



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

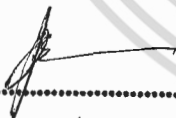
เรื่อง

**การผลิต ไอศกรีมจากน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก
Ice-Cream from Soy milk-Som Khaek extracted mix**

โดย

**นางสาว จิราภรณ์ ศรีธีรประเสริฐ รหัส 42045077
นาย วิโรจน์ พิวสำโรง รหัส 42045103**

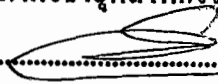
ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก


.....
(**ผศ. สุธาสกรณ์ สุทธิพงษ์ศิริ**)

15/10/44
.....

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร


.....
(**ผศ. สุธาสกรณ์ สุทธิพงษ์ศิริ**)

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การผลิตไอศกรีมจากน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก

Ice-Cream from Soy milk-Som Khaek extracted mix



T097031

โดย

นางสาว จิราภรณ์ ศรีธีรประเสริฐ รหัส 42045077

นาย วิโรจน์ ผิวสำโรง รหัส 42045103

พ.ศ.
๒๕๓๗
2544

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 97031

วัน,เดือน,ปี.....

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

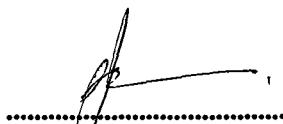
จิราภรณ์ ศรีธีรประเสริฐ และวิโรจน์ ศิวสาโรง . 2544 : การผลิตไอศกรีมจากนํ้านมถั่วเหลืองผสมนํ้าส้มแขก (Ice-Cream from Soy milk-Som Khaek extracted mix) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 61 หน้า
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ.เขาวลัภณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ .

การผลิตไอศกรีมจากนํ้านมถั่วเหลืองผสมนํ้าส้มแขก นํ้านมถั่วเหลืองมาผสมรวมกับนํ้าส้มแขกที่อัตราส่วน 85:15 , 80:20 , 75:25 และ 70:30 ตามลำดับ พบว่าที่อัตราส่วน 85:15 มีลักษณะปรากฏดีกว่าอัตราส่วนอื่น คือเกิดลิ่มนม (curd) โดยตะกอนมีขนาดเล็ก ไม่เกิดการแยกชั้น นํ้าอัตราส่วนของนํ้านมถั่วเหลืองผสมนํ้าส้มแขกที่ได้นี้มาศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัวที่เหมาะสม (Thickener) พบว่า Sodium alginate ที่ความเข้มข้นร้อยละ1.00 มีความเหมาะสม เนื่องจากไม่เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ลักษณะตะกอนที่ได้มีขนาดเล็ก นำSodium alginateที่ได้มาเติมลงในไอศกรีม โดยนำมาวิเคราะห์หาค่าคุณภาพทางเคมีและทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าที่อัตราส่วนนํ้านมถั่วเหลืองผสมนํ้าส้มแขก 80:20 มีความเหมาะสมในการผลิตไอศกรีม เนื่องจากความฟูของไอศกรีมที่วัดได้มีค่ามากถึง32.90% ซึ่งทำให้มีปริมาตรของไอศกรีมมากขึ้น สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าที่อัตราส่วนนี้ความเนียนและความชอบรวมมีระดับคะแนนมาก คือ ความเนียนมีระดับคะแนน 3.73 และความชอบรวมมีระดับคะแนนเท่ากับ 3.70 แต่มีกลิ่นถั่วสูง ซึ่งอาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้โดยมีระดับคะแนนถึง3.58

สำหรับผู้ที่ไม่ชอบกลิ่นถั่วอาจเลือก ไอศกรีมที่มีอัตราส่วนของนํ้านมถั่วเหลืองผสมนํ้าส้มแขก 70:30 เนื่องจากมีระดับคะแนนของกลิ่นถั่วเพียง2.93 นอกจากนี้ความเปรี้ยวที่อัตราส่วนนี้อยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบพอใจโดยมีระดับคะแนนเท่ากับ3.88

ศิลาภรณ์ ศรีธีรประเสริฐ
วิโรจน์ ศิวสาโรง

ลายมือชื่อนักศึกษา



ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา

15 ๗ ๕๕

วัน เดือน ปี

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษเรื่อง การผลิต ไอศกรีมจากน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณ ผศ. เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ซึ่งกรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ช่วยกรุณาแนะนำข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ให้คำปรึกษาปัญหาต่างๆ ในระหว่างการทำปัญหาพิเศษ ตลอดจนแก้ไขรูปแบบของปัญหาพิเศษจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ประพันธ์ ปันศิริโรตม และอาจารย์ ชมพูนุท สีห์โสภณ ซึ่งให้ความกรุณาเป็นอาจารย์คณะกรรมการปัญหาพิเศษนี้ และขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นผู้ทดสอบที่ดีตลอดการทดลอง และคอยให้กำลังใจตลอดเวลาในระหว่างการทำปัญหาพิเศษนี้

จิราภรณ์ ศรีธีรประเสริฐ

จิโรจน์ ศิวคำโรง

16 มีนาคม 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญภาคผนวก	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
2.1 สัมแขก	3
2.2 ถั่วเหลือง	4
2.3 ไอศกรีม	11
2.4 การเกิดผลึกระหว่างการผลิตและการเก็บรักษาไอศกรีม	17
2.5 ปัจจัยที่ผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างการปั่น	24
2.6 สภาวะที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตไอศกรีม	26
2.7 การแช่แข็ง	28
2.8 การเก็บรักษา	29
2.9 การเกิดผลึกแลคโตส	29
2.10 Heartshock และ Thermal Abuse	30
2.11 สเตบิลไลเซอร์ที่นิยมในอุตสาหกรรมไอศกรีม	31
2.12 ชนิดของไอศกรีม	37
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	39
3.2 วัสดุดิบ	39
3.3 วิธีการทดลอง	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของนํ้านมถั่วเหลืองและนํ้าสัมแขก	43
4.2 การศึกษาอัตราส่วนของนํ้านมถั่วเหลืองผสมนํ้าสัมแขกที่เหมาะสม	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3	ศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัว (Thickenner) ที่เหมาะสมในการผลิตโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก	45
4.4	ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมน้ำมันถั่วเหลืองน้ำส้มแขก	46
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	48
	เอกสารอ้างอิง	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงส่วนประกอบโดยประมาณของถั่วเหลืองและส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	4
2. แสดงกรดอะมิโนจำเป็นที่เป็นองค์ประกอบในถั่วเหลือง กลูเต็นของแป้ง สาเก ข้าว ข้าวโพดบด Broad Bean	5
3. แสดงองค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition) ในน้ำมันถั่วเหลือง	6
4. ส่วนประกอบของน้ำมันถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับน้ำมันวัวใน 100 กรัม	9
5. คุณค่าทางโภชนาการบางอย่างในถั่วและผลิตภัณฑ์บางชนิดในส่วนเกิน 100 กรัม	11
6. ความสัมพันธ์ของ MSNF กับความเป็นกรดของส่วนผสมใน ไอศกรีม	16
7. แสดงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก	43
8. แสดงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	44
9. แสดงลักษณะปรากฏของส่วนผสมน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	44
10. แสดงลักษณะปรากฏทางด้านความคงตัวของส่วนผสมน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก เมื่อทำการเติมสารให้ความคงตัวทั้งสองชนิดในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ กัน	45
11. แสดงค่าการวิเคราะห์ทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	46
12. แสดงค่าคะแนนเฉลี่ยโดยการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกทั้ง 4 สูตร	47

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ไลพอกซิจีเนส	10
2. โครงสร้างของไอศกรีมที่ประกอบด้วยเซลล์อากาศ ผลึกน้ำแข็ง เม็ดไขมัน	14
3. ปฏิกิริยาการเกิดไฮเดรชันของซิวเตรตและฟอสเฟตที่มีต่อเคซีน	14
4. แสดงสภาพของอนุภาคในส่วนผสมของไอศกรีม	15
5. การเกิดผลึกใหม่ในไอศกรีม	18
6. การกระจายของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมที่อุณหภูมิ -14.4 องศาเซลเซียส	18
7. จุดเยือกแข็งที่ลดลงของน้ำตาลชนิดต่างๆ	19
8. การแช่แข็งของไอศกรีมชนิดต่าง ๆ	20
9. สภาวะในระบบของน้ำและน้ำตาล	20
10. อัตราความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดนิวเคลียสแบบเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่เป็นเนื้อเดียวกัน	21
11. การเชื่อม dendrites ออกจากผิวของ barrel	22
12. การกระจายขนาดของผลึกน้ำแข็งหลังจากการแช่แข็งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	27
13. ผลการแช่แข็งและการเก็บรักษาต่อการกระจายผลึกน้ำแข็งของไอศกรีม	28
14. แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง	40
15. แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำส้มแขกเข้มข้น	41
16. แสดงขั้นตอนการผลิตไอศกรีม	42

สารบัญภาคผนวก

	หน้าที่
ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง	51
ภาคผนวก ข รูปภาพ	55
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันผู้คนหันมาเอาใจใส่และให้ความสำคัญกับสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องของสรีระร่างกาย จะเป็นเรื่องที่เรามักจะให้ความสำคัญกันเป็นพิเศษ ซึ่งไม่เฉพาะเจาะจงว่าจะต้องเป็นผู้หญิงเท่านั้นที่สนใจ ในการดูแลรูปร่างของตนเอง ผู้ชายก็สามารถที่จะหันมาเอาใจใส่กับเรื่องของรูปร่างและสุขภาพได้เช่นกัน ดังนั้นความสนใจในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างโภชนาการ การควบคุมอาหาร และสุขภาพจึงมีมากขึ้น ทำให้ผู้บริโภคนิยมบริโภคอาหารที่นอกจะมีรสชาติดีแล้วยังมีผลดีต่อสุขภาพจึงเกิดแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารแช่แข็ง เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคสามประการ ได้แก่ การลดไขมัน โคเลสเตอรอล และน้ำตาล เมื่อก้าวถึงเรื่องสรีระและรูปร่างของร่างกายแล้ว ปัจจัยอันดับแรก ๆ ที่น่าจะนึกถึงและมีผลกระทบอย่างมากก็คือ เรื่องของอาหารที่รับประทานและสารอาหารที่ร่างกายได้รับ โดยสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายนั้นประกอบไปด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และที่ร่างกายเราขาดไม่ได้เลยคือน้ำ สารอาหารเหล่านี้ร่างกายจะนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอและร่างกายยังต้องการสารอาหารเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ โดยความต้องการสารอาหารของแต่ละบุคคลนั้น จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ เพศ อายุ ลักษณะโครงสร้างและกิจกรรมของร่างกาย ดังนั้นเราจึงควรรับประทานอาหารให้เหมาะสมเพื่อให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เพียงพอ ปัญหาที่เกี่ยวข้องมาจากการรับประทานอาหารไม่ถูกสัดส่วน ดูเหมือนว่าจะจะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นและสามารถพบเห็นได้ในทุกเพศ ทุกวัย ไม่ว่าจะเป็นเด็ก หนุ่มสาว หรือแม้กระทั่งในคนชราก็ตาม การรับประทานอาหารมากเกินไปทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารเกินความจำเป็นที่ร่างกายต้องการ ร่างกายก็จะเปลี่ยนสารอาหารเหล่านั้นไปอยู่ในรูปของไขมันสะสมอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความอ้วนได้ในที่สุด

“สัสมแชก” เป็นสมุนไพรที่มีองค์ประกอบซึ่งเชื่อกันว่ามีคุณสมบัติในการลดการสะสมของไขมันในร่างกาย ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการนำสัสมแชกมาเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทำให้อยู่ในรูปของไอศกรีมผสมกับน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อง่ายต่อการบริโภค ไอศกรีมเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมและรับประทานกันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันมีการแข่งขันกันทางการตลาดสูงไม่ว่าจะเป็นตัวผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุหรือการโฆษณา นอกจากนี้ผู้บริโภคยังสามารถบริโภคได้บ่อยกว่าไอศกรีมทั่วไป ซึ่งนอกจากร่างกายจะได้รับสารอาหารจากน้ำนมถั่วเหลืองแล้วยังเป็นการลดความอ้วนอีกด้วย เนื่องจากไอศกรีมที่ทำจากน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำสัสมแชกจะให้คุณค่าทางอาหารสูงแต่ให้พลังงานต่ำ เพราะการผลิตจะไม่ใช้ส่วนผสมที่มีไขมันสูงเหมือนกับการผลิตไอศกรีมทั่วไปและน้ำนมที่ใช้เป็นส่วนผสมหลักก็เป็นน้ำนมถั่วเหลือง ดังนั้นการบริโภคไอศกรีมที่ทำจากน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำสัสมแชกจึงไม่สร้างปัญหาในการเพิ่มแคลอรีให้แก่ผู้บริโภค นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพร ให้มีคุณค่ามากขึ้นแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. ผลิตไอศกรีมจากน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก
2. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ส้มแขก

2.1.1 พื้นที่ที่พบและลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ส้มแขกนั้นเป็นพืชพันธุ์ที่พบได้ตามธรรมชาติในแถบเอเชียไม่ว่าจะเป็นประเทศอินเดีย พม่า มาเลเซีย อินโดนีเซีย รวมทั้งในประเทศไทย โดยเฉพาะแถบทางภาคใต้ตอนล่างได้แก่ จังหวัดปัตตานี นราธิวาส ยะลา เป็นต้น

ในทางพฤกษศาสตร์นั้น “ส้มแขก” ไม่ใช่พรรณไม้ที่จัดอยู่ในประเภทเดียวกับสกุลเดิม (genus Citrus) หรือในวงศ์ส้ม (family Rutaceae) และไม้จัดอยู่ในประเภทเดียวกับพืชที่ให้ผล ที่เรียกว่า “ส้ม” ซึ่งเป็นที่รู้จักกันทั่วไป แต่ส้มแขกนั้นที่ได้จากพรรณไม้นั้นมีชื่อเรียกทางพฤกษศาสตร์ว่า *Garcinia cambogia* Desr. เป็นพันธุ์ที่พบในอินเดีย ส่วนพันธุ์ที่พบในประเทศไทยนั้นชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Garcinia atroviridis* Griff. ทั้งสองพันธุ์นี้เป็นแหล่งของสมุนไพรที่นำมาทำผลิตภัณฑ์อาหารเสริมลดไขมัน ในขณะนี้ โดยส้มแขกนี้เป็นพืชสมุนไพรในสกุลการ์ซีเนีย ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae และอาจมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ เช่น ส้มมะวน ส้มพะงูน (ชื่อเรียกในจังหวัดปัตตานี) อาแซ กะตุโก (ชื่อเรียกในจังหวัดยะลาและแถบมาเลเซีย) เป็นต้น (ชยันต์, 2539)

ส้มแขกนั้นเป็นต้นไม้ที่พบว่าขึ้นได้ทั่วไปในป่า ตั้งแต่พื้นที่ราบที่ระดับน้ำทะเลจนกระทั่งพื้นที่ที่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 600 เมตร โดยต้นในป่านั้นมักจะขยายพันธุ์โดยอาศัยเมล็ด

ลำต้น ส้มแขกเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง มีความสูงประมาณ 5–7 เมตร และอาจจะสูงได้ถึง 27 เมตร เปลือกที่บริเวณลำต้นมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอมดำ ขางที่ออกมาจากลำต้นนั้นจะมีสีเหลือง เป็นไม้เนื้อแข็ง

ใบ มีขนาดใหญ่ เรียว เรียงอยู่ตรงข้ามกัน ใบแก่จะมีสีเขียว ส่วนใบอ่อนจะมีสีน้ำตาลอมแดง ฐานใบสอบเข้าหาก้านใบ ใบของส้มแขกมีขนาดประมาณ 15 x 4 ถึง 25 x 7 ซม. ก้านใบยาว 1.5–2.5 ซม. และโดยมากมักจะมีติ่งแหลมสั้น ๆ ที่ปลายใบ

ดอกของส้มแขกมักจะออกที่ปลายกิ่ง เมื่อดอกบานอาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางได้ถึง 3.7 ซม. ก้านดอกยาวราว ๆ 3.5 ซม. มีกลีบเลี้ยงสีเหลืองนวลอมเขียว 4 กลีบ กลีบนอกมนกลม กลีบในขอบบางและโตกว่านั้น มักออกเป็นดอกเดี่ยวทรงออกจากปลายยอด มีเกสรตัวผู้จำนวนมากเรียงเป็นวงรอบเกสรตัวเมีย ปลายเกสรตัวเมียมีลักษณะโค้งสีแดงเข้มเป็นก้นกลม

ผล เป็นแบบเดี่ยว เมื่ออ่อนมีสีเขียวถึงเหลืองนวล ผลกว้างประมาณ 7 ซม. ยาว 5 ซม. ขั้วผล ยาวประมาณ 2 ซม. รกอยู่ตรงกลางมีเมล็ด 11 เมล็ด มีช่องว่างภายในผล 11 ช่อง ผิวของผลนั้นมีรอยตาม ขวตื้น ๆ ทำให้เห็นเป็นพู ๆ

เปลือกผล จะเป็นเนื้อหนา มีรสเปรี้ยว เมื่อแก่จัดแล้วทำให้แห้งจะหดตัว ผิวขุ่นไม่สม่ำเสมอ และจะ เปลี่ยนเป็นสีดำ

2.2 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจและมีความสำคัญของประเทศพืชหนึ่ง สามารถขึ้นได้ดีในภูมิอากาศของ ประเทศไทย การปลูกถั่วเหลืองเพื่อประโยชน์ทางด้านโภชนาการแพร่หลายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากถั่วเหลืองเป็น แหล่งอาหารโปรตีนที่ดี

ถั่วเหลืองมีชื่อสามัญว่า Soya bean, Soja bean, Chinese pea, Manchurian bean และ Soybean ใน จำนวนชื่อสามัญทั้งหมด Soybean เป็นชื่อที่นิยมเรียกและยอมรับมากที่สุด ถั่วเหลืองจัดอยู่ในวงศ์หรือตระกูล (family) Leguminosae, Sub – family Papilionoideae, สกุล (genus) Glycine และชนิด (spicies) max มีชื่อ ทางวิทยาศาสตร์ว่า Glycine max ลักษณะของเมล็ดถั่วเหลืองมีรูปร่างเกือบจะเป็นทรงกลม น้ำหนักเมล็ดโดย เฉลี่ยเท่ากับ 120 – 180 มิลลิกรัม ซึ่งคิดเป็นเปลือกหุ้มเมล็ดร้อยละ 10

2.2.1 องค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนและไขมันจากพืชที่สำคัญแหล่งหนึ่ง ส่วนประกอบโดยประมาณของ ถั่วเหลืองและส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบโดยประมาณของถั่วเหลืองและส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง (ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)

ถั่วเหลืองและส่วนต่าง ๆ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
ถั่วเหลืองทั้งเมล็ด	40.3	21.0	33.9	4.9
ใบเลี้ยง	42.8	22.8	29.4	5.0
เปลือกถั่ว	8.8	1.0	85.4	4.3
ยอดอ่อน	40.8	11.4	43.4	4.4

ที่มา : Chen (1980)

จากตารางพบว่า ในส่วนของใบเลี้ยง (ซึ่งมีเป็นร้อยละ 90) มีปริมาณโปรตีนและไขมันรวมกัน อยู่ร้อยละ 60 ของน้ำหนักถั่วทั้งหมด มีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30 ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับพืช ชนิดอื่นที่อยู่ในตระกูลเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โปรตีน

ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีปริมาณโปรตีนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับในกลุ่มพืชตระกูลเดียวกัน โดยมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 38-44 ของน้ำหนักแห้ง (Synder and Kwon, 1978) โปรตีนในถั่วเหลืองถูกสะสมอยู่ในเซลล์ของเนื้อถั่วเหลือง ที่เรียกว่า Protein bodies หรือ Storage Protein ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2–20 ไมครอน แต่ส่วนใหญ่จะมีขนาด 5–8 ไมครอน และมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 200,000–600,000 นอกจากนี้ในเรื่องปริมาณโปรตีนที่มีอยู่สูงแล้ว ในด้านของคุณภาพโปรตีนยังเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูงด้วย เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เนื่องจากร่างกายซึ่งร่างกายสังเคราะห์ขึ้นเองไม่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงกรดอะมิโนจำเป็นที่เป็นองค์ประกอบในถั่วเหลือง กุหลาบของแป้งสาลี ข้าว ข้าวโพดบด
Broad Bean (กรัม / 16 กรัมนิวตัน)

กรดอะมิโน	Soybean	Wheat Gluten	Rice	Milled corn	Broad bean
Isoleucine	5.1	3.9	4.1	3.7	4.5
Leucine	7.7	6.9	8.2	13.6	7.7
Lycine	6.9	1.0	3.8	2.6	7.0
Methionine	1.6	1.4	3.4	1.8	0.6
Phenylanine	5.0	3.7	6.0	5.1	4.3
Threonine	4.3	4.7	4.3	3.6	3.7
Tryptophan	1.3	0.7	1.2	0.7	-
Valine	5.4	5.3	7.2	5.3	5.2
Histidine	2.6	1.8	-	2.8	2.8

หมายเหตุ สัญลักษณ์ – หมายถึง Value missing

ที่มา : Synder and Kwon (1978)

2. ไขมัน

ไขมันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญรองลงมาจากโปรตีนที่มีในถั่วเหลือง ปริมาณไขมันโดยเฉลี่ยในเมล็ดมีปริมาณร้อยละ 29.6 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ สภาพของสิ่งแวดล้อม และดินที่ใช้เพาะปลูกถั่วเหลือง สำหรับถั่วเหลืองของไทยโดยเฉลี่ยมีไขมันอยู่ราวร้อยละ 16–18 แต่ถั่วปีโคฝนเลี้ยงและถั่วเหลืองไม่เจริญงอกงามปริมาณของไขมันจะลดลงเหลือร้อยละ 14–15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันถั่วเหลืองมีความสำคัญมากต่อโภชนาการของมนุษย์ เนื่องจากคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองสูงกว่าน้ำมันที่ได้จากสัตว์เพราะมีปริมาณของกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) และกรดโอเลอิก (Oleic acid) เป็นต้น องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid Composition) ในน้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil)

กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Acids) %	กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Acids) %
ลอริก (Lauric) 0.0-0.2	*โดเดเซซีโนอิก (Dodecenoic)
ไมริสติก (Myristic) 0.1-0.4	เตตราเดซีโนอิก (Tetradeceno) 0.05-0.64
พาลมิติก (Palmitic) 6.5-9.8	เฮกซะเดซีโนอิกและพาลมิโตเลอิก 0.42-1.60
สเตียริก (Stearic) 2.4-5.5	โอเลอิก (Oleic) 10.9-60.0
อราคิติก (Arachidic) 0.2-0.9	ลิโนเลอิก (Linoleic) 25.0-64.8
บีเฮนิก (Behenic) -	ลิโนเลนิก (Linolenic) 0.3-12.1
ลิโนเซอริก (Lignoceric) 0.0-0.1	อราคิโคนิก (Arachidonic) เล็กน้อย
กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (Total Saturated Acids) 15	กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด (Total Unsaturated Acids) 85.0

*พบบ้างเล็กน้อยสำหรับกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ที่มา : นีรนาม (2526)

3. คาร์โบไฮเดรต

ถั่วเหลืองไม่ได้เป็นของคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลในถั่วเหลืองมีหลายชนิดที่เป็น Disaccharide เช่น ซูโครสและที่เป็น tetrasaccharide เช่น สตาซิโอส ส่วนพวก penta – saccharide พบบ้างเป็นจำนวนเล็กน้อย ในถั่วเหลืองมีซูโครสอยู่ร้อยละ 4.5 แรฟไฟโนสร้อยละ 1.1 สตาซิโอสร้อยละ 3.7 อราบินอสและกลูโคสมีเป็นจำนวนเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลแรฟไฟโนส ซึ่งเป็นน้ำตาล non – reducing และไม่ให้คุณค่าทางอาหารโดยตรง นอกจากจะถูกย่อยจนได้กาแลคโตส กลูโคส และฟรุคโตส

4. แร่ธาตุ

แร่ธาตุที่พบส่วนใหญ่ในถั่วเหลืองเป็นโปตัสเซียมร้อยละ 1.83 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.78 แมกนีเซียมร้อยละ 0.31 โซเดียม แคลเซียม กำมะถันอย่างละร้อยละ 0.24 สารประกอบที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่พบในถั่วเหลืองคือ phytin , phospholipid และกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ซึ่ง phytin เป็นแหล่งที่มีฟอสฟอรัสมากที่สุด มีความสำคัญต่อการละลายได้ของโปรตีนและคุณค่าทางอาหารของแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กรรมวิธีในการทำนํ้านมถั่วเหลือง

1. การใช้นํ้าสกัด (Water extract process)

เป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุดอันหนึ่ง โดยการใช้ถั่วเหลืองทั้งเมล็ดนำมาแช่นํ้าให้นํ้ามตัว ระยะเวลาการแช่ตั้งแต่ 1-20 ชั่วโมง แล้วแต่อุณหภูมิของนํ้าที่แช่ถั่วเหลือง คือ ถ้าใช้นํ้าอุณหภูมิสูงจะนํ้าเร็วกว่าใช้นํ้าอุณหภูมิต่ำ จากนั้นนํ้าถั่วมาบดกับนํ้าในสัดส่วนที่ต้องการ กรองส่วนที่ไม่ละลายนํ้า นํ้าที่กรองได้จะมีลักษณะคล้ายนํ้านม และมีกลิ่นเหม็นเขียว จนกระทั่ง Dr. Miller แพทย์ชาวจีน ได้ใช้วิธีการกำจัดกลิ่นโดยนํ้านํ้านมถั่วเหลืองมาต้มที่อุณหภูมิสูง 240°ฟ ด้วยหม้อต้มความดัน ใช้เวลา 5 นาที นํ้านมที่ได้นำมาผ่านเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizer)

2. การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยนํ้า (Water emulsion process)

เหมาะกับการใช้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและใหญ่มากกว่า เนื่องจากต้องใช้เครื่องจักรมากขึ้น ขั้นตอนคล้ายวิธีการใช้นํ้าสกัด แตกต่างกันบางขั้นตอน กล่าวคือ ทำความสะอาดถั่วและแยกเปลือกออก นำเนื้อถั่วไปอบไอนํ้าที่อุณหภูมิ 165°ซ แล้วผ่านเข้าเครื่องรีดเป็นแผ่นบาง ๆ (Flaking) โดยให้ความหนาของแผ่นเนื้อถั่วอยู่ในราว 0.008 นิ้ว หรือบางกว่า จากนั้นนำมาใส่นํ้าร้อน (และอาจใส่สารพวก NaHCO_3 เพื่อเพิ่มผลผลิต) กวนจนเข้ากันแล้วผ่านไปยังเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น อาจเป็น Colloid mill หรือ Homogenizer ที่ความดันประมาณ 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อเสร็จจะผ่านไปยังเครื่องกรอง นํ้านมที่ได้ ออกมาผ่านการเติมแต่งให้เป็นไปตามสูตรที่ต้องการและให้ความร้อนที่ 200°ฟ นาน 10 นาที ก่อนนำไปบรรจุและฆ่าเชื้อหรือนำไปทำเป็นนํ้านมถั่วเหลืองผงโดยผ่านเครื่องฉีดพ่นด้วยความร้อน (Spray dier)

3. การทำนํ้านมถั่วเหลืองจากโปรตีนสกัด (Soy Protein Isolate)

การทำนํ้านมถั่วเหลืองด้วยวิธีนี้สามารถนำไปใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเต้าหู้ ไอศกรีม โยเกิร์ต กริมผสมกาแฟ เป็นต้น คุณสมบัติของ SPI หรือ Soy Protein Isolate ที่เหมาะในการใช้ทำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต้องถูกเตรียมขึ้นโดยเฉพาะ และมีค่าการละลายตัวสูง ในการนำถั่วเหลืองมาใช้ทำเป็นนํ้านมถั่วเหลืองนั้น อาจทำได้โดยการนำเอา SPI มาละลายในนํ้าที่อุณหภูมิ 50 - 55°ซ กวนจนละลายหมด จากนั้นจึงเติมสารปรุงแต่งประเภทน้ำตาล ไขมัน และผสมให้เข้ากันโดยให้ความร้อนที่ 60°ซ และรักษาความร้อนนี้ไว้ประมาณ 30 นาที พร้อมการกวนที่สม่ำเสมอ จากนั้นจึงผ่านเข้าเครื่อง Homogenizer ที่ความดัน 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก 2,500 ปอนด์ ขั้นตอนี่ 2 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 50°ซ การเติมแต่งกลิ่นต่าง ๆ อาจทำได้ในช่วงหลังนี้ ถ้าจำเป็นต้องการให้นํ้านมมีอายุการเก็บยาวนาน จะเข้าขั้นตอนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเพื่อสเตอริไลซ์ หรือลดจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั้งหมดก่อน

4. การใช้แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full fat soy flour process)

เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอีกวิธีหนึ่ง ทั้งนี้เพราะสะดวกต่อการเตรียมวัตถุดิบและเป็นกระบวนการที่มีความสะอาดและประสิทธิภาพสูง แต่ข้อจำกัดในการทำด้วยวิธีนี้ คือ เป็นกรรมวิธีที่ต้องใช้เครื่องจักรที่มีราคาแพง ขั้นตอนส่วนใหญ่คล้ายวิธีการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยนํ้า โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแตกต่างกันบางขั้นตอน กล่าวคือ ถั่วเหลืองที่ผ่านการคัดเลือกเอาส่วนที่ไม่ต้องการออกแล้ว นำมาผ่านกา
รอบด้วยความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ในถั่วเหลือง ขณะเดียวกันทำให้เป็นการง่ายในการกะเทาะเอา
เปลือกออก และยังเป็น การลดความชื้นในถั่วเหลืองให้น้อยลง หลังอบจะเข้าเครื่องผ่าซีกและฝัดเอาเปลือก
ออกไป เนื้อถั่วที่ได้นำไปบดให้ละเอียดเป็นลักษณะของแป้งถั่วเหลือง แป้งถั่วเหลืองที่ได้นี้จะนำไปผ่านขั้น
ตอนการทำให้เป็นนํ้านมถั่วเหลืองโดยผสมนํ้า ผ่านการแยกส่วนที่ไม่ละลายนํ้าออก การให้เป็นเนื้อเดียวกัน
การเติมแต่ง และการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ดังเช่นขั้นตอนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันกับนํ้า

จะเห็นได้ว่านํ้านมถั่วเหลืองมีกรรมวิธีในการทำอยู่หลายแบบและหลายวิธีด้วยกัน โดยเริ่มตั้งแต่
แบบง่าย ๆ ที่ทำกันในบ้านซึ่งเป็นวิธีของจีนโบราณ จนถึงแบบสมัยใหม่ที่มีกระบวนการที่ซับซ้อนในอุตสาหกรรม
กรรม โดยนํ้านมถั่วเหลืองแห้ง 1 กิโลกรัม เมื่อนํ้ามาสกัดด้วยนํ้าในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 จะได้นํ้านมถั่ว
เหลืองประมาณ 6.5 ลิตร และมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ปริมาณของแข็งร้อยละ 8.99 โปรตีนร้อยละ
3.55 ขณะที่นํ้านมวัวมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.69 ดังนั้นเห็นได้ว่านํ้านมถั่วเหลืองมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียง
กับนํ้านมวัว ส่วนประกอบของนํ้านมถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับนํ้านมวัวใน 100 กรัม แสดงดังตารางที่
4 พบว่าปริมาณไขมันในนํ้านมถั่วเหลืองน้อยกว่าในนํ้านมวัว แต่คุณภาพของไขมันในนํ้านมถั่วเหลืองนับว่ามี
คุณภาพดีมาก คือมีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (Linoleic acid) ฉะนั้นนํ้านมถั่วเหลืองจึงมีข้อเสียเปรียบ
ในด้านปริมาณของไขมันที่มีอยู่ แต่ถ้าได้เพิ่มเติมไขมันที่มีคุณภาพสูงเข้าไป ก็จะทำให้นํ้านมถั่วเหลืองนี้มี
คุณภาพใกล้เคียงนํ้านมวัวมากขึ้น

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของนํ้านมถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับนํ้านมวัวใน 100 กรัม

ส่วนประกอบ	นมถั่วเหลือง	นมวัว
นํ้า	92.5 g	87.0 g
โปรตีน	3.4 g	3.5 g
ไขมัน	1.5 g	3.9 g
คาร์โบไฮเดรต	2.1 g	4.9 g
เถ้า	0.5 g	0.7 g
แคลเซียม	21.0 mg	118.0 mg
ฟอสฟอรัส	47.0 mg	93.0 mg
เหล็ก	0.7 mg	0.1 mg
ไทอามีน (Thiamine)	0.09 mg	0.04 mg
ไรโบฟลาวิน (Riboflavin)	0.04 mg	0.17 mg
ไนอะซิน (Niacin)	0.30 mg	1.0 mg

ที่มา : นิรนาม (2526)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวิตามินและแร่ธาตุบางตัวในน้ำมันถั่วเหลืองจะน้อยกว่าน้ำมันมว แต่ถ้าได้มีการเพิ่มเติมวิตามิน และแร่ธาตุเหล่านี้ลงไปเช่นเดียวกับไขมันก็สามารถเพิ่มคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองให้มากขึ้นได้อีกทางหนึ่งด้วย

2.2.4 สาเหตุของการเกิดกลิ่นถั่ว

ก่อนที่จะทำการกำจัดกลิ่นด้วยวิธีต่าง ๆ ต้องทราบก่อนว่ากลิ่นถั่ว นั้นมาจากไหน เกิดขึ้นได้อย่างไร จึงจะหาวิธีกำจัดหรือยับยั้งไม่ให้เกิดกลิ่นถั่วขึ้นได้ กลิ่นถั่วเกิดจาก เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated)

โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสซึ่งพบในถั่วเหลืองตามธรรมชาติ เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม Oxidoreductase หรือที่เรียกว่า linolate : oxygen oxidoreductase เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 คู่อยู่ในรูป cis form ($-CH=CH-CH_2-CH=CH-$) อ่านว่า cis , cis penta - 1, 4 - diene unit สับสเตรทที่ดีที่สุดของเอนไซม์พวกนี้ คือ กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และกรดอาราชิโดนิก ซึ่งเมื่อถูกคะตะไลซ์แล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็น conjugated diene hydroperoxide

อธิบายการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส

- ขั้นตอนที่ 1 สับสเตรทอยู่ที่ผิวของเอนไซม์และเริ่มทำปฏิกิริยากับ oxygen
- ขั้นตอนที่ 2 เคลื่อนย้าย electron H^+ จากสับสเตรทให้แก่ oxygen เพื่อสร้าง radicle ที่ผิวของเอนไซม์
- ขั้นตอนที่ 3 biradicle ทำปฏิกิริยากันให้ conjugated diene hydro-peroxide และจากนั้น peroxide จะแตกตัวออกจากเอนไซม์

สาร conjugated diene hydroperoxide สลายตัวต่อไปให้สารประกอบที่ระเหยได้และทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเขียวขึ้นในผลิตภัณฑ์ (Holman et al., 1969) สารประกอบเหล่านี้ส่วนใหญ่คือ 1 - pentanol

1 - hexanol, 2 - octa - 3 - ol - hexanol และ hexanol มีมากที่สุดถึงร้อยละ 25 (Arai et al., 1967)

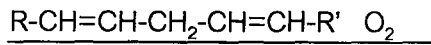
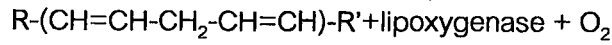
2.2.5 คุณสมบัติของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส

มีน้ำหนักโมเลกุล 108,000 มีโครงสร้างย่อยที่ประกอบด้วย 2 component คือร้อยละ 85 เป็น 2.8 และที่เหลือเป็น 6.3 s (Swedburg unit)

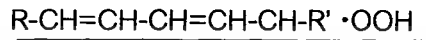
pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-9 pH ประมาณ 5.4 อุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 35-40^oC

ตัวยับยั้ง (Inhibitor) ที่สำคัญที่สุดของเอนไซม์ คือ พวก lipid antioxidant เช่น tocopherol , nordihydroguaiaretic acid (NDGA), propylgallate, hydroquinone และ naphthol เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



lipoxygenase



lipoxygenase



lipoxygenase



Conjugated diene hydroperoxide

ภาพที่ 1 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส

ความจำเพาะของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส

เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส มีความจำเพาะต่อการออกซิเดชันของกรดไขมัน และไขมันที่มี cis, cis penta-1, 4-diene unit (-CH=CH-CH₂-CH=CH-) อย่างสูง

กรดไขมันที่พบในธรรมชาติ ได้แก่ กรดลิโนเลอิก, กรดลิโนเลนิก, กรดอาราชิโคนิก มี cis, cis penta-1, 4-diene units 1 units หรือมากกว่า

กรดลิโนเลอิกมี 4 ไฮดรอกซิลและมีเพียง 1 ไฮดรอกซิลเท่านั้น ที่เป็นสับสเตรทของเอนไซม์ คือ cis, cis linoleic acid ซึ่งแสดงว่าเอนไซม์มีความจำเพาะด้าน stereospecific ที่ต้องพอดีกับบริเวณเร่งของเอนไซม์

กรดโอเลอิก มีพันธะคู่เพียง 1 คู่ และไม่เป็นสับสเตรทของเอนไซม์

ดังนั้น สรุปได้ว่าเอนไซม์ต้องการ methylene group penta-1, 4-diene unit เอนไซม์จะแสดงความจำเพาะด้าน terminal methyl end ของกรดไขมัน

2.2.6 คุณค่าทางโภชนาการ

ในทางด้านโภชนาการและการแพทย์แล้ว น้ํานมถั่วเหลืองมีคุณภาพคํอยกว่าน้ํานมโค แต่ข้อได้เปรียบของนมถั่วเหลืองมีอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องราคาของวัตถุดิบ ซึ่งถั่วเหลืองได้ชื่อว่าเป็นแหล่งโปรตีนราคาถูก นอกจากนี้ นมถั่วเหลืองสามารถปรับให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้นได้ กล่าวคือ

1. ชนิดของโปรตีน มีอัตราส่วนของกรดอะมิโนไม่ครบถ้วนตามความต้องการของร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Sulfur containing amino acids อันได้แก่ เมธิโอนิน และซิสตีน (CYSTINE) ซึ่งในนมถั่วเหลืองมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มคุณภาพของโปรตีนจากถั่วเหลือง โดยการเติมเมธิโอนินทำให้การบริโภคนมถั่วเหลืองได้ผลดีขึ้น

2. เนื่องจากปริมาณไขมันในน้ํานมถั่วเหลืองจะต่ำกว่าน้ํานมโค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการสกัดด้วยกรรมวิธีการใช้ไอน้ํา แต่ไขมันที่ได้เป็นไขมันที่มีคุณภาพที่ดีมาก คือ มีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (LINOLEIC ACID) ดังนั้น ถ้าเพียงแต่ผู้ผลิตเติมไขมันที่มีคุณภาพสูงเข้าไปก็จะเป็นน้ํานมถั่วเหลืองมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ํานมโคมาก

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของนมถั่วเหลือง สำหรับนมถั่วเหลืองที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งแบ่งแยกออกเป็นนมถั่วเหลืองชนิดไม่หวาน นมถั่วเหลืองเข้มข้นบรรจุกระป๋อง และนมถั่วเหลืองบรรจุกระป๋อง ซึ่งจะมีคุณค่าทางอาหารแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ คุณค่าทางอาหารของนมถั่วเหลือง จะผันแปรไปตามพันธุ์ของถั่วเหลืองที่ใช้ ตลอดจนกรรมวิธีในการผลิต

คุณสมบัติของนมถั่วเหลืองจะมีความคล้ายคลึงกับน้ํานมที่ได้จากสัตว์ สามารถตกตะกอนโปรตีนได้โดยใช้กรดและเกลืออนินทรีย์ ดังนั้นจึงสามารถทำผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากนมถั่วเหลือง ได้เช่นเดียวกับนมโค นั่นคือนมถั่วเหลืองสามารถผลิตนมเปรี้ยวได้เช่นกัน กล่าวกันว่าถ้าดื่มนมถั่วเหลือง 1 แก้ว (240 กรัม) จะได้โปรตีนประมาณ 6 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับโปรตีนที่มีในไข่ 1 ฟอง การบริโภคนมถั่วเหลืองจะให้สารอาหารทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และวิตามิน เหมาะสมสำหรับทุกวัยตั้งแต่เด็กเล็กไปจนถึงคนสูงอายุ เนื่องจากสามารถป้องกันโรคปากนกกระจอกในเด็กและโรคเหน็บชาในคนสูงอายุ ดังนั้นจึงควรที่จะดื่มนมถั่วเหลืองทุกวัน วันละ 1-2 แก้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คนที่มีอาการแพ้ นมโค สามารถบริโภคนมถั่วเหลืองแทนได้

2.3 ไอศกรีม

2.3.1 ความหมาย

ไอศกรีม คือ ผลิตภัณฑ์นมแช่แข็ง ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์จากนม น้ำตาล dextrose cornsyrup น้ำ และสารปรุงแต่งกลิ่นและรส อาจมีการเติมไข่ และสแตบิไลเซอร์ (stabilizer) ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจัดเป็นอาหารหวานประเภทแช่แข็ง ซึ่งได้แก่ frozen custard , ice milk , fruit sherbet และ water ices เป็นต้น

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนาการบางอย่างในถั่วและผลิตภัณฑ์บางชนิดในส่วนเกินได้ 100 กรัม

ถั่วเมล็ดแห้ง	ความชื้น (%)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)
ไข่ไก่ ทั้งฟอง	73.7	12.9	11.5	0.8
ถั่วเหลือง	10.0	34.1	17.7	33.5
ถั่วเขียว	6.1	24.4	1.0	64.6
ถั่วดำ	11.5	22.7	1.6	61.0
ถั่วแดงหลวง	12.1	20.3	1.2	62.7
ถั่วลิสงแห้ง	7.3	23.4	45.3	21.6
น้ำมันถั่วเหลือง (เข้มนั่น, เกษตร)	74.5	6.2	4.1	14.4
น้ำมันถั่วเหลือง (เกษตร)	87.0	2.5	1.1	9.0
น้ำมันถั่วเหลือง (เนเชอรัลแลนค์) ²	?	3.2	1.6	?
เต้าหู้แข็ง	70.9	12.5	8.1	6.0
เต้าหู้ขาวอ่อน	86.7	7.9	4.1	0.4
เต้าหู้แผ่น	76.0	13.3	6.5	3.1
เต้าหู้เหลือง (เค็ม)	72.5	15.6	3.9	6.4
เต้าหู้ฟอง	34.1	21.9	38.1	4.6
ฟองเต้าหู้	6.8	47.0	28.4	14.9
เต้าหู้ยี้, กระป๋อง (ตราพระ)	56.1	11.7	5.7	13.7
เต้าฮวย	93.0	3.1	1.9	1.5
เต้าเจี้ยวขาว	56.8	12.0	3.8	8.0
เต้าเจี้ยวดำ	62.8	6.0	3.0	4.3
เทมเป้ ² (เนเชอรัลแลนค์)	65.0	18.3	4.0	12.7

ที่มา : นีรนาม (2526)

2.3.2 องค์ประกอบของไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบค่อนข้างซับซ้อน โดยจะมีสารต่าง ๆ ละลายอยู่โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย สารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่นั้นอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ไขมัน จะกระจายตัวอยู่ในน้ำกลายเป็นอิมัลชัน ซึ่งอยู่ในรูปอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ (oil-in-water solution) โดยมีสาร อิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้อิมัลชันคงตัว มีโปรตีนของแข็งที่มาจากนม และสารคงตัวละลาย อยู่ในรูปคอลลอยด์ และมีน้ำตาลแลคโตส น้ำตาลที่เติมลงไปและเกลือแร่ต่าง ๆ ละลายอยู่ในรูปของสารละลายแท้ (true solution) เมื่อนำส่วนผสมทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมดของไอศกรีมไปป็น อากาศก็จะเข้าไปในส่วนผสม และกระจายตัวอยู่ในรูปของฟองอากาศเล็ก ๆ ซึ่งมีชั้นของเม็ดไขมันที่รวมตัวกันอยู่ล้อมรอบฟองอากาศ น้ำแข็งจะแข็งตัวอยู่ในรูปของผลึกน้ำแข็ง

2.3.3 โครงสร้างทางฟิสิกส์ของไอศกรีม

โครงสร้างทางฟิสิกส์ของไอศกรีมเป็นแบบ physicochemical system ที่ค่อนข้างซับซ้อนแสดงให้เห็นถึงภาพที่ 2 เซลล์อากาศ (air cell) กระจายตัวในส่วนหนึ่งของของเหลวที่ล้อมรอบผลึก น้ำแข็งอยู่ในส่วนของของเหลวประกอบด้วยเม็ดไขมันแข็ง โปรตีนนม ผลึกน้ำตาลแลคโตส น้ำตาล และ stabilizer ที่มีขนาดเล็ก ๆ ในสภาพของคอลลอยด์ ไอศกรีมที่พร้อมต่อการจำหน่ายนั้น จึงประกอบด้วยส่วนของเหลว อากาศ และของแข็ง เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า tree-phase system

2.3.4 คุณสมบัติสำคัญของส่วนผสมไอศกรีม

คุณสมบัติสำคัญของส่วนผสมไอศกรีม ได้แก่ ความเสถียรของส่วนผสม ความหนาแน่น ความเป็นกรด แรงตึงผิว ความหนืด จุดเยือกแข็ง และอัตราการตีขึ้นฟู

1. ความเสถียร (stability)

ความเสถียรของส่วนผสมไอศกรีม คือ สภาพที่โปรตีนนมยังคงอยู่ในสภาพคอลลอยด์และไขมันนมอยู่ในสภาพของอิมัลชัน (emulsion) ขึ้นตอนการ โฮโมจีไนเซชัน ความเป็นกรดของส่วนผสมเกลือ อัตราส่วนระหว่างไขมันกับ SNF การบ่ม เวลาการบ่ม (aging time) ตลอดจนปริมาณของ bound water มีความสัมพันธ์กับความเสถียรของส่วนผสมไอศกรีมมาก กล่าวคือเกิดการเกิดเป็นลิ้ม หรือแยกชั้นของไขมันนม หรือเวย์ขณะ ไอศกรีมละลายตลอดจนการแยกตัวของ น้ำเชื่อมขณะบ่ม บ่งบอกถึงความไม่เสถียรของผลิตภัณฑ์

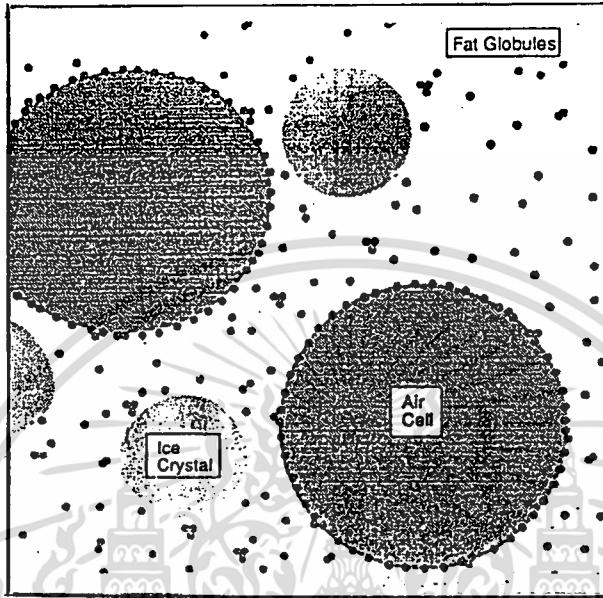
ส่วนผสมที่มีความเสถียรมากที่สุดอยู่ในสภาพของ hydrophilic suspension (ภาพที่ 3ก) ซึ่งอนุภาคถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำและประจุ ส่วนผสมที่มีความเสถียรอีกชนิดหนึ่งอยู่ในสภาพของ hydrophilic หรือ hydrophobic suspension (ภาพที่ 3ข) อนุภาคถูกล้อมรอบด้วยประจุแต่ไม่มีโมเลกุลน้ำ ส่วนสภาพที่มีความเสถียรน้อยจะพบว่า อนุภาคอยู่ในสภาพ hydrophilic suspension (ภาพที่ 3ค) อนุภาคถูกล้อมรอบด้วยน้ำ แต่ไม่มีประจุ ส่วนสภาพที่ไม่มีโมเลกุลน้ำ หรือ ประจุล้อมรอบเลยมีความเสถียรน้อยที่สุด (ภาพที่ 3ง)

ปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวกับน้ำ (Hydration) ของโปรตีนนม ได้แก่ อุณหภูมิ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความร้อน เกลือ ความเป็นกรด-ด่าง และ โฮโมจีไนเซชัน ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ นั้นคอลลอยด์ในส่วนผสมไอศกรีมถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำหนาแน่นขึ้น เกลือแคลเซียมลดการจับตัวกับน้ำของโปรตีนได้มากกว่าเกลือ โซเดียมและ โพแทสเซียม ผลของการจับตัวกับน้ำ ของซีเตรตและฟอสเฟตที่มีต่อเคซีนแสดงให้เห็นในปฏิกิริยาการสลายตัวดังนี้

Calcium caseinate + Sodium citrate → Sodium caseinate + Calcium citrate

Calcium caseinate + Sodium phosphate → Sodium caseinate + Calcium phosphate

ภาพที่ 2 ปฏิกริยาการเกิดไฮเดรชันของซีเตรตและฟอสเฟตที่มีต่อเคซีน



ภาพที่ 3 โครงสร้างของไอศกรีมที่ประกอบด้วยเซลล์อากาศ ผลึกน้ำแข็ง เม็ดไขมัน

เนื่องจากไขมันเป็นส่วนผสมที่สำคัญของไอศกรีม ซึ่งช่วยทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่ดี และกลิ่นรสดีขึ้น ไขมันที่ได้มาจาก 2 แหล่ง คือ

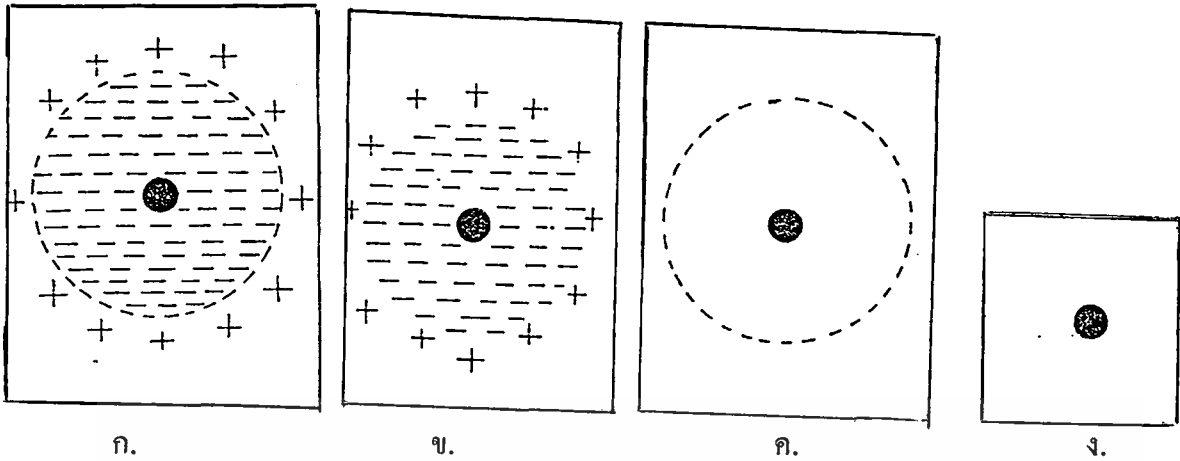
- ไขมันจากสัตว์

ซึ่งได้แก่ พวก น้ำมัน จะมีไขมัน 3-5% และมีปริมาณของแข็ง 12-14% ครีมสด จะมีไขมัน 18-50% มีปริมาณความชื้น 45-75% และมีความเป็นกรดไม่เกิน 0.15% ครีมแช่แข็ง อาจมีการเติมน้ำตาลลงในครีม 10% เพื่อให้รสชาติดีขึ้น การละลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีไขมันแยกตัวออกมาน้อยที่สุด และทำให้เพิ่มความสามารถในการตีขึ้นฟู เนยสด มีไขมัน 82-84% และมีความชื้นไม่เกิน 16% จะต้องไม่มีรสเค็ม ไม่มีกลิ่นเหม็น ปรี้ยว และไม่มีรสชาติที่ผิดปกติ

- ไขมันพืช

มีมากมายหลายชนิด เช่น น้ำมันเมล็ดฝ้าย (cottonseed oil) น้ำมันมะพร้าว (coconut oil) น้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm seed oil) น้ำมันเรพ (rapeseed oil) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. อนุภาคถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำและประจุ (charged hydrate particle)

ข. อนุภาคถูกล้อมรอบด้วยประจุแต่ไม่มีโมเลกุลน้ำ (charged particle)

ค. อนุภาคถูกล้อมรอบด้วยน้ำแต่ไม่มีประจุ (hydrate particle)

ง. อนุภาคที่ไม่มีโมเลกุลน้ำ หรือ ประจุล้อมรอบ (neithre hydrate nor charged)

ภาพที่ 4 (ก-ง) แสดงสภาพของอนุภาคในส่วนผสมของไอศกรีม

การจับตัวกับน้ำเกิดได้มากที่สุดเมื่อความเป็นกรดอยู่ระหว่าง pH6.2-6.4 การโฮโมจีไนเซชันแบบสองระบบ (two-stage homogenization) ช่วยเพิ่มปริมาณของ bound water เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดประจุไฟฟ้ารอบเม็ดไขมันมากขึ้น หรือลดการจับตัวเป็นก้อนของไขมันซีเตรต และฟอสเฟต เพิ่มประจุไฟฟ้าลบตลอดจนลดการจับตัวเป็นก้อนของไขมันด้วย ที่อุณหภูมิต่ำพบว่าเกลือแคลเซียมเพิ่มประจุไฟฟ้าบวกและทำให้การจับตัวของไขมันเป็นก้อนได้ง่ายขึ้น

2. ความหนาแน่นของส่วนผสม

ความถ่วงจำเพาะหรือความหนาแน่นของส่วนผสม ไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบ สามารถคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมไอศกรีมได้จากสูตรดัง ต่อไปนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (ที่ } 60^{\circ}\text{ซ)} = \frac{100}{\frac{\% \text{ ไขมัน}}{0.93} + \frac{\% \text{ น้ำตาล} + \text{MSNF} + \text{stabilizer}}{158} + \% \text{ น้ำ}}$$

ความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมไอศกรีมอยู่ระหว่าง 1.0544 – 1.1232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความเป็นกรด

ความเป็นกรดของส่วนผสมไอศกรีมแปรผันไปตามปริมาณ MSNF ซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยการคูณเปอร์เซ็นต์ของ MSNF ด้วยแฟกเตอร์ 0.018 เช่น ส่วนผสมไอศกรีมประกอบด้วย MSNF 11% โดยทั่วไปจะมีความเป็นกรด 0.198% หรือ pH ประมาณ 6.3 ความสัมพันธ์ของ MSNF กับความเป็นกรดของส่วนผสมไอศกรีมแสดงให้เห็นในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ของ MSNF กับความเป็นกรดของส่วนผสมไอศกรีม

%MSNF	%แลคติก	pH
7	0.126	6.40
8	0.144	6.35
9	0.162	6.35
10	0.180	6.32
11	0.198	6.31
12	0.206	6.30
13	0.224	6.28

4. ความหนืด

ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมมีความเกี่ยวข้องกับ

- องค์ประกอบโดยเฉพาะไขมัน stabilizer มีผลต่อความหนืดมากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ
- เกลือ เช่น แคลเซียม โซเดียม ซิเตรต มีผลต่อความหนืด ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและโปรตีนอื่น ๆ
- กรรมวิธีหรือการปฏิบัติต่อส่วนผสม และที่สำคัญที่สุด คือ พาสเจอไรเซชัน โฮโมจีไนเซชัน และการบ่ม
- ความเข้มข้นหรือปริมาณของของแข็งทั้งหมด
- อุณหภูมิ

ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมมีตั้งแต่ 50 จนถึง 300 เซนติพอยส์ (centipoise)

5. แรงตึงผิว

แรงตึงผิวคือ แรงที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว ทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบนผิวของของเหลว แรงตึงผิวมีหน่วยเป็นดาเยน (dyne) เครื่องมือที่นิยมใช้วัดแรงตึงผิวของส่วนผสมของไอศกรีมมีชื่อว่า du Nouy แรงตึงผิวของ ไอศกรีมมีค่าระหว่าง 48-53 ดาเยน

6. จุดเยือกแข็ง

จุดเยือกแข็งของไอศกรีมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนผสมไอศกรีมโดยเฉลี่ยแล้วประกอบด้วยไขมัน 12% MSNF 11% น้ำตาล 15% stabilizer 0.3% และน้ำ 6.17% นั้นมีจุดเยือกแข็งประมาณ 27.5°C

7. อัตราการตีขึ้นฟู

โซเดียมเคซีเนต (sodium caseinate) ช่วยปรับปรุงคุณภาพของการตีขึ้นฟูและมีผลต่อการกระจายของเซลล์อากาศตลอดจนผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ อัตราการตีขึ้นฟูอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

- ก. กลไกของการตีขึ้นฟู
- ข. ความหนืดของการผสมที่ถูกทำให้เย็นจัดเป็นบางส่วน
- ค. การอัดอากาศเข้าไปในส่วนผสมไอศกรีม

การวัดอัตราการตีขึ้นฟูจะวัดเป็นค่าความฟู (overrun) ทุกช่วงหนึ่งนาทีขณะนำส่วนผสมไปปั่นใน batch freezer ปกติแล้วเมื่อปั่นส่วนผสมนาน 3 นาที ก็จะเริ่มแข็งตัวภายในเวลา 7 นาที จะได้ค่า overrun ประมาณ 90%

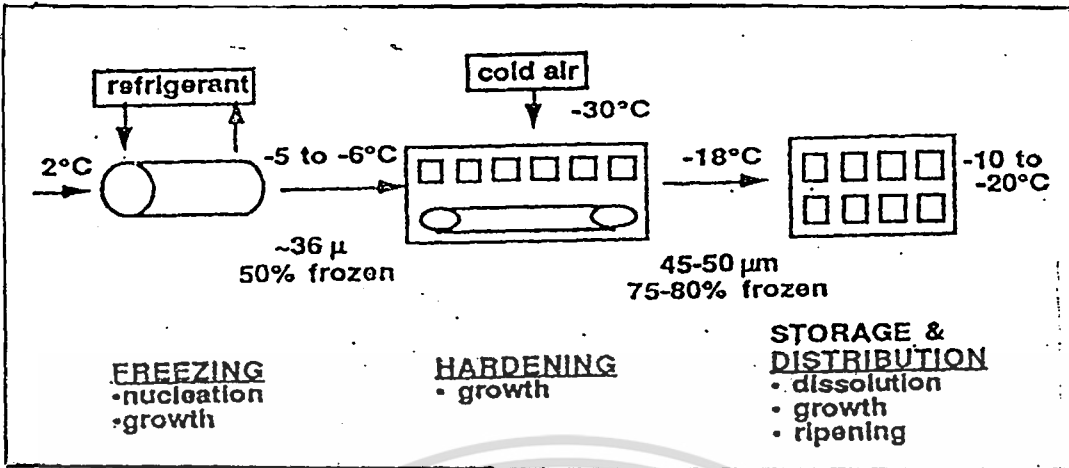
2.4 การเกิดผลึกในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษาไอศกรีม

2.4.1 การเกิดผลึกน้ำแข็ง

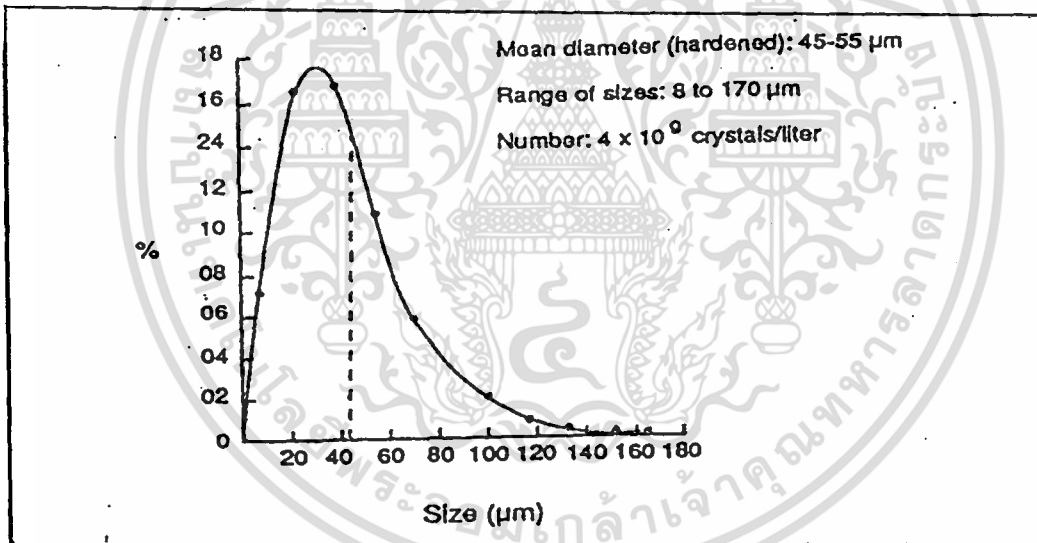
การเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างกระบวนการปั่น (freezing) และการเก็บรักษา (storage) (ภาพที่ 5) ในขั้นตอนการปั่น ไอศกรีมจะมีการเกิดนิวเคลียส และการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง ในระหว่างการทำแข็ง (hardening) ผลึกน้ำแข็งจะมีการขยายขนาดและ ในระหว่างการเก็บรักษาจะมีการละลายของผลึกน้ำแข็งบางส่วน และในขณะเดียวกันจะเกิดการรวมตัวกันของผลึกน้ำแข็งกลายเป็นผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของการเกิดผลึกใหม่ใน ไอศกรีม โดยทั่วไป ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 434 μm ที่อุณหภูมิ -14°C (ภาพที่ 6) และมีจำนวนประมาณ 4×10^9 ผลึก/ลิตร

2.4.2 ปรากฏการณ์การเกิดผลึก

การเกิดผลึกเริ่มต้น จะเกิดขึ้น ในสารละลายที่อิ่มตัวยิ่งยวด หรือที่อุณหภูมิแช่เย็นการเกิดผลึกน้ำแข็งจะไม่เกิดขึ้นจนกว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง โดยจุดเยือกแข็งจะลดลงอย่างต่อเนื่องตามความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 7

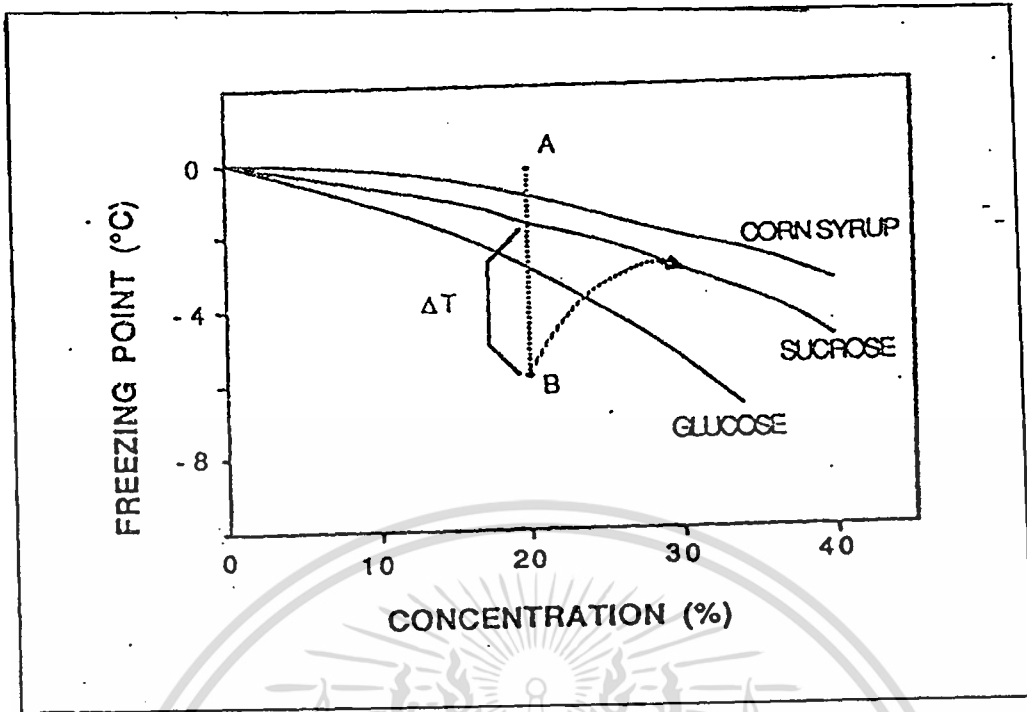


ภาพที่ 5 การเกิดผลึกใหม่ในไอศกรีม



ภาพที่ 6 การกระจายของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมที่อุณหภูมิ -14.4 °ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



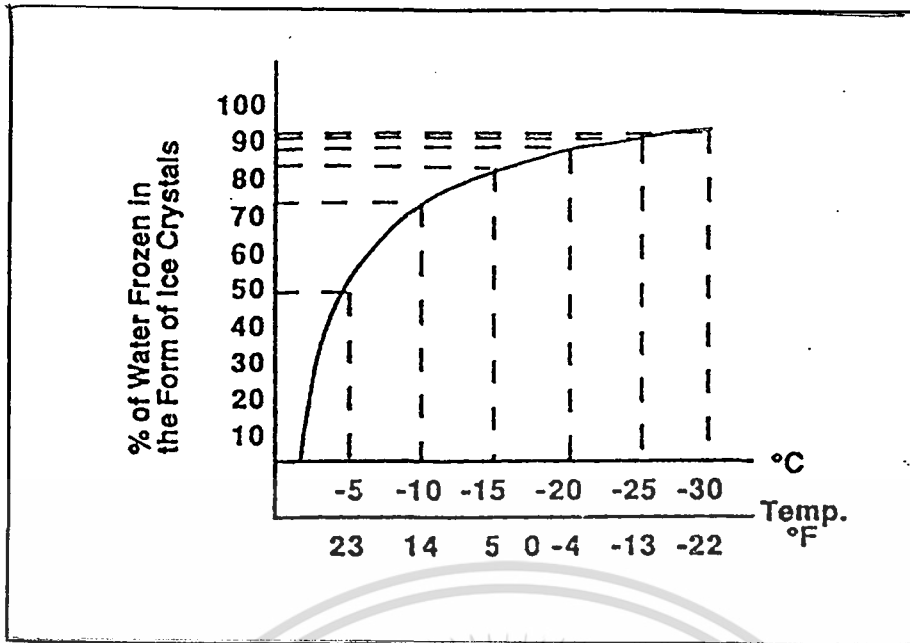
ภาพที่ 7 จุดเยือกแข็งที่ลดลงของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

การเข้าสู่สมดุลของ ไอศกรีมที่ถูกทำให้เย็นมากขึ้น ก็จะทำให้เกิดการฟอร์มตัวเป็นผลึกน้ำแข็งมากขึ้น เช่นกันการปลดปล่อยความร้อนภายในออกมาก็จะทำให้อุณหภูมิมีแนวโน้มสูงขึ้น สำหรับเปอร์เซ็นต์การแข็งตัวจะดูจากภาพที่ 8 โดยไอศกรีมที่ถูกแช่แข็งจะมีเปอร์เซ็นต์การแข็งตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกราฟเข้าสู่สมดุล จากกราฟจะไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์การแข็งตัวสูง ทั้งนี้ จะต้องขึ้นอยู่กับความสมดุลของส่วนผสม ไอศกรีม

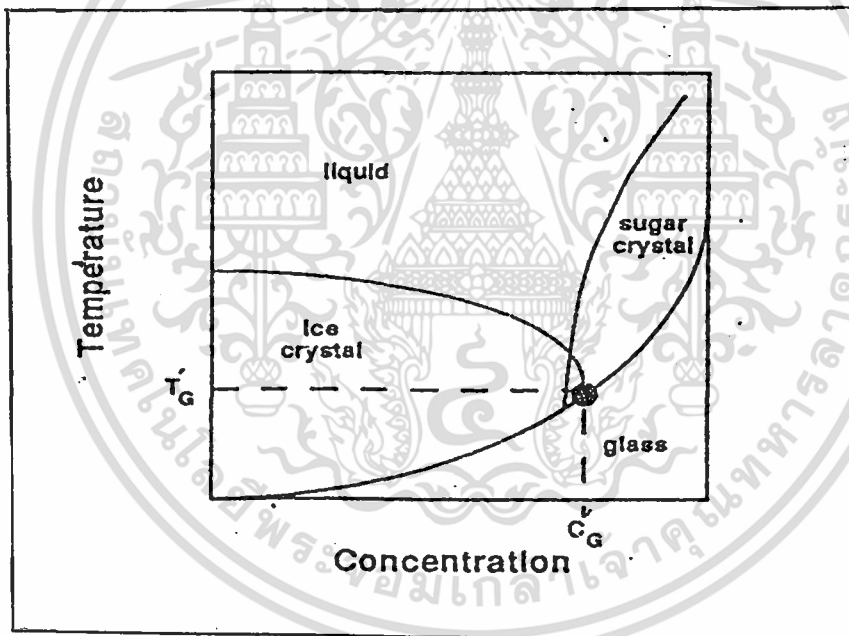
แผนภาพในสถานะต่าง ๆ (State diagram) สถานะที่ดีของไอศกรีมจะต้องอยู่ในสถานะที่สามารถแข็งตัวอยู่ได้ ดังเช่นแผนภาพที่ 9 แสดงสถานะของน้ำตาล และน้ำ ไอศกรีมจะไม่สามารถอยู่ในสถานะที่สมดุลได้ตลอด โดยจะมีพลังงานจลน์จากการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น การเกิดผลึกต้องการเวลาที่แน่นอนและภายใต้สถานะที่เหมาะสมมีเวลาไม่มากนัก

ที่จุด glass transition เป็นจุดที่สถานะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง บนจุดที่ใกล้สุดความหนืดของ continuous phase จะสูง ต่ำกว่าจุด glass transition ความหนืดจะสูงโดยไม่เกิดผลึก ในขณะที่เหนือจุด T_g

(glass transition temperature) จะทำให้เกิดผลึกใหม่ขึ้น glass transition ของไอศกรีมจะเกิดในส่วนประกอบที่มีปริมาณน้ำตาลมาก แต่จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง -30 ถึง -40°C ดังนั้นในสถานะของการเก็บรักษาจะเป็นการเก็บเหนือจุด glass transition



ภาพที่ 8 การแช่แข็งของ ไอศกรีมชนิดต่างๆ



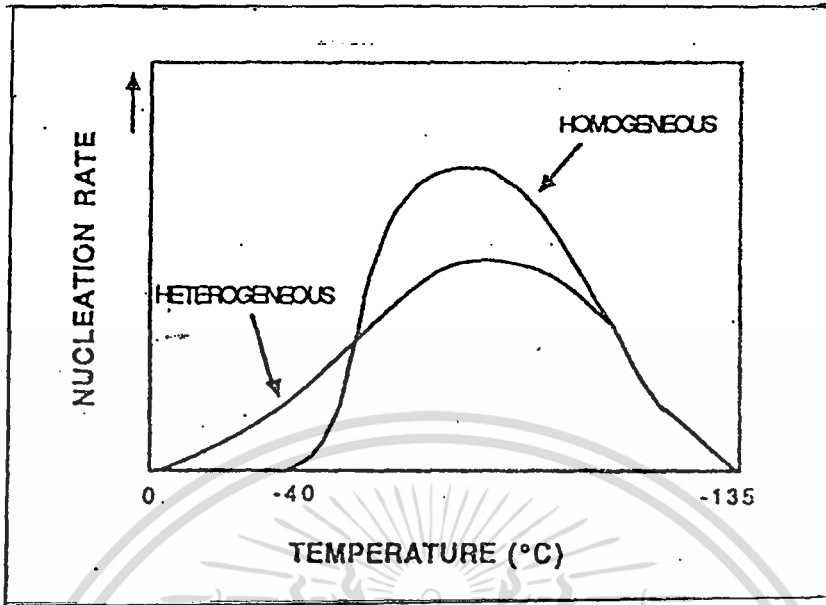
ภาพที่ 9 สถานะในระบบของน้ำและน้ำตาล

2.4.3 กระบวนการเกิดนิวเคลียส

กลไกการเกิดนิวเคลียส แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ

1. การเกิดนิวเคลียสแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous nucleation) โมเลกุลของผลึกจะจับกันเนื่องจากมีอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลึก (subcooling) เพียงพอ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะใช้เวลานานในสถานะที่มี subcooling ต่ำ และจะใช้เวลานสั้นในสถานะที่มี subcooling สูงซึ่งปรากฏในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 10 แสดงอัตราการเกิดนิวเคลียสแบบ homogeneous ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิต่ำจาก subcooling มาก ๆ



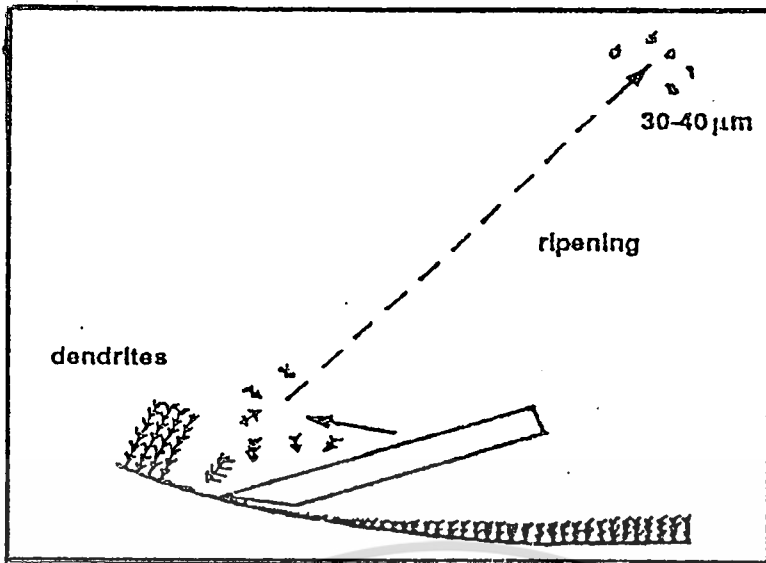
ภาพที่ 10 อัตราความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดนิวเคลียสแบบเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

2. การเกิดนิวเคลียสแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous nucleation) เกิดนิวเคลียสเนื่องจากอนุภาคอื่น ๆ จะเกิดที่พลังงานต่ำมาก ๆ (subcooling ต่ำ) สำหรับน้ำบริสุทธิ์ การเกิดนิวเคลียสแบบ homogeneous จะเกิดขึ้นที่ $\Delta T = -40^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่การเกิดนิวเคลียสแบบ heterogeneous โดยทั่วไปจะเกิดในช่วง -5 ถึง -6°C การฟอร์มตัวของนิวเคลียสจะมีผลต่อกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะการแช่แข็ง

3. การเกิดนิวเคลียสแบบทุติยภูมิ (Secondary nucleation) หรือการต่อกันของนิวเคลียส โดยปกติการปั่นจะมีความสำคัญต่อการรวมกันระหว่าง ผลึกน้ำแข็งและผลึกอย่างอื่น

การเกิดนิวเคลียสในระหว่างการปั่น ไอศกรีม จะเป็นแบบ heterogeneous ที่ผิวในของเครื่องปั่น การเกิดนิวเคลียสจะทำให้ น้ำแข็งฟอร์มตัวเป็นชั้นบาง ๆ ที่ผิวของ barrel (ภาพที่ 11) เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่าง อุณหภูมิที่สูงขึ้น ชั้นบาง ๆ ของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า "Dendrites of ice" เมื่อ Dendrites เกิดกระบวนการเติบโตเต็มที่อย่างรวดเร็วผลึกที่เรียงตัวเป็น แถวจะหลุดออกมามาก กว่าที่จะเกาะกันเป็น Dendrite

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 การเหือน dendrites ออกจากผิวของ barrel

2.4.4 การเติบโตของผลึกในกระบวนการผลิต

หลังจากเกิดนิวเคลียสแล้วนิวเคลียสจะโตขึ้นจนกลายเป็นผลึก การเติบโตของผลึกนี้จะเกิดได้ง่ายกว่าการเกิดนิวเคลียส คือ สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำแข็งในระบบเพียงเล็กน้อย ที่อุณหภูมิใกล้จุดหลอมเหลว โมเลกุลส่วนใหญ่จะรวมตัวกับนิวเคลียสที่เกิดขึ้นอยู่เดิมมากกว่าที่จะรวมตัวกันเกิดเป็นนิวเคลียสใหม่

อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งในระบบที่ซับซ้อน จะขึ้นกับอัตราการถ่ายเทมวลสารและความร้อนของระบบ ระหว่างการเกิดผลึก โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่เป็นส่วนของเหลว (liquid phase) ไปสู่ผิวของผลึกที่เกิดขึ้น และโมเลกุลของตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่ออกจากผลึก

สำหรับในไอศกรีมจะประกอบด้วยตัวถูกละลายสารแขวนลอย และปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ตัวถูกละลายที่ไม่มีโมเลกุล ในระหว่างการแช่แข็ง โมเลกุลเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะทางสั้น ๆ จึงสามารถเคลื่อนที่ออกจากผลึกน้ำแข็งที่กำลังโตขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของสารเหล่านี้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนสารแขวนลอยและของแข็งที่มีอยู่จะเคลื่อนที่ได้ น้อยมาก ผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นรอบ ๆ โมเลกุลของสาร แม้ว่าการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายและสารอื่น นอกจากผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดโตขึ้น จะเป็นปัจจัยที่ทำให้อัตราการเติบโตของผลึกน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเติบโตของผลึกในน้ำบริสุทธิ์ แต่การถ่ายเทมวลสารนี้เชื่อว่าจะไม่ใช่เป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็ว ยกเว้นอาจเป็นไปได้ในขั้นตอนสุดท้ายของการแช่แข็ง หรืออาจสรุปได้ว่าอัตราการเจริญเติบโตของผลึกน้ำแข็งในอาหารที่มีความเข้มข้นสูง และถูกแช่แข็งโดยวิธีแช่แข็งธรรมดาทางการค้าจะไม่ขึ้นกับการถ่ายเทมวลสาร ยกเว้นในขั้นตอนสุดท้ายของการแช่แข็ง

การถ่ายเทความร้อน จะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการเกิดผลึก เมื่ออัตราเร็วในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการเติบโตของผลึกจะเพิ่มขึ้นด้วย จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็ง พบว่าการเติบโตของผลึกสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลวของผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย และถ้าเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนอัตราการเติบโตจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิของอาหารต่ำลงมากอัตราการถ่ายเทมวลสารจะลดลงเนื่องจากความหนืดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเติบโตของผลึกลดลง

2.4.5 ขนาดและรูปร่างของผลึกน้ำแข็ง

การแช่แข็งอย่างรวดเร็ว จะทำให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน เมื่อนำไปแช่แข็งในอัตราเร่งที่ต่ำกว่า จะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และมีจำนวนน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการลดอุณหภูมิอย่างช้า ๆ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะอยู่ที่อุณหภูมิสมมูลของน้ำและน้ำแข็งหรือใกล้เคียงอุณหภูมิสมมูลนี้ ทำให้เกิดนิวเคลียสในจำนวนไม่มากและนิวเคลียสเหล่านี้ค่อย ๆ โตขึ้น ทำให้ได้ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่จำนวนน้อยแต่ถ้าการลดอุณหภูมิเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จะเกิดนิวเคลียสขึ้นในปริมาณมาก ซึ่งจะโตขึ้นได้ในขนาดที่กำหนด เท่านั้น ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมอัตราการถ่ายเท ความร้อนจากอาหาร

เวลาที่ใช้ในการเกิดผลึกจะมีผลต่อรูปร่างของขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น ถ้า โมเลกุลของน้ำมีเวลามากในการเกิดผลึก นั่นคือ การลดอุณหภูมิเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ผลึกที่เกิดขึ้นจะมีรูปร่างหกเหลี่ยม (hexagonal unit) แต่ถ้าเวลาที่ใช้สั้นลงการจัดเรียงตัวจะเริ่มไม่เป็นระเบียบ ทำให้ไม่ได้ผลึกรูปหกเหลี่ยม แต่จะเกิดกิ่งก้านที่ไม่เป็นระเบียบ (irregular dendrites) เรียงตัวเป็นเป็นแนวรัศมีจากจุดกึ่งกลางของผลึก ยิ่งอัตราการลดอุณหภูมิสูงขึ้น ผลึกที่เกิดขึ้นจะยิ่งบางขึ้นจนในที่สุดตัวอย่างจะมีลักษณะ โปร่งแสง มองไม่เห็นผลึกอีกต่อไป

2.4.6 การเกิดผลึกใหม่ (recrystallization) ของผลึกน้ำแข็ง

ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในการแช่แข็งจะ ไม่เสถียร โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งจำนวนขนาด รูปร่าง การจัดเรียงตัว และความสมบูรณ์ของผลึก การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เรียกว่าการเกิดผลึกใหม่ อัตราการเกิดผลึกใหม่นี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพธรรมชาติของอาหาร โดยอัตราเร็วจะลดลง เมื่ออุณหภูมิต่ำลงหรือส่วนที่ไม่ใช่ น้ำในอาหารเพิ่มขึ้นการเกิดผลึกใหม่มีได้หลายลักษณะคือ

1) แบบ isomass คือการเกิดผลึกใหม่โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือ โครงสร้างภายในของแต่ละผลึก โดยมีมวลคงที่ การเปลี่ยนแปลงของรูปร่างจะเกิดขึ้นเมื่อผลึกมีรูปร่าง ไม่แน่นอนและมีสัดส่วนพื้นที่ผิวลดลง สำหรับการเปลี่ยนแปลง โครงสร้าง จะเกิดขึ้นในลักษณะ การเปลี่ยนแปลงรูปทรง เช่น การเปลี่ยนรูปทรงจากลูกบาศก์เป็นหกเหลี่ยมเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2) แบบ migratory ซึ่งอาจเรียกว่าเป็นการขยายตัวของผลึก เกิดจากการรวมตัวของผลึกเล็ก ๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ผลึกมีขนาดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น มีจำนวนและพลังงานที่ผิว (surface energy) ลดลง

ถ้าอุณหภูมิและความดันของระบบคงที่ การเกิดผลึกใหม่แบบนี้จะเป็นผลมาจาก ความแตกต่างของพลังงานที่ผิวของผลึกขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เพราะผลึกขนาดเล็กจะมีรัศมี ความโค้งน้อยกว่าทำให้ไม่สามารถยึดกับ โมเลกุลอื่นที่ผิวได้ดีเท่าผลึกขนาดใหญ่ ทำให้มีการละลายสูงกว่าผลึกขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าอุณหภูมิคงที่ อัตราการเกิดผลึกใหม่จะสังเกตเห็น ได้ชัดเมื่อในตัวอย่างมีผลึกซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางกลางน้อยกว่า $2 \mu\text{m}$ ความแปรปรวนของอุณหภูมิและความแตกต่างของความดันของ ไอจะเป็นตัวเร่งให้เกิดการเกิดผลึกใหม่ แม้ว่าผลึกจะมีขนาดใหญ่กว่า $2 \mu\text{m}$ ผลึกในส่วนที่มีอุณหภูมิสูง (มีความดันไอสูง) จะรวมตัวเข้ากับผลึกในส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำ (ความดันไอต่ำ) ทำให้ผลึกในส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำมีขนาดใหญ่ขึ้น การเพิ่มความดันของไอขึ้นทำให้ผลึกที่มี ขนาดเล็กหายไป และผลึกที่มีขนาดใหญ่มีขนาดเล็กลง แต่ในทางกลับกัน การลดความดันไอ ทำให้ผลึกขนาดใหญ่โตขึ้น แต่จะไม่มีผลึกเล็กเกิดขึ้นใหม่

3) แบบ accretive จะเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อผลึกมีการสัมผัสกันจะเกิดการรวมตัวกันขึ้น ทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น มีจำนวนและพลังงานที่ผิวลดลง ในอาหารแช่แข็งจะประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งจำนวนมาก ซึ่งอาจมีการสัมผัสกันทำให้เกิดผลึกใหม่ขึ้นได้

4) แบบ pressure-induced จะเกิดขึ้นในกรณีที่มีการให้แรงดันกับผลึก ซึ่งจะทำให้ผลึกมีการจัดเรียงตัวใหม่ตามทิศทางของแรง และจะเกิดการรวมตัวกันทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีปริมาณลดลง ลักษณะเช่นนี้จะเกิดกับอาหารที่สามารถทำให้เกิดแรงดันขึ้น ในระหว่างแช่แข็ง

5) แบบ irruptive เมื่อนำอาหารขนาดเล็ก โดยเฉพาะอาหารที่มีความชื้นต่ำมาแช่แข็งด้วยอัตราเร็วสูงมาก น้ำจะเกิดการเปลี่ยนเป็นของแข็งในสถานะที่ไม่ตกผลึกบางส่วนเมื่อนำตัวอย่างอาหารนี้มาเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิวิกฤต ซึ่งอุณหภูมินี้จะขึ้นกับสมบัติของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในอาหารจะเกิดการตกผลึกขึ้นใหม่ทันที โดยทั่วไปจะไม่พบการเกิดผลึกนี้ในอาหารที่ผ่านการแช่แข็งทางการค้า ทั้งนี้เพราะอาหารส่วนใหญ่จะมีความชื้นสูง ประกอบกับอัตราเร็วในการแช่แข็งไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดน้ำแข็งที่ไม่เป็นผลึก

โดยทั่วไปการเกิดผลึกใหม่ในอาหารแช่แข็งมักจะเกิดแบบ migratory โดยมีสภาวะเร่งให้เกิด คือ การแปรปรวนของอุณหภูมิ การลดการเกิดผลึกใหม่ทุกแบบในอาหารแช่แข็งทำได้ โดยควบคุมอุณหภูมิของห้องเก็บและอาหารให้ต่ำและคงที่ตลอดการเก็บ

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างการปั่น

2.5.1 สารให้ความหวาน

น้ำตาลมีผลหลายอย่างในไอศกรีม ทั้งลักษณะเนื้อสัมผัส อิทธิพลต่อการฟอร์มตัวของผลึกน้ำแข็ง และการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง รวมทั้งการทำให้จุดเยือกแข็งลดลง ความหนืดของสารละลาย, glass transition point โดยเฉพาะการยับยั้งผลึก

โดยทั่วไปปริมาณน้ำตาลมากขึ้นขนาดของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมจะมีขนาดลดลง เนื่องจากการลดต่ำลงของจุดเยือกแข็งจะส่งผลให้มีน้ำเหลืออยู่ในส่วนที่ไม่แข็งตัวมากขึ้น การเติมแลคโตส กลูโคส และคอร์นไซรัปบางชนิด โดยเฉพาะ lower DE syrups จะส่งผลตรงข้ามกับการลดต่ำลงของจุดเยือกแข็งเมื่อใช้แทนซูโครส ทำให้เกิดความหยาบขกเว้นขั้นตอนที่ทำให้ผลึกคงตัว

ชนิดและสารให้ความหวานที่ใช้จะเป็นตัวตัดสิน จำนวนผลึกที่ใหญ่ขึ้น ความหนืดของสารละลายในไอศกรีม การเคลื่อนที่ของ โมเลกุลของน้ำในสารละลายที่หนืดจะทำให้การเคลื่อนที่ลดลงส่งผลให้อัตราการเติบโตของผลึกช้าลงด้วย ที่อุณหภูมิระหว่าง -30 และ -40 °ซ สารละลายน้ำตาลเข้มข้นจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นลักษณะคล้ายแก้ว (glassy) หรือสภาพที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous state)

นอกจากนี้ น้ำเชื่อมข้าวโพดและพวก high oligosaccharides ยังมีผลในการยับยั้งอัตราการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง โดยจะถูกดูดซับที่ผิวของผลึกน้ำแข็งคล้าย ๆ กับ stabilizer ซึ่งมีผลในการลดอัตราการเติบโตของผลึกน้ำแข็งให้ช้าลง และป้องกันการเกิด heat shock ได้มากขึ้น

2.5.2 ไขมัน

การเพิ่มขึ้นของปริมาณ ไขมันจะช่วยลดขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็ง การเพิ่มปริมาณไขมันจาก 10-16% จะทำให้ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งลดลงประมาณ 43%

2.5.3 โพรตีนหรือของแข็งในนมไม่รวมไขมัน

โดยทั่ว ๆ ไปการเพิ่มปริมาณ โพรตีน หรือ ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน (MSNF) ในสูตรไอศกรีม จะช่วยในการลดขนาดของผลึกน้ำแข็งลง ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งที่ลดลงจาก $55.8 \mu\text{m}$ ที่ 9% MSNF มาเป็น $32.2 \mu\text{m}$ ที่ 15% MSNF เนื่องจากจุดเยือกแข็งที่ลดลง อย่างไรก็ตาม โพรตีนที่เสถียร จะมีผลโดยตรงต่อความหนืดซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่ดีในการยับยั้งผลึก เช่นเดียวกับ โพรตีนที่ได้รับความร้อนที่ช่วยเสริมให้เกิดความคงตัวมากขึ้น

2.5.4 อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์จะมีผลน้อยที่สุด ต่อกระบวนการเกิดผลึกน้ำแข็ง อย่างไรก็ตามขนาดของผลึกน้ำแข็งบางส่วนที่ลดลงเนื่องมาจากการเติมอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดของเม็ดไขมัน

2.5.5 สารคงตัว

สารคงตัวที่เติมลงไปจะช่วยควบคุมอัตราการเติบโตของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม โดยจะช่วยรักษาโครงสร้างของผลึกในระหว่างที่เกิดความผิดปกติของความร้อน สารคงตัวจะจับกับน้ำอิสระที่เกิดจากการหลอมเหลว ซึ่งจะช่วยป้องกันการสร้างผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ถ้าหากน้ำที่หลอมนั้นแข็งตัวขึ้นอีก นอกจากนี้ สารคงตัวที่เติมลงไปยังช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และความหนืด ทำให้เกิดความรู้สึกมันเมื่อรับประทาน ช่วยป้องกันการแยกตัวของน้ำในระหว่างการหลอมเหลว และช่วยให้ไอศกรีมมีความต้านทานต่อการหลอมเหลวมากขึ้น โดยทั่วไปมักจะเติมสารคงตัวในส่วนผสมประมาณ 0.1-0.5%

2.5.6 Overrun

เป็นอากาศที่ผสมอยู่ในไอศกรีมจะส่งผลบางอย่างต่อขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็ง ความหนาแน่นเนื่องจากผลึกน้ำแข็งจะพบในผลิตภัณฑ์ที่มี overrun ต่ำ ๆ และขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งจะลดลงในผลิตภัณฑ์ที่มี overrun มากขึ้น

2.5.7 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสมจะมีผลต่อกระบวนการเกิดผลึกน้ำแข็ง ระดับของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งลดลง และชะลอการเกิดผลึกใหม่

จากภาพที่ 12 แสดงผลของ Total Solid ที่มีต่อการกระจายของผลึกน้ำแข็งหลังจาก การแช่แข็ง

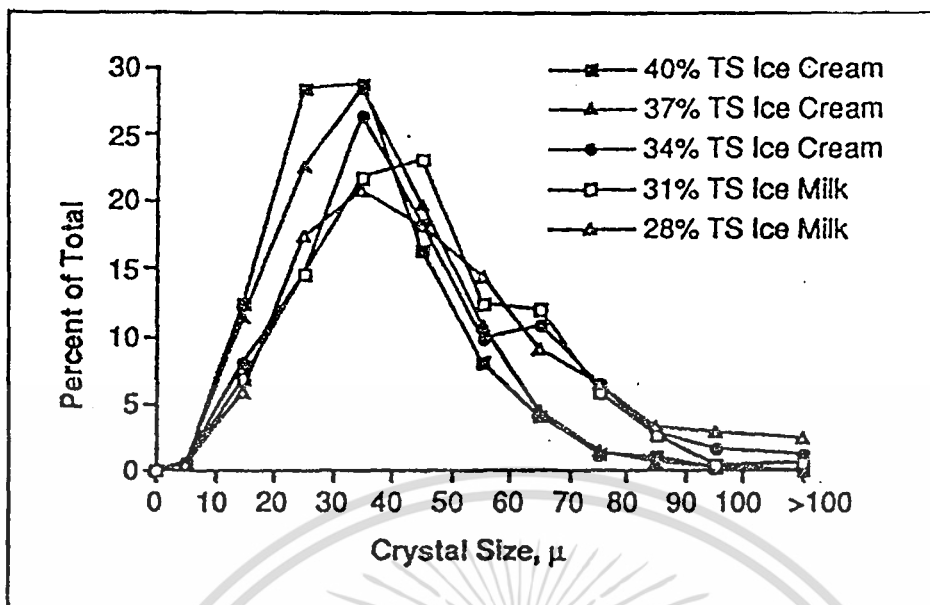
2.6 สภาพที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตไอศกรีม

2.6.1 Draw Temperature

อุณหภูมิที่ให้ในไอศกรีมผสมจะเป็นตัวกำหนดปริมาณน้ำที่จะกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง ไอศกรีมที่มี draw Temperature -5 ถึง -6 °ซ จะมีความสัมพันธ์กับการเกิดนิวเคลียสและอัตราการเติบโตของผลึกและการกระจายของผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

Draw temperature อุณหภูมิแช่เย็น และอัตราการถ่ายเทความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตตลอดจนปัจจัยต่าง ๆ จะมีความสำคัญต่ออัตราการแช่แข็งและปริมาณน้ำแข็งทั้งหมด การเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิแช่เย็นที่ต่ำลงจะช่วยในการเกิดนิวเคลียสมากขึ้น และมีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมากขึ้นด้วย ในการพิจารณาส่วนอื่น ๆ เช่นการรวมตัวของอากาศ จะกำหนดอัตราต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการปั่น และถ้ามีอุณหภูมิในการแช่เย็นระหว่าง -22 ถึง -32 °ซ จะมี draw temperature เท่ากับ -5 ถึง -6 °ซ

โดยทั่วไป draw temperature ที่ต่ำลงจะทำให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งลดลง จึงทำให้มีปริมาณน้ำแข็งและความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการแช่แข็งที่สูงขึ้น และจำนวนนิวเคลียสที่เพิ่มขึ้น ขนาดผลึกที่ลดลงนี้จะพบได้ในสถานะที่มีอุณหภูมิต่ำ การแช่แข็งแบบ two stage และกระบวนการแช่แข็งที่เย็นจัด ในการแช่แข็งขั้นที่สองจะให้อุณหภูมิลดลงถึง -9 °ซ โดยจะใช้ การหมุนของทรงประกอบแบบไม่มีทิศทางในการป้องกันการเกาะของน้ำแข็ง ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำแข็งมากขึ้นและผลึกน้ำแข็งที่พบจะมีขนาดประมาณ $15-20 \mu\text{m}$



ภาพที่ 12 การกระจายขนาดของผลึกน้ำแข็งหลังจากการแช่แข็งที่ 30 °ซ

2.6.2 Scraper speed

เครื่องกระแทกจะหมุนไปรอบ ๆ ตัวยึด ถ้าเวลาในการขูดลดลงจะทำให้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายไปทั่วในสารละลาย และเวลาที่ dendrite ที่เกาะอยู่ที่ผิวของ barrel จะเติบโตลดลงด้วย ดังนั้นการเร่งความเร็วของ scraper จะทำให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ลดลง การเร่งความเร็วของเครื่องตีข้างใน ไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีม

2.6.3 Dasher type

Dasher จะเคลื่อนที่จากที่สูงลงมาสู่ที่ต่ำและอาจประกอบด้วยเครื่องตีสำหรับการผสมสารละลายข้างใน ลักษณะของการปั่นและขนาดการกระจายของผลึกน้ำแข็งที่ต่างกันเนื่องมาจากชนิดของ dasher ที่ต่างกัน โดยทั่วไปการเปิด dasher จะทำให้ผลึกน้ำแข็งมีความหยาบเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง การใช้เวลานานจะทำให้เกิดการเติบโตของผลึกภายในเครื่องปั่น ของแข็ง ใน dasher เมื่อได้รับความเย็นจะเกิดผลึกน้ำแข็งได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามของแข็งใน dasher จะมีจุดอ่อนคือ มีการเกาะกันของน้ำแข็งขึ้น ชนิดของ dasher และ scraper speed สามารถปรับปรุงข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การควบคุมขนาดของผลึกน้ำแข็งเริ่มต้น เป็นต้น

2.6.4 Blade sharpness

ใบมีดที่หยาบ ๆ จะทำให้เกิดความหยาบขึ้นในผลิตภัณฑ์และจะไม่ทำให้ผลึกน้ำแข็งที่ก่อรูปอยู่นั้นแตกออก น้ำแข็งจะสะสมจนหนาทำให้ลดอัตราการถ่ายเทความร้อนและการก่อรูปของผลึก ทำให้ผลึกเล็ก ๆ เติบโตเป็นผลึกใหญ่ขึ้นได้ การเลือนของใบมีดที่หยาบจะทำให้ผลึกที่แตกออกมีขนาดใหญ่

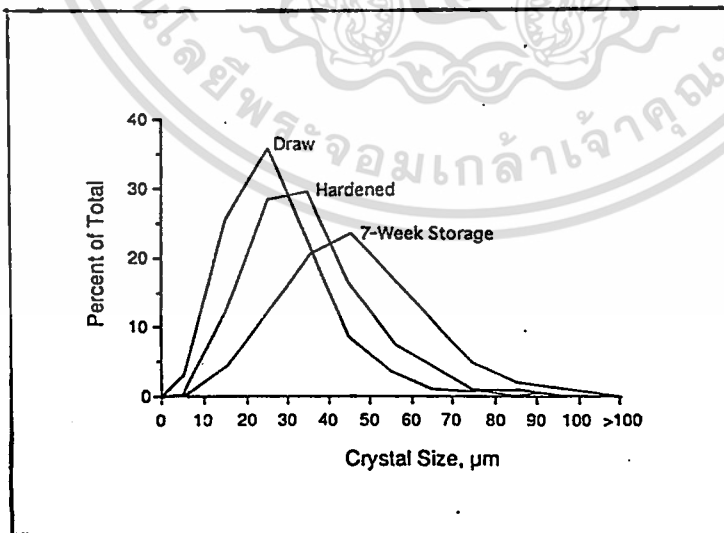
2.6.5 Feed Temperature

ในเครื่องปั่นการแช่เย็นจะต้องมีการถ่ายเทความร้อน จากการผสมจนอุณหภูมิต่ำลงถึงจุดเยือกแข็งและการถ่ายเทความร้อนภายในของการเกิดผลึกน้ำแข็ง การสูงขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ความต้องการเวลาในการแช่แข็งมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ขนาดของผลึกใหญ่ขึ้น

2.7 การแช่แข็ง (Hardening)

การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการแช่แข็ง และการเก็บรักษาจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของผลิตภัณฑ์จากการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง การเกิดผลึกใหม่ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บ ความหยาบจากการกระจายของผลึก ซึ่งจะพบการเพิ่มขนาดของผลึกและการกระจายขนาดของผลึกอย่างกว้างขวาง แสดงให้เห็นดังภาพที่ 13

ในระหว่างการแช่แข็ง ไอศกรีม บางส่วนของผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จนอุณหภูมิภายในเท่ากับ -18°C โดยใช้อากาศเย็นในห้องแช่แข็งหรืออุโมงค์ เครื่องแช่แข็งแบบแผ่นโลหะติดกัน หรือจุ่มในไนโตรเจนเหลวสำหรับการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว โดยน้ำเปลี่ยนไปเป็นน้ำแข็ง ประมาณ 50% ผลึกน้ำแข็งที่มีอยู่จะมีขนาดเพิ่มขึ้น ไม่มีนิวเคลียสเกิดขึ้นใหม่ในระหว่างการแช่แข็ง ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งจะเพิ่มสูงถึง $65\ \mu\text{m}$ เนื่องจากการเติบโต



ภาพที่ 13 ผลการแช่แข็งและการเก็บรักษาต่อการกระจายผลึกน้ำแข็งของ ไอศกรีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการแช่แข็งจะมีอิทธิพลต่อการกระจายขนาดของผลึกน้ำแข็ง และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ การลดอัตราการแช่แข็ง จะทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น ขณะเดียวกันเซลล์อากาศมีขนาดเล็กลง ในส่วนของการแช่แข็งไอศกรีมโดยการจุ่มในไนโตรเจนเหลว จะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กกว่าการแช่แข็งโดยเครื่องแช่แข็งแบบแผ่นโลหะที่ -40°C หรือการเก็บในเครื่องแช่แข็งที่มีอุณหภูมิของอากาศเท่ากับ -25°C

การกระจายขนาดของผลึกน้ำแข็งที่รัศมีที่ต่างกันของเครื่อง บรรจุในไอศกรีมรูปทรงกระบอกขนาดครึ่งเกลลอน ในระหว่างการแช่แข็งในเครื่องแช่แข็งแบบอากาศผ่านที่ -28°C ขนาดของผลึกน้ำแข็งที่ผิวของภาชนะบรรจุจะมีขนาดเล็กกว่าที่ใจกลาง ความแตกต่างนี้เป็นความสัมพันธ์กันโดยตรงของอัตราการแช่แข็งที่แตกต่างกันระหว่างจุด 2 จุด เนื่องด้วยขนาดความจุใจของไอศกรีมจะทำหน้าที่เป็นฉนวน ที่ใจกลางของผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวได้ช้ากว่าที่ผิวของเครื่องแช่แข็ง การใช้เวลานานที่อุณหภูมิสูง และในสภาวะที่เกิด draw temperature บ่อย ๆ จะเกิด recrystallization และผลึกมีขนาดใหญ่ได้มากขึ้น

2.8 การเก็บรักษา (storage)

หลังจากที่ทำให้ไอศกรีมแข็งแล้วควรเก็บไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำระหว่าง -25°C ถึง -30°C ที่อุณหภูมิต่ำระดับนี้ 90% ของน้ำในไอศกรีม จะอยู่ในรูปของผลึกน้ำแข็ง ไอศกรีมที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเช่นนี้ควรมีความคงตัวดี คือ ไม่ควรจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ง่ายเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอันเนื่องมาจากการเปิดปิดห้องเย็นเพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิต่ำออกไป แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิสูงเข้ามาจะนั้นเพื่อที่จะลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดตำหนิขึ้นในผลิตภัณฑ์ได้ จึงควรเก็บ ไอศกรีมไว้ที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ การเก็บ ไอศกรีมไว้ที่อุณหภูมิต่ำมาก จะมีผลทำให้ผลึกน้ำแข็งหลอมเหลวเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิของห้องเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผู้พบว่าถ้าหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5°C จากเดิม -20°C จะทำให้ผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมหลอมเหลวไป 7% แต่ถ้าหากอุณหภูมิของห้องเก็บเพิ่มขึ้นในระดับเท่ากันจาก -30°C จะทำให้ผลึกน้ำแข็งหลอมเหลวไปไม่เกิน 2%

2.9 การเกิดผลึกแลคโตส (lactose crystalization)

ส่วนที่ไม่แข็งตัวของไอศกรีมจะประกอบด้วยสารละลายน้ำตาล ไขมันนม และสเตบิลไลเซอร์ (stabilizer) ดังนั้นสารละลายที่มีจุดยูเทคติกต่ำกว่าของแลคโตส (lactose) และน้ำ แลคโตสไม่สามารถเกิดเป็นผลึกได้ เนื่องจากมีพลังงานจลน์จากสารละลายรอบ ๆ บังคับอยู่ใน ไอศกรีมที่มีอุณหภูมิต่ำและมีความหนืดสูง โมเลกุลของแลคโตสไม่สามารถเคลื่อนที่เพื่อเกิดเป็นผลึก

สภาวะบางอย่างจะนำมาสู่การเกิดผลึกของแลคโตส จากส่วนที่ไม่แข็งตัวใน ไอศกรีมในระหว่างการเก็บ เมื่อแลคโตสกลายเป็นผลึกและเติบโตขึ้นจนถึงระดับที่สามารถรู้สึกได้ (ประมาณ $15\ \mu\text{m}$) ไอศกรีม

จะเกิดลักษณะเป็นทรายขึ้น (sadness) เป็นที่ทราบกันว่าผลึกแลคโตสเป็นผลึกที่ละลายช้า ดังนั้นแม้แต่ผลึกเล็ก ๆ ที่เหลืออยู่ในแพดานปากในขณะที่ผลึกน้ำแข็งจะละลายในระหว่างการบริโภค ผลึกแลคโตสที่เหลืออยู่นี้จะทำให้ไอศกรีมเป็นเม็ดกรวดหรือลักษณะเป็นแผ่นทราย นั่นเป็นปรากฏการณ์การเกิดผลึกในอาหาร ส่วนผสมอื่น ๆ และสภาวะการเก็บรักษา ก็มีบทบาทสำคัญในการกำหนด ขอบเขต และอัตราการเกิดผลึกแลคโตส

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดผลึกแลคโตสในไอศกรีมคือ ระดับ ของ MSNF ซึ่งเป็นแหล่งของแลคโตสในไอศกรีม และ MSNF สูงจะเกิดการขยายมากขึ้นและเกิดผลึกแลคโตสขึ้นอย่างรวดเร็ว

ปริมาณ MSNF ที่มากที่สุด (ประมาณครึ่งหนึ่งของแลคโตส) จะเสี่ยงต่อการเกิดผลึกแลคโตส สำหรับไอศกรีมที่อยู่ในปาก ระดับ MSNF จะต้องน้อยกว่า 15.6% ในสูตรส่วนผสม สำหรับไอศกรีมที่บริโภคภายใน 1 สัปดาห์ระดับ MSNF จะสูงขึ้น ไม่เกิน 18.5 % ส่วนประกอบอื่น ๆ ของไอศกรีมผสม เช่น stabilizers และสารให้ความหวานจะยับยั้งการเกิดผลึกแลคโตส โดยความหนืดจะเพิ่มขึ้นหรือยับยั้งการฟอร์มตัวของนิวเคลียส ของแลคโตส อย่างไรก็ตามการเติมส่วนประกอบที่ไม่สามารถละลายได้ เช่น ผลไม้และถั่วจะเป็นส่วนที่ช่วยเร่งการผลึกแลคโตส ส่งเสริมให้เกิดลักษณะที่เป็นทราย (sandiness)

ในกระบวนการผลิตและสภาวะการเก็บรักษา จะเป็นตัวส่งเสริมการเกิดผลึกแลคโตส ที่อุณหภูมิ -10 ถึง -12 °ซ เป็นอุณหภูมิในการเก็บที่เหมาะสมที่สุดในการส่งเสริมให้เกิดผลึกแลคโตส ที่อุณหภูมินี้จะทำให้สารละลายมีความอึดตัวยิ่งยวดเพิ่มขึ้นและลดการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลในการเกิดผลึกแลคโตส ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจุดของความอึดตัวยิ่งยวดจะต่ำลง ดังนั้นการเกิดผลึกจะช้ามากที่อุณหภูมิต่ำ ที่อุณหภูมิต่ำส่วนที่ไม่แข็งตัวจะเข้าใกล้สู่ glassy state ซึ่งในสภาวะนี้การเคลื่อนที่ของ โมเลกุลจะถูกยับยั้งและแลคโตสไม่สามารถผลึกได้

2.10 Heartshock และ Thermal Abuse

Heatshock และ Thermal abuse คือ ความผิดปกติของความร้อนซึ่งมีปริมาณที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในผลิตภัณฑ์

2.10.1 ผลของ stabilizer

Stabilizer ที่เติมลงในไอศกรีมที่มีความร้อนคงที่ จะทำให้ความหยาบที่เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดปกติของความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บลดลง ความร้อนที่คงที่นี้จะไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของผลึกที่ลดลงเนื่องจาก stabilizer ที่มีอยู่

2.10.2 .กลไกของ stabilizer

มีบทความที่กล่าวถึงผลกระทบของ stabilizer ต่อความหนืดและอุณหภูมิของ glass transition (T_g) ของไอศกรีม การเพิ่มขึ้นของ T_g เนื่องจากการเติม stabilizer จะช่วยส่งเสริมให้ผลึกน้ำแข็งมีความคงตัวมากขึ้นที่อุณหภูมิการเก็บรักษา การเติม 1-2% ของ stabilizer จะทำให้ T_g เพิ่มขึ้นในสารละลายน้ำตาล

Stabilizer เช่น gelatin และ gum จะมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดผลึกน้ำแข็ง โดย stabilizer จะถูกดูดซับที่ผิวของผลึกน้ำแข็ง และมีการสานกันเป็นร่างแห ทำให้มีความคงตัวเพิ่มขึ้น โดยทั่วไป stabilizer จะเติมลงไปในระดับที่น้อยกว่า 0.5 % แต่ในระดับที่น้อยกว่า 1-2 % ก็สามารถจะเกิดการฟอร์มตัวที่มีลักษณะคล้าย ๆ เจลที่อ่อน ที่อุณหภูมิเครื่องแช่แข็งที่คงที่ เจลที่อ่อนนี้จะมีอิทธิพลต่อกระบวนการเกิดผลึกน้ำแข็งตลอดจนข้อจำกัดทางฟิสิกส์ นั่นคือ โครงสร้างของเจลจะมีอิทธิพลและจำกัดการเติบโตของผลึกน้ำแข็งโดยตรง

2.11 สเตบิลไลเซอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมไอศกรีม

2.11.1 Locust bean gum

Locust bean gum หรือ carob bean gum เป็นกัมที่ได้จากพืชตระกูลถั่วที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ceratonia siliqua L.* มีการปลูกมากในแถบเมดิเตอร์เรเนียน กันชนิดนี้รู้จักใช้กันมานานกว่า 2,000 ปีแล้ว โดยชาวอียิปต์โบราณใช้ในการทำมัมมีส่วนชาวอาหรับใช้ เมล็ด carob เป็นตุ่มน้ำหนักที่ใช้ชั่งทองหรือเพชร คำว่า carat มาจากคำว่า *ceratonia locust bean gum* เป็น galactomannan polysaccharide สูตรโครงสร้างประกอบด้วย D-mannose และ D-galactose โดยมี mannose อยู่ประมาณ 73-82% สำหรับอัตราส่วนระหว่าง D-mannose และ D-galactose กัมชนิดนี้จะแตกต่างกันไป ทั้งนี้จะขึ้นกับวิธีการสกัดและอายุของพืชที่นำมาสกัด โครงสร้างจะประกอบด้วย neutral galactomanna polymer ที่ประกอบด้วย 1,4 linked D-mannose unite และที่ unite ที่ 4 หรือ 5 จะมี side chain ของ D-galactose จับกับ polymannose ด้วย 1,6-glycosidic linkages น้ำหนักโมเลกุลของกัมชนิดนี้ประมาณ 310,000

Locust bean gum ละลายได้ในน้ำเย็น และการละลายจะดีขึ้นเมื่อมีการให้ความร้อน สำหรับความหนืดสูงสุดของกัมจะทำได้โดยการละลายกัม ชนิดนี้ในน้ำร้อน และทำให้สารละลายนั้นเย็นลง สารละลายของกัมชนิดนี้จะให้ความหนืดสูงมาก สารละลาย 1% ของกัมชั้นคุณภาพดีของกัมชนิดนี้ จะให้ความหนืดอยู่ในช่วง 3,000-3,500 cps และหลังการบ่มพบว่า ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากใน locust bean gum จะมีโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำและเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบอยู่เล็กน้อย ฉะนั้นสารละลายกัมจึงมีลักษณะขุ่นขาว ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้กับอาหารที่ต้องการให้มีสีใส แม้ว่า locust bean gum จะไม่สามารถเกิดเจลได้ แต่ก็มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ช่วยส่งเสริมความสามารถของ carrageenan และ agar ในการช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นดีขึ้น เนื่องจาก locust bean gum เป็น neutral polymer เพราะฉะนั้นความหนืดของสารละลายกัมชนิดนี้จึงคงตัว ความเป็นกรดต่างของสารละลายกัม 1% จะเท่ากับ 5.3 และจากการทดลองพบว่า ความเป็นกรด-ต่างของสารละลายที่สูงกว่า 11 หรือต่ำกว่า 3 จะมีผลเล็กน้อยต่อความหนืด แต่ถ้าหากมี electrolytes เช่น lead acetate หรือ tannic acid อยู่ด้วย จะทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการใช้ในอาหารนั้น ส่วนใหญ่จะใช้เป็น stabilizer ใน ไอศกรีม เนื่องจากมีคุณสมบัติในการพองตัวและเก็บน้ำได้เป็นอย่างดี ถึงแม้ว่าจะอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ คงตัวในช่วงความเป็นกรดต่างที่ค่อนข้างกว้าง ฉะนั้นการเติม lactic acid ลงใน ไอศกรีม จึงมักจะไม่มีผลต่อความหนืด และการปั่น ไอศกรีมจะไม่ทำให้ความหนืดสูญเสียไปด้วย และจากการทดลอง พบว่าการใช้ กัมชนิดนี้ร่วมกับ protein-stabilizing salt เช่น sodium hexametaphosphate จะให้คุณสมบัติในการเป็น stabilizer ดีขึ้น ส่วนในผลิตภัณฑ์เนยแข็งนั้น logust bean gum ที่ใช้ จะช่วยทำให้มีการตกตะกอนเร็วขึ้นและมากขึ้นประมาณ 10% สามารถแยกเคิร์ดออกได้ง่ายขึ้น เนยแข็งที่ได้จะมีคุณภาพและลักษณะเนื้อดี การที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากคุณสมบัติในการเป็นบัฟเฟอร์ของสารละลาย acidified locust bean gum ซึ่งช่วยให้มีการแขวนลอยดีขึ้น และช่วยให้ความเป็นกรดต่างคงที่ด้วย ในผลิตภัณฑ์ cheese spread นั้น locust bean gum จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และป้ายได้ดีด้วย สำหรับในผลิตภัณฑ์ขนมอบ การใช้กัมชนิดนี้ ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง จะทำให้ dough ที่มีความยืดหยุ่นและอุ้มน้ำได้ดีขึ้น ส่วนในผลิตภัณฑ์ประเภทเค้กหรือบิสกิต กัมที่ใช้จะช่วยเป็น emulsifier ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อดี และอายุการเก็บนานขึ้นด้วย การเอาออกจากพิมพ์ ตัดหรือหั่น ได้ง่ายด้วย ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น salami, bologna และไส้กรอก กัมที่ใช้จะช่วยทำให้เนื้อจับกันได้ดีขึ้น เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน อุ้มน้ำได้ดีขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพคงที่ นอกจากนี้ยังมีการใช้ locust bean gum เป็นสารช่วยทำให้ขึ้น ในการผลิตเนื้อกระป๋องและปลากระป๋องด้วย ส่วนในอาหารอื่น ๆ ที่มีการใช้ กัมชนิดนี้ ได้แก่ เป็น stabilizer ในซอสชนิดต่าง ๆ น้ำสลัดชนิดต่าง ๆ เครื่องดื่มน้ำผลไม้ประเภท citrus และ pie filling เป็นต้น

ตาม Code of federal regulations 184.1343 (1984) กัมชนิดนี้ อยู่ใน Generally Recognized As Safe list โดยใช้เป็น direct food additive และตาม Codex Alimentarius Commission ก็เช่นกัน ที่ได้อนุญาตให้ใช้ gum ชนิดนี้ในอาหารได้ แต่ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 (2527) ยังไม่มีการอนุญาตให้ใช้กัมนี้

2.11.2 Guar Gum

Guar Gum เป็นกัมที่คล้ายกับ locust bean gum คือได้จากพืชตระกูลถั่ว ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cymopsis tetragonolobus* ปลูกมากในประเทศปากีสถาน และอินเดีย เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ เป็นสารประกอบ galactomannan มี D-manose และ D-galactose ในอัตราส่วน manose : galactose ประมาณ 2:1 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 220,000-250,000

Guar gum จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่ากัมชนิดอื่น ๆ คือสามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วในน้ำเย็น ให้สารละลายคอลลอยด์ ซึ่งความหนืดที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ ความเข้มข้น ความเป็นกรดต่าง และขนาดของอนุภาค gum สำหรับความหนืดสูงสุดจะวัดได้ภายใน 2 ชั่วโมง ถ้าหากเป็นในน้ำเย็นความสามารถในการดูดน้ำและความหนืดจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสารละลายที่ได้จะขุ่นเล็กน้อย เนื่องจากมีเส้นใยและเซลลูโลสปะปนอยู่เล็กน้อย สารละลาย Guar gum 1% จะให้ความหนืด 2,7000 เซนติพอยส์ ความเป็นกรดต่าง 5.5 – 6.1 และถ้าตั้งทิ้งไว้ ความเป็นกรดต่างจะลดลง gum ชนิดนี้ค่อนข้างคงตัว คือสามารถคงตัวอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงความกรด-ด่างที่ค่อนข้างกว้าง คือคงตัวได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 4.0 – 10.5 และมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์เล็กน้อย สารละลายเป็น thixotropic การมี electrolytes ปนอยู่ในสารละลาย จะไม่มีผลต่อความหนืด

การใช้ Guar gum ในอุตสาหกรรมอาหารนั้น นิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์เนยแข็ง โดยเฉพาะใน soft cheese กัมที่เติมลงไปจะช่วยเร่งให้มีการตกตะกอนเร็วขึ้น เพิ่มปริมาณเคิร์ดและลักษณะเนื้อดีขึ้นด้วย ส่วนใน cold-pack cheese นั้น การใช้กัมชนิดนี้จะช่วยป้องกัน การเกิด syneresis หรือ weeping ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและลักษณะเนื้อดีขึ้น ส่วนในไอศกรีมนั้นกัมชนิดนี้จัดเป็น stabilizer ที่มีประโยชน์มาก โดยเฉพาะเมื่อใช้ในกรรมวิธีการผลิต แบบอุณหภูมิสูง เวลาสั้นและคุณสมบัติในการเป็น stabilizer จะดีขึ้นเมื่อมีการใช้ร่วมกับ sodium hexametaphosphate สำหรับในการผลิตภัณฑ์ขนมอบ จะช่วยให้ขนมอบมีคุณภาพดีขึ้น และสามารถจะเก็บไว้นานขึ้นด้วย ส่วนในผลิตภัณฑ์เนื้อ กัมชนิดนี้จะช่วยให้เนื้อจับตัวกันได้ดีขึ้น มีการอุ้มน้ำและความเหนียวเพิ่มขึ้น เมื่อผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง ส่วนในการใช้

2.11.3 Carrageenan

Carrageenan เป็น gum อีกชนิดหนึ่งที่รู้จักใช้กันมาหลายทศวรรษแล้ว ในประเทศแถบยุโรปรวมทั้งสหรัฐอเมริกาด้วย สำหรับสาหร่ายที่นิยมนำมาสกัด กัมชนิดนี้มากที่สุด ได้แก่ Chondrus crispus, Gigartina stellata และบาง species ของสาหร่ายแดง สูตรโครงสร้างที่แท้จริงของ Carrageenan ขณะนี้ยังไม่มีผู้ใดทราบแน่ชัด แต่จากการศึกษาพบสรุปได้ว่า ในแต่ละโมเลกุลของ Carrageenan จะประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ ส่วน precipitated fraction หรือ gelling fraction เรียกว่า kappa-Carrageenan ซึ่งประกอบด้วย D-galactose และ 3,6-anhydro-D-galactose ในอัตราส่วน 1.1 – 1.5 : 1 และมี sulphate half-ester group ที่แต่ละ 2 - 2.5 หน่วยของ monosaccharide ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายที่นำมาสกัด ส่วนประกอบอีกส่วนหนึ่ง คือ Lamda-Carrageenan หรือ non-gelling fraction ประกอบด้วย 1,3-linked D-galactose-2-sulphate และ 1,4-linked D-galactose-2,6-disulphate สำหรับการแยกส่วนประกอบทั้งสองส่วนนี้ออกจากกัน อาจทำได้โดยการเติม potassium ions

carrageenan สามารถละลายน้ำได้ แต่ถ้าหากมีการให้ความร้อนด้วยการละลายจะดีขึ้นอุณหภูมิทั่วไปที่ใช้คือ 50-80 °ซ สารละลายของ carrageenan ที่ได้ค่อนข้างจะหนืด ความหนืดของสารละลาย carrageenan จะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ซึ่ง ได้แก่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ ชนิดของสาหร่าย ที่นำมาสกัด น้ำหนักโมเลกุลและอนุโมล โลหะ สารละลายของ carrageenan ที่มีความเข้มข้น 2 % จะมีความหนืดแตกต่างกันตั้งแต่ 50-3,000 เซนติพอยส์ ที่อุณหภูมิ 40°ซ และไม่มีอนุโมล โลหะอยู่ด้วย

ถ้ามีอนุโมล โลหะ เช่น โปแตสเซียม แคลเซียม แอม โมเนีย และอื่น ๆ อยู่ด้วย สารละลาย carrageenan จะทำให้การยืดหยุ่นไม่ดี เมื่อมีการให้ความร้อนก็จะละลายและเกิดเจลใหม่ เมื่อทำให้เย็นเนื่องจาก carrageenan สามารถเกิดเจลกับ potassium ion ได้ จึงได้มีการนำมาใช้กับอาหารหลายชนิด ปกติจะใช้ potassium chloride 0.2% สำหรับอุณหภูมิในการเกิดเจลมักจะคำนวณได้ โดยการหาปริมาณและชนิดของอนุโมลอิสระ แต่ปกติแล้วจะประมาณ 45-55 °ซ เจลของ carrageenan สามารถละลายที่อุณหภูมิ 10 °ซ ได้ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลักษณะของเจล ที่มีการยืดหยุ่นไม่ดีของ carrageenan อาจแก้ไขได้โดยการใช้ กัมชนิดอื่น ๆ ช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง locust bean gum ซึ่งจะมีส่วนช่วยลดการเกิด syneresis ลงด้วย ทั่ว ๆ ไปเจลของค่อนข้างจะคงตัวในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่กว้างมากที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง แต่จะมีการสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงและความเป็นกรด-ด่างต่ำ

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของ carrageenan คือการที่สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนนม ซึ่งปฏิกิริยาระหว่าง casein และ carrageenan เรียกว่า “milk reactivity” เนื่องจากมีคุณสมบัติดังกล่าว จึงได้มีการใช้ carrageenan มาช่วยให้โกโก้ที่ใสในนมแขวนลอยอยู่ได้ โดยใช้ carrageenan ในปริมาณ 0.25% ส่วนการใช้ carrageenan ในอาหารอื่น ๆ นั้น นอกจากใช้เป็นสารที่ช่วยให้เกิดการแขวนลอยแล้วยังใช้เป็นสารที่ช่วยให้เกิด gel ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น dessert gels, food gels และ freezable dessert gels เป็นต้น หรือใช้เป็น stabilizer ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและ ice pop เป็นต้น การเติม carrageenan ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ จะช่วยให้ลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์ขนมอบดีขึ้น สำหรับในเนื้อพลาสติกที่มีการใช้สารปฏิชีวนะช่วยยืดอายุการเก็บนั้น จากการทดลองพบว่า การใช้สารปฏิชีวนะร่วมกับ carrageenan จะให้ผลดีกว่า เนื่องจากมีการสูญเสียสารปฏิชีวนะน้อยกว่านอกจากนี้ยังมีการใช้เพื่อป้องกันการหืนในผลิตภัณฑ์เนื้อปลาระดับผลิตภัณฑ์ปลา ในเนื้อกระป๋องปลาระดับปลากระป๋องจะมีการใช้เพื่อให้เนื้อปลาจับกันได้ดี และยังใช้เป็น bodying agents ในอาหารประเภท dietetic foods ชูบต่าง ๆ ซอสต่าง ๆ เครื่องดื่ม น้ำผลไม้และน้ำหวาน ใช้เป็นสารที่ช่วยให้เบียร์ใสและคงตัว และใช้ช่วยเพิ่มความหนืดในน้ำสลัดด้วย

Food and Drug Administration ติวรวม carrageenan ไว้ใน Generally Recognized As Safe lists ทั้งนี้เนื่องจากผลการทดลองเกี่ยวกับทางด้านพิษวิทยา แสดงให้เห็นว่าสารนี้ไม่เป็นอันตรายกับสัตว์ทดลอง ส่วน Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives ได้ ประเมินพิษภัยของสารนี้ และกำหนด Acceptable Dairy Intake 0-75 mg/kg body weight เมื่อปี ค.ศ. 1973 แต่ในขณะนี้ ได้มีข้อมูลใหม่ ๆ เกี่ยวกับพิษภัยใหม่ และจะได้กำหนด specification ใหม่ด้วย ส่วน Acceptable Dairy Intake ได้กำหนดเป็น “non specified” สำหรับ refined non-degraded carrageenan สำหรับประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 ได้อนุญาตให้ใช้กัมชนิดนี้ในอาหาร

2.11.4 Sodium carboxymethylcellulose (CMC)

Sodium carboxymethylcellulose เป็น cellulose derivative ชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันแพร่หลายมากในวงการอุตสาหกรรมอาหาร เป็นเกลือ sodium ของ carboxymethylcellulose รู้จักกันทั่วไปในชื่อว่า CMC หรือ cellulose gum ได้จากปฏิกิริยาของ alkali cellulose กับ sodium monochloroacetate โดยมีการควบคุมให้มี degree of substitution (D.S.) และ degree of polymerization (D.P.) ที่พอเหมาะ ทั้งนี้เนื่องจาก D.S. และ D.P. จะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ช่วยควบคุมคุณภาพของ CMC CMC ซึ่งมี D.S. 0.3 หรือต่ำกว่า จะสามารถละลายในน้ำต่าง แต่ไม่ละลายในน้ำ CMC ที่มี D.S. 4.5 หรือสูงกว่าจะละลายได้ดีในน้ำ สำหรับ CMC ถ้าค่า D.P. สูงขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Food grade CMC จะละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลาย CMC 2% จะแตกต่างกันในช่วง 10-50,000 cps หรือสูงกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ CMC ความหนืดของสารละลาย CMC จะคงตัวได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่ค่อนข้างกว้าง 5-11 แต่จะดีที่สุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 7-9 ถ้าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5 ความหนืดจะลดลง และถ้าหากต่ำกว่า 2-3 free carboxymethylcellulose acid จะตกตะกอน

การใช้ CMC ในอาหารนั้น ส่วนใหญ่จะใช้เป็นสารที่ช่วยให้เกิดการคงตัวในไอศกรีม sherbets, ice pop หรือผลิตภัณฑ์ขนมหวานประเภทต่าง ๆ เพื่อช่วยป้องกันการเกิดเกล็ดน้ำแข็ง นอกจากนี้ก็มีการใช้ใน icing, meringues, jellies, pie filling และ pudding ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิด syneresis ส่วนในเค้กและผลิตภัณฑ์ขนมอบ ใช้เพื่อช่วยเพิ่มปริมาตรและให้สามารถเก็บความชื้นได้ดีขึ้น และใช้ช่วยให้น้ำสลัดอยู่ในสภาพเป็นสารแขวนลอยได้ดี

2.11.5 Xanthan gum

Xanthan gum เป็น gum ที่สังเคราะห์ขึ้น โดย *Xanthomonas campestris* สูตรโครงสร้างประกอบด้วย D-glucose D-mannose : D-glucuronic acid ในอัตราส่วน 3:3:1 มี O-acetyl group 4.7% และ pyruvic acid 3.0-3.5% กัมชนิดนี้สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ให้สารละลายที่หนืดของ gure, tragacanth หรือ sodium alginate และความหนืดจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง และจะคงตัวได้ดีทั้งในสารละลายที่เป็นกรดหรือด่าง สามารถละลายได้ดีในสารละลายที่มีคุณสมบัติเป็น emulsifier ที่ดีสำหรับ oil in water system

สำหรับการใช้ในอาหารนั้นยังค่อนข้างจำกัด อาหารที่นิยมใช้ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องชนิดต่าง ๆ และผลิตภัณฑ์ขงชนิด เป็นต้น

Codex Alimentarius Commissions ได้อนุญาตให้ใช้สารนี้ได้ และกำหนด ADI = 0-10 mg/kg body weight ส่วนประเทศไทยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 ได้อนุญาตให้ใช้สารนี้ในอาหารเช่นกัน

2.11.6 Algin

Algin เป็น กัมอีกชนิดที่มีการนิยมนำมาใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร สกัดได้ครั้งแรกจากสาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae) alginic acid จัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสาหร่ายสีน้ำตาลทุก species สำหรับ species ที่มีการสกัดเป็นการค้ามากได้แก่ *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria digitata* และ *Laminaria cloustoni* ปริมาณ polyvalent metal cations ของ alginic acid ในสาหร่ายแต่ละ species จะแตกต่างกันไป นอกนี้ฤดูกาลและสถานที่ที่เก็บสาหร่ายจะมีผลต่อปริมาณของ alginic acid ด้วย จากการค้นคว้าทดลองพบว่า alginic acid เป็น polyuronide ที่ประกอบด้วย D-mannuroic acid, L-guluronic acid และอาจมีสารอื่นเป็นส่วนประกอบอีกเล็กน้อย alginic acid ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 194-215 ส่วน sodium alginate จะอยู่ในช่วง 32,000-200,000 และมี degree of polymerization 180-930

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

alginic acid และเกลือแคลเซียมของกรดนี้ จะมีการละลายน้ำได้น้อยมาก ส่วนเกลือโซเดียมและเกลือแอมโมเนียม และ propylene glycol ester ของ alginic acid จะละลายน้ำได้ดีทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล และปริมาณความหนืดของ alginates ชนิดต่างๆ ที่จำหน่ายในท้องตลาดจะมีความแตกต่างกันจาก 10 เซนติพอยส์ สำหรับละลาย alginates ที่ให้ความหนืดต่ำจนกระทั่ง 2,000 เซนติพอยส์ สำหรับสารละลายเกลือ alginates ที่ให้ความหนืดสูง ทั้ง ๆ ที่เตรียมสารละลายเข้มข้น 1% เท่ากัน และเมื่อมีการให้ความร้อนมากเกินไป ความหนืดของสารละลายเกลือ alginates จะลดลง และอาจจะสลายตัวได้ ถ้ามีการให้ความร้อนมากเกินไป ความหนืดของสารละลายเกลือ alginates คงตัวที่ความเป็นกรดต่าง 4-10 ที่ความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 4 ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการละลายของกรดอิสระลดลง และถ้าต่ำมาก ๆ alginic acid จะตกตะกอน ส่วนสารละลาย propylene glycol alginate จะสามารถทนต่อการสลายตัวด้วยกรด ได้ดีกว่าความหนืดของสารละลาย alginates จะเพิ่มขึ้น ถ้ามี polyvalent metal cations อยู่ด้วย

การเกิดเจลนั้น อาจเกิดขึ้นในสถานะที่สารละลายอยู่ในสถานะที่เป็นกรด หรือมีอนุโมลแคลเซียม หรือมี polyvalent metal cations อยู่ด้วยในปริมาณที่มากพอ ปกติเจลจะค่อย ๆ เกิดขึ้น เมื่อมีการปล่อยอนุโมลแคลเซียมหรือไอโอรเจนออกมาหรือทั้งสองอย่างพร้อมกัน และสามารถควบคุมได้โดยสารประเภท sequestrant เช่น phosphate หรือ polyphosphate gel ที่เกิดขึ้นในลักษณะที่กล่าวนี้ จะมีลักษณะใส โปร่งแสง และไม่ละลายที่อุณหภูมิห้องด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า algin มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดฟิล์มได้อย่างดีด้วย

สำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้น เนื่องจาก alginic acid ไม่ละลายน้ำ จึงมักใช้กันในรูปของ sodium alginate หรือ potassium alginate หรือ ammonium alginate หรือ propylene glycol alginate เป็นต้น ในอาหารประเภทไอศกรีมนมแช่แข็ง, น้ำแข็ง, เซอร์เบต และเนตแข็ง มักจะใช้กัมชนิดนี้เป็น stabilizer แปะใช้ช่วยให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ประเภทเจลต่าง ๆ เช่น water dessert gel และ milk pudding เป็นต้น ใช้เป็นสารช่วยในการแขวนลอย (suspending agents) และสารเพิ่มความหนืด (thickening agents) ในเครื่องดื่มต่าง ๆ ทั้งชนิดที่เป็นน้ำผลไม้และไม่ใช่ นอกจากนี้ยังใช้ช่วยทำให้ฟองในเบียร์คงตัว เป็น emulsifier ในน้ำสลัดชนิดต่าง ๆ ใช้เป็นสารที่สร้างฟิล์ม เพื่อใช้ห่อหุ้มพวกผลิตภัณฑ์เนื้อ ปลา และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

จากข้อมูลการศึกษาทดลองเกี่ยวกับความเป็นพิษของ alginates Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives ได้กำหนด acceptable dairy intake ไว้ดังนี้คือ 25 มก./กก. น้ำหนักร่างกาย สำหรับ alginic acid และ edible salts ของกรดนี้ ส่วน acceptable dairy intake สำหรับ propylene glycol alginate คือ 25 มก./กก. น้ำหนักร่างกาย สำหรับประกาศกระทรวงสาธารณสุขได้มีการอนุญาตให้ใช้ alginate ในอาหารเช่นเดียวกัน

2.11.7 Metyl และ Hydroxypropylmethylcellulose

Methylcellulose เป็น cellulose derivative ที่ได้ปฏิกิริยาของ alkali cellulose กับ methyl chloride และ hydroxypropylmethylcellulose จะได้ปฏิกิริยาของ alkali cellulose กับ methylchloride และ propylene oxide

Methylcellulose และ hydroxypropylmethylcellulose ละลายได้ดีในน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายนี้จะขึ้นกับ D.P. ความหนืดของสารละลาย methylcellulose 2% จะอยู่ในช่วง 10-8,000 เซนติพอยส์ เมื่อให้ความร้อนเพิ่มความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นด้วย และในที่สุดจะเกิดเจลที่อุณหภูมิ 50-55 °ซ อุณหภูมิในการเกิดเจลสามารถเพิ่มให้สูงขึ้นได้ ถ้ามีการเพิ่มหมู่ hydroxypropyl ใน methylcellulose ที่ขายในท้องตลาดนั้นสามารถเพิ่มได้ถึง 85 °ซ ทั้งนี้ขึ้นกับอัตราส่วนของหมู่ methyl และ hydroxypropyl นอกจากนี้สารประเภทวัตถุเจือปนอาหารหรือ electrolytes จะมีผลต่อ gel point ด้วย ตัวอย่างเช่น sucrose และ glycerol จะไปลด gel point ในขณะที่ ethanol, propylene glycol จะไปเพิ่ม gel point สารละลาย methylcellulose จะคงตัวที่ suspending agents ความเป็นกรด-ด่าง 3-11

สำหรับการใช้ methylcellulose และ hydroxypropylmethyl cellulose ในอาหารนั้น ส่วนใหญ่จะนิยมใช้เป็น emulsifier, stabilizer, thickening agents, suspending agents ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ น้ำสลัด ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์นม และสารให้กลิ่นรส เป็นต้น

2.12 ชนิดของไอศกรีม

ไอศกรีมมีมากมายหลายชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนผสม ปริมาณของส่วนผสมในแต่ละชนิดและคุณสมบัติ โดยทั่วไป ซึ่งสามารถแบ่งไอศกรีมออกเป็น 5 ชนิด คือ

2.12.1 ไอศกรีมมาตรฐาน (Standard-Cream) เป็นไอศกรีมที่มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมด (Total Solid) อย่างน้อย 16-24% ของน้ำหนักเมื่อทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว (Finished eight) ส่วนผสมส่วนใหญ่เป็นไขมัน (Milk Fat) หางนมผง (MSNF) น้ำตาล Stabilizer Emulsifer กลิ่นและสีปริมาณของไขมันจะผันแปรกับปริมาณของหางนมผง คือถ้าอันไดอันหนึ่งลดลงจะต้องมีไขมันอย่างน้อย 10% ความฟู (over run) ประมาณ 80-100%

2.12.2 ไอศกรีมนมสด (Milk-Cream) ต่างจากไอศกรีมมาตรฐานที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่า และมีของแข็งน้อยกว่ารวมทั้ง รส กลิ่น สำหรับไอศกรีมนมสดจะต้องประกอบด้วยไขมันอย่างน้อย 2% แต่ไม่เกิน 7% และกลิ่นของไอศกรีมนมสดจะเป็นกลิ่นของส่วนผสมที่นำมาประกอบ (Total Milk Solid) ลักษณะของไอศกรีมนมสดมี 2 แบบ คือ แบบอ่อน (Soft Frozen Form) และแบบแข็ง (Hard Frozen Form) ความแตกต่างใน 2 ลักษณะกล่าวคือ แบบแข็งจะใส่พวก Stabilizer และ Emulsifer เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็ง แข็ง และละลายช้า ส่วนแบบอ่อนจะใช้น้ำตาลน้อยเพื่อหลีกเลี่ยงจุดเยือกแข็งต่ำ (Low Freezing Point) และเพื่อมิให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันน้อยกว่าที่กำหนดจึงมีความฟูค่อนข้างต่ำประมาณ 30-60% เมื่อเทียบกับแบบแข็งซึ่งมีความฟูประมาณ 80-100% โดยแบบอ่อนจะต้องนำออกจากเครื่องปั้นที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -7.5°C .

2.12.3 เมลโลโรนไอศกรีม (Mellorine) และอาหารแช่แข็งที่มีลักษณะคล้ายไอศกรีม มีส่วนผสมคล้ายไอศกรีมนมสดยกเว้นไขมันจะใช้ไขมันพืช หรือสัตว์อย่างอื่น โดยมีประมาณ 6% ดังนั้น Mellorine จะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันมากกว่าไอศกรีมนมสด แต่น้อยกว่าไอศกรีมมาตรฐาน Mellorine จะต้องมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 2.7% โดยน้ำหนัก ส่วนอาหารแช่แข็งที่มีลักษณะคล้ายไอศกรีม สำหรับคนที่ เป็นโรคเบาหวานมักจะไม่ใช่ น้ำตาลทำให้หวานแต่จะใช้ตัวอื่นแทน โดยจะมีไขมันนมประมาณ 10% สำหรับไอศกรีมมาตรฐาน และประมาณ 2% สำหรับไอศกรีมนม ซึ่งในผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะต้องเติมพวกของแข็งชนิดอื่น (Food Solid) ลงไปแทนน้ำตาลเพื่อควบคุมจุดเยือกแข็ง และปริมาณของน้ำ โดยจะมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีม โดยทั่วไปจะใช้ส่วนผสมของซอร์บิทอล (Sorbitol) และแมนนิทอล (Mannitol) และมักจะเติมพวกกลีเซอริน (Glycerine) เพื่อลดจุดเยือกแข็งให้ต่ำตามต้องการ

2.12.4 ไอศกรีมผลไม้ จะมีรสหวานแต่รสจะออกฝาด ๆ และมีของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ต่ำประมาณ 3-5% ซึ่งได้จากการผสมระหว่างไอศกรีมกับผลไม้ และมีเปอร์เซ็นต์แลคติกแอซิก (Lactic Acid) ต่ำสุดประมาณ 0.35% หรืออาจใช้พวกซิตริกแอซิก (Citric Acid), ทาร์ตาริกแอซิก (Tartaric Acid), มาลิกแอซิก (Malic Acid), และแอสคอร์บิกแอซิก (Ascorbic Acid) แทนได้ ความฟูของไอศกรีมผลไม้ประมาณ 25-40% เนื่องจากน้ำตาลมากจุดหลอมเหลวจะต่ำ ดังนั้นพวกไอศกรีมผลไม้จะอ่อนกว่า ไอศกรีมที่มีอุณหภูมิเดียวกัน และส่วนมากไอศกรีมผลไม้จะขายในแบบแข็ง (Hard Frozen Form) มากกว่าแบบอ่อน (Soft Frozen Form)

2.12.5 ไอศกรีม Sherbet ประกอบไปด้วยน้ำตาลประมาณ 30%, น้ำผลไม้ 20%, กลิ่น, สี รวมทั้งสารที่ให้ความคงตัวอีกประมาณ 0.2 – 0.6%, ซิตริกแอซิกประมาณ 0.4% และน้ำมีความสูงประมาณ 30% จะมีลักษณะแข็งเช่นเดียวกับไอศกรีม แต่เมื่อละลายแล้วจะมีลักษณะเป็นน้ำ ซึ่งโดยมากจะนิยมทำเป็นแท่ง ๆ

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดอุปกรณ์ทำครีว
2. เครื่องทำนํ้านมถั่วเหลือง ตรา Severin
3. เครื่องโฮโมจีไนส์
4. เครื่องปั่น ไอศกรีมชนิด Batch freezer ตรา Cattabriga
5. ตู้เย็นแช่ไอศกรีม
6. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Oil content analyzer) ยี่ห้อ Horiba รุ่น OCMA-350

3.2 วัตถุดิบ

1. เมล็ดถั่วเหลืองกระเพาะเปลือก ตรา ไร่ทิพย์
2. ส้มแขกตากแห้ง

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

1 นํ้านมถั่วเหลืองสด

ใช้ถั่วเหลือง ตรา ไร่ทิพย์ 1 กก. ล้างเมล็ดที่ลึบและเมล็ดที่อ่อนออก นำมาผลิตนํ้านมถั่วเหลืองสด โดยมึวิธีการแสดงดังภาพที่ 14

นํ้านมถั่วเหลืองที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีดังนี้

- วัดค่า pH โดยใช้ pH meter
- วัดค่า TSS โดยใช้ Refractrometer
- วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด(Acidity) โดยใช้วิธี A.O.A.C. 1990

2 นํ้าส้มแขกเข้มข้น

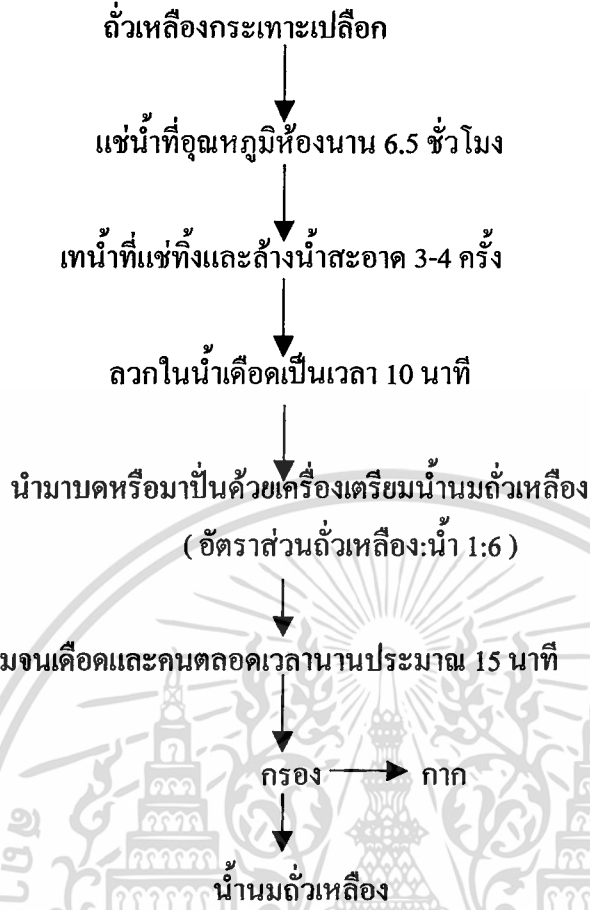
ใช้ส้มแขกขึ้นตากแห้งนำมาผลิต โดยมึวิธีการแสดงดังภาพที่ 15

นํ้าส้มแขกที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีดังนี้

- วัดค่า pH โดยใช้ pH meter
- วัดค่า TSS โดยใช้ Refractrometer
- วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด(Acidity) โดยใช้วิธี A.O.A.C. 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง



ภาพที่ 14 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง
ที่มา: กรมส่งเสริมการส่งออก (2526)

กรรมวิธีการผลิตน้ำส้มแขก



ภาพที่ 15 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำส้มแขกเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่เหมาะสม

1. ใช้น้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกในอัตราส่วน 85:15 , 80:20 , 75:25 และ 70:30 ตามลำดับ ทำการปรับความหวานของน้ำนมถั่วเหลืองผสมให้ได้ 14 °Brix พิจารณาลักษณะปรากฏของส่วนผสมที่ได้ และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของส่วนผสมทั้ง 4 สูตร ดังนี้

- วัดค่า pH โดยใช้เครื่อง pH Meter
- วิเคราะห์ค่า Acidity โดยใช้วิธี A.O.A.C. 1990
- วิเคราะห์ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid ; TS)

วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ค่าที่ได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 9.1

2. ศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัว (Thickenner) ที่เหมาะสมในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกอัตราส่วน 85:15 ใช้สารให้ความคงตัว 2 ชนิด คือ

- CMC ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 , 0.50 , 0.75 และ 1.00 ตามลำดับ
- Sodium alginate ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 , 0.50 , 0.75 และ 1.00 ตามลำดับ

จากนั้นนำถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่ได้มาศึกษาลักษณะปรากฏทางด้านความคงตัวของส่วนผสมหลังจากตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

3.3.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกในการผลิตไอศกรีม

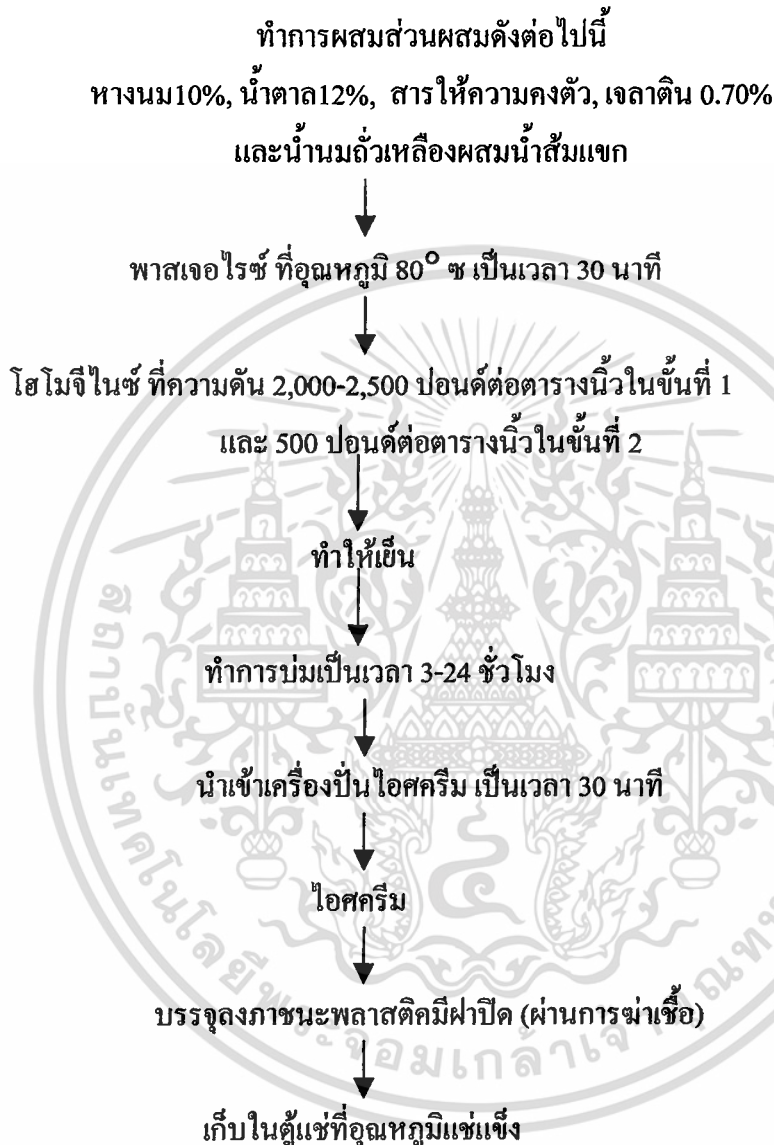
นำสารให้ความคงตัวที่เหมาะสมจากข้อ 2.2 มาเติมลงในน้ำถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่างกันดังข้อ 2.1 แล้วนำมาปั่นเป็นไอศกรีมตามขั้นตอนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 16

3.3.4 ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้นำมาทำการศึกษาดังนี้

1. วัดค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในไอศกรีม โดยใช้ Refractometer
2. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด โดยใช้วิธี A.O.A.C. 1990
3. การวิเคราะห์ความฟูของไอศกรีม (Over run)
4. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยใช้เครื่อง Oil content analyzer ยี่ห้อ Horiba รุ่น OCMA-350
5. การตรวจสอบคุณภาพด้วยประสาทสัมผัส
 - สี
 - กลิ่นถั่ว
 - รสเปรี้ยว
 - ความเนียน
 - ความชอบรวม

ในการวิเคราะห์ต้องทำให้ได้ไอศกรีมละลายเสียก่อน โดยนำไปอุ่นใน Water bath ที่อุณหภูมิไม่เกิน 45° ซ
เขย่าให้เข้ากันแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จึงนำไปวิเคราะห์ (ยกเว้นการตรวจสอบคุณภาพด้วยประสาท
สัมผัส)

กรรมวิธีการผลิตไอศกรีม



ภาพที่ 16 แสดงขั้นตอนการผลิตไอศกรีม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำส้มแขก

น้ำนมถั่วเหลืองและน้ำส้มแขกที่เตรียมได้มีคุณภาพทางเคมีแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงคุณภาพทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำส้มแขก

คุณภาพทางเคมี	น้ำนมถั่วเหลือง	น้ำส้มแขก
pH	6.52	1.57
Brix	6.13	2.60
Acidity	0.69	10.63

จากตารางที่ 7 น้ำนมถั่วเหลืองมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.52 ค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ (Brix) เท่ากับ 6.13 และค่า Acidity เท่ากับ 0.69

ส่วนน้ำส้มแขกมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 1.57 ค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ (Brix) เท่ากับ 2.60 และค่า Acidity เท่ากับ 10.63

4.2 การศึกษาอัตราส่วนของน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่เหมาะสม

เมื่อนำน้ำนมถั่วเหลืองมาผสมกับน้ำส้มแขกในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้คือ 85:15 , 80:20 , 75:25 และ 70:30 ตามลำดับ ปรับความหวานของส่วนผสมให้ได้ 14 °Brix จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และพิจารณา ลักษณะปรากฏของส่วนผสมที่ได้ แสดงดังตารางที่ 8 และ 9 ดังนี้

จากตารางที่ 8 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่างๆพบว่า

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วน 85:15มีค่าความเป็นกรด-ด่าง น้อยที่สุด คือ 4.54 และมีค่าเพิ่มขึ้น คือ ที่อัตราส่วน 85:15 ,80:20,75:25 และ 70:30 ตามลำดับ แสดงว่ามีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น ถ้าอัตราส่วนน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกมีปริมาณน้ำส้มแขกอยู่สูง

- ค่า Acidity ที่วัดได้ พบว่าที่อัตราส่วน 85:15 มีค่า Acidity น้อยที่สุด และจะเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 80:20,75:25 และ 70:30 ตามลำดับ แสดงว่าถ้าอัตราส่วนของน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกมากขึ้น ค่า Acidity จะมีค่าสูงขึ้นก็คือมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงด้วย

ตารางที่ 8 แสดงคุณภาพทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่างๆ

คุณภาพทางเคมี	อัตราส่วนน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก			
	85:15	80:20	75:25	70:30
pH	4.54 ^c ± 0.02	4.27 ^b ± 0.07	4.10 ^b ± 0.11	3.75 ^a ± 0.03
Acidity	11.73 ^a ± 0.01	12.23 ^b ± 0.04	12.68 ^c ± 0.05	13.23 ^d ± 0.08
TS	40.67 ^a ± 0.05	55.17 ^b ± 1.87	58.42 ^b ± 1.15	62.22 ^d ± 1.44

หมายเหตุ ตัวเลขที่มีอักษรเดียวกันหมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และตัวเลขที่มีอักษรแตกต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 9 แสดงลักษณะปรากฏของส่วนผสมน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก	ลักษณะปรากฏ
85:15	เกิดลิ่มนม (curd) โดยจะมีตะกอนขนาดเล็ก สารละลายไม่เกิดการแยกชั้น
80:20	เกิดลิ่มนม (curd) โดยจะมีตะกอนขนาดเล็ก สารละลายเกิดการแยกชั้นเพียงเล็กน้อย
75:25	เกิดลิ่มนม (curd) โดยจะมีตะกอนขนาดใหญ่ สารละลายเกิดการแยกชั้น
70:30	เกิดลิ่มนม (curd) โดยจะมีตะกอนขนาดใหญ่ สารละลายเกิดการแยกชั้น

- ค่า Total solid จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากอัตราส่วนน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่ 85:15 80:20,75:25 และ 70:30 ตามลำดับ

และจากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าส่วนผสมน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วน 85:15 มีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ คือ ลิ่มนม (curd) ที่ได้มีตะกอนขนาดเล็ก สารละลายไม่เกิดการแยกชั้น ในขณะที่อัตราส่วนอื่นๆ สารละลายจะเกิดการแยกชั้นขึ้น ดังนั้นจึงเลือกน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วน 85:15 มาทำการศึกษาสารให้ความคงตัวที่เหมาะสมในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกต่อไป

4.3ศึกษาปริมาณสารให้ความคงตัว(Thickener)ที่เหมาะสมในการผลิตโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก เมื่อนำส่วนผสมน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วน 85:15 มาปรับความหวานที่ 14°Brix แล้วนำมาเติมสารให้ความคงตัวลงไป ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตลักษณะปรากฏ ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงลักษณะปรากฏทางด้านความคงตัวของส่วนผสมน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก เมื่อทำการเติมสารให้ความคงตัวทั้งสองชนิดในอัตราส่วนต่างๆ กัน

อัตราส่วนสารให้ความคงตัว	ลักษณะปรากฏ
CMC	
0.25	เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนมีลักษณะขนาดใหญ่
0.50	เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนมีลักษณะขนาดใหญ่
0.75	เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนมีลักษณะขนาดเล็ก
1.00	เกิดการแยกชั้นของสารละลายเล็กน้อย ตะกอนมีลักษณะขนาดเล็ก
Sodium alginate	
0.25	เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนมีลักษณะขนาดใหญ่
0.50	เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนมีลักษณะขนาดเล็ก
0.75	เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนมีลักษณะขนาดเล็ก
1.00	ไม่เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนมีลักษณะขนาดเล็ก

จากตารางที่ 10 พบว่า เมื่อใช้ CMC เป็นสารให้ความคงตัว ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 เกิดการแยกชั้นของสารละลาย โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 และ 0.50 ตะกอนที่ได้มีลักษณะขนาดใหญ่ ส่วนที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.75 และ 1.00 ลักษณะของตะกอนมีขนาดเล็ก

เมื่อใช้ Sodium alginate เป็นสารให้ความคงตัว พบว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนที่ได้มีลักษณะขนาดใหญ่ และที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.50 กับ 0.75 เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนมีลักษณะขนาดเล็ก ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.00 ไม่เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ตะกอนมีลักษณะขนาดเล็ก

จากผลข้างต้นจึงทำการเลือกสารให้ความคงตัว คือ Sodium alginate ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.00 เพราะสารละลายมีความคงตัวมากที่สุด คือไม่เกิดการแยกชั้นของสารละลาย และตะกอนมีขนาดเล็ก

4.4 ศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ไอศกรีมน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก

เมื่อนำสารให้ความคงตัว (Thickenner) ที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมมาเติมลงในน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่างๆ มาทำเป็นไอศกรีม โดยผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้มาทำการวัดค่าของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ (Brix) วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด วิเคราะห์ความฟูของไอศกรีม และ วิเคราะห์ปริมาณไขมัน ผลแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงค่าการวิเคราะห์ทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้จากน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่างๆ

ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่อัตราส่วนต่างๆ	ผลการวิเคราะห์ทางเคมี			
	Brix (°Brix)	Acidity (%)	Over run (%)	ไขมัน (%)
85:15	26.60 ^b ± 0.25	1.63 ^a ± 0.05	10.35 ^a ± 2.33	0.14 ^a ± 0.01
80:20	26.90 ^a ± 0.42	1.69 ^a ± 0.05	32.90 ^b ± 20.81	0.90 ^d ± 0.09
75:25	26.50 ^b ± 0.14	2.26 ^b ± 0.04	17.39 ^a ± 6.15	0.34 ^b ± 0.04
70:30	26.50 ^b ± 0.42	2.16 ^b ± 0.00	14.70 ^a ± 3.81	0.11 ^a ± 0.02

จากตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่า ไอศกรีมที่ได้มีค่าของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ (Brix) อยู่ในช่วง 26.50-26.90 °Brix มีค่า Acidity อยู่ในช่วง 1.63-2.26 % ปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 0.11-0.90 % ในขณะที่ค่า overrun ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่อัตราส่วน 80:20 มีค่าสูงสุด คือ 32.90 % ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % กับไอศกรีมสูตรอื่นๆ

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมาตรวจสอบคุณภาพด้วยประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 12

จากตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่า ไอศกรีมที่ได้เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส จะมีค่าคะแนนต่างๆ ดังนี้

- ค่าคะแนนของสีของผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ซึ่งมีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 3.29 โดยพบว่า น้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วน 80:20 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือมีระดับคะแนนมากที่สุด เท่ากับ 3.48 และรองลงมาคือที่อัตราส่วน 85:15 , 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ค่าคะแนนของกลิ่นมีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 3.16 โดยพบว่า น้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วน 70:30 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือมีระดับคะแนนเท่ากับ 2.93 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่อัตราส่วนนี้มีกลิ่นถั่วน้อยที่สุด และรองลงมาคือที่อัตราส่วน 75:25 , 85:15 และ 80:20 ตามลำดับ

ตารางที่12 แสดงค่าคะแนนเฉลี่ยโดยการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแชงทั้ง 4 สูตร

อัตราส่วนน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแชง	ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ทดสอบ				
	สี	กลิ่นถั่ว	รสเปรี้ยว	ความเนียน	ความชอบรวม
85:15	3.38 ^a ± 0.83	3.13 ^{ab} ± 0.86	3.20 ^b ± 1.07	3.65 ^b ± 0.75	3.45 ^{bc} ± 1.04
80:20	3.48 ^a ± 1.03	3.58 ^b ± 0.94	2.43 ^a ± 0.88	3.73 ^b ± 0.66	3.70 ^c ± 0.94
75:25	3.15 ^a ± 0.72	2.98 ^a ± 0.89	3.15 ^b ± 1.23	2.75 ^a ± 0.82	2.80 ^a ± 1.03
70:30	3.15 ^a ± 0.70	2.93 ^a ± 0.87	3.88 ^c ± 0.87	3.33 ^b ± 1.09	3.05 ^{ab} ± 0.87

- ค่าคะแนนของรสเปรี้ยว ไอศกรีมมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.17 โดยระดับความเปรี้ยวที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือที่อัตราส่วนน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแชง 70:30 มีคะแนนเท่ากับ 3.88 รองลงมาคือที่อัตราส่วน 85:15 , 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ

- ค่าคะแนนความเนียนของเนื้อ ไอศกรีมพบว่า มีค่าคะแนนเฉลี่ยที่ 3.67 โดยระดับความเนียนที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือที่อัตราส่วนน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแชงที่ 80:20 ซึ่งมีคะแนนเท่ากับ 3.73 รองลงมาคือที่อัตราส่วน 85:15 , 70:30 และ 75:25 ตามลำดับ

- ค่าคะแนนความชอบรวมของผู้ทดสอบต่อไอศกรีมมีค่าคะแนนเฉลี่ยที่ 3.25 โดยระดับคะแนนความชอบรวมที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือที่อัตราส่วนน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแชงที่ 80:20 ซึ่งมีคะแนนเท่ากับ 3.70 รองลงมาคือที่อัตราส่วน 85:15 , 70:30 และ 75:25 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. คุณภาพทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำส้มแขกที่วิเคราะห์ได้ พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 6.53 ค่าของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้เท่ากับ 6.13 และค่า acidity เท่ากับ 0.69 และน้ำส้มแขกมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 1.57 ค่าของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้เท่ากับ 2.60 และค่า acidity เท่ากับ 10.63 ตามลำดับ

2. การศึกษาอัตราส่วนของน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีม โดยใช้อัตราส่วนของน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกในอัตราส่วน 85:15 ,80:20 , 75:25 และ 70:30 ตามลำดับ ปรับปรุงความหวานให้อยู่ที่ 14 Brix เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและลักษณะปรากฏของส่วนผสมน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 85:15 เนื่องจากค่า pH มีค่า 4.54 และค่า acidity เท่ากับ 11.73 และของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 40.62 จึงทำให้ได้ลิ้มนม (crud) ที่มีตะกอนขนาดเล็ก สารละลายไม่เกิดการแยกชั้น

3. การใช้ปริมาณสารให้ความคงตัวที่เหมาะสมในการผลิต โดยใช้ น้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วน 85:15 พบว่า sodium alginate ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.00 มีความเหมาะสมเนื่องจากเมื่อผสมทิ้งไว้ 15 นาที ไม่เกิดการแยกชั้นของสารละลาย และลักษณะตะกอนมีขนาดเล็ก ส่วนความเข้มข้นอื่น ๆ เกิดการแยกชั้น ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำมาทำเป็นสารให้ความคงตัว

ส่วน CMC ที่ทุกระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.25-1.00 พบว่าเกิดการแยกชั้นขึ้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นสารให้ความคงตัวในการทดลองครั้งนี้

4.การวิเคราะห์ทางเคมีของไอศกรีมพบว่าค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ (Brix)ที่อัตราส่วน 80:20 มีค่าสูงสุด คือ 26.90

- ค่า acidity ของอัตราส่วนน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่ 75:25 มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 2.26%

-ค่า overrun หรือความฟูของ ไอศกรีมที่อัตราส่วนน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก 80:20 มีค่ามากที่สุด ซึ่งเหมาะที่จะนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ในครั้งนี้ เนื่องจากทำให้ไอศกรีมที่ได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

- ปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้พบว่าที่อัตราส่วน 70:30 มีปริมาณไขมันน้อยที่สุด ถัดจากนี้คือ 85:15 , 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ

เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สีของไอศกรีมไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ที่อัตราส่วนน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก 80:20 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด โดยมีคะแนนเท่ากับ 3.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กลิ่นถั่วที่อัตราส่วน 80:20 มีกลิ่นถั่วที่รุนแรง แต่ที่อัตราส่วนน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขก 70:30 มีกลิ่นถั่วที่น้อยที่สุด เท่ากับ 2.93 อาจสรุปได้ว่าอัตราส่วนใดที่มีปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองมาก จะทำให้มีกลิ่นถั่วที่แรงกว่า

- รสเปรี้ยวที่เกิดขึ้นพบว่า ที่อัตราส่วน 70:30 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือมีคะแนนเท่ากับ 3.88

- ความชอบรวมของผู้ทดสอบที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมพบว่า อัตราส่วน 80:20 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด โดยมีระดับคะแนนเท่ากับ 3.70

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่เหมาะสมคือ 70:30 เนื่องจากสีของ ไอศกรีมที่ได้ไม่แตกต่างจากอัตราส่วนอื่น นอกจากนี้ยังมีกลิ่นของถั่วที่ไม่รุนแรง ถึงแม้ว่าจะมีความเปรี้ยวมากแต่ก็ยังคงอยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบพอใจ และความเนียนของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมก็เป็นที่ต้องการของผู้ทดสอบส่วนใหญ่



เอกสารอ้างอิง

- ชอุ่ม ห่อวโนทยาน , เรขา ศรีสมบุญ และ สุพัตรา กาญจนภาส . 2539 . การศึกษากรรมวิธี
การผลิตที่เหมาะสมในการทำโยเกิร์ตจากถั่วเหลือง . (ปัญหาพิเศษ) ภาควิชาอุตสาหกรรม
กรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระ
บัง .
- ชยันต์ พิเชียรสุนทร . 2539 . สัมแขก . ฉลาดบริโภคน . 2 : 251-258 .
- นิรนาม . 2526 . ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย . อาหารและยา . 6 : 41-43
- ปวิวิทย์ ภิรมย์รักษ์ . 2539 . ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารลดไขมันส่วนเกิน . สัมมนา ภาควิชาอุตสาหกรรม
กรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระ
บัง .
- สุวรรณี อางหาญณรงค์ . 2539 . การใช้ส้มแขกเป็นสารให้รสเปรี้ยวในตำยาก่อน . (วิทยานิพนธ์)
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สรจักร ศิริบริรักษ์ . 2541 . สัมแขก . เกษตรโกษา . 2 : 251-258 .
- Arai , S . , 1980 . O.Koyanagi and M. Fujimaki . 1967 . Studies on flavor component in
soybean Part 4 . Volatile neutral compound . Agri . Bril . Chem . 31:868
- Chen , S . 1980 . Nutrition and Production of Soymilk . Proceeding of the tenth ASEAN
Workshop on high protein low cost food supplement 1-7 December 1980
Bangkok Thailand .
- Holman , R.T., P.O.Egwin and W.W. Christic . 1969 . Substrate specificity of soybean
Lipoxygenase . J . Biol . Chem . 244:1149 .
- Synder and Kwon . 1978 . Soybean protein in the Treatment of Type 2 Hyperlipo
proteinmia . 1 :1645-1647 .



ภาคผนวก ก
วิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวัด pH

- 1.1 กด power เพื่อเปิดเครื่อง
- 1.2 กด Mold จนหน้าจอปรากฏ ° C แล้วปรับอุณหภูมิที่ถูกต้อง (ปกติ 25 °C)
- 1.3 กด Mold อีกครั้งจะมี pH ปรากฏ
- 1.4 Calibrate โดยล้าง electrode แล้วใช้ pH 7 buffer calibrate รอให้คงที่แล้วปรับปุ่ม cal ให้ได้ PH 7
- 1.5 ล้าง electrode แล้วจุ่มใน pH 4 buffer calibrate รอให้คงที่ จึงปรับปุ่ม cal ให้ได้ pH 4 ทำการล้าง electrode แล้วจุ่มในสารละลายที่ต้องการวัด pH
- 1.6 หลังการใช้งานทำการล้าง electrode ด้วยน้ำกลั่นแล้วเช็ดให้แห้ง นำ electrode เก็บในกระเปาะที่ภายในบรรจุสารละลาย KCl

2. การวัดค่า Acidity โดยใช้วิธี (A.O.A.C. 1990)

- 2.1 นำตัวอย่างมา 10 มล. เติมน้ำกลั่น 10 มล. เติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด เป็นอินดิเคเตอร์
- 2.2 นำไปไตเตรทด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 Normal ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน
- 2.3 สังเกตจุดยุติโดยสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูก่อน
- 2.4 จดปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มล) เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณกรดในตัวอย่าง

จากสูตร

$$\% W = \frac{V \times N \times \text{Meq.wt}}{W} \times 100$$

- เมื่อ W = น้ำหนักของกรดที่มีอยู่ในตัวอย่าง (กรัม)
- V = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)
- N = ความเข้มข้นของ NaOH
- Meq.wt = มิลลิวาลิวเลนซ์ของกรด น้ำส้มแขกมีกรดซิตริกซึ่ง Meq.wt = 0.064

3.การวัดค่า Total Soluble Solid (TSS) โดยใช้ Refractometer (Atogo ,N₁)

- 3.1 ปรับ Refractometer ให้จุดเริ่มต้นเป็นศูนย์โดยการใช้ น้ำกลั่น จากนั้นเช็ดน้ำกลั่นให้แห้ง
- 3.2 นำตัวอย่างมาวัดค่า Total Soluble Solid
- 3.3 เมื่อวัดเสร็จใช้น้ำกลั่นล้างออก เช็ดให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวัดค่า Total Solid (TS) โดยใช้วิธี (A.O.A.C. 1994)

- 4.1 อบ Aluminium can ที่ 98-102 ° ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใส่ใน Desicator ให้เย็น
- 4.2 นำไปชั่งให้ได้น้ำหนักคงที่ที่แน่นอน
- 4.3 เติมตัวอย่างที่เตรียม 2.5-3.0 กรัม นำไปประเหยใน Water bath 30 นาที โดยไม่ต้องปิดฝา
- 4.4 นำไปอบใน hot air oven ที่ 98-102 ° ซ 3 ชั่วโมง ใส่ใน Desicator ให้เย็นนำไปชั่งให้ได้น้ำหนักคงที่ที่แน่นอน

น้ำหนักที่แน่นอน

จากสูตร

$$\%TS = \frac{\text{น้ำหนักของกากที่เหลือ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์ไขมันในไอศกรีม โดยใช้เครื่อง Oil content analyzer ยี่ห้อ Horiba รุ่น OCMA-350

- 5.1 เทตัวอย่างลงใน cylinder ปริมาณ 50 มล.
- 5.2 นำตัวอย่างมาเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCL) กับ น้ำในอัตราส่วน 1:1 จนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า
- 5.3 เทส่วนผสมที่ได้ลงในกรวยแยก (Separating funnel)
- 5.4 เติม Tetrachloroethylene 25 มล. ลงในกรวยแยก
- 5.5 เขย่าอย่างแรงให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น
- 5.6 โขแยกชั้นของตัวทำละลายออกมา กรองผ่านกระดาษกรองที่มี Sodium sulfate อยู่ภายใน
- 5.6 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 5.4-5.6
- 5.7 ปรับปริมาตรของสารละลายที่กรองได้ให้เป็น 100 มล. ด้วย Tetrachloroethylene
- 5.8 นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 3,200-2,700 เซนติเมตร⁻⁴ (cm⁻⁴)
- 5.8 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน
- 5.9 คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ได้

จากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} \times 128.27}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}} \times 10,000$$

6. การตรวจสอบความฟูของไอศกรีม

คิด โดยปริมาตร

6.1 นำไอศกรีมตัวอย่างมาตวงใส่กระบอกตวงขนาด 50 ml ประมาณ 20 ml จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ไอศกรีมละลาย อ่านปริมาตรส่วนผสมที่ได้(เฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวเท่านั้น) นำมาคำนวณค่าความฟูได้จากสูตร

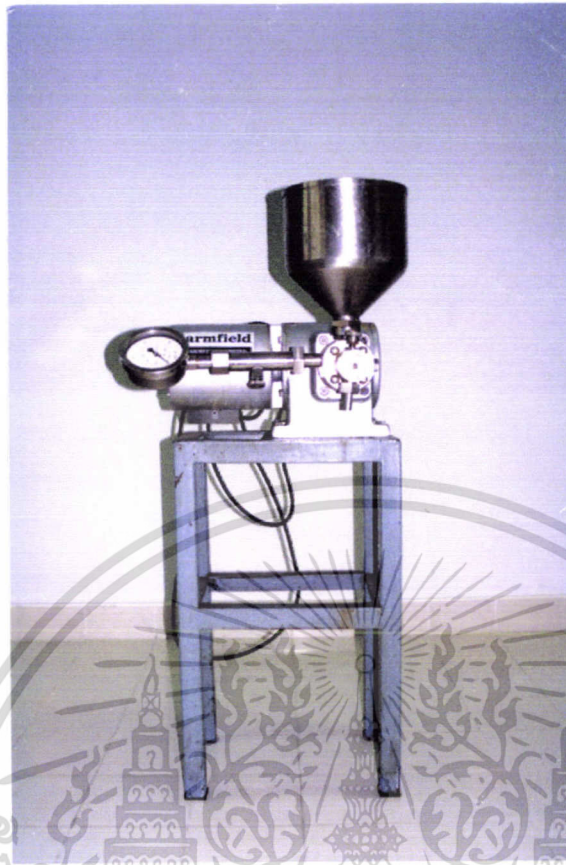
$$\% \text{ ความฟู} = \frac{\text{ปริมาตรไอศกรีม} - \text{ปริมาตรส่วนผสม} \times 100}{\text{ปริมาตรไอศกรีม}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

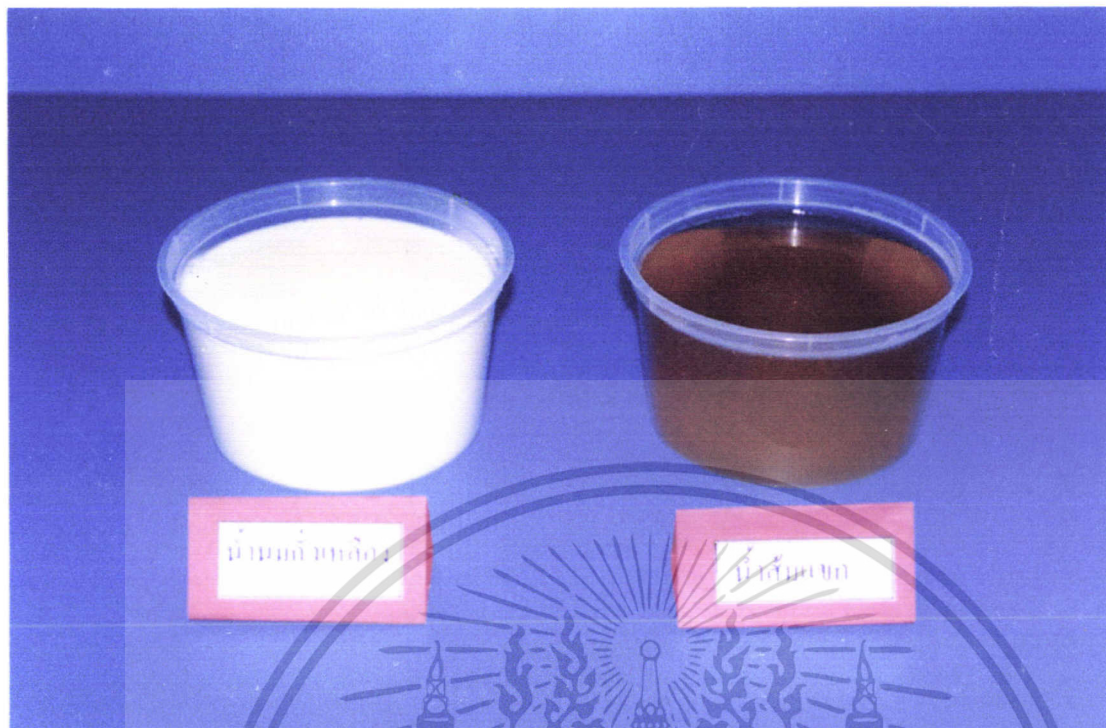


ภาพที่ ค-1 แสดงภาพเครื่องโฮโมจีไนส์



ภาพที่ ค-2 แสดงภาพเครื่องปั่นไอศกรีมยี่ห้อ Cattabriga

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค-3 แสดงภาพน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำส้มแขก

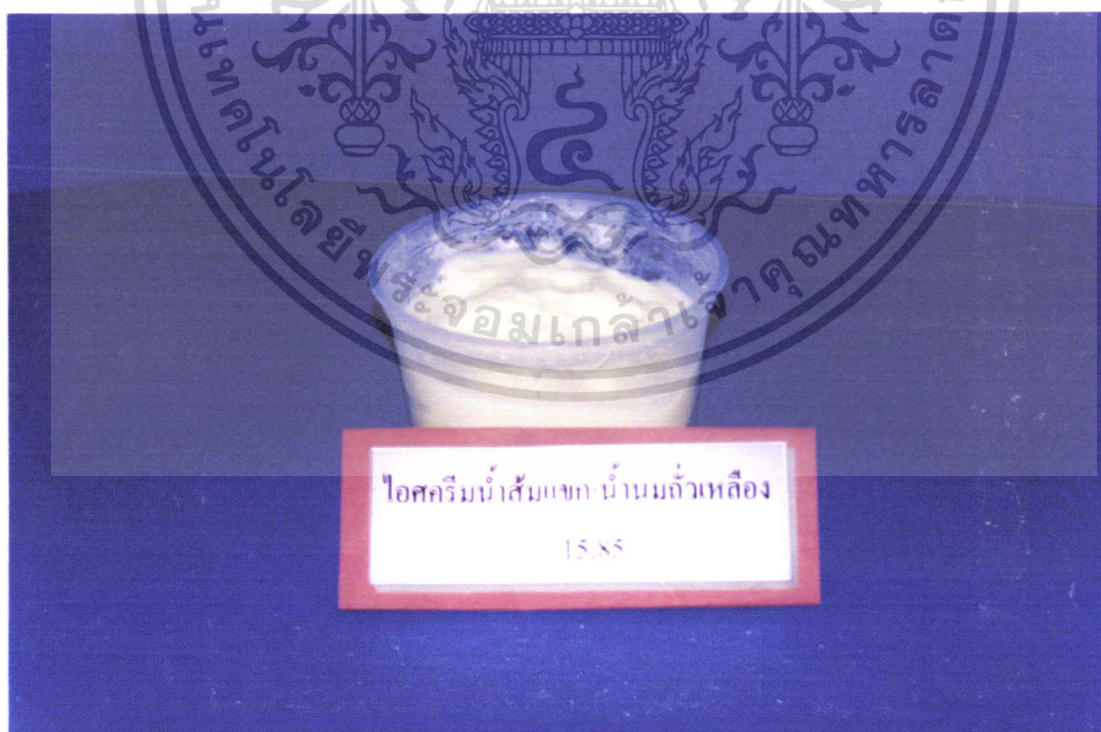


ภาพที่ ค-4 แสดงภาพน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำส้มแขกที่อัตราส่วนต่างๆ

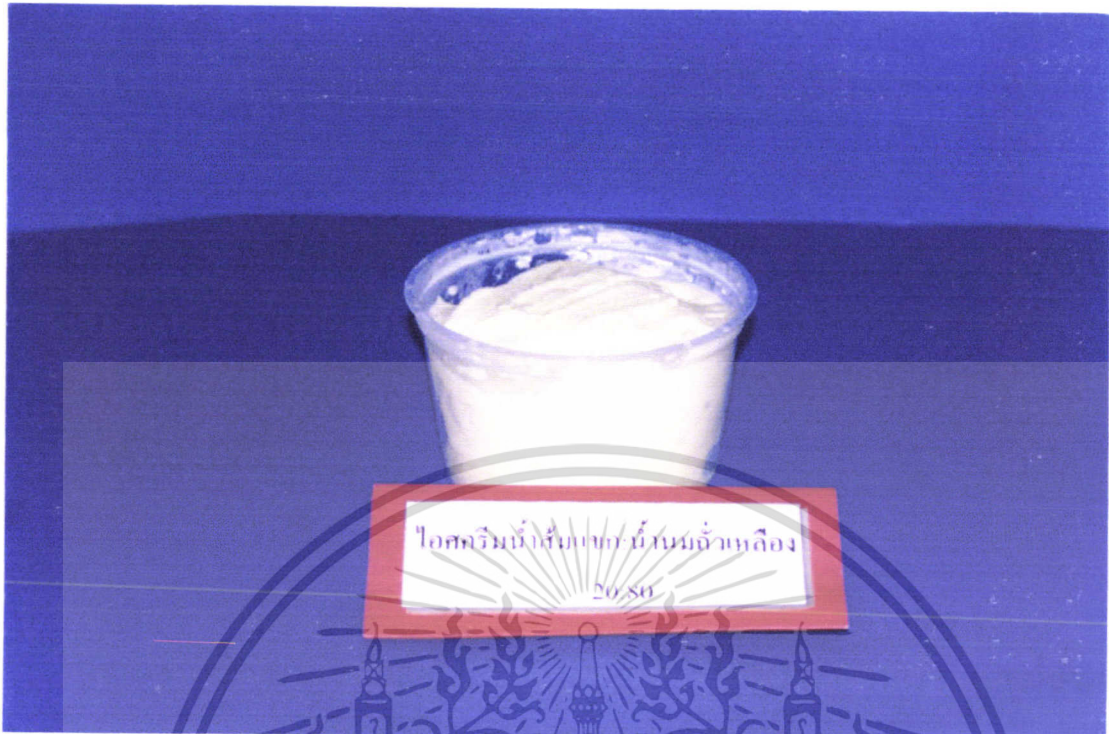
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค-5 แสดงภาพไอศกรีมเมื่อใช้ CMC และ Sodium alginate เป็น Thickener



ภาพที่ ค-6 แสดงภาพไอศกรีมน้ำส้มแขกผสมน้ำนมถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 15:85 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

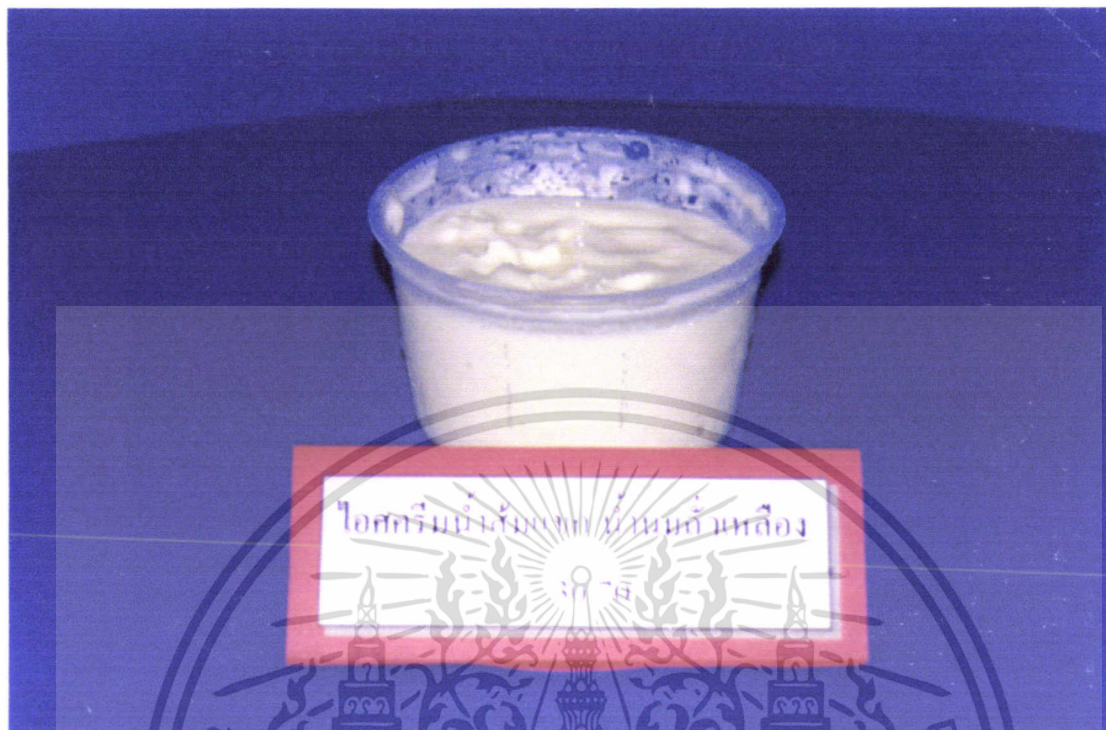


ภาพที่ ก-7 แสดงภาพไอศกรีมน้ำส้มแขกผสมนมนมจืดเหลือที่อัตราส่วน 20:80

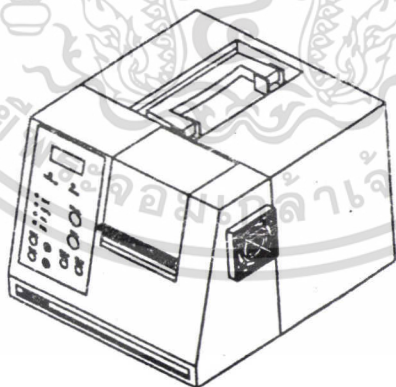


ภาพที่ ก-8 แสดงภาพไอศกรีมน้ำส้มแขกผสมนมนมจืดเหลือที่อัตราส่วน 25:75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

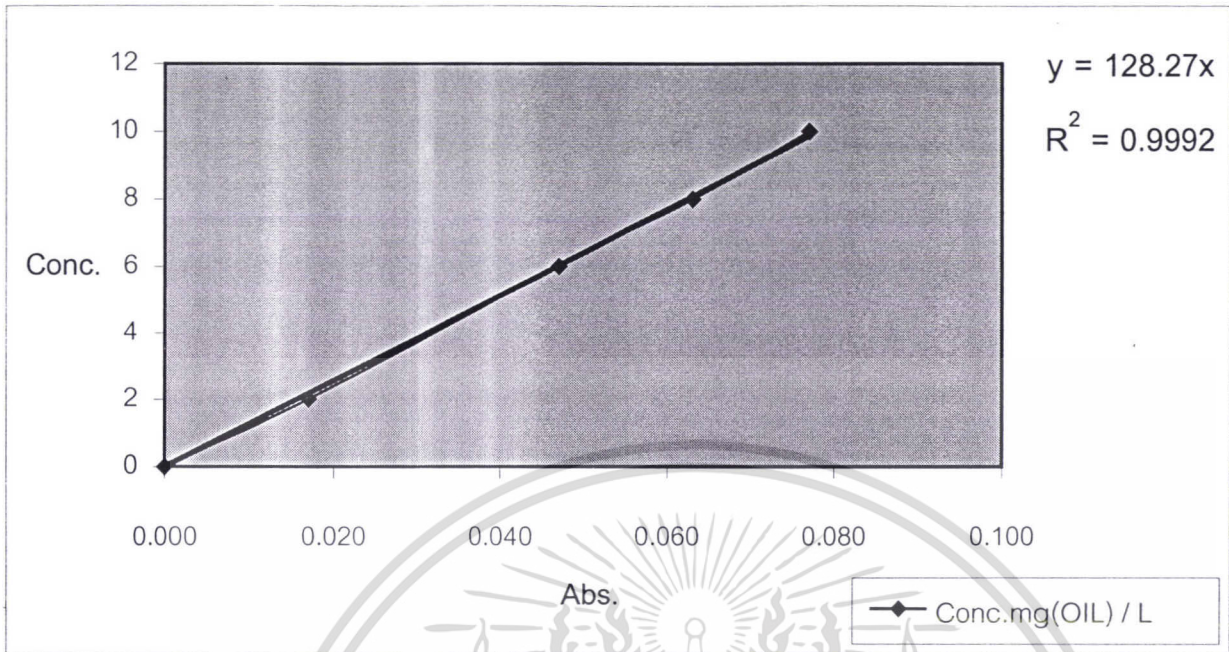


ภาพที่ ค-9 แสดงภาพไอศกรีมน้ำส้มแขกผสมน้ำมันถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 30:70



ภาพที่ ค-10 เครื่อง Oil Content Analyzer ยี่ห้อ Horiba รุ่น OCMA-350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค-11 แสดงภาพกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้