b}	6.71^{b}	5.21^{a}	4.92^{a}	6.63^{b}	7.04^{b}	6.17^{b}	6.46^{b}
เนื้อสัมผัส	6.71^{c}	6.54^{bc}	6.00^{abc}	5.54^{a}	6.25^{abc}	6.83^{c}	6.08^{abc}	5.71^{ab}
ความรู้สึกหลังรับประทาน	6.63^{d}	6.67^{d}	4.92^{a}	5.29^{ab}	5.79^{bc}	6.54^{cd}	5.54^{ab}	5.83^{bc}
ความชอบรวม	7.04^{c}	7.00^{c}	5.17^{b}	5.08^{b}	6.59^{bc}	7.04^{c}	5.88^{b}	5.92^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การผลิตไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 40 และ 60 และเติมน้ำตาลร้อยละ 13 และ 14 (สูตรที่ 4-7) ของน้ำหนักไอศกรีม และเติมกลิ่นข้าว (Rice Fragrant) ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านการบ่ม เพื่อเพิ่มความหวานของไอศกรีมที่ลดลงจากส่วนของน้ำตาลแลคโตสที่หายไป พบว่าไอศกรีมมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและความหวานสูงขึ้น และไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น จุดเยือกแข็งของไอศกรีมลดลง ทำให้ไอศกรีมละลายได้เร็วขึ้นมีผลให้ผู้บริโภครับรู้ความแน่นแข็งของไอศกรีมลดลง คะแนนความชอบสูงขึ้น ส่งผลให้คะแนนความชอบรวมสูงขึ้น โดยไอศกรีมที่ทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 40 เติมน้ำตาลร้อยละ 14 ของน้ำหนักไอศกรีมและแต่งกลิ่นข้าวมีคะแนนความความชอบด้านต่างๆ และคะแนนความชอบรวมไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากผลการทดลอง เราสามารถทดแทนหางนมผงบางส่วนด้วยแป้งข้าวเจ้าได้ ในระดับร้อยละ 40 ซึ่งเป็นระดับที่ผู้บริโภคให้การยอมรับไอศกรีม จากการคำนวณการลดปริมาณหางนมผงในระดับนี้ทำให้ไอศกรีมมีปริมาณแลคโตสลดลงประมาณร้อยละ 40 แต่แป้งข้าวเจ้าที่เติมลงไปมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม

3. <u>ผลของชนิดและปริมาณกัมต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้า</u>

การศึกษาไอศกรีมที่ทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 40 เมื่อสารคงตัวต่างกัน (ตารางที่ 7) แสดงผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพดังตารางที่ 8 เมื่อปริมาณกัมสูงขึ้น ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้น การใช้คาราจีแนนทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดสูงสุดจนไม่สามารถวัดค่าด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ได้ ส่วนกัวร์กัมและคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสให้ความหนืดรองลงมาตามลำดับ กัวร์กัมร้อยละ 0.15 และ 0.2 ทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดไม่ต่างกันและการใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.1 ให้ไอศกรีมมิกซ์ที่หนืดไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) การที่คาราจีแนนทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดสูง เนื่องจากประจุลบที่หมู่ซัลเฟตของคาราจีแนนเกิดแรงดึงดูดอิเล็กโตรสแตติกกับประจุของโปรตีน (Vega *et al*., 2005) รวมทั้งในหางนมผงและแป้งข้าวเจ้ามีแคลเซียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนเป็นองค์ประกอบที่ช่วยส่งเสริมการเกิดโครงสร้างเจลของแคปป้าและไอออต้า-คาราจีแนน ตามลำดับ โดยแคทไอออนเป็นตัวเชื่อมให้ประจุลบที่หมู่ซัลเฟตของคาราจีแนน และประจุลบของโปรตีนเกิดแรงดึงดูดกันได้ เจลที่ได้เป็นแบบเปราะที่ผันกลับได้โดยความร้อน (Thermoreversible gel) โดยมีกลไกการเกิดเป็น double helix carrageenan polymers เมื่อเย็นสายโพลิเมอร์รวมตัว เข้ามาใกล้กันเกิดเป็น junction zone (Dea, 1982; Glicksman, 1982) ซึ่งการเกิดโครงสร้างเจลของคาราจีแนนร่วมกับโปรตีนในตัวอย่างควบคุมและไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าต่างกัน เป็นผลจากปริมาณและชนิดของแคทไอออนที่มีในไอศกรีมมิกซ์ต่างกันเป็นผลให้การเหนี่ยวนำให้เกิดโครงสร้างเจลต่างกัน นอกจากนี้คาราจีแนนมีผลทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้มากขึ้น ความหนืดจึงสูงขึ้น (Loisel *et al*.,1999) ส่วนกัวร์กัมและคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสมีคุณสมบัติเฉพาะตัวต่างกับคาราจีแนน ซึ่งเป็นกัมที่ไม่เกิดเจล กัวร์กัมเพิ่มความหนืดในสารละลายแป้งได้มากกว่าคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (Shi and BeMiller, 2002) และคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสเกิดดีโพลิเมอไรซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง (Whistler and BeMiller,1993) เมื่อส่วนผสมผ่านการพาสเจอไรซ์ ทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดต่ำลง Wang *et al*.(1998) พบว่าการใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.4 ในสารละลายน้ำตาลทรายผสมแลคโตส ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้นแต่คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.4 ไม่มีผลต่อความหนืด และคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสมีความสามารถดูดน้ำที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง เม็ดแป้งดูดน้ำได้ลดลง ทำให้ความหนืดเกิดจากผลของกัมมากกว่าการพองตัวของเม็ดแป้ง

ตารางที่ 7 สูตรไอศกรีมแป้งข้าวเจ้าแปรชนิดและปริมาณกัม

สูตรที่	ไขมัน	หางนมผง	แป้งข้าวเจ้า	น้ำตาล	สารคงตัว Palsgaard	กัม			อิมัลซิไฟเออร์	น้ำ
						GG	CMC	CA		
CTRL	10	10	0	14	0.3	0	0	0	0	65.7
8	10	6	4	14	0	0.1	0	0	0.2	65.7
9	10	6	4	14	0	0.15	0	0	0.15	65.7
10	10	6	4	14	0	0.2	0	0	0.1	65.7
11	10	6	4	14	0	0	0.1	0	0.2	65.7
12	10	6	4	14	0	0	0.15	0	0.15	65.7
13	10	6	4	14	0	0	0.2	0	0.1	65.7
14	10	6	4	14	0	0	0	0.1	0.2	65.7
15	10	6	4	14	0	0	0	0.15	0.15	65.7
16	10	6	4	14	0	0	0	0.2	0.1	65.7

หมายเหตุ GG หมายถึง กัวร์กัม

CMC หมายถึง คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส

CA หมายถึง คาราจีแนน

ปริมาณและชนิดของกัมมีผลต่อการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีม การใช้คาราจีแนนได้ไอศกรีมที่มีการขึ้นฟูต่ำสุด และเมื่อปริมาณคาราจีแนนสูงขึ้น การขึ้นฟูของไอศกรีมลดลง เนื่องจากไอศกรีมมิกซ์มีลักษณะเป็นเจลของโครงสร้างร่างแหของคาราจีแนนร่วมกับโปรตีนขัดขวางการเคลื่อนที่ของไขมันมาหุ้มฟองอากาศ ทำให้ไขมันหุ้มฟองอากาศเกิดได้ช้า การหุ้มฟองอากาศเกิดได้ไม่ดี ไอศกรีมที่ได้จึงมีการขึ้นฟูต่ำ และเมื่อมีปริมาณอากาศในไอศกรีมต่ำ รวมทั้งความหนืดของส่วนไม่แข็งตัวสูงส่งผลให้ไอศกรีมมีค่าความแน่นแข็งสูงสุด และมีอัตราการละลายต่ำกว่าการใช้กัมชนิดอื่น เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นเจลอุ้มน้ำไว้ ทำให้น้ำแยกตัวออกมาภายนอกได้ช้า และเนื้อสัมผัสของไอศกรีมที่มีความแน่นแข็งสูง ไอศกรีมจึงเสียโครงสร้างหรือยุบตัวได้ยาก ทำให้อัตราการละลายของไอศกรีมที่ใช้คาราจีแนนต่ำ

การใช้กัวร์กัมและคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟูสูงกว่าการใช้คาราจีแนน เนื่องจากกัวร์กัมและคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสเป็นกัมที่ดูดน้ำ แต่ไม่ทำให้ไอศกรีมมิกซ์เกิด

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 40 แปรชนิดและปริมาณกัม (ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

สูตรที่	พีเอช	ความหนืด (เซนติพอยซ์)	ความแน่นแข็ง (นิวตัน)	การขึ้นฟู (ร้อยละ)	อัตราการละลาย (กรัมต่อนาที)
CTRL	$6.79^{e} \pm 0.02$	$52.5^{a} \pm 4.49$	$28.99^{a} \pm 10.51$	$51.50^{g} \pm 2.99$	$2.54^{e} \pm 0.14$
8	$6.91^{f} \pm 0.00$	$130.17^{b} \pm 38.59$	$123.90^{d} \pm 16.99$	$41.80^{e} \pm 1.76$	$2.14^{d} \pm 0.13$
9	$6.08^{b} \pm 0.12$	$310.33^{e} \pm 5.75$	$83.80^{bc} \pm 16.63$	$41.83^{e} \pm 1.65$	$1.53^{bc} \pm 0.74$
10	$6.61^{d} \pm 0.00$	$310.17^{e} \pm 31.47$	$66.39^{b} \pm 7.93$	$55.09^{h} \pm 3.60$	$2.21^{de} \pm 0.16$
11	$6.90^{f} \pm 0.03$	$63.75^{a} \pm 7.2$	$96.20^{bcd} \pm 22.49$	$39.44^{d} \pm 1.55$	$2.16^{d} \pm 0.16$
12	$6.23^{b} \pm 0.02$	$162.3^{c}3 \pm 21.72$	$107.03^{cd} \pm 20.64$	$36.17^{c} \pm 2.41$	$1.74^{c} \pm 0.40$
13	$6.62^{d} \pm 0.02$	$269.33^{d} \pm 13.15$	$19.97^{a} \pm 10.81$	$45.19^{f} \pm 0.73$	$2.32^{de} \pm 0.06$
14	$5.44^{a} \pm 0.03$	EEE	$173.07^{e} \pm 66.09$	$31.69^{b} \pm 0.71$	$1.25^{b} \pm 0.08$
15	$6.52^{c} \pm 0.01$	EEE	$212.92^{f} \pm 27.05$	$24.29^{a} \pm 1.05$	$0.82^{a} \pm 0.22$
16	$6.44^{c} \pm 0.00$	EEE	$127.99^{d} \pm 72.09$	$22.86^{a} \pm 1.29$	$1.61^{bc} \pm 0.24$

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

EEE หมายถึงไม่สามารถวัดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ได้

โครงสร้างเจล ไขมันในไอศกรีมมิกซ์จึงเกิดการเคลื่อนที่มาหุ้มฟองอากาศได้ง่ายกว่าการใช้คาราจีแนน แต่ค่าการขึ้นฟูยังคงต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมเป็นผลจากแป้งที่ใส่ลงไปยังคงเป็นเม็ดแกรนูลและบางส่วนเกาะกลุ่มกัน ขัดขวางการเคลื่อนที่มาหุ้มฟองอากาศของไขมัน การใช้กัวร์กัมและคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.15, 0.1 และ 0.2 ทำให้การขึ้นฟูของไอศกรีมสูงขึ้น ตามลำดับ สัมพันธ์กับความแน่นแข็งของไอศกรีมที่ลดลง ตามลำดับ ไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้ามีการขึ้นฟูต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นการใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.2 ไอศกรีมมีการขึ้นฟูสูงกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย อาจเป็นผลจากการใช้ปริมาณกัมในระดับนี้มีผลให้แป้งข้าวเจ้ากระจายตัวได้ดี ทำให้ไขมันเคลื่อนที่มาหุ้มฟองอากาศได้ง่ายกว่าการใช้กัมปริมาณอื่นจึงทำให้ค่าการขึ้นฟูสูง การใช้กัวร์กัมทำให้ไอศกรีมมีค่าความแน่นแข็งสูงกว่าคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสซึ่งสัมพันธ์กับความหนืดของไอศกรีมที่สูงขึ้น (Muse and Hartel, 2004) ยกเว้นคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.15 ได้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งสูงกว่าการใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.15 และคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.2 ได้ไอศกรีมที่มีความ

แน่นแข็งไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สัมพันธ์กับค่าการขึ้นฟูที่สูงกว่าไอศกรีมสูตรอื่น เมื่อเปรียบเทียบอัตราการละลาย การใช้กัวร์กัมและคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.1 และ 0.2 อัตราการละลายไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งเป็นสูตรที่ไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟูสูงและค่าความแน่นแข็งต่ำกว่าไอศกรีมสูตรอื่น จึงอาจทำให้ไอศกรีมเสียรูปทรงได้ง่ายกว่าไอศกรีมสูตรอื่น ดังนั้นจึงละลายได้ง่ายกว่า

4. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมแป้งข้าวเจ้าแปรชนิดและปริมาณกัม

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้สเกล 15 ซม. ทดสอบระดับเนื้อสัมผัสของไอศกรีมแสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าไอศกรีมแป้งข้าวเจ้าที่ใส่คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสและกัวร์กัมร้อยละ 0.1 และ 0.2 เป็นกัมมีความแน่นแข็งต่ำสุด และไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบด้วยเครื่องมือ พบว่า ผู้บริโภคจัดเรียงลำดับความแน่นแข็งของไอศกรีมต่างกับการใช้เครื่องมือทดสอบ เป็นผลจากสมบัติการละลายของไอศกรีมระหว่างการบริโภค ทำให้การรับรู้ระดับความแน่นแข็งของไอศกรีมลดลง ไอศกรีมที่ใส่กัวร์กัมร้อยละ 0.1 มีค่าความแน่นแข็งสูงสุดเมื่อวัดด้วยเครื่องมือ แต่ผู้บริโภคให้ระดับความแน่นแข็งไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ไอศกรีมสูตรนี้มีอัตราการละลายค่อนข้างสูง ทำให้ผู้บริโภครู้สึกว่าไอศกรีมมีความแน่นแข็งไม่สูง แต่ไอศกรีมใส่กัวร์กัมและคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.15 อัตราการละลายช้ากว่าไอศกรีมสูตรอื่น ทำให้ค่าความแน่นแข็งสูงจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสและต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวอย่างควบคุมมีระดับความหนืดต่ำ และไม่ต่างจากไอศกรีมแป้งข้าวเจ้าที่ใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.1 และ 0.15 ผลที่ได้สอดคล้องกับค่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่วัดได้จากเครื่องมือ การใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.2 ไอศกรีมมีความหนืดสูงที่สุด และส่งผลให้การรับรู้ระดับความเคลือบมันในปากสูงกว่าไอศกรีมแป้งข้าวเจ้าสูตรอื่นแต่ไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณกัมสูงขึ้นไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดสูงขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Moore and Shoemaker (1981) ซึ่งทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของไอศกรีมวานิลา พบว่าไอศกรีมวานิลลาที่ใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสสูงขึ้น ไอศกรีมมีความหนืดสูงขึ้น และการทดลองของอุษา (2541) พบว่า การใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสปริมาณน้อยทำให้ไอศกรีมมิกซ์ไม่หนืดมากแต่กัวร์กัมให้ความหนืดค่อนข้างสูง

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสบอกระดับเนื้อสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructure Line Scale ของไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้า

สูตรที่	ความแน่นแข็ง	ความหนืด	ความเรียบเนียน	ความเคลือบมัน
CTRL	8.66[a]	7.45[a]	11.20[a]	9.95[a]
8	9.81[abc]	9.46[bc]	10.56[a]	9.12[a]
9	10.06[bc]	9.19[bc]	10.59[a]	9.30[a]
10	9.22[ab]	10.50[c]	10.57[a]	10.77[a]
11	9.91[abc]	8.25[ab]	11.28[a]	9.23[a]
12	10.66[c]	8.55[ab]	11.09[a]	10.66[a]
13	9.56[abc]	9.49[bc]	10.33[a]	10.08[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

ส่วนผลการทดสอบการยอมรับไอศกรีมแป้งข้าวเจ้า (ตารางที่ 10) พบว่าผู้บริโภคชอบเนื้อสัมผัสของไอศกรีมที่ใส่กัวร์กัมร้อยละ 0.2 มากที่สุด สูตรนี้มีความแน่นแข็งต่ำใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม(จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส) คืออยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง แต่มีคะแนนความชอบไม่ต่างจากไอศกรีมสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ยกเว้นไอศกรีมที่ใส่คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.15 ซึ่งมีความแน่นแข็งสูงสุดทำให้ความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบรวมต่ำกว่าไอศกรีมสูตรอื่น แต่คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และคะแนนความชอบรวมของไอศกรีมแป้งข้าวเจ้าทุกตัวอย่างไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แม้คะแนนความชอบรวมของไอศกรีมที่ใส่คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.2 สูงที่สุด และไอศกรีมที่ใส่คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.15 ต่ำที่สุด แต่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากผลของเนื้อสัมผัสและความรู้สึกหลังรับประทาน

ตารางที่ 10 ผลทางประสาทสัมผัสทดสอบการยอมรับโดยใช้แบบทดสอบ 9-Point Hedonic Scale ของไอศกรีมแป้งข้าวเจ้า

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	สูตรที่					
	8	9	10	11	12	13
เนื้อสัมผัส	6.40^{ab}	6.70^{ab}	7.00^{b}	6.50^{ab}	6.00^{a}	6.90^{b}
ความรู้สึกหลังรับประทาน	6.50^{a}	6.20^{a}	6.40^{a}	6.40^{a}	6.40^{a}	6.20^{a}
ความชอบรวม	6.50^{a}	6.90^{a}	6.90^{a}	7.00^{a}	6.30^{a}	7.10^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ศึกษาการทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงในไอศกรีม

1. ผลของนมข้าวผงต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผง (ตารางที่ 11) กับตัวอย่างควบคุม พบว่า ปริมาณนมข้าวผงมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 11 สูตรไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผง

สูตรที่	ไขมัน	หางนมผง	นมข้าวผง	น้ำตาล	สารคงตัวทางการค้า	น้ำ
CTRL	10	10	0	12	0.3	67.7
17	10	8	2	12	0.3	67.7
18	10	6	4	12	0.3	67.7
19	10	4	6	12	0.3	67.7

นมข้าวผงมีผลต่อค่าสีของไอศกรีมมิกซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่12) เมื่อปริมาณนมข้าวผงมากขึ้น ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเขียวของไอศกรีมมิกซ์ลดลง (ค่า L เป็นบวกลดลง และค่า a* เป็นลบน้อยลง ตามลำดับ) แต่ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (ค่า b* เพิ่มขึ้น) แสดง

ว่า นมข้าวผงมีผลต่อการเพิ่มความเป็นสีเหลืองของไอศกรีมมิกซ์ เช่นเดียวกับการทดลองของมณฑิรา และวลัยพร (2538) ที่ทดแทนหางนมผงด้วยนมถั่วเหลืองผง ทำให้ค่า L ลดลง แต่ค่า a, b สูงขึ้น

ตารางที่ 12 ค่าสีของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงที่ปริมาณต่างกัน

ค่าสี	สูตรที่			
	CTRL	17	18	19
L	91.37[d]	86.92[c]	83.15[b]	79.22[a]
a*	-2.56[a]	-1.88[c]	-1.77[d]	-1.99[b]
b*	8.86[a]	10.90[b]	12.85[c]	14.37[d]

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลการทดสอบทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผง แสดงดังตารางที่ 13 เมื่อปริมาณนมข้าวผงสูงขึ้น ค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้นหรือความเป็นกรดของไอศกรีมมิกซ์ลดลง เป็นผลจากปริมาณเกลือแร่ในไอศกรีมมิกซ์ที่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม การทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 20, 40 และ 60 (สูตรที่17-19 ตามลำดับ) มีค่าความหนืด 218.50, 399.00 และ1181.67 เซนติพอยซ์ ตามลำดับ เป็นผลจากมอลโตเด็กซ์ตริน (DE10) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของนมข้าวผงเกิดโครงสร้างร่างแหอุ้มน้ำ มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสในรูปเกลียวคู่ (double helices) ซ้อนทับกันเกิดโครงสร้างเจล ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นแปรผันกับความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินที่เพิ่มขึ้น (Loret *et al*., 2004) โดยทั่วไปมอลโตเด็กซ์ตรินนิยมใช้ในไอศกรีมไขมันต่ำ เพื่อเป็นสารเพิ่มปริมาตรในไอศกรีม ทำให้ได้ไอศกรีมไขมันต่ำมีการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏที่ดีใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม (ไขมันร้อยละ10) แต่ทำให้ไอศกรีมมีฟองอากาศห่างกันมาก และไอศกรีมให้ความรู้สึกเป็นมันและเป็นครีม (Ohmes *et al*., 1998; Roland *et al*., 1999 ; Hyvonen, 2003) นอกจากนี้คาราจีแนนที่เติมลงไปเพิ่มความหนืดในน้ำนมข้าวขณะทำแห้งแบบลูกกลิ้งเกิดการอุ้มน้ำ และประจุลบของหมู่ซัลเฟตเกิดแรงดึงดูดกับประจุบวกของแคปป้า-เคซีน ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้น

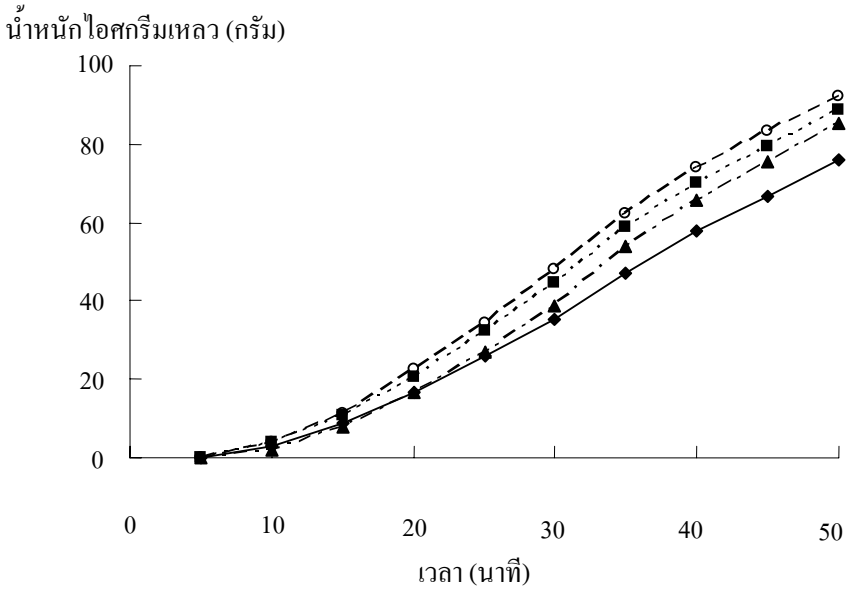
ตารางที่ 13 คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงที่ปริมาณต่างกัน (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ลักษณะทางกายภาพ	สูตรที่			
	CTRL	17	18	19
พีเอช	$6.59^{a} \pm 0.07$	$6.66^{b} \pm 0.07$	$6.69^{b} \pm 0.02$	$6.69^{b} \pm 0.02$
ความหนืด (เซนติพอยซ์)	$50.00^{a} \pm 3.16$	$218.50^{b} \pm 4.89$	$399.00^{c} \pm 11.37$	$1181.67^{d} \pm 53.94$
การขึ้นฟู (ร้อยละ)	$64.27^{c} \pm 1.54$	$45.54^{a} \pm 1.12$	$48.61^{b} \pm 1.97$	$45.35^{a} \pm 2.07$
ความแน่นแข็ง (นิวตัน)	$12.39^{a} \pm 2.43$	$21.85^{b} \pm 3.24$	$41.12^{c} \pm 4.45$	$166.26^{d} \pm 1.30$
อัตราการละลาย (กรัมต่อนาที)	$2.01^{a} \pm 0.12$	$2.18^{b} \pm 0.09$	$2.03^{b} \pm 0.14$	$2.18^{c} \pm 0.21$

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

นมข้าวผงมีผลให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูง ทำให้ส่วนผสมแข็งตัวได้เร็วขึ้นขณะปั่นเป็นไอศกรีม ไอศกรีมที่ได้มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีการขึ้นฟูลดลง (Marshall and Arbuckle, 1996) และมีค่าความแน่นแข็งของไอศกรีมสูงขึ้น โดยการทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 20, 40 และ 60 ไอศกรีมมีค่าแรงกด 21.85, 41.11 และ 166.22 นิวตัน ตามลำดับ เป็นผลจากการซ้อนกันของสายเกลียวคู่และเกิดโครงสร้างผลึก (crystalline) ของมอลโตเด็กซ์ตริน โปรตีนนมบางส่วนและกัม ความแน่นแข็งสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของเฟสไม่แข็งตัวของไอศกรีม นั่นคือเมื่อเฟสไม่แข็งตัวมีความหนืดสูงทำให้ต้านทานแรงเจาะทะลุได้มาก และเมื่อการขึ้นฟูสูงขึ้น ค่าความแน่นแข็งของไอศกรีมจึงลดลง (Muse and Hartel, 2004)

อัตราการละลายของไอศกรีมขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณอากาศ ธรรมชาติของผลึกน้ำแข็ง และโครงสร้างไขมัน การทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผง ไอศกรีมมีอัตราการละลายสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 15) อาจเป็นเพราะไอศกรีมมีการขึ้นฟูต่ำทำให้ไอศกรีมละลายเร็ว เนื่องจากฟองอากาศขนาดใหญ่ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ลดลง (Muse and Hartel, 2004) และโครงสร้างของไอศกรีมไม่คงตัว เกิดการเสียรูปได้ง่ายเนื่องจากการเกาะกลุ่มกันของไขมันหุ้มฟองอากาศไม่ดี เมื่อไอศกรีมเสียรูปทำให้เกิดการละลายได้ง่าย



ภาพที่ 15 การละลายของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผง (กรัม/นาที)
ที่ร้อยละ 0 (CTRL) ร้อยละ 20 ร้อยละ 40 ร้อยละ 60

2. ผลของนมข้าวผงต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของไอศกรีม

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงกับตัวอย่างควบคุม (ตารางที่ 14) พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทุกๆด้านของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 20 ไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และเมื่อทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงปริมาณมากขึ้น คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสลดลงโดยการทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 40 คะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นรสต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อทดแทนหางนมด้วยนมข้าวผงร้อยละ 60 ความชอบด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p < 0.05$) เนื่องจากนมข้าวผงทำให้สีของไอศกรีมมิกซ์เปลี่ยนแปลง และมีกลิ่นรสของนมข้าวอ่อน ทำให้ความชอบด้านสีและกลิ่นรสลดลง นอกจากนี้ไอศกรีมมีความแน่นแข็ง และความหนืดสูงทำให้ความชอบด้านเนื้อสัมผัสลดลง ส่งผลให้คะแนนความชอบรวมลดลง เช่นเดียวกับ Tanaka (2000) ที่ทดลองทดแทนเนื้อนมไม่รวมมันเนยด้วยถั่วเหลืองในไอศกรีม ได้ผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับด้านกลิ่นรส

ตารางที่ 14 ผลทางประสาทสัมผัสทดสอบการยอมรับโดยใช้แบบทดสอบ 9-Point Hedonic Scale ของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงที่ปริมาณต่างกัน

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	สูตรที่			
	CTRL	17	18	19
สี	6.97[c]	6.11[bc]	5.72[ab]	5.06[a]
กลิ่นรส	6.89[b]	6.22[ab]	5.67[a]	5.39[a]
ความหวาน	6.92[a]	6.39[a]	6.17[a]	6.11[a]
เนื้อสัมผัส	6.57[b]	5.89[ab]	6.00[ab]	5.61[a]
ความรู้สึกหลังรับประทาน	6.43[b]	6.06[ab]	5.78[ab]	5.50[a]
ความชอบรวม	7.03[b]	6.50[ab]	6.00[a]	5.94[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 20 และร้อยละ 60 ความชอบด้านสีต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ความชอบด้านอื่นๆไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบคะแนนความชอบรวม การทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 20, 40 และ 60 ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากการทดลอง เราสามารถทดแทนหางนมผงบางส่วนด้วยนมข้าวผงถึงระดับร้อยละ 60 ซึ่งเป็นระดับที่ผู้บริโภคยอมรับไอศกรีมไม่ต่างกับการทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงในระดับที่ต่ำกว่า และจากการคำนวณการทดแทนหางนมผงในระดับนี้ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีปริมาณแลคโตสลดลงประมาณร้อยละ 60

3. ผลของชนิดและปริมาณกัมต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมจากนมข้าวผง

ไอศกรีมจากนมข้าวผงแปรสารคงตัว (ตารางที่ 15) มีสมบัติทางกายภาพต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 16) ได้แก่ มีค่าความหนืดสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เป็นผลจากสารที่เติมลงไปเพื่อการเตรียมนมข้าวผง ได้แก่ คาราจีแนนและมอลโตเด็กซ์ตรินที่ใส่เพื่อเพิ่มความหนืดและปริมาตรในการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เกิดโครงสร้างอุ้มน้ำทำให้ความหนืดสูง การใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.1 และ 0.15 มีค่าความหนืดเป็น 1181 และ

1398 เซนติพอยซ์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.1 และ 0.15 (973 และ 1216 เซนติพอยซ์) ตามลำดับ ส่วนไอศกรีมมิกซ์ที่ใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.2 มีความหนืดสูงกว่าการใช้กัวร์กัม (1581>1482 เซนติพอยซ์) โดยกัวร์กัมเกิดโครงสร้างร่างแหร่วมกับแคปป้า-คาราจีแนนได้เจลที่มีความยืดหยุ่นสูง เป็นเจลที่ไม่เปราะ (นิธิยา, 2549) เนื่องจากกัวร์กัมมีแขนงของกาแล็กโทสทำให้เกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นดี ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูง และเมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส สูงขึ้นไอศกรีมมิกซ์จึงมีความหนืดสูงขึ้น อาจเป็นผลจากประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลเกิดแรงผลักกับหมู่ซัลเฟตของคาราจีแนน เป็นผลให้คาราจีแนนเกิดการซ้อนทับกันมากขึ้น ไอศกรีมมิกซ์จึงมีความหนืดสูงขึ้น

ตารางที่ 15 สูตรไอศกรีมนมข้าวแปรชนิดและปริมาณกัม

สูตรที่	ไขมัน	หางนมผง	แป้งข้าวเจ้า	น้ำตาล	สารคงตัว Palsgaard	กัม		อิมัลซิไฟเออร์	น้ำ
						GG	CMC		
CTRL	10	10	0	12	0.3	0	0	0	67.7
20	10	4	6	12	0	0.1	0	0.2	67.7
21	10	4	6	12	0	0.15	0	0.15	67.7
22	10	4	6	12	0	0.2	0	0.1	67.7
23	10	4	6	12	0	0	0.1	0.2	67.7
24	10	4	6	12	0	0	0.15	0.15	67.7
25	10	4	6	12	0	0	0.2	0.1	67.7

ไอศกรีมนมข้าวผงมีความหนืดสูง ทำให้ไอศกรีมมีการขึ้นฟูต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสทำให้ไอศกรีมมีการขึ้นฟูต่ำกว่าการใช้กัวร์กัม เมื่อใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.15 และ 0.2 ไอศกรีมมีการขึ้นฟูเป็นร้อยละ 37.72 และ 37.44 ซึ่งต่ำกว่าไอศกรีมสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เป็นผลจากไอศกรีมมิกซ์หนืดสูง ทำให้ไขมันเคลื่อนที่มาชนกันและเกิดการเกาะกลุ่มกันหุ้มฟองอากาศได้ไม่ดี นอกจากนี้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสเกิดโครงสร้างร่วมกับคาราจีแนน รวมทั้งโครงสร้างร่างแหของมอลโตเด็กซ์ตริน ต้านการเคลื่อนที่ของเม็ดไขมันมาเกาะรวมกันหุ้มฟองอากาศ ไอศกรีมจึงมีการขึ้นฟูต่ำ ส่วนการใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.1 ไอศกรีมมีการขึ้นฟูไม่ต่างกับการใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.1 (ร้อยละ 41.29 กับ 42.30) อาจเป็นเพราะการใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสระดับนี้ ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดต่ำกว่าสูตรอื่นจึงมีการขึ้นฟูสูงขึ้น และการใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.2 การขึ้นฟูของไอศกรีมสูงที่สุด ซึ่งไอศกรีมที่มีการ

ขึ้นฟูต่ำแสดงถึงการเกิดการกักอากาศในไอศกรีมได้ไม่ดี เนื้อสัมผัสของไอศกรีมจึงแน่น ทำให้ไอศกรีมนมข้าวผงมีค่าความแน่นแข็งสูง การใช้กัมร้อยละ 0.15 ไอศกรีมมีความแน่นแข็งสูงสุด รองลงมาคือการใช้กัมร้อยละ 0.2 และ 0.1 ไอศกรีมนมข้าวผงใส่กัวร์กัมร้อยละ 0.1 มีค่าความแน่นแข็งต่ำสุด และใส่คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.15 ค่าความแน่นแข็งสูงสุด

ตารางที่ 16 คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 60 แปรชนิดและปริมาณกัม (ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

สูตรที่	พีเอช	ความหนืด (เซนติพอยซ์)	ความแน่นแข็ง (นิวตัน)	การขึ้นฟู (ร้อยละ)	อัตราการละลาย (กรัมต่อนาที)
CTRL	$6.44^{ab} \pm 0.00$	$52.5^{a} \pm 4.49$	$28.99^{a} \pm 10.51$	$51.50^{e} \pm 2.99$	$2.54^{d} \pm 0.14$
20	$6.40^{a} \pm 0.20$	$1181.67^{bc} \pm 25.66$	$87.35^{b} \pm 22.67$	$42.30^{bc} \pm 1.53$	$2.21^{b} \pm 0.05$
21	$6.54^{c} \pm 0.07$	$1398.67^{d} \pm 168.19$	$149.59^{e} \pm 19.26$	$44.56^{d} \pm 0.19$	$1.78^{a} \pm 0.25$
22	$6.52^{bc} \pm 0.03$	$1482^{de} \pm 67.65$	$111.77^{c} \pm 11.63$	$43.28^{cd} \pm 2.01$	$2.27^{bc} \pm 0.11$
23	$6.51^{bc} \pm 0.01$	$973.17^{b} \pm 122.13$	$129.07^{cd} \pm 23.78$	$41.29^{b} \pm 1.13$	$2.32^{bc} \pm 0.13$
24	$6.73^{d} \pm 0.01$	$1216.33^{c} \pm 161.46$	$207.92^{f} \pm 31.22$	$37.72^{a} \pm 1.09$	$1.79^{a} \pm 0.15$
25	$6.49^{abc} \pm 0.0($	$1581^{e} \pm 179.91$	$141.47^{de} \pm 13.75$	$37.44^{a} \pm 0.72$	$2.43^{cd} \pm 0.18$

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การละลายของไอศกรีมนมข้าวผงเกิดจากผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมละลายเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากที่อุณหภูมิห้องไขมัน (hydrogenated palm oil) ยังคงอยู่ในสถานะของแข็ง ไอศกรีมนมข้าวผงมีอัตราการละลายต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องจากไอศกรีมนมข้าวผงเกิดโครงสร้างร่างแหของมอลโตเด็กซ์ตรินและกัมจับน้ำและอุ้มน้ำไว้ ทำให้น้ำแยกออกมาจากโครงสร้างของไอศกรีมได้ช้า อัตราการละลายของไอศกรีมนมข้าวผงจึงต่ำ จากการทดลองพบว่า ไอศกรีมที่มีความแน่นแข็งสูง มีอัตราการละลายช้ากว่าไอศกรีมสูตรอื่น อาจเป็นเพราะโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรงอุ้มน้ำไว้ไม่ให้น้ำออกมาภายนอก

4. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมข้าวผงแปรชนิดและปริมาณกัม

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสบอกระดับเนื้อสัมผัสของไอศกรีมนมข้าวผง (ตารางที่ 17) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่าไอศกรีมนมข้าวผงทุกสูตรมีความแน่นแข็งไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุม ยกเว้นไอศกรีมนมข้าวผงที่ใส่คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.1 มีความแน่นแข็งสูงที่สุดและต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับการทดสอบโดยเครื่องมือ และอาจเป็นผลจากไอศกรีมสูตรนี้มีอัตราการละลายต่ำ ทำให้ผู้บริโภครับรู้ความแน่นแข็งของไอศกรีมได้สูง แต่ไม่ต่างกับไอศกรีมนมข้าวผงสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ไอศกรีมนมข้าวผงทุกสูตรมีความหนืดไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นการใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.15 ไอศกรีมนมข้าวผงมีความหนืดไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างความหนืดของไอศกรีมนมข้าวผงแต่ละสูตรได้ เช่นเดียวกับระดับความเคลือบมันในปากของไอศกรีมนมข้าวผงทุกสูตรไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ไอศกรีมนมข้าวผงที่มีกัวร์กัมร้อยละ 0.2 มีระดับความเคลือบมันในปากสูงสุด ซึ่งค่าความหนืดของไอศกรีมสูตรนี้ค่อนข้างสูงเมื่อใช้เครื่องมือทดสอบ ดังนั้นระดับความเคลือบมันจึงสัมพันธ์กับความหนืด สอดคล้องกับ Morris (1995) ที่กล่าวว่าคุณสมบัติการไหล (Macroscopic rheological properties) มีผลต่อการรับรู้ทางประสาทสัมผัสในปาก

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบความชอบของไอศกรีมนมข้าวผง (ตารางที่ 18) พบว่าระดับความชอบของไอศกรีมนมข้าวผงแต่ละสูตรไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) การใส่กัวร์กัมร้อยละ 0.1 ไอศกรีมนมข้าวผงมีเนื้อสัมผัสระดับที่ผู้บริโภคชอบมากที่สุดและมีคะแนนความชอบรวมมากที่สุดในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง โดยไอศกรีมสูตรนี้มีค่าความแน่นแข็งระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมข้าวผงสูตรอื่น และความเคลือบมันในปากต่ำที่สุด ส่วนความรู้สึกหลังรับประทาน ไอศกรีมนมข้าวผงใส่กัวร์กัมร้อยละ 0.2 มีความชอบด้านนี้น้อยที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับระดับความเคลือบมันของไอศกรีมสูตรนี้สูง

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสบอกระดับเนื้อสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 15-cm Unstructure Line Scale ของไอศกรีมนมข้าว

สูตรที่	ความแน่นแข็ง	ความหนืด	ความเรียบเนียน	ความเคลือบมัน
CTRL	8.66[a]	7.45[a]	11.20[b]	9.95[b]
20	9.34[ab]	9.08[b]	9.89[a]	8.64[a]
21	9.19[ab]	9.04[b]	9.84[a]	8.77[a]
22	9.39[ab]	9.04[b]	9.86[a]	9.49[ab]
23	10.06[b]	9.00[b]	10.00[ab]	9.24[ab]
24	9.21[ab]	8.00[ab]	8.71[a]	8.96[ab]
25	9.74[ab]	8.79[b]	9.54[a]	9.00[ab]

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

ตารางที่ 18 ผลทางประสาทสัมผัสทดสอบการยอมรับโดยใช้แบบทดสอบ 9-Point Hedonic Scale ของไอศกรีมนมข้าว แปรชนิดและปริมาณกัมต่างกัน

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	สูตรที่					
	20	21	22	23	24	25
เนื้อสัมผัส	6.72	6.72	5.86	6.14	6.71	6.43
ความรู้สึกหลังรับประทาน	6.71	6.86	5.71	6.29	6.86	6.71
ความชอบรวม	6.86	6.71	5.50	5.86	6.43	6.00

องค์ประกอบทางเคมีของไอศกรีมจากข้าว

ผลการเปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบของไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้าและนมข้าวผงกับไอศกรีมสูตรพื้นฐานแสดงดังตารางที่ 19 จากส่วนผสมที่เติมลงไป ไอศกรีมทุกสูตรมีไขมันเท่ากันคือร้อยละ 10 ของน้ำหนักไอศกรีม แต่มีองค์ประกอบอื่นต่างกัน เนื่องจากส่วนผสมที่ต่าง ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 35 โปรตีนร้อยละ 2.15 และเถ้าร้อยละ 0.75 ไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้าและนมข้าวผงมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าเนื่องจากปริมาณหางนมผงที่ลดลง คือมีปริมาณร้อยละ 2.14 และ 131 ตามลำดับ และปริมาณเถ้าลดลง เป็นร้อยละ 0.47 และ 0.49 ส่วนองค์ประกอบที่เหลือของของแข็ง

ทั้งหมดน่าจะเป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งรวมถึงแป้งและน้ำตาล ซึ่งต่างจากตัวอย่างควบคุม เนื่องจากตัวอย่างควบคุมคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่เป็นไดแซคคาไรด์จากน้ำตาลทรายและแลคโตส แต่ในไอศกรีมจากข้าวผู้บริโภคได้รับโพลิแซคคาไรด์จากสตาร์ช ทำให้การบริโภคไอศกรีมจากข้าวผู้บริโภครู้สึกอิ่มได้เร็วกว่าไอศกรีมทั่วไป ทำให้เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่ดูแลสุขภาพ โดยไอศกรีมนมข้าวผงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าไอศกรีมแป้งข้าวเจ้า

ตารางที่ 19 องค์ประกอบทางเคมีของไอศกรีม

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ชนิดไอศกรีม		
	Control	ไอศกรีมแป้งข้าวเจ้า	ไอศกรีมนมข้าวผง
ของแข็งทั้งหมด	$35.52^{a} \pm 1.56$	$35.62^{a} \pm 0.01$	$33.55^{a} \pm 0.02$
ไขมัน	$10.99^{b} \pm 0.01$	$10.38^{a} \pm 0.04$	$10.94^{b} \pm 0.02$
โปรตีน	$3.29^{c} \pm 0.01$	$2.14^{b} \pm 0.04$	$1.31^{a} \pm 0.01$
เถ้า	$0.75^{b} \pm 0.01$	$0.47^{a} \pm 0.00$	$0.49^{a} \pm 0.01$

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

เนื่องจากผู้บริโภคที่เป็นโรคแพ้แลคโตสบางคนสามารถบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีแลคโตสเป็นองค์ประกอบได้เล็กน้อย คือมีปริมาณเท่ากับปริมาณแลคโตสในนมสด ½ ถ้วย (Anonymous, 1999) นมสดมีแลคโตสเป็นองค์ประกอบร้อยละ 4.8 (Fox and McSweeney, 1998) จากการคำนวณคาดว่าผู้บริโภคสามารถบริโภคไอศกรีมทั่วไป (เทียบกับตัวอย่างควบคุม) ได้ประมาณ 10.91 กรัม แต่เมื่อทดแทนหางนมผงด้วยผลิตภัณฑ์จากข้าว ผู้บริโภคสามารถบริโภคไอศกรีมแป้งข้าวเจ้าได้มากขึ้นเป็น 18.18 กรัม และไอศกรีมนมข้าวผงได้ 27.27 กรัม โดยประมาณ

การใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนหางนมผงในไอศกรีม สามารถลดต้นทุนการผลิตไอศกรีมได้ เนื่องจากหางนมผงเป็นผลิตภัณฑ์นำเข้าซึ่งมีราคาสูง (ราคาขายทั่วไปประมาณ 165 บาทต่อ 1 กิโลกรัม) และหาซื้อตามท้องตลาดได้ยาก การใช้แป้งข้าวเจ้าซึ่งมีราคาถูก (ราคาขายทั่วไปประมาณ 35 บาทต่อ 1 กิโลกรัม) หาซื้อได้ง่าย และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักในประเทศจึงทำให้ต้นทุนการผลิตไอศกรีมลดลง ส่วนการใช้นมข้าวผง ถึงแม้ว่ามีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากกว่า (ราคาขายทั่วไปประมาณ 1410 บาทต่อ 1 กิโลกรัม) แต่เป็นการนำข้าวอ่อนมาใช้ประโยชน์ ทำให้ลดระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต้นข้าวลงได้และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในประเทศไทย อีก

ทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่กำลังได้รับความนิยม ดังนั้น การผลิตไอศกรีมจากผลิตภัณฑ์จากข้าวทั้งสองชนิด จึงเป็นการนำข้าวเจ้าหอมมาแปรรูป เพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้ข้าว และเพิ่มมูลค่าข้าวในประเทศไทย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. นมข้าวผงมีปริมาณความชื้นและเส้นใยสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า แต่มีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า

2. การทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 20, 40 และ 60 ทำให้ไอศกรีมมิกซ์เป็นสีเขียวและสีเหลืองสูงขึ้น ค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้นเล็กน้อย ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ และความแน่นแข็งของไอศกรีมสูงขึ้นมาก การขึ้นฟูของไอศกรีมต่ำลงและการละลายของไอศกรีมที่อุณหภูมิห้องช้าลงเล็กน้อย

3. การทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าไม่มีผลต่อความชอบด้านสีของไอศกรีมมิกซ์ แต่ไอศกรีมที่ทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 40 และ60 มีผลต่อความชอบด้านกลิ่น ความหวาน เนื้อสัมผัสและความรู้สึกหลังรับประทานลดลง

4. การทดแทนหางนมผงด้วยแป้งข้าวเจ้าร้อยละ40 เติมน้ำตาลร้อยละ 14 และกลิ่นข้าวร้อยละ 0.1 ไอศกรีมได้รับการยอมรับไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุม

5. ปริมาณกัมที่สูงขึ้น ทำให้ไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้ามีความหนืดสูงขึ้น การใช้กัมร้อยละ 0.15 ไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้ามีความแน่นแข็งสูงและการขึ้นฟูต่ำกว่าการใช้กัมร้อยละ 0.1 และ 0.2

6. ไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อใส่คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสร้อยละ 0.1 และ 0.2 ได้ไอศกรีมที่มีความหนืดและความแน่นแข็งไม่ต่างกับตัวอย่างควบคุม และผู้บริโภคยอมรับสูงที่สุด

7. การทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 20, 40 และ 60 มีผลต่อความสว่างและความเป็นสีเขียวของไอศกรีมมิกซ์ลดลง แต่เป็นสีเหลืองสูงขึ้น ค่าพีเอชสูงของไอศกรีมมิกซ์สูงขึ้นเล็กน้อย ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ และความแน่นแข็งของไอศกรีมสูงขึ้นมาก การขึ้นฟูของไอศกรีมต่ำลงและการละลายของไอศกรีมที่อุณหภูมิห้องเร็วขึ้นเล็กน้อย

8. การทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงไม่มีผลต่อความชอบด้านความหวานของไอศกรีม แต่ความชอบด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความรู้สึกหลังรับประทานลดลง

9. การทดแทนหางนมผงด้วยนมข้าวผงร้อยละ 20, 40 และ 60 ความชอบรวมไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

10. สมบัติทางกายภาพของไอศกรีมจากนมข้าวผงที่แปรปริมาณและชนิดของสารคงตัวแล้ว ต่างกับตัวอย่างควบคุม การใช้กัวร์กัมร้อยละ 0.1 ไอศกรีมมีความชอบรวมสูงสุดในระดับชอบปานกลาง

11. ไอศกรีมจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีนสูงกว่าไอศกรีมจากนมข้าวผง แต่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดลองเปรียบเทียบข้าวสายพันธุ์ต่างๆ หาความเป็นไปได้ผลิตไอศกรีมจากข้าว เพื่อเพิ่มศักยภาพการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าว

2. การผลิตไอศกรีมจากข้าว อาจเพิ่มเมล็ดข้าวสุกลงไปในเนื้อไอศกรีม เพื่อเพิ่มการรับรู้เนื้อข้าว และเติมกลิ่นรสอื่นๆในผลิตภัณฑ์ เช่น กลิ่นรสของผลไม้ต่างๆ เพื่อบดบังกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ และเพิ่มทางเลือกการบริโภคไอศกรีมมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง.** พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เขมาภรณ์ กำแพงเศรษฐ์. 2535. เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าว(น้ำข้าว). **เคหะการเกษตร** 16(6):162-163.

จันทร์ศิริ แท่นมณี. 2545. **ข้าว ธัญญาหารแห่งมวลมนุษย์**. สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลงกรณ์.

จารุวรรณ บางแวก. ม.ป.ป. ทำไม เมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เหลืองเร็ว. **สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร**. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/pprdo/yelrice.htm, 5 กันยายน 2549.

จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. **ความรู้เรื่องข้าว.** สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,กรุงเทพฯ.

มณฑิรา นพรัตน์ และวลัยพร เอี่ยมภาษิต. 2538. การผลิตไอศกรีมจากนมถั่วเหลือง. **วารสาร สจธ.** 18:101-114.

มาลี ประภาวัต. 2521. **การทำนมข้าวเจ้าโดยการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการด้วยการผสมนมวัว**. รายงานการศึกษาวิเคราะห์ผลงานวิจัยเรื่องการแปรรูปข้าวและผลิตภัณฑ์. กองวิเคราะห์โครงการและประเมินผล สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพฯ.187 น.

มูลนิธิข้าวไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. 2545. **ข้าว อาหารและการค้า**. พิมพ์ครั้งที่ 1. อมรินทร์พริ้นติ้งแอนพับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

ทิพยา ธีรชาติแพทย์, 2542. **การใช้ประโยชน์กล้วยหอมผงในไอศกรีมและเครื่องดื่มที่มีเวย์เป็นส่วนผสม**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. **เคมีอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่2. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 504 น.

นิรนาม. 2545. **อาหารไทย ขนมไทย และเครื่องดื่มจากข้าว.** สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.

ประไพศรี ศิริจักรวาล, 2549. **นมถั่วเหลือง**. แหล่งที่มา: http://www.healthnet.in.th/text/forum2/soilbean/index.html, 28 พฤษภาคม 2549.

รุจิรา ปรีชา, สุเทพ ฤทธิ์แสวง, สุวรา โภชนสมบูรณ์, สุนันทา วงศ์ปิยะชน และจำลอง ฤทธิชัย. ม.ป.ป. การหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งเมล็ดข้าวงอก สำหรับทำข้าวยาคู. **การแปรรูปข้าว.** แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/rri/tech/m7_4.htm, 28 ตุลาคม 2547.

วรรณพร จิตจำเริญ. 2547. **การใช้ดัพภะข้าวโพดทดแทนหางนมผงในการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตเสริมโพรไบโอติก**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมจิต สุรพัฒน์. 2548. **ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมฤดี วิบูลพัฒนะวงศ์. 2540. **การผลิตเครื่องดื่มเลียนแบบนมจากปลายข้าวเจ้า.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศยามล เนตรประภา. 2544. **การพัฒนาเครื่องดื่มข้าวหอมมะลิกลิ่นใบเตย.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สืบสกุล จินดาพล, อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล. 2547. การออกแบบการทดลองในการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำนมข้าว. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.** 14(4):45-52.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 366 น.

_____. 2547. **ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อ้างถึง G.B. Cagampang, C.M. Perez and B.O. Juliano. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. **J.Sci.Food Agric**. 24:1589-1594.

_____. 2547. **ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อ้างถึง R.J. Henry and P.S. Keltlewell. 1996. **Cereal Grain Quality**. Chapman and Hall, London.

_____. 2547. **ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อ้างถึง Juliano, B.O. 1985. Criteria and tests for rice grain qualities. *In* B.O. Juliano,ed. **Rice: Chemistry and Technology** 2nd ed. The American Association of Cereal Chemist, Inc.,St. Paul, Minnesota.

เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. ม.ป.ป. **ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1**. โครงการฟื้นฟูอาชีพเกษตรกร หลังการพักชำระหนี้. กรมวิชาการเกษตร.

อุษา นาคจิรังกูร. 2541. **ผลของสารคงตัวต่อไอศกรีมเชอร์เบทมิกซ์รสผลไม้.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Arbuckle, W.S. 1986. **Ice Cream**. 4th ed., Van Nostrand Reinhold, New York.

Anonymous. 1999. Lactose intolerance diet. Patient Education for U. Available Source: http://uuhsc.utah.edu/pated/handouts/handout.cfm?id=866, October 31,2005.

Anonymous. 2001. Polysaccharide. **Biorama**. Available Source: http://www.biorama.ch/biblio/b20gfach/b35bchem/b10kh/kh040.htm, August 26, 2006.

_____ 2004. Ice cream. **Ice Cream – Wikipedia, The Free Encyclopedia**. Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/Ice_cream#Composition, October 31, 2005.

Belitz, H.D., W. Grosch and P. Schieberle. 2004. **Food Chemistry**. 3th ed., Berlin Springer, New York.

Bolliger, S., H.D. Goff and B.W. Tharp. 2000. Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. **Intl. Dairy J**. 10(4):303-309.

Chan, A.S.M., R.R. Peveria, H.M. Henderson and G. Blank. 1992. A non-dairy frozen dessert utilizing pea protein isolate and hydrogenated canola oil. **Food Tech**. 46(1):88-92.

Cherry, J.P.1982. Protein-polysaccharide interactions. *In* D.R. Lineback and G.E. Inglett. **Food Carbohydrates.** Westport, Connecticut.

Dea, I.C.M. 1982. Polysaccharide conformation in solution and gels. *In* D.R. Lineback and G.E. Inglett. **Food Carbohydrates.** Westport, Connecticut.

Fennema, O.R. 1985. **Food Chemistry**. Marcel Dekker, Inc. New York. 991p.

Fitzgerald, M. 2004. Starch. *In* E.T. Champagne. **Rice: Chemistry and Technology**. 3rd ed. The American Association of Cereal Chemist, Inc.,St. Paul, Minnesota.

Fox, P.F. and P.L.H.McSweeney. 1998. **Dairy Chemistry and Biochemistry**. Thomson, London.

Garcia, R.S., R.T.Marshall and H. Heymann. 1995. Lowfat ice cream from freeze-concentration versus heat-concentrated nonfat milk solid. **J. Dairy. Sci**. 78:2345-2351.

Glicksman, M. 1982. Food applications of gums. *In* D.R.Lineback and G.E. Inglett. **Food Carbohydrates.** Westport, Connecticut.

Goff, H.D., R.D.McCurdy and E.A.Gullet. 1990. Replacement of carbon-refined corn syrups with ion-exchanged corn syrup in ice cream formulation. **J. Food Sci**. 55:827-829.

_____. 1997. Colloidal aspects of ice cream. **Intl. Dairy J**. 7(6-7):363-373.

_____. 1998. Guest food microscopists 1. **Foods Under The Microscope**. Available Source: http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/Kalab/Guelph.htm, March 9, 2005.

_____. 2002. Formation and stabilisation of structure in ice cream and related products. **Curr. Opin. Colloid Interface Sci**. 7:432-437.

_____ and R.W.Hartel. 2004. Ice cream and frozen desserts. *In* M.Dekker. **Handbook of Frozen Foods**. New York.

_____. n.d. Structure of ice cream. **Dairy Science and Technology.** Available Source: http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyeduicstructure.html, September 2, 2006.

Granger,C., P.Barey, N.Combe, P.Veschambre and M.Cansell. 2004. Influence of the physicochemical behavior of oil-in-water emulsions based on milk proteins-glycerol esters mixtures. **Colliods and Surfaces**. 32:353-363.

_____, A. Leger, P. Barey, V. Langendorff and M. Cansell. 2005. Influence of formulation on the structural network in ice cream. **Intl. Dairy J.** 15(3):255-262.

Gu, C., Y. Xu and A.Yang. 1995. **Process for Production of Ice Cream Containing Thailand Rice**. European Patent. CN1103758.

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.

Hyvonen, L., M.Linna, H. Tuorilla and G.Dijksterhuist. 2003. Perception of melting and flavor release of ice cream containing different types and contents of fat. **J. Dairy. Sci.** 86:1130-1138.

Li, F., X. Xie and J. Zhang. 1990. **Prescription and Preparation of Rice-bean Ice cream**. European Patent. CN1046263.

Loisel,C., A.Tecante, P.Cantoni and J.L.Doubler. 1999. Effect of temperature on the rheological properties of starch/carrageenan mixtures. *In* P.A. Williams and G.O. Phillips, eds. **Gums and Stabilisers for the Food Industry 10.** Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Loret, C., V.Meunier, W.J. Frith and P.J. Fryer. 2004. Rheological characterization of gelation behaviour of maltodextrin aqueous solutions. **Carbohydr. Polymer**. 57:153-163.

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

Moore, L.J. and F.Shoemaker. 1981. Sensory textural properties of stabilized ice cream. **J. Food Sci**. 46:309-402.

Morris, E.R. 1995. Polysaccharide rheology and in-mouth perception. *In* A.M. Stephen. **Food Polysaccharides and Their Applications.** Marcel Dekker, Inc, New York.

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.

Philippe, Z. and G. Andre. 2002. **Starch-Based Grain Preparation for Inclusion in Food Product e.g. Ice Cream, Consists of Cooking Grain, Rinsing and Immersion in Syrup**. European Patent. FR2816172.

Roland, A.M., G.L.Phillips and K.J.Boor. 1999. Effects of fat replacers on the sensory properties, color, melting, and hardness of ice cream. **J. Dairy. Sci.** 82:2094-2100.

Saleem, R.M., K.A.Shaker and M.S.Ai-waeely. 1989. The use of soy milk in ice cream mixes. **Egypt J. Dairy. Sci.** 17(2):281-288.

Shaoshun, Y. 1999. **Ice Cream of Polished Glutinous Rice Maltose**. European Patent. CN1234189.

Shi, X. and J.N. BeMiller. 2002. Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. **Carbohydr. Polymer**. 50:7-18.

Simons, R.G., J.R.Green, C.A.Payns, P.J.Wan and E.W.Lusas. 1980. Cotton seed and soy protein ingredients in soft-serve frozen desserts. **J. Food Sci.** 45:1505-1508.

Swinkle, J.J.M. 1985. Source of starch, its chemistry and physics. *In* G.M.Beynum, A. Van and J.A.Roles(eds.). **Starch Conversion Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Tanaka, H. 2000. **Creamy Ice Cream Products Containing Soy-Milk and Potato as The Main Components and Process for Producing The Same**. U.S.Patent. US6800320B1.

Varnam,A.H. and J.P.Sutherland.1994. **Beverages: Technology, Chemistry and Microbiology**. Chapman and Hall, London.

Vega, C., D.G.Dalgleish and H.D.Goff. 2005. Effect of κ-carrageenan addition to dairy emulsions containing sodium caseinate and locust bean gum. **Food Hydrocolloids**. 19(2):187-195.

Wang, S.T., S.A. Barringer and P.M.T. Hansen. 1998. Effects of carboxymethylcellulose and guar gum on ice crystal propagation in a sucrose-lactose solution. **Food Hydrocolloids**. 12:211-215.

Whistler, R.L. and J.N.BeMiller. 1993. **Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivatives**. Academic Press, San Diego.

Yozo, T. and Y.Hamada. 1991. **Frozen Desserts Containing Rice.** European Patent. EP0461284.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

1. การวัดพีเอช

หลังจากผ่านการบ่มไอศกรีมมิกซ์ที่อุณหภูมิประมาณ 4±1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปรับอุณหภูมิของไอศกรีมมิกซ์เป็น 25±0.5 องศาเซลเซียส วัดพีเอชโดยเครื่องพีเอชมิเตอร์

2. การวัดค่าความหนืด (ดัดแปลงจาก Goff *et al*.,1990)

วัดความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิประมาณ 4±1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยเครื่องวัดความหนืด Brookfield Viscometer RV DV III ใช้หัวหมุนเบอร์ 27 ความเร็วรอบการหมุน 100 รอบต่อนาที อ่านค่าที่ได้หลังมอเตอร์หมุน 30 วินาทีควบคุมไอศกรีมมิกซ์ขณะทดสอบที่อุณหภูมิ 4±0.5 องศาเซลเซียส

3. การวัดค่าการขึ้นฟู (Arbuckle, 1986)

ชั่งน้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ในถ้วยที่ทราบน้ำหนักบนเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักไอศกรีมเหลว และเมื่อปั่นให้แข็งตัวตักไอศกรีมที่ได้ในถ้วยพลาสติกใบเดิม ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

$$\text{การขึ้นฟู (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมมิกซ์-น้ำหนักไอศกรีม x 100}}{\text{น้ำหนักไอศกรีม}}$$

4. การวัดอัตราการละลาย (ดัดแปลงจาก Garcia *et al*.,1995)

นำไอศกรีมที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทราบน้ำหนักที่แน่นอน วางบนตะแกรงลวด 272 ช่อง/ตารางนิ้ว ที่อยู่บนกรวยซึ่งรองรับด้วยขวดรูปชมพู่เปล่า เริ่มจับเวลาการละลายเมื่อตัวอย่างควบคุมเริ่มละลาย ควบคุมอุณหภูมิห้องให้อยู่ที่ 25±1 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุก 5 นาที เป็นเวลา 50 นาที หาอัตราการละลาย ณ นาทีที่ 20 และ30

$$\text{อัตราการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย x 100}}{\text{เวลาที่ละลาย}}$$

5. การวัดความแน่นแข็ง (วรรณพร, 2547)

นำไอศกรีมที่บรรจุเต็มถ้วยพลาสติก ซึ่งผ่านการแช่แข็งที่ อุณหภูมิ -25±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทดสอบโดยเครื่อง Texture Analyser XT Plus อาศัยหลักการวัดค่าแรงกดที่กระทำต่อไอศกรีมด้วยระยะทางคงที่ สภาวะที่ใช้ประกอบด้วย หัวกดรูปโคน (probe เบอร์ P/45C) วัดแรงกดในรูปแบบของการกดอัด โหลดเซลล์รับน้ำหนักได้ 25 กิโลกรัม ความเร็วที่ใช้เคลื่อนที่ของหัววัดก่อนการทดสอบ ขณะทดสอบ และหลังการทดสอบ คือ 2.0 1.0 และ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ กำหนดค่าความแข็ง คือแรงสูงสุดที่ระดับความลึกของหัววัดเท่ากับ 15 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

1. แบบทดสอบ 9-Point Hedonic Scale

แบบสอบถาม

<u>คำแนะนำ</u>

กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา โดยกรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างถัดไป แล้วให้คะแนนที่ตรงกับความชอบของท่าน ทางด้านสี กลิ่นรส ความหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบรวม

9=ชอบมากที่สุด 8=ชอบมาก 7= ชอบปานกลาง 6=ชอบเล็กน้อย 5=เฉยๆ

4=ไม่ชอบเล็กน้อย 3=ไม่ชอบปานกลาง 2=ไม่ชอบมาก 1=ไม่ชอบมากที่สุด

ตัวอย่าง	สี	กลิ่นรส	ความหวาน	เนื้อสัมผัส	After taste	ความชอบรวม

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

.....

.....

.....

ขอบคุณค่ะ ☺

2. แบบทดสอบ 15 cm. Line Scale Unstructure

For each attribute, take a level teaspoon of ice cream from the center of the sample cup. If necessary, level the ice cream off using the side of the container to ensure that a consistent amount of sample is taken. Place a vertical line across the horizontal line at the point that best describes the intensity of each attribute. Write the code number above your mark. Rinse your mouth with water before evaluating each attribute. A reference sample is provided in relation to the reference sample. Prior to starting, perform a warm up sample using the reference.

1. FIRMNESS:

Place sample in the mouth and press against the palate. Judge firmness as the amount of force required by your tongue to flatten the ice cream. Ice cream that is soft provides very little resistance to flattening whereas firm ice cream requires.

Soft Firm

2. VISCOSITY:

Place ½ teaspoon of sample in the mouth. Gently manipulate the sample between the tongue and palate. During the melting process and immediately after the sample has liquefied, assess the easy of movement. Within the mouth. High viscosity means the sample does not move easily within the mouth and may feel sticky on the palate offering resistance to movement. Low viscosity means the sample offers very little resistance to movement, and may be perceived as watery immediately after the sample has liquefied.

Low viscosity High viscosity

3. DEGREE OF SMOOTHNESS:

Spread the sample onto the upper palate with the tongue and assess the degree of smoothness. Ice cream that is not smooth is perceived as a coarse or rough texture. A high degree of smoothness means the sample has a smooth and uniform spread onto the plate and no coarse or rough texture is detectable.

Not smooth High degree

4. MOUTH CATING:

Place sample in the mouth, gently manipulate the sample in circulate motion between the tongue and palate. Judge the intensity of mouth coating as the amount of film remaining in your mouth after swallowing.

Low mouth coating High mouth coating

Thank you☺

ภาคผนวก ค

วิธีการปลูก ดูแลและการเจริญเติบโตของต้นข้าว

การปลูก ดูแล และการเจริญเติบโตของต้นข้าว (ปลอดสารเคมี)

พันธุ์ข้าว : พันธุ์ปทุมธานี 1
ผลผลิตต่อ 1 ไร่ : ได้ผลผลิตประมาณ 80 ถัง
ปลูกที่ : ต.หนองบัว อ.เมือง จ.กาญจนบุรี
โดย : เกษตรกรชาวหนองบัว นายมโนรม น้อยใจรักษ์

เตรียมนาสำหรับปลูกข้าว โดยใช้ rotary ตีพื้นนาปรับทำเทือก เพื่อให้ต้นหญ้าตาย จากนั้นราดน้ำหมัก ที่เตรียมจากการหมักผัก ผลไม้ เพื่อให้จุลินทรีย์ในน้ำหมักย่อยหญ้า ทิ้งไว้ 20 วัน เอาน้ำออกจากนา ทำซ้ำเดิมอีกครั้ง และปรับพื้นที่ให้เรียบเพื่อเตรียมปลูกข้าว

การควบคุมแมลง ใช้สารธรรมชาติที่ปลอดภัย โดยเตรียมจาก สะเดา ½ กิโลกรัมผสมบอระเพ็ด 1 กิโลกรัมแช่น้ำพอท่วม หมักด้วยเหล้าขาว 2 ขวดและน้ำส้มสายชูกลั่น 1 ขวด หมักทิ้งไว้ 1 คืน จึงนำมาใช้ โดยผสมสารผสมที่เตรียมได้ 300-500 ซีซี กับน้ำ 20 ลิตร นำไปฉีดพ่นทั่วนาข้าวเพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืช

ตารางผนวกที่ ค1 การดูแลและเจริญของต้นข้าว

ระยะเวลา (วัน)	การดูแลและการเจริญของต้นข้าว
0	หว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวปริมาณ 40 กิโลกรัม
1	ทำเทือกปรับตมให้หน้าเรียบ(หว่านน้ำตม) ทำร่องระบายน้ำและสูบน้ำออกจากนาให้แห้ง เนื่องจากถ้านาไม่แห้งข้าวจะเน่าทำให้ต้นข้าวไม่สามารถเจริญได้
2	สูบน้ำออกจากนา ทำร่องระบายน้ำ ข้าวเริ่มแทงยอดเล็กๆสีขาว
3	ใช้ไหลากร่องน้ำให้แห้ง และนำเทปวีดีโอมากันนก เพื่อป้องกันนกมาจิกกินข้าว ข้าวเริ่มสูงขึ้นเล็กน้อย
4-6	ข้าวสูงขึ้น เห็นเป็นสีเขียวต้นเล็กๆโผล่พ้นจากดินเล็กน้อย

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	การดูแลและการเจริญของต้นข้าว (ต่อ)
7-16	ต้นข้าวสูงประมาณ 10 นิ้ว ดินเริ่มแห้ง โดยช่วงนี้ห้ามน้ำเข้านาเด็ดขาดให้
17	อาหารบำรุงข้าว และปุ๋ยชีวภาพ(ปุ๋ยปลาหมัก)
18	สูบน้ำเข้านาให้สูงประมาณครึ่งต้นข้าว ให้ระดับน้ำสูงเท่ากันหมด ถ้าเกินครึ่งต้นข้าว ข้าวจะตาย
21	หว่านปุ๋ยในนา
22	เอาน้ำใส่นา และนำก้อนหินขนาดใหญ่มาวางและตักดินขึ้นมากั้นให้แน่น เพื่อไม่ให้น้ำไหลไปที่อื่น
31	โรยปุ๋ย (ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมคนีเซียมและกัมมะถัน) บริเวณที่ต้นข้าวเป็นสีเหลือง เพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้ต้นข้าว
32	กำจัดไข่หนอนเชอรี่ที่เกาะตามต้นข้าว
37	ฉีดฮอร์โมนให้ข้าว พร้อมปุ๋ยชีวภาพ
77	กอข้าวเริ่มชูใบสีเขียว(แตกชูใบ)
78	หว่านปุ๋ยนาข้าว ไรท์มิกซ์ แคลเซียมโบรอน และยูเรีย 1 ช้อนโต๊ะ (สูตร 16-16-18)
86	ข้าวเริ่มออกดอกแต่ไม่ทั่วไร่ นำน้ำเข้านา ต้นข้าวบางต้นเริ่มตั้งท้อง (ต้นจะมีลักษณะอวบเขียวตรงกลาง)
87	กำจัดศัตรูพืช ได้แก่ หอยเชอรี่ ปูนา

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	การดูแลและการเจริญของต้นข้าว (ต่อ)
88	ข้าวแทงช่อเกือบทุกต้น ตัดหญ้าบริเวณรอบคันนา
89	ฉีดธาตุอาหาร ไรท์มิกซ์ ปุ๋ยหมักปลา ยูเรีย (2 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 20 ลิตร) แคลเซียมโบรอน (เพื่อให้เมล็ดข้าวสมบูรณ์) ทั่วแปลงนา
91	ดูแลต้นข้าวไม่ให้มีแมลง ศัตรูพืชรบกวน ได้แก่ หนอนกอ โรคไหม้ โรคขอบไหม้ โรคใบจุดน้ำตาล แมลงเพลี้ยกระโดด เป็นต้น
97	ข้าวออกดอกทุกช่อ เริ่มมีบางต้นเป็นน้ำนมข้าว
100	ข้าวอยู่ในระยะน้ำนมข้าว (เกี่ยวเป็นข้าวระยะน้ำนม)
120	ข้าวเป็นเมล็ด เก็บเกี่ยวได้

8 วัน

21 วัน

28 วัน

<u>ภาพผนวกที่ ค1</u> การเจริญเติบโตของต้นข้าว

91 วัน

100 วัน (ระยะน้ำนม)

ภาพผนวกที่ ค2 (ต่อ)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนรัมภา วรนันตกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 10 พฤศจิกายน 2524
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์