บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไอศกรีมคืออะไร

ไอศกรีม หมายถึง ผลิตภัณฑ์นมแช่เยือกแข็งที่ผลิตจากการแช่เยือกแข็งส่วนผสมที่นำไปปั่นเพื่อรวมตัวกับอากาศและได้ลักษณะที่คงตัว ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์นม (ไขมันนม) น้ำตาล น้ำเชื่อม น้ำ สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ รวมถึงไข่ ผลิตภัณฑ์จากไข่ สี กลิ่นรสที่ปลอดภัย (Arbuckle, 1986; นันทินา, 2544) โดยปรกติจะแบ่งประเภทของไอศกรีมเป็นไอศกรีมพรีเมี่ยม และสูตรมาตรฐาน ซึ่งไอศกรีมพรีเมี่ยมจะผลิตจากวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูง และมีปริมาณของไขมันนมอยู่สูงคือประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอากาศน้อย ในขณะที่ไอศกรีมสูตรมาตรฐานจะผลิตจากวัตถุดิบที่มีราคาถูกเช่น ไขมันจากพืชมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณอากาศที่มากกว่า (Clarke, 2004) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข(ฉบับที่ 222)พ.ศ.2544 เรื่อง ไอศกรีม แบ่งไอศกรีมออกเป็น 5 ชนิด คือ (1) ไอศกรีมนม ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้นมหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม (2) ไอศกรีมดัดแปลง คือ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้ไขมันชนิดอื่นแทนมันเนยทั้งหมด หรือแต่บางส่วนหรืออาจทำจากวัตถุดิบอื่นที่ตามธรรมชาติมีไขมันอยู่แต่ไม่ใช่ นม เช่น ไอศกรีมที่ผสมน้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันมะพร้าว ไอศกรีมกะทิ เป็นต้น(3)ไอศกรีมผสม คือ ไอศกรีมนมหรือไอศกรีมดัดแปลงที่มีการผสมน้ำผลไม้ เนื้อผลไม้ ถั่ว ช็อกโกแลต และส่วนผสมอื่นๆ (4) ไอศกรีมชนิดผงหรือเหลวนั้น เป็นส่วนผสมของสิ่งที่ต้องใช้ในการทำไอศกรีมชนิดต่างๆ ที่กล่าวมาโดยจำหน่ายในรูปของผง ซึ่งต้องนำไปเติมน้ำตามสัดส่วนที่กำหนด แล้วนำไปปั่นทำให้แข็งหรือแช่เย็นให้แข็งก่อนนำไปบริโภค หรืออาจจำหน่ายในรูปของเหลว ซึ่งนำไปปั่นหรือแช่แข็งได้เลย ไอศกรีมชนิดนี้อาจเรียกว่า กึ่งสำเร็จรูป(5) ไอศกรีมหวานเย็น เป็นไอศกรีมที่ไม่มีส่วนผสมของนม ซึ่งทำจากน้ำตาล แล้วเติมสี กลิ่น รส หรือน้ำผลไม้ โรงงานไอศกรีมส่วนใหญ่ในบ้านเรามักผลิตไอศกรีมทั้ง 5 ประเภทจำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตและอุปกรณ์การผลิตคล้ายคลึงกันในขณะที่ The International Ice Cream Association ได้เสนอมาตรฐานไอศกรีมและผลิตภัณฑ์อื่นที่เกี่ยวข้องต่อ FDA ไว้ดังนี้คือ ผลิตภัณฑ์ลดไขมัน (reduced fat) ให้มีไขมันร้อยละ 2-7 ผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ (low fat) มีไขมันร้อยละ 0.5-2 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีไขมัน(fat free) ต้องไขมันน้อยกว่าร้อยละ 0.05 ซึ่งไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคอย่างหลากหลายอีกทั้งตลาดไอศกรีมก็เป็นตลาดที่มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและมีผลกำไรสูง ราคา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้นทุนของส่วนผสมต่าง ๆ ไม่สูงมากนัก โดยแนวโน้มของการปรับตัวของตลาดไอศกรีมโลกน่าจะไปยังทิศทางหลักที่สำคัญ เช่น การปรับยกคุณภาพหรือมูลค่าเพิ่มของไอศกรีม ด้วยการริเริ่มรสชาติไอศกรีมที่แปลกใหม่ไม่ซ้ำกับรสชาติแบบเดิมๆการปรับปรุงรูปแบบของหีบห่อให้สะดวกในการรับประทาน แม้แต่ระดับราคาขายต่อหน่วยแล้วมูลค่าเพิ่มจากความแปลกใหม่กลับมีความสำคัญเพื่อทำให้ผู้บริโภคมั่นใจว่าสิ่งที่ได้บริโภคจากส่วนประสมในไอศกรีมนั้นไม่มีผลเสียต่อสุขภาพ (ผู้จัดการรายสัปดาห์, 2550) ในช่วงฤดูร้อนไอศกรีมเป็นหนึ่งในบรรดาสินค้ายอดฮิตที่มียอดจำหน่ายสูงในช่วงนี้ คาดว่ามูลค่าของตลาดไอศกรีมจะขยายตัวอย่างต่อเนื่อง และการแข่งขันในตลาดไอศกรีมมีความเข้มข้นอย่างมาก เนื่องจากบรรดาผู้ประกอบการในธุรกิจนี้ต่างปรับกลยุทธ์เพื่อแย่งชิงส่วนแบ่งตลาด ไม่ว่าจะเป็นการสร้างนวัตกรรมด้านผลิตภัณฑ์ การสร้างตราสินค้า และการขยายช่องทางการจำหน่ายสินค้า ในช่วงระยะ 2-3 ปีที่ผ่านมาอัตราการขยายตัวของการส่งออกไอศกรีมเติบโตในลักษณะก้าวกระโดด เมื่อเทียบกับในช่วงที่ผ่านมา ซึ่งคาดการณ์ว่าการส่งออกไอศกรีมจะยังเติบโตอย่างต่อเนื่อง อัตราการบริโภคไอศกรีมในประเทศไทยมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอัตราการบริโภคไอศกรีมเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 5.0 ต่อปี ซึ่งอัตราการบริโภคไอศกรีมต่อประชากรของไทยอยู่ในเกณฑ์ต่ำเมื่อเทียบกับประเทศเพื่อนบ้านอย่างมาเลเซียที่มีอัตราการบริโภค 3 ลิตรต่อคนต่อปี ญี่ปุ่น 7 ลิตรต่อคนต่อปี และเมื่อยังต่ำมากเมื่อเทียบกับประเทศต่างๆในซีกโลกตะวันตก แม้ว่าในประเทศไทยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีสูงกว่า โดยเฉพาะในสหรัฐฯและออสเตรเลีย ซึ่งมีอัตราการบริโภคไอศกรีมมากเป็นอันดับหนึ่งและอันดับสองของโลก(สหรัฐฯ 24 ลิตรต่อคนต่อปี และออสเตรเลีย 18 ลิตรต่อคนต่อปี) อย่างไรก็ตามการบริโภคไอศกรีมของคนไทยจะสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อน การแข่งขันจะอยู่ที่การแย่งชิงพื้นที่ในแต่ละจุด เพื่อให้เข้าถึงผู้บริโภคให้มากที่สุดสามารถขยายขอบเขตการค้าได้อย่างครอบคลุมและทั่วถึง นอกจากนี้การมีฐานการผลิตในประเทศจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ โดยแบ่งตลาดดังนี้

1.ไอศกรีมพรีเมี่ยม มูลค่าตลาดประมาณ 1,200 ล้านบาท อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 10.0 กลุ่มลูกค้าเป้าหมายส่วนใหญ่เป็นชาวต่างประเทศ และลูกค้าในประเทศที่นิยมไอศกรีมจากต่างประเทศปัจจุบันจำนวนผู้ประกอบการในกลุ่มนี้เริ่มมีจำนวนมากขึ้น โดยจะสังเกตได้จากมีไอศกรีมยี่ห้อที่มีชื่อเสียงหลายยี่ห้อเข้ามาเปิดสาขาในประเทศไทย นอกจากนี้เริ่มมีผู้ประกอบการไทยเปิดสาขาไอศกรีมประเภทโฮมเมดจำหน่ายมากขึ้น

2.ไอศกรีมระดับกลาง มีอัตราการขยายตัวร้อยละ 3-5 แม้ว่าอัตราการขยายตัวของมูลค่าจะไม่สูง แต่ไอศกรีมระดับกลางนี้มีสัดส่วนตลาดมากที่สุดในบรรดาตลาดไอศกรีมทั้งหมด นอกจากนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธุรกิจอาหารฟาสต์ฟู้ดส์บางรายเริ่มหันมาใช้ไอศกรีมซอฟท์เสิร์ฟท์หรือไอศกรีมนมบรรจุโคนเป็นสินค้าที่จะดึงให้ผู้บริโภคเข้ามาใช้บริการในร้านเพิ่มขึ้น

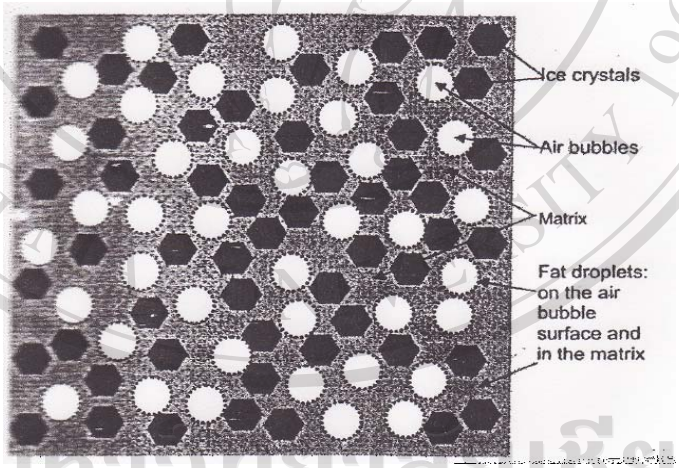
3.ไอศกรีมระดับล่าง มีมูลค่าตลาดประมาณ 900 ล้าน ไอศกรีมตลาดล่างต้องเผชิญกับปัญหาเมื่อทางกระทรวงสาธารณสุขเริ่มเข้มงวดมากขึ้นในเรื่องคุณภาพของไอศกรีม กล่าวคือทางกระทรวงสาธารณสุขออก ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 222 ในวันที่ 24 กรกฎาคม 2544 ซึ่งเป็นการกำหนดมาตรฐานการผลิตไอศกรีมตามประเภทไอศกรีมแต่ละชนิด ทั้งในเรื่องวิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษา ซึ่งเป็นผลให้ทางผู้ประกอบการไอศกรีมระดับล่างต้องมีการปรับตัวอย่างมากเพื่อประคองตัวให้อยู่รอดท่ามกลางการแข่งขันที่รุนแรง

ส่วนในตลาดส่งออกนั้นไทยมีปัจจัยเกื้อหนุนหลายประการในการที่จะก้าวขึ้นไปเป็นศูนย์กลางการผลิตไอศกรีมในภูมิภาคนี้ในอนาคต เนื่องจากมีกำลังการผลิตที่เพียงพอ มีวัตถุดิบหลากหลาย ต้นทุนการผลิตอยู่ในเกณฑ์ต่ำ รวมทั้งประเทศในแถบนี้ยังมีความต้องการบริโภคไอศกรีมเพิ่มขึ้น ซึ่งเท่ากับว่ามีตลาดรองรับอยู่แล้ว ทำให้มีนักลงทุนต่างประเทศสนใจเข้ามาลงทุนตั้งโรงงานผลิตไอศกรีมในประเทศไทย และใช้ไทยเป็นฐานในการผลิตเพื่อส่งออกไปยังประเทศต่างๆในภูมิภาคนี้ (กรมศุลกากร, 2549) และในปัจจุบันอาหารไขมันต่ำ หรือปราศจากไขมันกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันการนิยมบริโภคไอศกรีมลดไขมัน (reduced fat ice cream) และไอศกรีมที่มีไขมันไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของไอศกรีมสูตรมาตรฐาน (light ice cream) (Marshall และ Arbuckle, 1996) เพิ่มขึ้น ทำให้แนวโน้มการขยายตัวทางการตลาดเพิ่มขึ้น 5.7 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต เชอร์เบท และเชอร์เบ ซึ่งเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นถึงนิยมการบริโภคไอศกรีมลดไขมันที่สูงขึ้น และเนื่องจากพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนไป อีกทั้งกำลังซื้อของผู้บริโภคที่สูงขึ้น ประกอบดับผู้บริโภคให้ความสนใจต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น ต้องการควบคุมน้ำหนัก และลดความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วย โดยเฉพาะกระแสการบริโภคนิยมอาหารประเภทให้พลังงานต่ำ และอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตต่ำ เนื่องจากผู้บริโภคมีแนวโน้มเป็นโรคอ้วน โรคหัวใจ โรคความดันโลหิต และโรคมะเร็งมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งโรคเหล่านี้ไม่ได้เกิดจากการติดต่อ แต่เชื่อว่าสาเหตุใหญ่มาจากการบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลและไขมันสูง ในขณะเดียวกันตลาดก็ให้ความสำคัญกับเรื่องผลของไขมันและสารให้ความหวานพลังงานสูง ต่อสุขภาพของผู้บริโภค จึงเป็นเหตุให้การแข่งขันการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารไขมันต่ำหรืออาหารลดพลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้ตลาดไอศกรีมไขมันต่ำ และไอศกรีมลดพลังงาน หรือปราศจากน้ำตาลมีศักยภาพในการเติบโตสูงมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 โครงสร้างของไอศกรีม

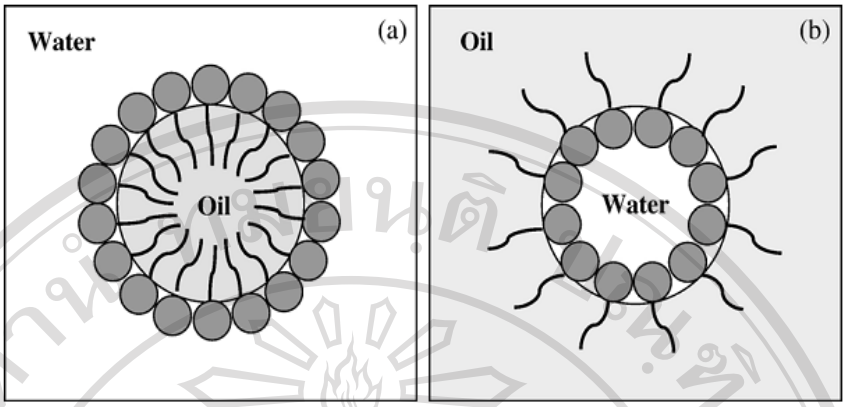
โครงสร้างของไอศกรีมเป็นระบบเคมีกายภาพ(physicochemical system) ที่ซับซ้อน ไอศกรีมมีลักษณะเป็นอิมัลชัน(Emulsion) แบบไขมันกระจายตัวอยู่ในน้ำ (Oil in water Emulsion) ส่วนผสมทั้งหมดจะทำให้เกิดโครงสร้างของไอครีมในระหว่างกระบวนการแช่แข็ง จะเกิดโครงสร้างที่เรียกว่าโฟมเกิดขึ้นซึ่งเป็นโครงสร้างของฟองอากาศ โดยบริเวณผิวจะมีชั้นของไขมันบางๆ เกาะติดอยู่โดยรอบซึ่งเป็นมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของไอครีม โครงสร้างภายในประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ ของแข็ง ของเหลว และอากาศ อยู่รวมกัน 3 วัฏภาค เรียกว่า Three-Phase System โดยที่ฟองอากาศกระจายตัว อยู่ในส่วนของของเหลวล้อมรอบผลึกน้ำแข็ง ซึ่งจากกระบวนการและวัตถุดิบข้างต้นทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีองค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วย ผลึกน้ำแข็ง , ฟองอากาศ และเม็ดไขมัน ที่มีขนาดตั้งแต่ 1 μm ถึง 0.1 mm และยังประกอบด้วย สารละลายที่มีความหนืดสูงของสารให้ความหวาน, polysaccharides และโปรตีนนม ซึ่งเรียกรวมกันว่าเป็น matrix (Clarke, 2004)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างภายในของไอศกรีม
ที่มา : Clarke, 2004

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างของไอศกรีมดังกล่าวส่งผลให้ไอศกรีมมีลักษณะปรากฏที่ดี มีความแห้ง ให้ความรู้สึกทางปาก (mouthfeel) ที่ดี และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระหว่างการเก็บรักษาซึ่งเรียกลักษณะการคงตัวนี้ว่า การคงตัวของรูปร่าง (shape retention)



ภาพที่ 2.2 ภาพจำลองอิมัลชั่นในอาหาร: (a) oil-in-water emulsion และ(b) water-in-oil emulsion.

ที่มา : Shane *et al*., 2006

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบโครงสร้างไอศกรีมที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส

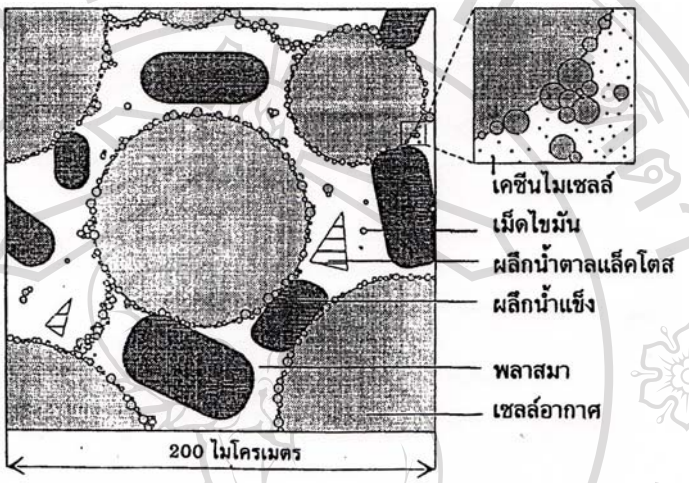
โครงสร้างพื้นฐานสำคัญ	ขนาดเฉลี่ย (ไมโครเมตร)
ผลึกน้ำแข็ง	50.0
ฟองอากาศ	100.0
เม็ดไขมัน	0.6
กลุ่มของเม็ดไขมัน	3.0
ผลึกน้ำตาลแล็กโตส	15.0

ที่มา : Walstra และ Jonkman, 1998; นันทินา, 2544

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับโครงสร้างของส่วนผสมไอศกรีมประกอบด้วยอนุภาคเม็ดไขมันที่เป็นผลึกบางส่วน (partially crystalline fat globules) เคซีนไมเซลล์ที่กระจายตัวอยู่ในส่วนของของเหลวหรือสารละลายของน้ำตาล เกลือ เวย์โปรตีน และสารให้ความคงตัว และบนผิวของเม็ดไขมันจะมีบางส่วนของเคซีนไมเซลล์ เวย์โปรตีน และอิมัลซิไฟเออร์ถูกดูดซับอยู่ เซลล์อากาศที่มีขนาดเล็กจะถูกรอบด้วยชั้นของผลึกไขมัน เซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสคล้ายเกร็ดหิมะ ขณะที่เซลล์อากาศขนาดเล็กจะให้เนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน ไอศครีมโดยทั่วไปจะมีอากาศ 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรไอศกรีมทั้งหมด ส่วนปริมาตรน้ำที่กลายเป็นน้ำแข็งในไอศกรีมจะแตกต่าง

กันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยเฉลี่ยผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดประมาณ 40-50 ไมครอน ขนาดผลึกน้ำแข็งมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมด้วย กล่าวคือ ไอศกรีมที่ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่า 50 ไมครอน จะทำให้ได้เนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน แต่ถ้าขนาดใหญ่กว่า 50 ไมครอนจะได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสหยาบ ไม่น่ารับประทาน



ภาพที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของไอศกรีมที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส
ที่มา : Walstra และ Jonkman, 1998; นันทินา, 2544

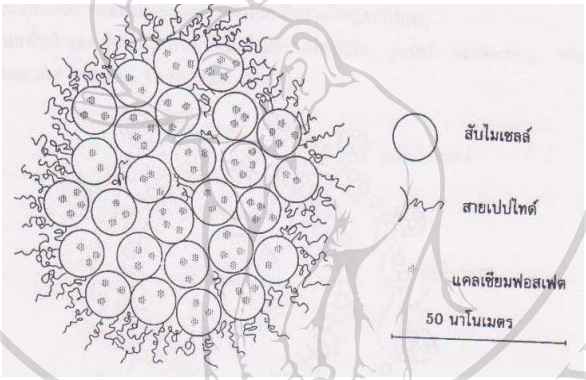
จากภาพที่ 2.3 จะเห็นว่า เม็ดไขมันบางส่วนจะเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่ม (clump) ซึ่งส่งผลต่อความคงตัวของรูปร่าง และความแห้งที่เกิดขึ้นในไอศกรีม

2.2.1 การเกิดโครงสร้างของไขมัน

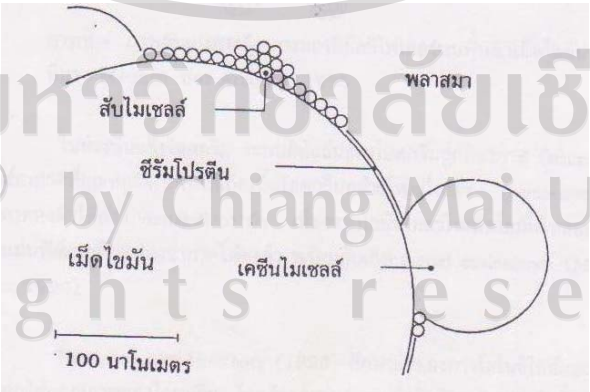
การโฮโมจิไนส์เป็นกระบวนการที่มีผลต่อโครงสร้างของไขมันในไอศกรีมเหลวหลังจากผ่านกระบวนการนี้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง ทำให้เพิ่มปริมาตรพื้นผิวของเม็ดไขมันและจับกันเป็นกลุ่ม (cluster) ซึ่งส่งผลต่อความเรียบเนียนและความแห้งของเนื้อไอศกรีมที่ได้ พื้นผิวของเม็ดไขมันที่เกิดขึ้นใหม่ในครั้งนี้พร้อมที่จะยึดเกาะกับโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (surfactant) จากไอศกรีมเหลวซึ่งได้แก่ เคซีน เวย์โปรตีน ฟอสโฟไลปิด ไลโพโปรตีน และอิมัลซิไฟเออร์ชนิดต่าง ๆ ที่มีในส่วนผสม พื้นผิวของเม็ดไขมันนี้จะพัฒนาโครงสร้างต่อในขั้นตอนการบ่ม และการจัดเรียงตัวอีกครั้งจนกระทั่งระดับพลังงาน (energy stage) ที่ได้รับลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนของนมซึ่งอยู่ในรูปของเคซีนไมเซลล์มีอยู่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยแคลเซียมฟอสเฟต และน้ำปริมาณมาก ซึ่งสามารถคงรูปอยู่ได้โดยไม่ตกตะกอนด้วยลักษณะ hairy layer หลังการโฮโมจีไนส์ส่วนผสม เคซีนจะไปยึดเกาะบนผิวเม็ดไขมัน แต่เนื่องจากเคซีนไมเซลล์มีคุณสมบัติทนความร้อนและไม่ละลายที่ไอโซอิเลคทริคพอยท์ และโปรตีนนมประกอบด้วยซีรัมโปรตีน (serum protein) ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้และถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ส่วนที่ละลายได้ในไอศกรีม (aqueous phase) มีปริมาณน้ำน้อยกว่าปริมาณน้ำในนม จึงเกิดการสร้างขนาดของเคซีนไมเซลล์ที่ใหญ่ขึ้น อุณหภูมิต่ำทำให้แคลเซียมฟอสเฟตและเคซีนไมเซลล์ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ของเคซีนไมเซลล์ในไอศกรีมจึงไม่ดีเท่ากับโปรตีนชนิดอื่นในนม



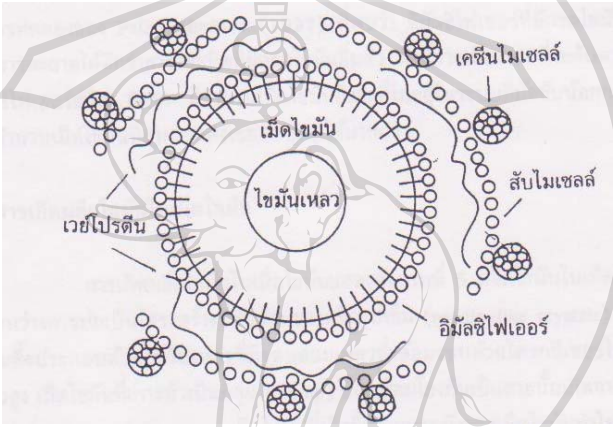
ภาพที่ 2.4 ภาพจำลองของเคซีนไมเซลล์
ที่มา : Walstra และ Jonkman, 1998; นันทินา, 2544



ภาพที่ 2.5 พื้นผิวของเม็ดไขมันที่ยึดเกาะด้วยโปรตีนหลังจากผ่านการโฮโมจีไนส์
ที่มา : Walstra และ Jonkman, 1998; นันทินา, 2544

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พื้นผิวบนเม็ดไขมันที่เกิดขึ้นจะขัดขวางการเกิด partial coalescence ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างไอศกรีม อย่างไรก็ตามการเติมอิมัลซิไฟเออร์ในไอศกรีมเป็นผลให้อิมัลซิไฟเออร์ไปยึดบนพื้นผิวเม็ดไขมันซึ่งสามารถลดแรงตึงผิว (interfacial tension) ระหว่างไขมันและน้ำได้มากกว่าโปรตีน เกิดลักษณะอิมัลชันที่ดีมีพลังงานต่ำส่งผลให้เกิด destabilized fat ได้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนโดยเฉพาะเคซีนมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ เมื่อยึดเกาะบนผิวของเม็ดไขมันทำให้เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่เกิด partial coalescence ได้น้อยลง (Walstra และ Jonkman, 1998 ; นันทินา, 2544)



ภาพที่ 2.6 ภาพจำลองการยึดเกาะของอิมัลซิไฟเออร์บนพื้นผิวเม็ดไขมัน
ที่มา : Marshall และ Arbuckle (1996); นันทินา, 2544

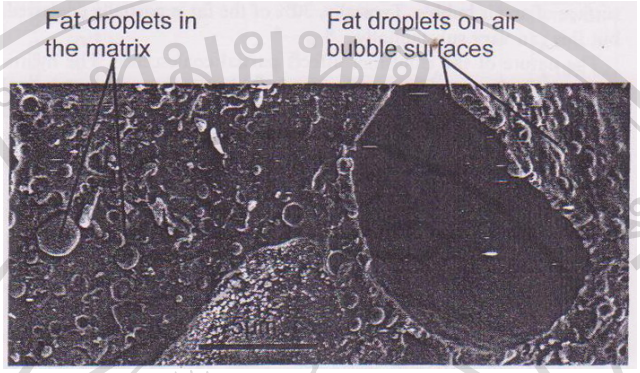
ในช่วงปั่นแข็งไอศกรีม ระบบอิมัลชันของไอศกรีมถูกตีอากาศ (whipping) เข้าไปเป็นเซลล์อากาศที่อุณหภูมิต่ำเพื่อให้เกิดเนื้อไอศกรีมคล้ายโฟมกึ่งแข็ง (semi-frozen foam) เซลล์อากาศคงตัวได้ด้วย destabilized fat เนื่องจากไขมันเหลวในเม็ดไขมันไหลออกมารวมกันเกิดเป็นฟิล์มเคลือบฟองอากาศให้คงตัว พร้อมกับเกิด partial coalescence (Marshall และ Arbuckle, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 การเกิดผลึกไขมันในเม็ดไขมัน

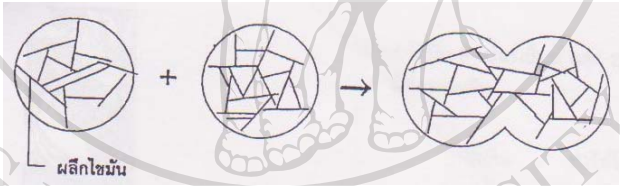
การเกิดผลึกไขมันในเม็ดไขมันแสดงดังภาพที่ 2.8 ผลึกไขมันในเม็ดไขมันซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการบ่มเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนของผลึกรูปเข็ม (needle-like crystals) ภายในเม็ดไขมันซึ่งประกอบด้วยไขมันเหลวที่มีจุดหลอมเหลวต่ำล้อมรอบด้วยไตรกลีเซอร์ไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง เม็ดไขมันที่เกาะตัวเป็นกลุ่ม (clump) และเชื่อมโยงกันเป็นสายนั้นเกิดจากกระบวนการที่เรียกว่า

partial coalescence ผลึกไขมันที่เกิดขึ้นจะแทงผนังเม็ดไขมันทำให้ไขมันเหลวไหลออกมาเกิดเป็นฟิมล์เชื่อมระหว่างเม็ดไขมันที่อยู่ใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนของเม็ดไขมันที่อยู่ใน metrix และบนพื้นผิวของฟองอากาศ

ที่มา : Clarke, 2004



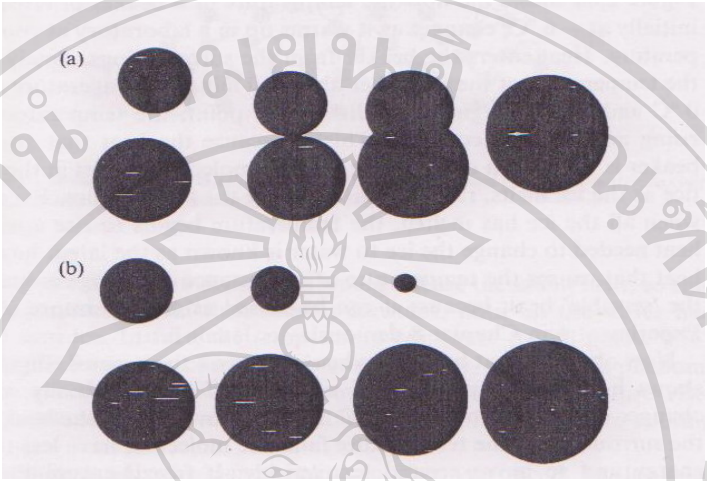
ภาพที่ 2.8 ภาพจำลองการเกิด partial coalescence ของเม็ดไขมัน

ที่มา : Walstra และ Jonkman, 1998; นันทินา, 2544

จำนวนผลึกไขมันภายในเม็ดไขมันมีความจำเป็นต่อการเกิด destabilized fat ถ้าจำนวนผลึกที่เกิดขึ้นมีน้อยความสามารถในการเก็บเซลล์อากาศจะลดลง การบ่มไอศกรีมเหลวเป็นเวลานานขึ้นสามารถเพิ่มจำนวนผลึกไขมันภายในเม็ดไขมันได้ หลังจากบ่มไอศกรีมเหลวและนำไปผ่านกระบวนการตีอากาศเข้าไป เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นสามารถเคลื่อนที่เชื่อมกันเกิดเป็นเซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง (freezing) นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บไอศกรีม เซลล์อากาศอาจเกิดกระบวนการที่เรียกกว่า Osward ripening ได้ เนื่องจากแรงดันภายในเซลล์อากาศมีมากกว่าแรงดันภายนอก และเซลล์อากาศขนาดเล็กมีแรงดันมากกว่าเซลล์อากาศขนาดใหญ่ เป็นเหตุให้เซลล์อากาศขนาดเล็กหายไปในขณะที่เซลล์อากาศขนาดใหญ่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบ แต่กระบวนการนี้สามารถป้องกันได้โดยการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หุ้มผนังของเซลล์อากาศให้มีความหนาด้วยชั้นของเม็ดไขมัน และเก็บรักษาไอศกรีมที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส เพื่อให้เนื้อไอศกรีมแข็งตัวทั้งหมด (Walstra และ Jonkman, 1998)



ภาพที่ 2.9 (a) Coalescencelaccretion (b) Ostwald ripening/disproportionation

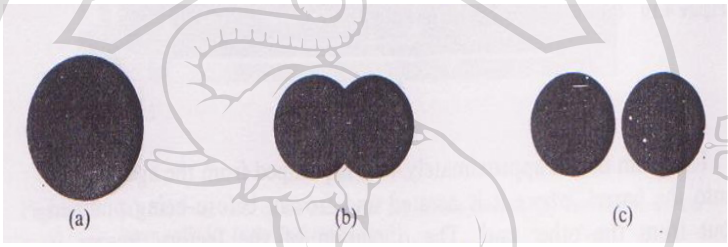
ที่มา : Clarke, 2004

2.2.3 บทบาทการรวมกลุ่มของเม็ดไขมันและโคร่งข่ายของเม็ดไขมัน

การรวมกลุ่มของเม็ดไขมันที่เกิดขึ้นระหว่าง partial coalescence ทำให้เกิด destabilized fat บางส่วนในระบบอิมัลชันของไอศกรีม ลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ไอศกรีมแห้งมีเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของไอศกรีมที่ดี (Goff, 1997) โคร่งข่ายของเม็ดไขมันส่งผลต่อการละลายของไอศกรีม ทำให้โครงสร้างของไอศกรีมเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การแข็งตัวของไอศกรีมมีอิทธิพลมาจากโครงสร้างของผลึกน้ำแข็งภายใต้อุณหภูมิที่เก็บรักษา แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลึกน้ำแข็งไม่สามารถเชื่อมติดกันได้ ดังนั้นโครงข่ายของเม็ดไขมันจึงมีความสำคัญต่อการคงรูปของโครงสร้างไอศกรีมหลังจากผลึกน้ำแข็งละลาย ลักษณะเม็ดไขมันในรูปคอลลอยด์ หรือเม็ดไขมันที่อยู่ในระบบอิมัลชันเป็นตัวกำหนดขอบเขต และอัตราการเกิดโครงข่ายของเม็ดไขมันเป็นผลมาจากแรงผลัก (repulsion force) และแรงดูด (attractive force) ในกระบวนการเกิดการเกาะกลุ่มของเม็ดไขมันถ้าเกาะกันหลวม ๆ หรือเม็ดไขมันที่กลับมาเกาะกลุ่มกันอีกครั้งจะอยู่ในรูป flocculation สามารถกระจายตัวได้เมื่อกวน (Anderson *et al.,* 1994) เป็นผลมาจากสมดุลของแรงผลักและแรงดูดทำให้เม็ดไขมันคงตัวอยู่ในชั้น Secondary minimum

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากไอศกรีมเหลวผ่านการโฮโมจีไนส์แล้วเม็ดไขมันจะอยู่ในรูปของ clustering ซึ่งเป็นการเชื่อมกันของพื้นผิวของเม็ดไขมันที่ล้อมรอบด้วยโปรตีน เช่นเคซีนไมเซลล์ ที่อยู่ใกล้เคียงกัน อาจจับกันอยู่ได้มากกว่า 2 โมเลกุลขึ้นไป ลักษณะการเกาะกลุ่มที่เด่นชัดในไอศกรีมอยู่ในรูปของ partial coalescence หรือ clumping ในขั้นตอนนี้ ฟิล์มที่อยู่ระหว่างเม็ดไขมันที่เชื่อมติดกันจะแตกออก ยกเว้นเม็ดไขมันที่ประสานกันอย่างเต็มที (full coalescence) ซึ่งเกิดจากผลึกไขมันที่อยู่รวมกันจำนวนมากในเม็ดไขมันนั่นเอง ส่วนเม็ดไขมันที่อยู่ในรูป partial coalescence นั้นเกิดจากเม็ดไขมัน 2 โมเลกุลซึ่งเชื่อมกันอยู่ในรูปของคอลลอยด์บริเวณที่ได้รับแรงเฉือน หรือเชื่อมอยู่บริเวณพื้นผิวของเซลล์อากาศ (พัชรินทร์, 2544)



ภาพที่ 2.10 การเกิด coalescence ของเม็ดไขมัน (a) เม็ดไขมันเกิด coalescence อย่างสมบูรณ์ (b) เม็ดไขมันเกิด coalescence บางส่วน (c) เม็ดไขมันไม่เกิด coalescence
ที่มา : Clarke, 2004

2.3 องค์ประกอบของไอศกรีม

ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ วัตถุดิบหลัก เช่นโปรตีนนม, น้ำตาล, ไขมัน และน้ำ วัตถุดิบรอง เช่น สารให้ความคงตัว(stabilizer), อิมัลซิไฟเออร์(emulsifier), สี(colors), สารให้กลิ่นรส และองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น เวเฟอร์, ช็อกโกแลต, ชิ้นผลไม้ และถั่วต่าง ๆ เป็นต้น ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนม และผลิตภัณฑ์นม ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ จะมีคุณค่าทางอาหารสูง ดังนั้นจึงจัดว่าเป็นอาหารที่ให้พลังงานต่อร่างกาย ตารางที่ 2.2 แสดงถึงปริมาณสารอาหารต่าง ๆ พลังงานของไอศกรีมชนิดต่าง ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของไอศกรีมชนิดต่าง ๆ (ต่อ 100 กรัมที่บริโภคได้)

ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	ไอศกรีมมาตรฐาน	ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน			ไอศกรีมนม	ไอศกรีมโคน (Ice cream cones)	หวานเย็น (water ice)
		10%	12%	16%			
น้ำ	61.7	63.2	62.1	62.8	66.7	8.9	66.9
พลังงาน (แคลอรี่)	196.7	193	207	222	152	372	78
โปรตีน	4.1	4.5	4	2.6	4.8	10	0.4
ไขมัน	12	10.6	12.5	16.1	5.1	2.4	trace
คาร์โบไฮเดรต	20.7	20.8	20.6	18	22.4	77.9	32.6
น้ำหนัก (กรัม) ต่อ 100 แคลอรี่	50.8	51.7	48.3	45	65.6	26.5	128.4

ที่มา : Arbuckle, 1986

แต่ละส่วนประกอบในไอศกรีมนั้นมีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความคงตัวของไอศกรีม ซึ่งองค์ประกอบหลัก ๆ คือ ไขมัน 8-20 เปอร์เซ็นต์ ของแข็งไม่รวมไขมัน (milk solid not fat: MSNF) 8-15 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 13-20 เปอร์เซ็นต์ สารให้ความคงตัว-อิมัลซิไฟเออร์ 0.0-0.7 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมด (total solid: TS) 36-43 เปอร์เซ็นต์ (Arbuckle, 1986)

2.3.1 อากาศ (Air)

ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของไอศกรีมซึ่งจะมีผลทั้งต่อลักษณะทางกายภาพและความคงตัวของการเก็บรักษาซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อค่าความแข็ง (hardness) ของไอศกรีม โดยถ้าไอศกรีมไม่มีฟองอากาศจะได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง ซึ่งการเพิ่มค่าโอเวอร์รันให้สูงขึ้นจะทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันต่ำกว่า (Clarke, 2004) โอเวอร์รันจะแสดงออกเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรอากาศที่เพิ่มขึ้นของส่วนผสม การที่ปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากขณะปั่นไอศกรีมมีการผสมอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีม การผสมอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของส่วนผสม หากอากาศมากเกินไป ไอศกรีมจะเบา โปร่งไม่น่ารับประทาน แต่ถ้ามีอากาศน้อยเกินไปเนื้อจะแน่นหรือหนัก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการกำหนดโอเวอรรันเช่น ปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสม ราคาจำหน่ายของไอศกรีม และชนิดของไอศกรีม เป็นต้น การผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอศกรีมมีโอเวอร์รันต่างกันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ย่อมทำให้เกิดความเสียหายโดยเฉพาะเรื่องต้นทุนการผลิต และยังส่งผลต่อการยอมรับและความนิยมของผู้บริโภคด้วย (บุญช่วย, 2547) ซึ่งโอเวอร์รันของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง ดังนี้

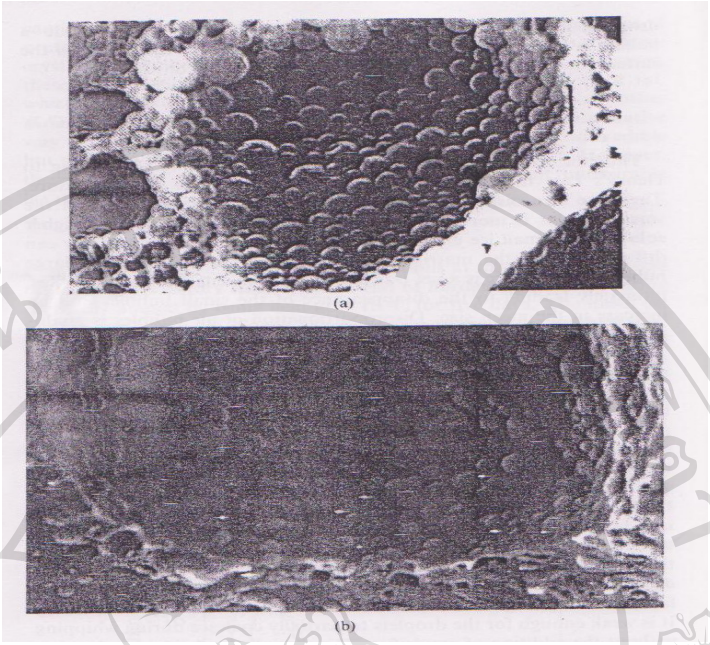
ตารางที่ 2.3 ค่าโอเวอร์รันของผลิตภัณฑ์นมแช่แข็งชนิดต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์	โอเวอร์รัน (เปอร์เซ็นต์)
ไอศกรีม(บรรจุกล่อง)	70-80
ไอศกรีม(ทั่วไป)	90-100
เชอร์เบท	30-40
ไอซ์	25-30
ไอศกรีมชนิดเหลว	30-50
ไอซ์มิลค์	50-80
มิคล์เชค	10-15

ที่มา: บุญช่วย, 2547

การมีผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็ก และ serum phase ที่หนืดจะช่วยให้เซลล์อากาศมีความคงตัวเพิ่มมากขึ้น ช่วยลดอัตราการละลายของไอศกรีม ซึ่งในการผลิตไอศกรีมที่มีคุณภาพสูงจะต้องมีการควบคุมการตีอากาศทำให้ได้ระดับของโอเวอร์รันที่แตกต่างกัน ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญและส่งผลต่อคุณลักษณะของไอศกรีม ดังนั้นควรปรับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และต้องควบคุมการกระจายตัวของขนาดของเซลล์อากาศให้มีความสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ไอศกรีมที่มีคุณภาพที่ดี (Sofjan และ Hartel, 2004) ฟองอากาศมีผลต่อสีและลักษณะปรากฏของไอศกรีมเนื่องจากฟองอากาศจะสะท้อนแสงได้ ดังนั้นไอศกรีมที่มีฟองอากาศมากจะมีสีสว่างกว่าไอศกรีมที่มีฟองอากาศน้อยกว่า นอกจากนี้ขนาดของฟองอากาศมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม ตัวอย่างเช่น ไอศกรีมที่ฟองอากาศขนาดเล็กจะให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า (Clarke, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.11 SEM ของฟองอากาศ ใน a whipped cream b ไอศกรีม (image width 13 μm)
ที่มา : Clarke, 2004

ในไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำ การลดไขมันลงมีผลทำให้มีไขมันไม่เพียงพอที่จะคลุมผิวของฟองอากาศ ทำให้บางส่วนของฟองอากาศจึงถูกปกคลุมด้วยอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งจะทำให้ฟองอากาศมีความคงตัว และเพิ่มความหนืดของ metrix ดังนั้นการเกิด partial coalescence ในไอศกรีมจะช่วยลดการแตกของฟองอากาศหรือช่วยให้โครงร่างขยายออกไปมากขึ้น ความดันมีผลต่อความคงตัวของฟองอากาศ เช่นเดียวกับอุณหภูมิมีผลกับผลึกน้ำแข็ง (Clarke, 2004)

Sofjan และ Hartel (2004) ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงผลของ ค่าโอเวอร์รันต่อโครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีม พบว่า ขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการแช่แข็ง จากนั้นก็จะลดลงในช่วงแรก ๆ ของการเก็บรักษา และจะเพิ่มขนาดขึ้นอย่างมากเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 3 เดือน ซึ่งจะพบว่าไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันต่ำกว่าจะมีค่าความแข็งมากกว่าไอศกรีมที่มีโอเวอร์รันสูงกว่า แต่มีอัตราการละลายที่สูงกว่า ซึ่งการเพิ่มโอเวอร์รันให้สูงขึ้นจะเป็นการลดค่าความแข็งของไอศกรีม และในตัวอย่างที่มีโอเวอร์รันสูงพบว่าในตอนเริ่มต้น เซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากในขณะที่ตีอากาศเข้าไปต้องใช้แรงมาก ซึ่งถ้าฟองอากาศได้รับแรงมากขึ้นฟองอากาศก็จะแตกตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ appearance viscosity ของไอศกรีมที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น และยังส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลงซึ่งจะเป็นผลสัมพันธ์กับการส่งผ่านความร้อนเนื่องจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

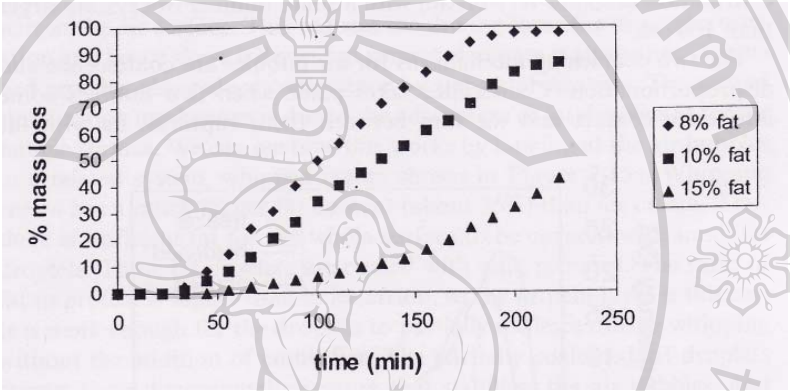
ขณะที่เราใส่อากาศมาก เครื่องก็ต้องทำงานมากทำให้เกิดความร้อนขึ้น และยังเกิดจากผลของ secondary effect ด้วย ซึ่งโครงสร้างของไอศกรีมที่มีโอเวอร์รันเพิ่มขึ้นจะทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมมีความนุ่มขึ้นและมีอัตราการละลายได้ช้าลง เนื่องจากการการเกิด fat destabilization มากกว่าและการมีอากาศมากจะเป็นฉนวนการส่งผ่านความร้อนเกิดได้ช้าลง ซึ่ง เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการปั่นแข็งไอศกรีมสามารถคงรูปอยู่ได้ด้วยการรวมกลุ่มของเม็ดไขมันที่เกิดขึ้นระหว่าง partial coalescence ทำให้เกิด destabilized fat บางส่วนในระบบอิมัลชันของไอศกรีม ลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของไอศกรีมที่ดี แต่ก็พบว่ามีกลไกที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของเซลล์อากาศ คือ disproportionation คือกลไกที่ทำให้ ฟองอากาศ เกิดการแตกตัวและเกิดการรวมตัวกันของ ฟองอากาศ ซึ่งเกิดจาก Laplace pressure ซึ่งฟองอากาศ 2 อันที่มีขนาดแตกต่างกันจึงมีความดันที่ภายในแตกต่างกัน ทำให้เกิดการแพร่ของอากาศผ่านฟิล์มซึ่งฟองอากาศขนาดเล็กจะมีความดันมากกว่า ดังนั้นอากาศจะพยายามแพร่จากที่ที่มีความดันต่ำไปที่ที่มีความดันสูง ทำให้ฟองอากาศเกิดการรวมตัวกัน ซึ่งสามารถควบคุมการเกิด disproportionation ได้โดยการเพิ่มความหนืดของ serum phase, การทำให้ฟิล์มที่อยู่บนพื้นผิวของเซลล์อากาศหนาขึ้น และพบว่าการลดอุณหภูมิจะช่วยลดการเกิด disproportionation ได้ แต่จะส่งผลให้ความดันเปลี่ยนแปลงและทำให้เกิด bimodial distribution ซึ่งจะส่งให้ขนาดในช่วงแรกของการเกิด disproportionation ขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศจะมีขนาดเล็กลง แต่ก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ดังนั้นการเพิ่มความหนืดของ serum phase, การทำให้ฟิล์มที่อยู่บนพื้นผิวของเซลล์อากาศให้มีความหนาขึ้น และการลดอุณหภูมิในการเก็บรักษาให้อยู่ในระดับต่ำ จะช่วยลดการเกิด disproportionation ได้ ซึ่งจะทำไอศกรีมมีคุณลักษณะที่ดี ลดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ได้ และสามารถเก็บรักษาไอศกรีมได้ยาวนานยิ่งขึ้น โดยยังคงคุณภาพที่ดีไว้ได้ไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รัน 80 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการละลาย เร็วกว่าไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รัน 100 และ 120 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากผลของการของการเกิด fat destabilization หรือการมีขนาดของผลึกน้ำแข็งและเซลล์อากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งในไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันสูง จะเกิดแรงมากในขณะที่ตีอากาศทำให้เกิด fat destabilization มากกว่าและการมีอากาศมากจะเป็นฉนวนการส่งผ่านความร้อนเกิดได้ช้าลง ซึ่งอากาศเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 ไขมัน (Fat)

เป็นดัชนีสำคัญที่บอกถึงคุณภาพของไอศกรีม มีบทบาทสำคัญที่จะช่วยทำให้ฟองอากาศมีความคงตัวและยังมีหน้าที่สำคัญอย่างอื่นอีก กล่าวคือ มีผลอย่างมากต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น เนื้อสัมผัส หรือการเคลือบเพดานปากให้ความรู้สึกเรียบเนียนของไอศกรีม ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า

ไอศกรีมพรีเมี่ยมจะมีปริมาณไขมันที่สูงกว่าไอศกรีมทั่วไป และเป็นตัวช่วยทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดี โดยกลิ่นรสบางอย่างสามารถละลายได้ในไขมันแต่ไม่ละลายน้ำ และประการสุดท้ายคือ เม็ดไขมันจะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนผสม ช่วยให้โฟมมีความคงตัวซึ่งมีผลอย่างมากต่อ ลักษณะความเป็นครีมของไอศกรีม และทำให้อัตราการละลายลดลง ดังรูปที่ 2.12 แสดงกราฟอัตราการละลายของไอศกรีมที่มีไขมัน 8, 12 และ 15 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่า ไอศกรีมที่มีไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการละลายเร็วที่สุด และไอศกรีมที่มีไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการละลายช้าที่สุด (Clarke, 2004)



ภาพที่ 2.12 แสดงเส้นกราฟการละลายของไอศกรีมที่มีไขมัน 8, 12 และ 15 เปอร์เซ็นต์
ที่มา : Clarke, 2004

ดังนั้นการเกิดโครงข่ายของเม็ดไขมันในโครงสร้างของไอศกรีมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ ขนาดของเม็ดไขมัน ระดับของไขมันในสูตร ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม และองค์ประกอบบนพื้นผิวของเม็ดไขมัน คุณสมบัติขององค์ประกอบดังกล่าวที่ล้อมรอบเม็ดไขมัน ในการผลิตไอศกรีมจึงจำเป็นต้องเลือกวัตถุดิบในการผลิตที่เหมาะสมเพื่อให้โครงข่ายของเม็ดไขมันที่เกิดขึ้นมีลักษณะดีส่งผลให้ได้ไอศกรีมที่มีลักษณะดีตามต้องการด้วย (Campbell และ Pelan, 1998) ไขมันทำหน้าที่ให้กลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์และเป็นตัวพาสารให้กลิ่นรสที่เติมที่เติมลงไปในไอศกรีม ระหว่างไอศกรีมละลายในปาก ระดับของไขมันมีผลต่อช่วงเวลาการปลดปล่อยกลิ่นรสและระยะเวลาการรับรู้กลิ่นรสของไอศกรีม (พัชรินทร์, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Cheema และ Arora (1991) ผลิตไอศกรีมที่มีส่วนประกอบไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้ไขมันไม่อิ่มตัวจากพืชคือ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำตาลทราย 15 เปอร์เซ็นต์และ milk solid non fat 12 เปอร์เซ็นต์ ใช้สารให้ความคงตัวโซเดียมอัลจิเนต 0.3 เปอร์เซ็นต์, 0.4

เปอร์เซ็นต์และอิมัลซิไฟเออร์ ทวีน80(Tween 80) 0.08, 0.10 และ 0.12 เปอร์เซ็นต์ ไอศกรีมสูตรควบคุมประกอบด้วย ไขมันนม โซเดียมอัลจิเนต 0.3 เปอร์เซ็นต์ และทวีน 80 0.06 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีมที่ใช้ไขมันพืชต่ำ แต่ปริมาณไขมันอิสระสูงกว่าในสูตรควบคุม ไอศกรีมที่ใช้ไขมันพืช โซเดียมอัลจิเนต0.3 เปอร์เซ็นต์ และทวีน80 0.1 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการประเมินทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรควบคุม

Sivaramakrishman *et al.* (1994) ได้ทดลองใช้ไขมันพืชเพื่อทดแทนไขมันนมบางส่วนในการผลิตซอร์ฟเสริฟไอสกรีม (soft serve) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ ไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ milk solid non fat 12 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 15 เปอร์เซ็นต์ และสารให้ความคงตัว โซเดียมอัลจิเนต คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส เจลาติน แต่ละชนิดเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลืองทดแทนไขมันดังต่อไปนี้ ใช้น้ำมันเมล็ดฝ้ายทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์, น้ำมันเมล็ดฝ้าย 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสูตรควบคุมใช้ไขมันนม จากการประเมิณทางประสาทสัมผัส ทางฟิสิกส์ เคมี และหนู 30 ตัวที่มีอายุ 30-40 วันเพื่อใช้วัดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด พบว่า สารให้ความคงตัวที่เหมาะสมที่สุดคือ เจลาติน รองลงมาคือ โซเดียมอัลจิเนต ผู้ชิมยอมรับสูตรที่ใช้ไขมันพืช เมื่อใช้น้ำมันเมล็ดฝ้ายทดแทนไขมันนมในปริมาณที่มากขึ้นพบระดับคอเลสเตอรอลในเลือดของหนูลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต้นทุนการผลิตลดลงและยังให้อัตราการละลายช้าลงอย่างชัดเจน

Guinard *et al.* (1997) ศึกษาผลของน้ำตาล และไขมันที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนิลาโดยใช้น้ำตาลซูโครส 8, 13 และ 18 เปอร์เซ็นต์และปริมาณไขมัน 10, 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นทำให้การรับรู้กลิ่นวนิลา กลิ่นอัลมอนด์ กลิ่นเนย และรสหวานเพิ่มขึ้น ส่วนลักษณะความมัน ลักษณะความเป็นครีม การเคลือบในปาก และการลดความเย็นในปากลดลง ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดลดลง อัตราการละลายช้าลง และความแข็งลดลง การเพิ่มไขมันมีผลในการเพิ่มกลิ่นเนย รสหวาน ความมัน ทำให้การละลายช้าลง การยอมรับของผู้บริโภคมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับสีที่ปรากฏ ขนาดผลึกน้ำแข็ง และความแข็ง จากผลการวิเคราะห์ RSM (Response surface methology) เพื่อหาระดับน้ำตาล และไขมันที่มีผลให้ผู้บริโภคยอมรับไอศกรีมวนิลามากที่สุด พบว่า น้ำตาล 13.2 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 14 เปอร์เซ็นต์ มีอิทธิพลต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปากมากที่สุด น้ำตาล 14.1 เปอร์เซ็นต์ ไขมันนม 15.4 เปอร์เซ็นต์ มีอิทธิพลต่อความชอบด้านกลิ่นรสมากที่สุด น้ำตาล 14.3 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 14.8 เปอร์เซ็นต์ มีอิทธิพลต่อการยอมรับรวมมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Roland *et al.* (1999) ศึกษาไอศกรีมวนิลาที่มีไขมันนม 0.1, 3, 7 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ประเมินผลโดยใช้เครื่องวัดและผู้ทดสอบชิม พบว่าไอศกรีมที่มีไขมัน 0.1, 3 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันในลักษณะความแข็ง และอัตราการละลาย แต่ต่างจากไอศกรีมที่มีไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) โดยไอศกรีมที่มีไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการละลายช้ากว่า และความแข็งน้อยกว่าไอศกรีมที่มีไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบชิมโดยใช้ผู้ชิม พบว่าไอศกรีมไขมันต่ำจะมีลักษณะเกร็ดน้ำแข็ง และร่วน มากกว่า รสหวานไม่มีความแตกต่างสำหรับไอศกรีมไขมัน 0.1 เปอร์เซ็นต์ ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ ความมันเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ไอศกรีมที่มีไขมันลดลง กลิ่นของนมผงเพิ่มขึ้น ถึงแม้ไอศกรีมไขมัน 0.1 เปอร์เซ็นต์ จะมีนมผงน้อยกว่าก็ตาม พบว่ากลิ่นคอร์นไซรัปจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไขมันลดลง ถ้ากลิ่นทั้งสองนี้มีมากเกินไปจะทำให้การยอมรับของผู้บริโภคน้อยลง

Aime *et al.* (2001) ได้ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมวนิลา พบว่าไอศกรีมที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพเทียบเท่ากับไอศกรีมที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ไอศกรีมที่ไขมันเป็นองค์ประกอบ 2.5 เปอร์เซ็นต์ และ ไอศกรีมปราศจากไขมัน(fat free) จะมีคุณภาพที่ด้อยกว่าในด้านความหนืด, ความเรียบเนียนและความรู้สึกในปาก ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้แป้งถั่ว (modified pea starch) เป็นสารทดแทนไขมัน ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อแน่น ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง ไม่มีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ จากผลการทดสอบมีความชัดเจนว่า modified starch สามารถขจัดปัญหาการเพิ่มขึ้นของปริมาตรผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมที่ลดปริมาณไขมันลง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อเท่ากับไอศกรีมปกติ

Muhammet (2006) ได้ศึกษาผลของการใช้ hazelnut flour (1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์) และ hazelnut kernel skin (1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์) ในการเป็นตัวทดแทนไขมันต่อคุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวนิลา พบว่า hazelnut flour และ hazelnut skin มีความเหมาะสมที่จะใช้ในไอศครีมวนิลาได้ ซึ่งตัวอย่างที่เติม hazelnut flour ไอศกรีมจะ มีค่า pH, nitrogen, เถ้า, ความหนืด, กลิ่นรส, body และเนื้อสัมผัส, และลักษณะปรากฏที่มีดีกว่าการเติม hazelnut skin สามารถเติม hazelnut flour ได้มากถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ส่วน hazelnut skin 1 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ร่วมกับ maltodextrin จะให้ไอศกรีมที่มีคุณลักษณะที่ต้องการมากที่สุด

Tanteeratarm *et al.* (1993) รายงานว่า ไขมันช่วยเพิ่มรสชาติ และให้เนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนของไอศกรีมถั่วเหลือง ไขมันได้มาจากนมถั่วเหลือง และไขมันพืช เช่นน้ำมันมะพร้าวที่ผ่าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการเติมไฮโดรเจนซึ่งเป็นไขมันอิ่มตัวมีคุณสมบัติคล้ายไขมันนม ไขมันอิ่มตัวเช่นน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกคำฝอย อาจเป็นทางเลือกของแหล่งไขมัน แต่จะลดการขึ้นฟู และเกิดกลิ่นไม่ดี เนื่องจากไขมันเหล่านี้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายแต่มีข้อดีก็คือไม่มีคอเลสเตอรอล

Li *et al.* (1997) ศึกษาความเข้มข้นของไขมันนมต่อการรับรู้กลิ่นรสวานิลาในไอศกรีม ที่ระดับไขมันนมตั้งแต่ 0.5-10 เปอร์เซ็นต์โดยทดสอบทางประสาทสัมผัสและใช้เครื่อง HPLC วัดเปอร์เซ็นต์วานิลิน (vanillin) และพบว่า จำนวนวานิลินอิสระลดลงเมื่อปริมาณไขมันในไอศกรีมสูงขึ้น แต่การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝนแล้วให้ค่ากลิ่นวานิลินแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ผู้ทดสอบชิมบอกได้เพียงว่า เมื่อปริมาณไขมันในสูตรไอศกรีมเพิ่มขึ้น คุณสมบัติต่าง ๆ ทางประสาทสัมผัสดีขึ้น มีลักษณะการยอมรับรวมที่ดี และมีระยะเวลาการรับรู้กลิ่นรสวนิลานานขึ้นตามปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น โดยให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในไอศกรีมแต่ละสูตร ดังนั้นเมื่อใช้สูตรไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป ผู้ผลิตไอศกรีมจึงพยายามใช้สารให้กลิ่นรสที่แตกต่างกันและเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไขมันต่ำหรือในไอศกรีมที่ปราศจากไขมัน

Ohmes *et al.* (1998) รายงานว่า ไขมันเป็นตัวพาหลักสารให้กลิ่นรสที่เติมลงในไอศกรีมระหว่างไอศกรีมละลายในปาก การยอมรับรวมจึงแตกต่างกันเมื่อมีปริมาณของไขมันแตกต่างกัน ซึ่งสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่เป็น fat soluble จะถูกนำเข้าในปากและระเหยสู่ sensory reception ใน olfactory system เมื่อไขมันมีไม่พอที่จะพาสารให้กลิ่นรสได้ กลิ่นรสก็จะระเหยไปอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสลดลง

2.3.4 น้ำ (Water)

น้ำเป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในไอศกรีม ไอศกรีมส่วนใหญ่จะประกอบด้วยน้ำอย่างน้อย 60-70 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยที่อยู่ในสภาพผลึกน้ำแข็งเกือบทั้งหมด ณ อุณหภูมิที่รับประทาน น้ำในรูปของผลึกน้ำแข็งเป็นกุญแจสำคัญ ในการทำให้ไอศกรีมสร้างความสดชื่น ซึ่งแตกต่างไปจากผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคชนิดไม่แช่แข็งชนิดอื่น ความสมดุลระหว่างผลึกน้ำแข็งกับส่วนที่เป็นของเหลวและขนาดของผลึกน้ำแข็ง มีบทบาทที่สำคัญต่อการรับประทานไอศกรีม แต่น้ำจะมาจากส่วนผสมต่าง ๆ ได้แก่ น้ำนม น้ำเชื่อม เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมทั้งหลายเหล่านี้จะกระจายหรือแขวนลอยอยู่ในส่วนของน้ำของไอศกรีม (ภัทรา, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.5 สารให้ความคงตัว (Stabilizer)

มีความสามารถในการเกิดพันธะกับน้ำได้ดี มีหน้าที่ปรับปรุงเนื้อสัมผัสไอศกรีมให้เรียบเนียนป้องกันไม่ให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขณะแช่แข็ง และในระหว่างการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ ผันแปรต่าง ๆ (heat shock) ซึ่งไม่ทำให้เนื้อไอศกรีมหยาบ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวดีและยืดระยะเวลาในการละลายของไอศกรีม สารให้ความคงตัวจะไปเพิ่มความหนืดแต่ไม่มีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีม ปริมาณการใช้ประมาณ 0.2-0.3 เปอร์เซ็นต์ ยังมีการใช้สารให้ความคงตัวหลาย ๆ ชนิดมาผสมกันเพื่อปรับปรุงคุณภาพไอศกรีมให้ดีขึ้น เนื่องจากใช้สารเหล่านี้ในปริมาณน้อย จึงไม่มีผลต่อคุณค่าทางอาหารและกลิ่นรส การใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไป ทำให้ไอศกรีมละลายช้า มีผลทำให้เนื้อสัมผัสแข็ง ไอศกรีมแฉะ หรือเหนียวมาก(Marshall และ Arbuckle.,1996) สารให้ความคงตัว เป็นส่วนผสมของสารจำพวก ไฮโดรคอลลอยด์ เช่น โลคัสบีนกัม คาราจีแนน กัวร์กัม แอลจิเนท เพคติน หรือ คาร์บอกซี่เมธิลเซลลูโลส หน้าที่ของสารให้ความคงตัวคือ เป็นตัวช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของของหวานแช่แข็ง และป้องกันความเค้นเนื่องจากความร้อนในระหว่างการจำหน่าย สารให้ความคงตัวยังช่วยเพิ่มความหนืดของส่วนผสมไอศกรีม ความหนืดที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้อากาศเข้ามาแทรกตัวอยู่ด้วยได้มากขึ้น และช่วยเพิ่มลักษณะเนื้อ ซึ่งการจับกันของไฮโดรคอลลอยด์จะทำให้ความหนืดของส่วนผสมมากขึ้น ให้ให้มีลักษณะเนื้อ(Body) มากขึ้น และช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านการละลาย เนื่องจากสารให้ความคงตัวทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับโปรตีนนมและส่วนประกอบอื่น ๆ โดยจับยึดไว้เป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ จึงทำให้ไอศกรีมละลายได้ช้าลงและมีความคงตัวขณะละลาย นอกจากนี้ สารให้ความคงตัวช่วยยับยั้งการยุบตัวและปรับปรุงความคงตัวโดยการทำให้ผลึกน้ำแข็งโตขึ้นอย่างช้า ๆ ชะลอการเกิดผลึกและการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง เป็นผลทางตรงที่เกิดจากการจับกันของไฮโดรคอลลอยด์กับส่วนประกอบต่าง ๆ ในไอศกรีม ตัวอย่างสารให้ความคงตัว เช่น เจลลาติน เป็นส่วนผสมของ high-molecular-weight polypeptide ที่ได้จากคลอลาเจนจากสัตว์ และนิยมใช้เป็น gelling และ thickening agent ในปัจจุบันนิยมใช้ทดแทนการใช้สเตอบิไลน์เซอร์ (Clarke, 2004) เป็นสารประกอบโปรตีนจึงให้กรดอะมิโนที่มีคุณค่าทางอาหาร ผลิตจากกระดูกสัตว์ (Arbuckle, 1986) เมื่อเจลาตินละลายน้ำ จะแสดงสมบัติความหนืดเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้น พีเอช ความแรงของไอออนและความหนืดจำเพาะของตัวเจลาตินเอง โดยมีความหนืดต่ำสุด ณ จุดไอโซอิเลคตริค (isoelectric point) และความหนืดเพิ่มขึ้นขณะที่ประจุรวมของโมเลกุลทั้งหมดเพิ่มขึ้น (Harris, 1993) เจลลาตินสามารถเกิดเจลในไอศกรีมมิกซ์ในระหว่างการบ่ม การแช่แข็งรวมทั้งการเก็บแช่แข็งในช่วง hardening จึงช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในไอศกรีม มีแนวโน้มทำให้ได้การขึ้นฟูสูง ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน เจลาตินที่วางขายทางการค้ามีค่าความแข็งของเจลอยู่ในช่วง 125-275 บลูม (Arbuckle, 1986) หรือจากการสังเคราะห์เช่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โซเดียมคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส ได้มาจากกัม เช่น กัวร์กัม โลคัสบีนกัม คารายา เป็นต้น (Marshall และ Arbuckle, 1996)

2.3.6 อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีลักษณะแห้ง(dryness)ลดระยะเวลาในการตีขึ้นฟูของไอศกรีม ทำให้ฟองอากาศมีขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ทั่วไปในโครงสร้างไอศกรีม ควบคุมความไม่คงตัวของไขมัน (fat destabilization) ป้องกันการหดตัว (shrinkage) อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีม คือ 1. กลีเซอรอลเอสเทอร์เช่น โมโนกลีเซอร์ไรด์ (monoglyceride) หรือโมโนเอซิลกลีเซอรอล (กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต) และไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) ซึ่งอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือรวมกันทั้งสองชนิด ปริมาณการใช้ไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนัก จะช่วยรักษาอิมัลชัน และเพิ่มความสามารถในการขึ้นฟู (whipping ability) ของไอศกรีม 2.polyoxyethylene derivatives ของ hexahydric alcohols, glycol และ glycol ester จะช่วยให้ไอศกรีมละลายช้าลง และทำให้ไอศกรีมมีผิวแห้ง เนื้อสัมผัสเรียบเนียนเมื่อนำออกมาจากตู้แช่แข็ง อิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นที่มีการนำมาใช้ เช่น ซอร์บิแทนไตรสเตียเรท (sorbitan tristearate) และ โมโนโอลิเอท(monooleate) ปริมาณการใช้ไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ (Marshall และ Arbuckle, 1996) อิมัลซิไฟเออร์มีหน้าที่ที่สำคัญในไอศกรีมหลายประการ เช่น การทำให้ไขมันเกิดการกระจายในส่วนของน้ำ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถของส่วนผสมไอศกรีมในการจับอากาศได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นจึงลดการยุบตัวของไอศกรีม ทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมเนียน ปรับปรุงคุณลักษณะการละลาย และช่วยลดการแยกตัวของไขมันจากส่วนของน้ำในระหว่างขบวนการแช่แข็งไอศกรีมข้อเสียของการใช้อิมัลซิไฟเออร์ปริมาณที่สูงเกิน มีผลทำให้ไอศกรีมมีคุณลักษณะการละลายที่ไม่ดี หรือมีกลิ่นรสผิดปรกติ

2.3.7 ธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนย

เป็น ผลิตภัณฑ์ส่วนของนมที่เอาน้ำ และไขมันออก ส่วนมากใช้ในรูปของนมผงขาดมันเนย(skim milk powder) ในปริมาณ 8-15 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวให้กลิ่นรส รูปร่าง และปรับปรุงคุณสมบัติด้านการละลาย ทำให้อัตราการขึ้นฟูสูงโดยไม่ทำให้เกิดเป็นเกร็ดน้ำแข็งและปรับปรุงด้านเนื้อสัมผัส โปรตีนนมมีความสำคัญต่อการทำให้ฟองอากาศเยือกแข็งคงตัว และทำให้ไขมันกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอโดยโปรตีนนมเป็นเสมือนเยื่อหุ้ม ที่ห่อหุ้มเม็ดไขมันเอาไว้ นอกจากนี้ โปรตีนนมยังสามารถจับกับน้ำทำให้เพิ่มความหนืดแก่ไอศกรีมมิกส์ โปรตีนในนมแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เคซีน (casein) และหางนม(whey) โดยเคซีนเป็นส่วนที่ทำให้เกิดเนื้อสัมผัส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนใหญ่ของไอศกรีม และทำให้มีกลิ่นรสของนม ส่วนของโปรตีนในหางนมที่เหลือจากการทำเนยเป็นสิ่งที่ทำให้ไอศกรีมมีความคงตัว เป็นส่วนของแข็งในหางนม ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลักคือ โปรตีน(โปรตีนเวย์) ประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลแลคโตส 55 เปอร์เซ็นต์ และเกลือแร่ 8 เปอร์เซ็นต์ ของแข็งไม่รวมไขมันช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้ไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีรสชาติอร่อย น้ำตาลแลคโตสเพิ่มรสหวาน และเกลือแร่ทำให้เกิดรสเค็ม ส่วนโปรตีนนมทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสแน่น และเรียบเนียน มีความคงดี และป้องกันเนื้อสัมผัสหยาบ การเติมของแข็งไม่รวมไขมันมากเกินไปทำให้ไอศกรีมมีรสเค็ม มีกลิ่นนมผง และเพิ่มผลึกแลคโตสในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากน้ำตาลแลคโตสมีความสามารถในการละลายต่ำ ของแข็งไม่รวมไขมันช่วยเพิ่มความข้นหนืด ลดจุดเยือกแข็งให้ต่ำลง ทำให้ไอศกรีมละลายช้า และการขึ้นฟูดีขึ้น ปริมาณหางนมผงที่ใช้ในไอศกรีมจะเป็นสัดส่วนผกผันกับไขมันนมเพื่อรักษาสมดุลของส่วนผสมและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดี มีคุณภาพในการเก็บรักษาที่ดี การเติมธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนยมากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมมีรสเค็ม มีกลิ่นไหม้ และเสี่ยงต่อการเกิดผลึกแลคโตนในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ที่มีเนื้อสัมผัสหยาบคล้ายทรายไม่เรียบเนียน (Marshall และ Arbuckle,1996)

2.3.8 สารให้ความหวาน (Sweeteners)

สารให้ความหวานที่นำมาใช้ในไอศกรีมมีหลายชนิด เช่นซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส น้ำผึ้ง และคอร์นไซรัป สารให้ความหวานมีหน้าที่หลายประการในไอศกรีม เพิ่มความหวานให้ไอศกรีม เสริมกลิ่นรส และมีบทบาทในการป้องกันการเป็นน้ำแข็ง การเพิ่มปริมาณสารให้ความในไอศกรีมมีผลทำให้จุดเยือกแข็งลดลง ดังนั้นผลิตภัณฑ์จะมีความนุ่มนวลกว่า และง่ายต่อการตักรับประทานที่อุณหภูมิเย็นจัด เพราะปริมาณน้ำที่เป็นน้ำแข็งมีน้อย และเป็นตัวช่วยให้ไอศกรีมมีรสอร่อย มีรูปร่าง และลักษณะเนื้อที่ดี สารให้ความหวานเป็นตัวเพิ่มปริมาณของแข็งกับส่วนผสมอีกด้วยมีความสำคัญต่อไอศกรีมคือ ปรับปรุงด้านเนื้อไอศกรีม, ด้านรสชาติ แต่ก็มีข้อจำกัด คือ หากใช้มากเกินไปไอศกรีมจะมีรสหวานจัดเกินไป ลดอัตราการตีขึ้นฟู นอกจากนี้ทำให้ใช้เวลาในการปั่นไอศกรีมนาน และต้องใช้อุณหภูมิต่ำ ๆ ในขั้นตอน Hardening เนื่องจากเป็นตัวลดจุดเยือกแข็งของส่วนผสมให้ต่ำลง ทำให้ไอศกรีมแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำมาก ดังนั้นปริมาณและชนิดของน้ำตาลในไอศกรีมจึงมีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีม น้ำตาลให้รสหวานแก่ไอศกรีม ให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดแก่ส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น น้ำตาลช่วยเพิ่มความข้นหนืดให้แก่ส่วนผสมไอศกรีม ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น ให้กลิ่นรสที่ดี ช่วยลดจุดเยือกแข็งของไอศกรีม เพิ่มการขึ้นฟู และยืดระยะเวลาในการปั่นไอศกรีม (Marshall และ Arbuckle,1996) น้ำตาลมีหน้าที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักสองอย่างในไอศกรีมคือ ให้ความหวานและควบคุมจำนวนของผลึกน้ำแข็งทำให้ไอศกรีมมีความนุ่มขึ้น (ถ้ามีปริมาณผลึกน้ำแข็งมากจะทำไอศกรีมมีความแข็งมากขึ้น) ซึ่งน้ำตาลที่มีจุดเยือกแข็งต่ำกว่าจะมีลดจำนวนของผลึกน้ำแข็งได้ ยกตัวอย่างเช่น ไอศกรีมสูตรมาตรฐานจะมี ผลึกน้ำแข็งประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเปลี่ยนชนิดและจำนวนการใช้น้ำตาล แล้วให้มีผลึกน้ำแข็งเหลือเพียง 45 เปอร์เซ็นต์ จะได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า ซึ่งง่ายต่อการตักรับประทานมากขึ้น และน้ำตาลยังมีอิทธิผลต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีมในด้านอื่น ๆ กล่าวคือ เนื่องจากน้ำตาลมีผลความขึ้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีม โดยน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมสูงขึ้น ทำให้ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะที่คล้ายครีม (Clarke, 2004)

คุณสมบัติของสารให้ความหวาน (ศิริลักษณ์, 2533 และ Nabor และ Gelardi, 1991)

1.คุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส น้ำตาลที่เราใช้ในอาหารนั้นให้รสหวาน และคนเราก็มีความเคยชินกับรสหวานเฉพาะตัวของน้ำตาล ในการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในอาหารเพื่อให้แน่ใจว่าผู้บริโภคจะยอมรับได้ดีสารให้ความหวานนั้นจำเป็นต้อนมีเค้าโครงความหวาน (sweetness profile) ที่คล้ายคลึงกับเค้าโครงของน้ำตาลพอสมควรและจะต้องให้เฉพาะรสหวาน นั่นคือ ต้องปราศจากรสขมหรือรสอื่น ๆ จะเป็นการดีที่สุด ถ้าสารให้ความหวานนั้นสามารถทำให้เรารู้สึกในรสหวานภายใจ 2-3 วินาที และความความรู้สึกหวานนั้นได้นานประมาณ 30 วินาที สารให้ความหวานที่ให้รสปร่า(off tastes) ออกไปหรือให้รสติดลิ้น (after taste) จะทำให้เกิดปัญหา และถ้ารสหวานนั้นคงความรู้สึกได้นานก็จะทำให้เกิดรสทะแม่ง ๆ (funny taste) โดยทั่วไปยิ่งสารให้ความหวานใดให้รสหวานที่คล้ายคลึงกับซูโครสมากเพียงใด ก็ยิ่งจะทำให้เรานำสารให้ความหวานนั้นมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มได้มากขึ้นเพียงนั้น ถ้าสารให้ความหวานที่ให้รสอื่นหรือให้เค้าโครงรสหวานที่แปลกออกไป ก็จะเป็นจุดอ่อนในการที่จะนำสารให้ความหวานนั้นมาใช้

2.คุณสมบัติทางเคมี เนื่องจากการใช้ซูโครสหรือสารให้ความหวานในอาหารนั้น เป็นการให้รสหวานของมันผสมผสานไปกับรสอื่น เกิดเป็นระบบกลิ่นรสที่สลับซับซ้อน ในขณะเดียวกันก็เป็นการใช้ร่วมกันไปกับกลิ่นรส (ธรรมชาติหรือสังเคราะห์) และสีด้วย ดังนั้น สารให้ความหวานจึงควรต้องให้รสหวานที่เข้ากันได้ดีกับสารต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในอาหารนั้น และเพื่อให้มีอายุการเก็บนานสารให้ความหวานจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย หรือเฉื่อยต่อสารประกอบธรรมชาติและสารปรุงแต่งทางเคมีทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปใช้นั้น ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. คุณสมบัติทางกายภาพ สารให้ความหวานจำเป็นต้องมีความคงทนต่ออุณหภูมิสูง เนื่องจากว่า การแปรรูปอาหารนั้นมักจะเกี่ยวข้องกับการทำให้สุก ดังนั้นสารให้ความหวานจำเป็นต้องคงทนต่อการต้ม การอบ และการใช้หม้ออัดความดัน และในทำนองเดียวกัน สารให้ความหวานต้องคงทนต่อการแปรรูปโดยใช้อุณหภูมิต่ำด้วย เช่น การแช่แข็งอย่างเร็ว และการอบแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drying)

เนื่องจากอาหารต้องผ่านการเก็บ การขนส่ง และต่อมาก็เก็บสต็อกไว้บนหิ้งตามร้านขายของชำ ดังนั้นสารให้ความหวานจำเป็นต้องคงทนต่อสภาวะการเก็บต่าง ๆ ดังกล่าว อายุการเก็บจะนานเท่าใดนั้นย่อมขึ้นกับว่าผลิตภัณฑ์นั้นเป็นอาหารชนิดใด โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปมักต้องมีอายุการเก็บ 6 เดือนเป็นอย่างน้อยอาหารหลายชนิดเป็นของเหลว มีปริมาณความชื้นสูงหรือบางอย่างก็จะเกิดการเปลี่ยนลักษณะเป็นของเหลวในขณะที่ผ่านการแปรรูป ความคงทนของสารให้ความหวานในสารละลายเป็นสิ่งสำคัญ ความเป็นกรด-ด่างของอาหารและเครื่องดื่มจะอยู่ในช่วง 2.5-8.0 ดังนั้นสารให้ความหวานที่สามารถคงทนต่อความเป็นกรด-ด่างดังกล่าวได้ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้สามารถใช้สารให้ความหวานได้อย่างกว้างขวางอาหารหลายชนิดประกอบด้วยซูโครสเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่า แต่ผลิตภัณฑ์อาหารพวกเยลลี่ และน้ำเชื่อม อาจมีความเข้มข้นของน้ำตาลมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น เพื่อให้ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง สารให้ความหวานจำเป็นต้องละลายได้อย่างดี เพื่อจะใช้แทนรสหวานของน้ำเชื่อมซึ่งประกอบด้วยซูโครสถึง 70 เปอร์เซ็นต์ได้ดี

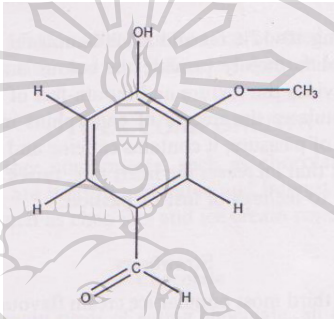
4.คุณสมบัติทางความปลอดภัย การที่มีข้อกำหนดให้ต้องพิสูจน์ความปลอดภัยในการใช้สารปรุงแต่งอาหารใหม่ใด ๆ นั้นเป็นปัญหาใหญ่ในการใช้สารให้ความหวาน เนื่องจากจะต้องมีการทดลองใช้เลี้ยงสัตว์ทดลองในปริมาณที่สูงพอที่จะทำให้เกิดผลร้ายต่อสัตว์ทดลองนั้น จะต้องมีการศึกษาเพื่อจะหาระดับความปลอดภัยสูงสุด จะต้องมีการศึกษาในระดับเมตาบอริซึมและระบบการขับถ่ายเพื่อทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมในการใช้สารให้ความหวานชนิดต่าง ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.9 กลิ่น (Flavours)

กลิ่นที่ใช้ในไอศกรีมปรกติจะอยู่ในรูป สารละลายของกลิ่น ซึ่งโมเลกุลของสารให้กลิ่นบางชนิดจะละลายในไขมัน และบางชนิดก็ละลายในน้ำได้ โดยสารให้กลิ่นที่ละลายในน้ำได้จะพบในส่วนของ matrix และจะปลดปล่อยกลิ่นอย่างรวดเร็วเมื่อรับประทาน ส่วน กลิ่นที่ละลายในไขมันจะปลดปล่อยกลิ่นได้น้อยกว่า กลิ่นที่ได้จากธรรมชาติ เช่นสกัดจากพืช หรือจากการสังเคราะห์ขึ้น โดยกลิ่นที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม คือ กลิ่นวนิลา, ช็อคโกแลต และสตอเบอรี่

ซึ่งกลิ่นวนิลาเป็นกลิ่นที่รับความนิยมมากที่สุดได้จากการสกัดจากฝักวนิลา วานิลิน(รูปที่ 2.13) เป็นสารประกอบหลักที่ให้กลิ่นของวนิลา กลิ่นวนิลาที่ได้จากธรรมชาติจะมีสารให้กลิ่นและคุณลักษณะที่ดีกว่าวานิลินบริสุทธ์ แต่เนื่องจากความต้องการสูง จึงได้มีการผลิตกลิ่นวนิลาสังเคราะห์ โดยวิธี biosysthesis หรือ การสังเคราะห์จากลิกนิน และของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษได้ (Clarke, 2004)



ภาพที่ 2.13 โมเลกุลของ Vanillin
ที่มา : Clarke, 2004

2.3.10 สี (Colours)

สีจะมีผลต่อผู้บริโภค ในด้านของคุณภาพ โดยเติมสีในผลิตภัณฑ์เพื่อ ให้สีกับผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความดึงดูดใจ และบ่งบอกถึงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้

2.4 ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม

กรรมวิธีการผลิตไอศกรีมชนิดแข็ง(hard ice-cream) แปรผันตามระบบการผลิตออกเป็นการผลิดเพื่อบริโภคในครัวเรือน(Home made ice-cream) หรือ การผลิตเชิงพานิชย์(Commercial ice-cream) โดยมีวิธีการผลิตตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ การคำนวณส่วนผสม(mix calculations) ผสมส่วนผสมไอศกรีม(blending) พาสเจอร์ไรเซชั่น(pasteurization) โฮโมจิไนเซชั่น(homogenization) ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมเย็นลง(cooling) บ่มส่วนผสม(ageing) ปั่นไอศกรีม(aeration and freezing) แช่แข็ง (hardening) และเก็บรักษาไอศกรีม (storage)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างวิธีการผลิตไอศกรีมวนิลา (ดัดแปลงจาก Marshall และ Arbuckle, 1996)

นมสดขาดมันเนย นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

↓

เทของแข็งทั้งหมดซึ่งได้แก่ น้ำตาล สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ ลงในส่วนผสมที่เป็นของเหลวโดยกวนตลอดเวลาจนละลาย

↓

ชั่งไขมันจากเนยใส่ลงไปโดยกวนตลอดเวลาจนละลาย

↓

ปั่นส่วนผสมด้วยเครื่องปั่นผสมอาหารเป็นเวลา 3 นาที

↓

พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

↓

ทำให้เย็นทันที โดยแช่ในอ่างน้ำผสมน้ำแข็ง

↓

ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 ชั่วโมง

↓

เติมกลิ่นวนิลา

↓

นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร 5 นาที

↓

นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม

↓

บรรจุลงในถ้วยพลาสติกเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ – 30 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 2.14 แผนผังกรรมวิธีการผลิตไอศกรีมวนิลา

ที่มา : Marshall และ Arbuckle, 1996

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1 การคำนวณส่วนผสมไอศกรีม

ขั้นตอนการผลิตไอศกรีมเริ่มจากการคำนวณส่วนผสมต่าง ๆ ซึ่งนับว่ามีความสำคัญ เนื่องจากได้สูตรไอศกรีมที่มีความสมดุล และสามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอ ราคาของไอศกรีมไม่สูงเกินไป และได้ไอศกรีมที่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด (Arbuckle, 1986)

2.4.2 การผสมส่วนผสมไอศกรีม

นำส่วนผสมที่ของแข็ง ผสมให้เข้ากันก่อนเติมลงในส่วนผสมที่เป็นของเหลวเช่น น้ำนม เนย ให้ความร้อนแล้วกวนส่วนผสมไปเรื่อย ๆ พออุณหภูมิสูงถึง 49 องศาเซลเซียส จึงเติมส่วนผสมที่เป็นของแข็งเพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนผสมจับตัวกันเป็นก้อน ผสมให้เข้ากันโดยใช้ความร้อนช่วย วิธีป้องกันส่วนผสมที่เป็นของแข็งจับตัวเป็นก้อนทำได้โดยผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งเข้ากับน้ำตาลก่อนนำไปผสมกับของเหลวอย่างช้า ๆ พร้อมกับการกวนไปเรื่อย ๆ หรือร่อนส่วนผสมของแห้ง เช่น ของแข็งไม่รวมมันเนย ด้วยตะแกรงลงไปอย่างช้า ๆ ในของเหลวซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียสพร้อมกับกวนตลอดเวลา ถ้าใช้เจลาตินเป็นสารให้ความคงตัว ควรผสมเจลาตินเข้ากับน้ำตาลในปริมาณเท่ากัน แล้วจึงเติมลงในส่วนผสมของเหลวก่อนที่อุณหภูมิจะสูงถึง 49 องศาเซลเซียส หรือผสมเจลาตินกับน้ำอุ่นจนละลายได้หมดก่อนผสมลงในของเหลวที่อุณหภูมิ 38-49 องศาเซลเซียส เนยสด ครีมแช่แข็ง หรือผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่จะใช้ในส่วนผสมไอศกรีมควรตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ การเติมสี และกลิ่นจะเติมในขั้นตอนการปั่นไอศกรีมให้แข็งตัว (Arbuckle, 1986)

2.4.3 การพาสเจอร์ไรส์

การพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมไอศกรีมเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค กระบวนการให้ความร้อนต้องเพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค และลดจำนวนแบคทีเรียลงได้มากที่สุด ทำให้ส่วนผสมที่เป็นของแห้งละลาย ช่วยให้ไขมันละลาย และลดความหนืด ปรับปรุงเรื่องกลิ่นรส ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา วิธีการพาสเจอร์ไรส์ที่เหมาะสมควรให้ความร้อนอย่างรวดเร็วเพื่อให้ถึงอุณหภูมิที่กำหนด และคงไว้ที่ ณ อุณหภูมิที่กำหนด ตามเวลาที่ต้องการแล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิธีการพาสเจอร์ไรส์สามารถเลือกใช้อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันตามวิธีการดังตารางที่ 2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 เวลาและอุณหภูมิสำหรับวิธีการพาสเจอร์ไรส์ไอศกรีมแบบต่าง ๆ

วิธีการ	เวลา	อุณหภูมิ(°ซ/°ฟ)
Batch (LTLT)	30 นาที	69/155
HTST	25 วินาที	80/175
HHST	1-3 วินาที	90/194
UHT	2-40 วินาที	138/280

หมายเหตุ : LTLT คือ low-temperature long-time, HTST คือ high-temperature short-time, HHST คือ higher-heat short-time, UHT คือ ultra high temperature

ที่มา : Marshall และ Arbuckle, 1996

ควรเลือกใช้วิธีการพาสเจอร์ไรส์แบบอุณหภูมิสูง (higher-heat short-time) และแบบระบบต่อเนื่องในการผลิตไอศกรีม เพราะแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคจะถูกทำลาย และลดจำนวนการใช้สาร ให้ความคงตัวปรับปรุง body และได้เนื้อสัมผัสที่ดีกว่า เนื่องจากโปรตีนสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น ต้านการเกิด oxidation ประหยัดเวลา แรงงาน และสถานที่ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต (Marshall และ Arbuckle, 1996)

2.4.4 การโฮโมจิไนส์

ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ซึ่งจะป้องกันการแยกชั้นของครีมแล้วยังช่วยให้ไอศกรีมมีคุณภาพสม่ำเสมอ มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ปรับปรุงความสามารถในการขึ้นฟูให้ดีขึ้น ใช้เวลาในการบ่มสั้นลงเพื่อให้ได้อิมัลชันที่คงที่ เป็นขบวนการที่ทำให้เม็ดไขมันแตกตัวเป็นเม็ดไขมันขนาดเล็ก และกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วส่วนผสม และยังช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อนุ่ม และทำให้การปั่นส่วนผสมเป็นไปได้ง่ายและรวดเร็ว ใช้เวลาในการบ่มไม่นาน(Marshall และ Arbuckle, 1996) ลดโอกาสการเกิด churning ขณะตีปั่นไอศกรีม และลดการใช้สารให้ความคงตัว ในการโฮโมจิไนส์มักจะทำที่อุณหภูมิ 63-77 องศาเซลเซียส เพราะที่อุณหภูมิต่ำ (49-54 องศาเซลเซียส) จะทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของเม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น และต้องใช้เวลานานในการตีปั่นไอศกรีม (Freezing time) ส่วนผสมที่พาสเจอร์ไรส์แล้วจะถูกทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส เพื่อโฮโมจีไนส์ต่อไปซึ่งสามารถลดการเกิดกลิ่นต้มได้ (Cook flavor) (Arbuckle, 1986) ความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์ขึ้นอยู่กับความหนืด ลักษณะของส่วนผสมความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คงตัวของส่วนผสม อุณหภูมิที่ใช้ และเครื่องโฮโมจีไนส์ นอกจากนี้ไขมันในส่วนผสมยังมีผลต่อความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนส์ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์ไอศกรีมที่ปริมาณไขมันต่าง ๆ

ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ขั้นตอนเดี่ยว (single stage) (ปอนด์/ตารางนิ้ว)	สองขั้นตอน (two stage)	
		วาล์วตัวที่ 1 (ปอนด์/ตารางนิ้ว)	วาล์วตัวที่ 2 (ปอนด์/ตารางนิ้ว)
1-8	2,500-3,000	2,500-3,000	500
10-14	2,000-2,500	2,000-2,500	500
15-17	1,500-2,000	1,500-2,000	500
18	1,200-1,800	1,200-1,800	500
>18	800-1,200	800-1,200	500

หมายเหตุ lb/in^2 เท่ากับ 6.895×10^{-3} Mpa

ที่มา : Marshall และ Arbuckle, 1996

Schmidt และ Smith (1988) พบว่า ส่วนผสมไอศกรีมที่ไม่ผ่านการโฮโมจีไนส์มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า เนื่องจากการโฮโมจีไนส์ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลงทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมมีความเรียบเนียน การละลายช้าลง กลิ่นรสของไอศกรีมถูกปลดปล่อยออกมาช้ากว่า และได้เสนอความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์ แบบ 2 ขั้นตอน คือ ความดันวาล์วแรก เท่ากับ 140.74 – 175.92 kg/cm^2 (2,000-2,500 psi) และวาล์วที่สอง เท่ากับ 35.18 kg/cm^2 (500 psi)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.5 การทำให้เย็น

หลังจากการพาสเจอไรส์ และโฮโมจีไนส์จะนำส่วนผสมไอศกรีมมาทำให้เย็นทันทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้ความความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น (Arbuckle, 1986)

2.4.6 การบ่ม (ageing) ส่วนผสมไอศกรีม

ทำการบ่มที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้ เชื้อจุลินทรีย์จะไม่เพิ่มปริมาณ ซึ่งขณะบ่มส่วนผสมไอศกรีมจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ เม็ดไขมันในส่วนผสมจะกลายเป็นไขมัน

แข็ง ถ้าใช้เจลาตินเป็นสารให้ความคงตัวจะพองตัวและรวมตัวกับน้ำ โปรตีนของส่วนผสมเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้น ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนละลายช้าและคุณสมบัติการขึ้นฟูดีขึ้น เวลาที่ใช้ในการบ่มโดยทั่วไปคือ 24 ชั่วโมง แต่ในทางการค้าจะใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง การใช้เวลาบ่มนานก็จะยิ่งให้ผลดีกับของผสมที่มีไขมันสูง (Arbuckle, 1986)

2.4.7 การปั่นไอศกรีม (aeration and freezing)

ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในกระบวนการผลิตไอศกรีมเพราะมีผลต่อคุณภาพและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ การปั่นไอศกรีมมีขั้นตอนดังนี้ ส่วนผสมของไอศกรีมผ่านการบ่ม เติมสีและกลิ่นรสตามต้องการแล้วจะถูกทำให้แข็งตัวอย่างรวดเร็ว พร้อมกับการกวนเติมอากาศตลอดเวลาเพื่อนทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งขนาดเล็ก จะได้เนื้อสัมผัสเรียบเนียน สามารถอุ้มอากาศได้ดี เมื่อส่วนผสมถูกทำให้แข็งตัวบางส่วนที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส น้ำในส่วนผสมจะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งคิดเป็น 47 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งหมด ดังตารางที่ 2.6 (Arbuckle, 1986)

ตารางที่ 2.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่แข็งตัวในไอศกรีมที่อุณหภูมิต่าง ๆ

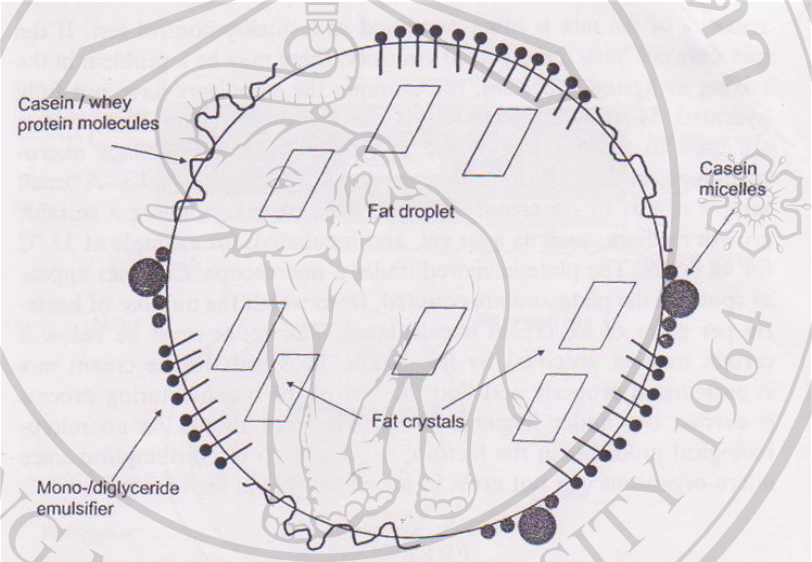
อุณหภูมิ(°ซ/°ฟ)	น้ำแข็งตัว (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิ(°ซ/°ฟ)	น้ำแข็งตัว (เปอร์เซ็นต์)
25/-3.5	33	20/-6.7	59
24/-4.4	41	19/-6.7	62
23/-5.0	47	18/-7.8	64
22/-5.6	52	17/-8.3	67
21/-6.1	56	15/-9.4	90

ที่มา : Marshall และ Arbuckle, 1996

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 2.6 ถ้าอุณหภูมิของไอศกรีมขณะตีปั่นอยู่ในช่วง -3.9 ถึง -8.3 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำที่แข็งตัวในไอศกรีมจะอยู่ในช่วง 33-67 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีปริมาณอากาศตามต้องการ แต่ปริมาณผลึกน้ำแข็งยังไม่เพียงพอต้องนำไปแช่แข็งต่อไป (Marshall และ Arbuckle, 1996) ในช่วงการตีปั่นไอศกรีมนอกจากเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็ง ยังเป็นขั้นตอนให้อากาศเข้าไปผสมในผลิตภัณฑ์ด้วย การตีปั่นจะสิ้นสุดลงเมื่อได้ไอศกรีมมีปริมาณอากาศ และผลึกน้ำแข็งที่มากเพียงพอ โครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีมค่อนข้างจะซับซ้อนดังแสดงในภาพที่ 2.15 จะเห็นว่ามีเซลล์อากาศและผลึกน้ำแข็งกระจายอยู่ในส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัว โดยผลึกน้ำแข็งมีขนาดเฉลี่ย

45-55 ไมโครเมตร ระยะทางระหว่างผลึกน้ำแข็งกับผลึกน้ำแข็ง หรือเซลล์อากาศมีระยะทางเฉลี่ย 6-8 ไมโครเมตร ส่วนเซลล์อากาศมีขนาดเฉลี่ย 110-185 ไมโครเมตร ระยะทางระหว่างเซลล์อากาศ 100-150 ไมโครเมตร สำหรับส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัวที่อยู่ระหว่างผลึกน้ำแข็ง และเซลล์อากาศนั้นเรียกว่า ลาเมลลา(lamella) ส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัวนั้น ประกอบไปด้วย อนุภาคไขมันแข็งตัว, โปรตีน, นม, ผลึกแลคโตส, เกลือ, สารให้ความคงตัว, อิมัลซิไฟเออร์ และสารให้ความหวาน เป็นต้น การที่ไอศกรีมประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว ของแข็ง และอากาศ จึงกล่าวได้ว่าไอศกรีมมีลักษณะเป็นระบบ 3 เฟส (three-phase system) (Arbuckle, 1986)



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างภายในไอศกรีม

ที่มา : Arbuckle, 1986; นันทินา, 2544

การตีปั่นไอศกรีมหากใช้เวลาเร็วเท่าไร จะได้ผลิตภัณฑ์เรียบเนียน เพราะผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กและเกิดขึ้นได้เร็ว เวลาการตีปั่น และอุณหภูมิขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปั่นไอศกรีม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.7 อุณหภูมิ และเวลาการปั่นไอศกรีม

เครื่องปั่นไอศกรีม	เวลาการตีปั่นสำหรับโอเวอร์รัน 90 เปอร์เซ็นต์	อุณหภูมิ °ฟ
Batch freezer	7 นาที	24-26
Continuous freezer	24 วินาที	21-22
Low-temperature continuous freezer	26-36 วินาที	16-18
Soft-serve freezer	3 นาที	18-20
Counter freezer	10 นาที	26

ที่มา : Arbuckle, 1986

การทำให้ไอศกรีมแข็งตัว (hardening) เมื่อไอศกรีมออกจากเครื่องตีปั่นไอศกรีมแล้วบรรจุลงภาชนะ ไอศกรีมจะมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวไม่สามารถคงรูปร่างได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้ไอศกรีมแข็งตัวอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในไอศกรีม ในระหว่างการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว ปริมาณน้ำในไอศกรีม จะกลายเป็นน้ำแข็งมากขึ้น โดยเพิ่มจากประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ในช่วงไอศกรีมออกจากเครื่องปั่นไอศกรีมแล้วเพิ่มเป็น 75-80 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว อุณหภูมิที่ทำให้แข็งตัว คือที่อุณหภูมิใจกลางของไอศกรีมในภาชนะบรรจุอยู่ที่ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ที่นิยมใช้คืออุณหภูมิใจกลางของไอศกรีมอยู่ที่ -25 องศาเซลเซียส ถึง -30 องศาเซลเซียส ยิ่งเวลาของการทำให้ไอศกรีมแข็งตัวเร็วขึ้น ไอศกรีมที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน (Marshall และ Arbuckle, 1996)

2.4.8 การเก็บรักษา

หลังจากไอศกรีมผ่านขั้นตอนการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว ใช้เวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ไอศกรีมสามารถออกจำหน่ายได้ทันที หรือเก็บรักษาไว้ 1-2 อาทิตย์ โดยอุณหภูมิห้องเก็บรักษาอยู่ในช่วง -18 ถึง -23 องศาเซลเซียส (Arbuckle, 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 คุณสมบัติของไอศกรีม

ไอศกรีม ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 222) พ.ศ.2544 ดังต่อไปนี้

(1) ไอศกรีมนม ต้องมีมันเนยเป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และมีธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก

(2) ไอศกรีมดัดแปลง ต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(3) ไอศกรีมผสม ต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ทั้งนี้โดยไม่นับรวมน้ำหนักของผลไม้หรือวัตถุที่เป็นอาหารอื่นผสมอยู่

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

(4.1) ไม่มีกลิ่นหืน

(4.2) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาล นอกจากการใช้น้ำตาลได้โดยให้ใช้วัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอช โอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO Codex)

(4.3) ไม่มีวัตถุกันเสีย

(4.4) มีบักเตรีได้ไม่เกิน 600,000 ในอาหาร 1 กรัม

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

(4.6) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(4.7) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

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

ไอศกรีมชนิดแห้ง หรือผง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) ไม่มีกลิ่นหืน

(2) มีกลิ่นตามลักษณะเฉพาะของไอศกรีมชนิดนั้น

(3) มีลักษณะไม่เกาะเป็นก้อน ผิดไปจากลักษณะที่ทำขึ้น

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

(5) ไม่มีวัตถุกันเสีย

(6) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(7) มีบักเตรีได้ไม่เกิน 100,000 ในอาหาร 1 กรัม

(8) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(9) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 คุณลักษณะของไอศกรีมที่ดี (Bodyfelt *et al.*, 1998)

สี (color)

ไอศกรีมควรเป็นสีที่ดูแล้วน่ารับประทาน ไม่ซีด หรือเข้มจนเกินไป ควรมีสีใกล้เคียงธรรมชาติของชนิดไอศกรีมนั้น ๆ สีของไอศกรีมมีผลต่อการยอมรับและความรู้สึกของผู้บริโภคต่อกลิ่นและคุณภาพของไอศกรีมเป็นอย่างมาก เช่น ไอศกรีมกลิ่นรสวนิลาควรมีสีเหลืองเล็กน้อย ไอศกรีมช็อคโกแล็ตควรมีสีน้ำตาล และไอศกรีมกลิ่นรสผลไม้ ควรจะมีสีตามกลิ่นรสผลไม้ชนิดนั้น เพื่อเพิ่มความรู้สึกและการยอมรับในการรับประทาน

ภาชนะบรรจุ (package)

ต้องสะอาด ปลอดภัยสามารถใช้กับอาหารได้ ทนต่ออุณหภูมิต่ำขณะเก็บรักษาได้ ไม่เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีและเชื้อจุลินทรีย์ มีความคงทนสวยงามสามารถดึงดูดความสนใจ และสร้างความประทับใจให้กับผู้บริโภคได้

คุณสมบัติการละลาย (melting characteristic)

ไอศกรีมที่มีคุณภาพที่ดีควรมีคุณสมบัติต้านทานการละลายได้เล็กน้อยเมื่อวางในจานแก้ว (Petri dishes) ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 20 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที ลักษณะการละลายที่ดีไอศกรีมควรละลายและไหลออกจากจุดศูนย์กลางของก้อนไอศกรีม วัสดุที่เหมาะสมและอนุญาตให้ใช้ในการรองไอศรกรีมเพื่อศึกษาคุณสมบัติการละลาย คือจานแก้ว ก้นภาชนะต้องแบน เพื่อให้ทิศทางการละลายของไอศกรีมเป็นอิสระ ปริมาตรและน้ำหนักต้องเท่ากันทุกครั้งเมื่อการศึกษาคุณสมบัติการละลายของไอศกรีมเริ่มต้นห้ามมีการรบกวนตัวอย่างเด็ดขาด

เนื้อ และเนื้อสัมผัส (body and texture)

มีลักษณะที่ละเอียด ความเรียบเนียน (smooth) มีลักษณะที่นุ่ม ความรู้สึกสม่ำเสมอของเนื้อไอศกรีม มีขนาดเกล็ดน้ำแข็งขนาดเล็กไม่เกิดผลึกน้ำแข็งที่เป็นเกล็ด และง่ายต่อการตักรับประทาน เนื่องจากไม่มีเนื้อสัมผัสที่แน่นหรือหนักจนเกินไป

กลิ่นรส (flavour) ไอศกรีมที่ดีต้องไม่มีกลิ่นรสดังต่อไปนี้

- กลิ่นสุก (cooked flavour) ซึ่งกลิ่นสุกมีสาเหตุมาจากผลิตภัณฑ์ผ่านอุณหภูมิที่สูงเกินไป เนื่องจากการใช้ความร้อนผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- กลิ่นรสไม่เป็นธรรมชาติ (unnatural flavour) มีสาเหตุจากการใช้กลิ่นรสซึ่งแตกต่างจากปรกติ
- เป็นกรดสูง (high acid) สาเหตุจากการใช้ผลิตภัณฑ์นมที่มีความเป็นกรดสูง หรือเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานก่อนที่จะนำไปปั่นเป็นไอศกรีม
- ขาดกลิ่นรสที่ดี (off flavour) สาเหตุมาจากการใส่วนิลามากเกินไป
- กลิ่นอับ สาเหตุมาจากการเก็บไอศกรีมในห้องแช่แข็งนานเกินไป ทำให้ส่วนผสมมีกลิ่นอับ
- กลิ่นโลหะ สาเหตุจากการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่น หรือมีการปนเปื้อนสารคอปเปอร์หรือเหล็ก หรือการใช้วนิลาที่มีคุณภาพต่ำ

จุลินทรีย์(Microbiological)

ไอศกรีมมีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคน้อย เนื่องจากส่วนประกอบที่ใช้ถูกจำกัดกระบวนการผลิต การทำให้แข็งตัว และเย็นจัดทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์แตก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเป็นผลึกน้ำแข็งของส่วนผสม การเก็บไอศกรีมในห้องเย็นจะทำให้จุลินทรีย์ลดลง แต่ถ้าเก็บไว้นานก็จะมีแบคทีเรียบางพวกสามารถเจริญได้ และจะมีมากขึ้นเมื่อไอศกรีมละลายหรือถูกทำให้แข็งอีกครั้งหนึ่ง ในการวิเคราะห์ปัญหาด้านสุขลักษณะที่เกี่ยวข้องกับไอศกรีมนั้น จำเป็นต้องรู้และเข้าใจทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์และระบุจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมของกระบวนการผลิตได้(บุญช่วย, 2547) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 222) พ.ศ.2544 เรื่อง ไอศกรีม กำหนดให้มีบักเตรีได้ไม่เกิน 600,000ในอาหาร 1 กรัม ตรวจไม่พบบักเตรีชนิด อี.โคไล (*Escherichia coli*) ในอาหาร 0.01 กรัมไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 ข้อบกพร่องของไอศกรีม

ข้อบกพร่องทางด้านกลิ่นรส (flavour defects) (สุพัตน์, 2546) เกิดจาก

1. การใช้ผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งมีกลิ่นรสผิดปรกติ เช่น กลิ่นหืน กลิ่นบูด กลิ่นรสเปรี้ยว หรืออาจเกิดจากการใช้ถังผสมที่ล้างไม่สะอาด ซึ่งทำให้มีกลิ่นติดมา
2. การใช้สารให้ความหวานในไอศกรีมมากหรือน้อยเกินไป ทำให้รสชาติไม่ดีหรือใช้ชนิดที่มีกลิ่นแตกต่างจากปรกติ ไม่ตรงกับลักษณะไอศกรีมที่ผลิต ทำให้เกิดกลิ่นรสไม่เป็นธรรมชาติ

3. กลิ่นต้ม (cooked flavor) ซึ่งกลิ่นต้มมีสาเหตุมาจากผลิตภัณฑ์ผ่านอุณหภูมิที่สูงเกินไป เนื่องจากการใช้ความร้อนของผลิตภัณฑ์
4. กลิ่นไข่ (egg flavor) มีสาเหตุมากจากการใส่ไข่ในส่วนผสมมากเกินไป
5. กลิ่นอับ สาเหตุจากการเก็บไอศกรีมนานเกินไป

ข้อบกพร่องทางด้าน body

1. Crumbly เป็นลักษณะไอศกรีมที่ไม่จับหรือรวมตัวเป็นก้อน ร่วนไม่แข็ง อาจมีสาเหตุมากจากการที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำเกินไป การใช้สารให้ความคงตัวน้อยเกินไป โอเวอร์รันมากเกินไป เซลล์อากาศมีขนาดใหญ่เกินไป หรือความสมบูรณ์ของการโอโมจิไนส์
2. Soggy ไอศกรีมที่มีลักษณะเปียกแฉะ เนื่องจากมีโอเวอร์รันน้อยเกินไป หรือมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากเกินไป ปริมาณน้ำตาลมากเกิน หรือการใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไป
3. Weak เป็นไอศกรีมที่มีลักษณะขาดความแน่น (firmness) เนื่องจากปริมาณส่วนที่เป็นของแข็งในไอศกรีมน้อยเกินไป
4. Heavy เนื้อไอศกรีมมีลักษณะแน่นหนัก
5. Shrinkage ไอศกรีมเกิดการหดตัวหรือยุบตัว เมื่อเซลล์อากาศแตกจะทำให้ไอศกรีมหดตัว ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุดังนี้ มีโอเวอร์รันมากเกินไป ปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำไป เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องเก็บรักษา (fluctuation)

ข้อบกพร่องทางด้านเนื้อสัมผัส (texture defect)

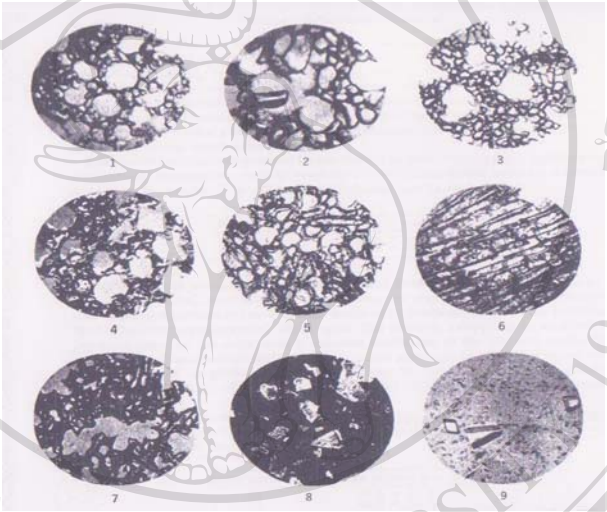
1. Coarseness หรือ Iceness เป็นไอศกรีมที่มีผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่หรือขนาดไม่เท่ากัน หรือมีเซลล์อากาศขนาดใหญ่ เนื่องจากมีการใช้สารให้ความคงตัวน้อยเกินไป รวมทั้งมีน้ำแข็งละลายก่อนที่จะนำไปห้องแช่แข็ง (hardening room)
2. Fluffy เป็นไอศกรีมที่มีลักษณะโครงสร้างที่เบาเนื่องจากมีอากาศในเนื้อไอศกรีมมากเกินไป
3. Sandiness เป็นไอศกรีมที่มีเนื้อหยาบคล้ายเม็ดทราย เวลารับประทานจะรู้สึกสากลิ้น เนื่องจากการตกผลึกของน้ำตาลแลคโตส มีปริมาณของแข็งไม่รวมไขมันมากเกินไป หรืออุณหภูมิในห้องเก็บแช่แข็งไม่คงที่สม่ำเสมอ (heat shock)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ไอศกรีมมีความเหนียวหนืดผิดปรกติ (gummy,sticky) เนื่องจากการใช้สารให้ความตัวมากเกินไป

ข้อบกพร่องด้านการละลาย

เกิดจากการที่ไอศกรีมละลายช้าหรือเร็วเกินไป เป็นโฟมหรือมีฟองอากาศขนาดใหญ่ (foamy) เป็นก้อนลิ่ม (curdy) เป็นน้ำ (watery) ลักษณะการละลายที่ดีของไอศกรีมควรละลายและไหลออกจากศูนย์กลางของก้อนไอศกรีม ของเหลวของไอศกรีมที่ละลายแล้วควรยังมีความเนียนและยังคงความเป็นเนื้อเดียวกันอยู่



ภาพที่ 2.16 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีม 1 เรียบเนียน 2 หยาบ 3 Fluffy 4 soggy 5 icy หรือหยาบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้น ๆ ลง ๆ 6 หยาบ icy หรือ flaky เนื่องจากการแช่แข็งช้า ๆ โดยปราศจากการกวน 7 หยาบ, icy หรือ surface heat shock 8 ผลึกของแล็คโตส จากไอศกรีมที่มีเนื้อหยาบคล้ายเม็ดทราย (sandy) 9 ผลึกแล็คโตส
ที่มา : Clarke, 2004

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อบกพร่องทางด้านสี (color defect)

เกิดจากการผสมสีไม่เข้ากันดี หรือไม่ได้มาตรฐาน ทำให้สีจางหรือเข้มเกินไป ซึ่งทำให้ขาดความสม่ำเสมอของสีในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ดีควรจะมีสีเดียวกันสม่ำเสมอและมีสีใกล้เคียงกับธรรมชาติของไอศกรีมชนิดนั้น ๆ

ข้อบกพร่องทางด้านจุลินทรีย์

เกิดจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับส่วนผสม และภาชนะบรรจุไอศกรีม กระบวนการให้ความร้อนแก่ส่วนไอศกรีมไม่ถูกต้อง การควบคุมสุขลักษณะ และความสะอาดของอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ดี (Arbuckle, 1986)

2.5.3 คุณสมบัติทางรีโอโลยี (Rheology)

รีโอโลยี (rheology) เป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการผิดรูป (deformation) และการไหล (flow) ของสสาร อันเนื่องมาจากการตอบสนองต่อแรง (force) ที่กระทำ การผิดรูปที่เกิดขึ้นอาจเป็นลักษณะที่ไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ เช่น การไหลของของเหลว (flow) ซึ่งไม่สามารถไหล ย้อนกลับได้ และลักษณะที่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ เช่น ความยืดหยุ่นของของแข็ง (elasticity) (อรุณี, 2548) การศึกษาสมบัติทางรีโอโลจีนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายถึงสมบัติเชิงวีสโคอิลาสติกของวัสดุ (viscoelastic properties) ซึ่งผสมระหว่างสมบัติการยืดหยุ่นและการไหลหนืด

2.5.3.1 ขอบเขตของรีโอโลยี

คุณสมบัติเชิงรีโอโลยีเป็นสาขาหนึ่งของคุณสมบัติเชิงกล การศึกษาทางรีโอโลยีเป็นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง(deformation) ของวัสดุ และร่วมทั้งการไหล โดยจะพิจารณาถึงผลของเวลาขณะที่มีแรงมากระทำต่อวัสดุ โดยจะเกี่ยวข้องกับตัวแปรสำคัญ 3 ตัวแปร คือ แรง การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และเวลา เพื่อดูลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติการเป็นของแข็งและของเหลว ทำให้ทราบลักษณะทางกายภาพของอาหาร และความรู้ดังกล่าวจะช่วยเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมกับการเติมลงในอาหาร ชนิดต่างๆ รวมทั้งยังช่วยคำนวณพลังงาน และต้นทุนที่ใช้ในการผลิตได้ด้วย

2.5.3.2 ประโยชน์ของการศึกษารีโอโลยี

- เพื่อให้เข้าใจถึงโครงสร้างภายในของวัสดุ
- การทดสอบทางรีโอโลยีมักใช้อยู่เสมอในโรงงานอุตสาหกรรมการแปรสภาพวัตถุดิบ และการควบคุมการผลิต
- รีโอโลยีมีประโยชน์ต่อการออกแบบเครื่องจักรกล
- รีโอโลยีใช้แก้ปัญหาการยอมรับของผู้บริโภคได้

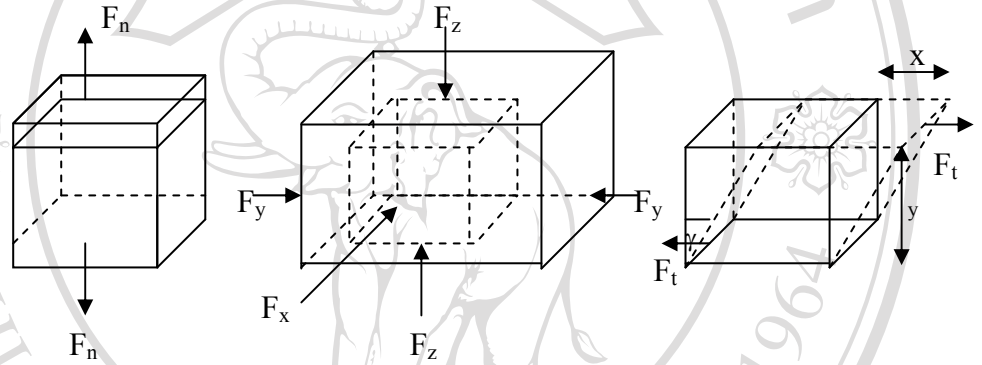
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.3.3 ความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสมบัติทางรีโอโลยี จำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางด้านฟิสิกส์เกี่ยวกับแรง และพฤติกรรมของวัสดุที่ตอบสนองต่อแรงที่กระทำดังนี้

2.8.3.1 ความเค้น (stress) หมายถึงแรงที่กระทำต่อพื้นที่วัสดุ คือลักษณะอย่างหนึ่งของวัสดุขณะอยู่ใต้ความดันซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

- แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิววัสดุเพียงด้านเดียว หรือความเค้นดึง(uniaxial stress)
- แรงที่กระทำกับวัสดุในทุกทิศทางหรือความเค้นอัด (bulk compression)
- แรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุหรือความเค้นเฉือน (shear stress)



a) uniaxial stress b) bulk compression c) shear stress

ภาพที่ 2.17 ชนิดของแรงที่กระทำ

ที่มา: Figura และ Teixeira, 2007

2.5.3.3.1 ความเค้นเฉือน (shear stress)

เมื่อวัสดุชิ้นหนึ่งเมื่อถูกแรงกระทำจะเกิดการผิดรูป (deformation) หรือการเคลื่อนที่ การผิดรูปเป็นการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันของจุดในตำแหน่งต่าง ๆ ในวัสดุ ซึ่งจะขึ้นกับขนาดและการกระจายของแรงที่กระทำ สำหรับการกระจายของแรงบางอย่างก่อให้เกิดการเคลื่อนที่แบบลามินาร์ การเคลื่อนที่แบบลามินาร์นี้เป็นการเคลื่อนที่ของวัสดุที่แสดงโครงสร้างแบบชั้นบาง (lamella) การผิดรูปของวัสดุจึงเกิดจากการเลื่อนตัวออกจากกันระหว่างชั้นโดยปราศจากการถ่ายเทมวลจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง การเคลื่อนที่แบบลาร์มินาร์จึงเป็นการเคลื่อนที่ที่เป็นระเบียบโดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตร แต่ละชั้นจะเคลื่อนที่เลื่อนไถลออกจากชั้นสองชั้นที่ติดกัน (อรุณี, 2548) ความเค้นเฉือน หมายถึง แรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ การผิดรูปจะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันของจุดในตำแหน่งต่างๆ ในวัสดุ ซึ่งจะขึ้นกับขนาดและการกระจายของแรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่กระทำ เมื่อสมมุติว่าโครงสร้างของวัสดุประกอบด้วยชั้นบางมากๆ การผิดรูปของวัสดุ จึงเกิดจากการเคลื่อนที่แบบลามินาร์ (laminar flow) ที่เป็นระเบียบของชั้นวัสดุ การเลื่อนตัวออกจากกันระหว่างชั้นที่ติดกันต้องอาศัยแรงที่มากกว่าแรงเสียดทานระหว่างผิว แรงที่กระทำนี้เรียกว่า แรงเฉือน (shear force) โดยการเคลื่อนที่นี้ไม่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (มนัส, 2538)

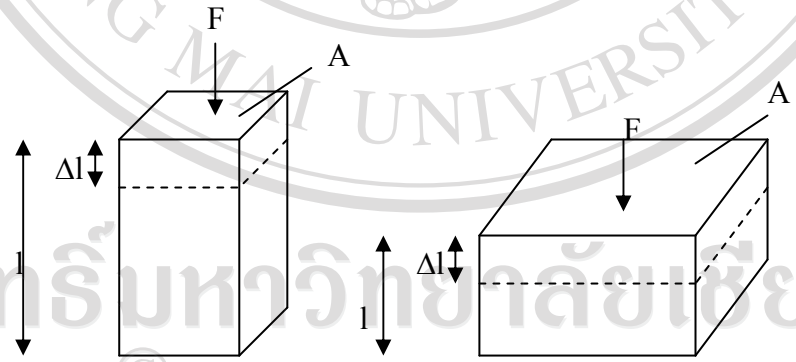
ความเค้นเฉือนหาได้จากสูตร

$$\tau = dF / ds \qquad (2.1)$$

เมื่อ	σ	คือ	ความเค้น	มีหน่วยเป็น	N/m^2
	F	คือ	แรง	มีหน่วยเป็น	N
	s	คือ	พื้นที่	มีหน่วยเป็น	m^2

2.5.3.3.2 ความเครียด (strain)

หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อมีความเค้นมากระทำ คือถ้ามีแรงมากระทำกับวัสดุและเกิดความเค้นขึ้น วัสดุนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่นการยืดหรือการอัด



ภาพที่ 2.18 แสดงการผิดรูปของวัสดุ

ที่มา: Figura และ Teixeira, 2007

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.3.3.3 ความเครียดเฉือน (shear strain) (γ)

หมายถึง การผิดรูปที่เกิดจากแรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ ทำให้วัสดุเคลื่อนที่แบบลามินาร์ เมื่อสมมุติให้เป็นการเคลื่อนที่ในเนื้อวัสดุ หรือการผิดรูปของวัสดุยืดหยุ่นของของไหลนิวทอเนียน (Newtonian fluid) ที่เกิดจากการกระทำของแรงเค้นเฉือนน้อยๆ และมีการเคลื่อนที่แบบลามินาร์อย่างง่าย ทำให้ความเค้นเฉือนจะขึ้นกับเวลาเท่านั้น และถือว่าความเครียดเฉือนที่ทุกตำแหน่งมีค่าเท่ากันทั้งหมด

ความเครียดหาได้จากสูตร

$$\varepsilon = \Delta l / l \qquad (2.2)$$

เมื่อ ε คือ ความเครียด

Δl คือ การผิดรูป มีหน่วยเป็น m

l คือ ความยาวเริ่มต้น มีหน่วยเป็น m

2.5.3.3.4 ค่า Young's Modulus

เมื่อมีแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิววัสดุเพียงด้านเดียวได้แก่ ความเค้นยืด (tensile stress) และความเค้นอัด (compressive stress) ดังแสดงในภาพ 2.1 a) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความยาว โดยปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง ของแข็งที่แสดงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ (ideal elastic behavior) สามารถอธิบายโดยกฎของฮุค (Hook's Law) ดังนี้

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \qquad (2.3)$$

เมื่อ E คือ Young's modulus of elasticity มีหน่วยเป็น Pa

ค่า Young's modulus of elasticity หรือ elastic modulas บ่งบอกถึงความสามารถในด้านความยืดหยุ่น การหดตัว และความเหนียวของวัสดุ (Figura และ Teixeira, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.3.3.5 ค่า Bulk Modulus

เมื่อมีแรงที่กระทำกับวัสดุในทุกทิศทาง ดังแสดงในภาพ 2.22 b) เช่น แรงดันภายนอกจากการนำวัสดุวางในน้ำ ซึ่งจะทำให้ปริมาตรของวัสดุเปลี่ยนแปลง โดยจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความดันสูง หรือ ความดันต่ำ

$$K = - V (dp/dV) \quad (2.4)$$

เมื่อ	K	คือ	bulk modulus	มีหน่วยเป็น	Pa
	V	คือ	ปริมาตร	มีหน่วยเป็น	m^3
	p	คือ	ความดัน	มีหน่วยเป็น	Pa

2.5.3.3.6 ค่า bulk modulus

บ่งบอกถึงความสามารถในด้าน ความยืดหยุ่น ความสามารถในการทนการกดอัด และความแข็งแรงของวัสดุ (Figura และ Teixeira, 2007)

2.5.3.3.7 อัตราเฉือน (shear rate)

อัตราเฉือน หมายถึง อัตราความเครียดเฉือนในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น (Rosenthal, 1999)

$$\dot{\gamma} = \gamma / t \quad (2.6)$$

เมื่อ	$\dot{\gamma}$	คือ	อัตราเฉือน	มีหน่วยเป็น	s^{-1}
	γ	คือ	ความเครียดเฉือน		
	t	คือ	เวลา	มีหน่วยเป็น	s

2.5.3.3.8 ค่า Shear Modulus

เมื่อมีแรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ ดังแสดงในภาพ 2.1 c) จะทำให้วัสดุเกิดการบิดตัว โดยที่มีความยาวไม่เปลี่ยนแปลง และมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่าเท่ากับค่าความเครียดเฉือน

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (2.7)$$

เมื่อ	τ	คือ	ความเค้นเฉือน	มีหน่วยเป็น	Pa
	γ	คือ	ความเครียดเฉือน		
	G	คือ	shear modulus	มีหน่วยเป็น	Pa

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า shear modulus บ่งบอกถึงความสามารถในด้าน การบิดงอ การบิดเป็นเกลียวความเหนียว และความแข็งแรง ของวัสดุ (Figura และTeixeira, 2007)

2.5.3.3.9 ความหนืด (viscosity)

ความหนืด หมายถึง แรงต้านการไหลของของไหลของเหลวที่แสดงพฤติกรรมของของไหลนิวทอเนียน สามารถอธิบายโดยกฎของนิวตัน (Newton's Law) ดังนี้

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \qquad (2.8)$$

เมื่อ					
	τ	คือ	ความเค้นเฉือน	มีหน่วยเป็น	Pa
	$\dot{\gamma}$	คือ	อัตราเฉือน	มีหน่วยเป็น	s^{-1}
	η	คือ	ความหนืด	มีหน่วยเป็น	Pa·s

ความหนืด (viscosity) จึงเป็นการต้านทานของของเหลวต่อการไหล ความหนืดสูงขึ้นก็จะมีการต้านทานต่อการไหลมากขึ้นด้วย ของเหลวธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสมบูรณ์ได้ ในขณะที่สารกระจายตัวที่มีส่วนผสมหลายตัวจะมีคุณสมบัติการไหลที่ซับซ้อนและไม่สามารถแสดงค่าความหนืดค่าเดียวได้ โดยความหนืดของอาหารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการกลืนในมนุษย์ หากความหนืดของอาหารสูงมากก็จะทำให้กลืนยาก แต่ถ้าความหนืดของอาหารน้อยมากอาจเกิดการสำลักถ้ากลืนเร็วเกินไป เพราะฉะนั้นความหนืดของอาหารต้องเหมาะสมกับความสามารถในการกลืนของแต่ละคน

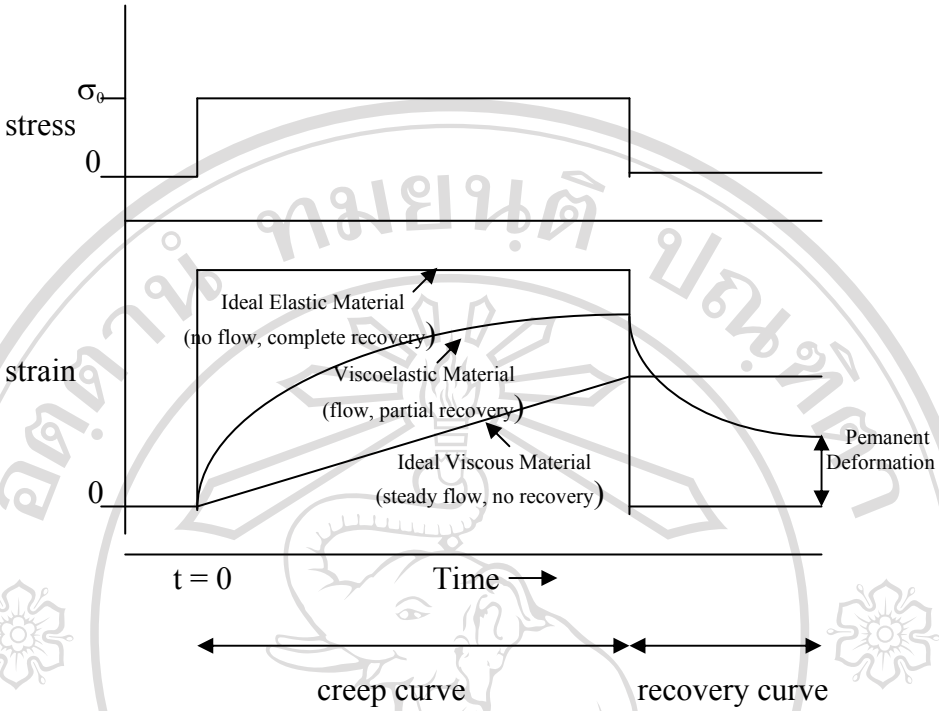
2.5.3.4 สมบัติเชิงวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic property)

วิสโคอิลาสติก ใช้เรียกวัสดุที่สมบัติร่วมระหว่างของแข็งยืดหยุ่น (elastic solid) และของเหลวไหลหนืด (viscous fluid) (อรุณี, 2548) พฤติกรรมพื้นฐานทางวิสโคอิลาสติกแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

2.5.3.4.1 การคืบ (Creep)

หมายถึงการผิดรูปอย่างช้า ๆ ไปตามเวลาที่เปลี่ยนไป (อรุณี, 2548) เมื่อมีแรงคงที่แรงหนึ่งกระทำกับวัสดุ จะทำให้วัสดุเกิดการผิดรูปอย่างช้า ตามเวลาที่เปลี่ยนไปเพื่อเข้าหาจุดสมดุล (dimension stability) ซึ่งเป็นการแสดงสมบัติของการคืบของวัสดุ วิสโคอิลาสติก สามารถวัดได้ด้วยการใช้แรงเฉือน หรือแรงยืด หรือแรงกดก็ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.19 กราฟการคืบ

ที่มา: Steff, 1992

จากภาพ 2.18 พิจารณาวัสดุวิสโคอิลาสติก (viscoelastic material) ให้เห็นว่าที่ t = 0 ความเครียดเพิ่มขึ้นในทันทีเนื่องจากมีแรงภายนอกมากระทำ แสดงถึงความยืดหยุ่นสมบูรณ์ หลังจากนั้นความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แสดงถึงการไหลหนืด และเมื่อเวลาที่ t มากๆ ความเครียดจะเริ่มคงที่ แสดงถึงการเข้าสู่สมดุลใหม่ ซึ่งเป็นสมบัติของของแข็ง

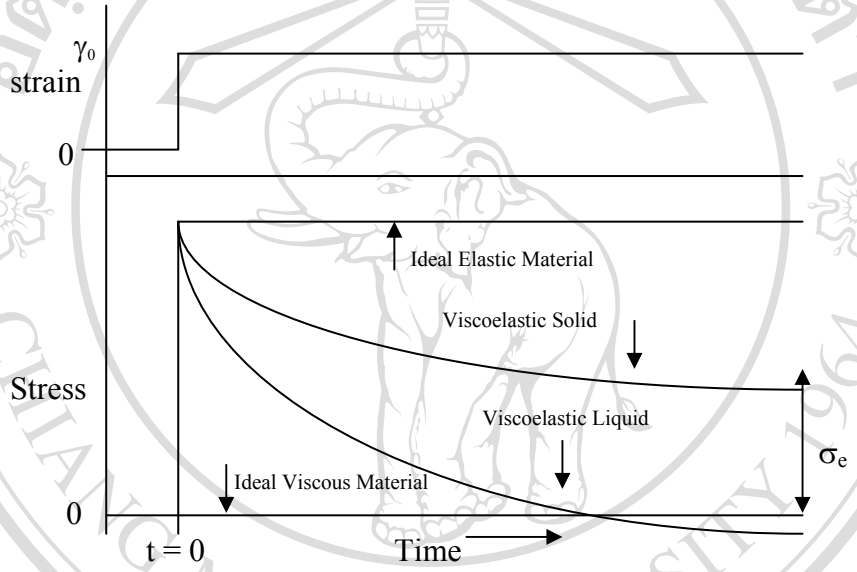
2.5.3.4.2 การคืนรูป (Recovery)

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดต่อเนื่องจากการคืบ หลังจากถอนแรงออกจากวัสดุทำให้วัสดุเกิดการหดตัวเพื่อกลับสู่สภาพเดิม โดยวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสมบูรณ์จะสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้อย่างสมบูรณ์และไม่เกิดการหดกลับเลยในวัสดุที่เป็นของไหล ส่วนวัสดุที่เป็นวิสโคอิลาสติกจะสามารถหดกลับได้เพียงบางส่วนและมีบางส่วนที่เกิดการผิดรูปอย่างถาวร(permanent deformation) (อรุณี, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.3.4.3 การพักความเค้น (Stress relaxation)

หมายถึงการลดลงตามเวลาของความเค้นขณะที่ให้ความเครียดคงที่การทดสอบ stress relaxation สามารถกระทำโดยให้แรงกับวัสดุ โดยคงการเปลี่ยนรูปไว้หรือคงความเครียดไว้และวัดความเค้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา(อรุณี, 2548) เมื่อทำการคงการผิดรูปให้คงที่ หรือคงความเครียดที่ค่าหนึ่ง แรงที่กระทำต่อวัสดุจะลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งเป็นการแสดงสมบัติของการพักความเค้นของวัสดุ สามารถวัดได้ด้วยการใช้แรงเฉือน หรือแรงยืด หรือแรงกด ที่คงที่กับวัสดุและวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามเวลา



ภาพที่ 2.20 กราฟการพักความเค้น

ที่มา: Steff, 1992

จากภาพ 2.19 พิจารณาวัสดุวิสโคอิลาสติก (viscoelastic material) ให้เห็นว่าการพักความเค้นจะค่อยๆ ดำเนินไปจนกระทั้งถึงจุดสมดุล คือ แรงที่กระทำต่อวัสดุจะลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยวัสดุวิสโคอิลาสติกชนิดเหลวจะมีค่าความเค้นสมดุลเท่ากับศูนย์ และวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสมบูรณ์จะไม่มีการพักความเค้น

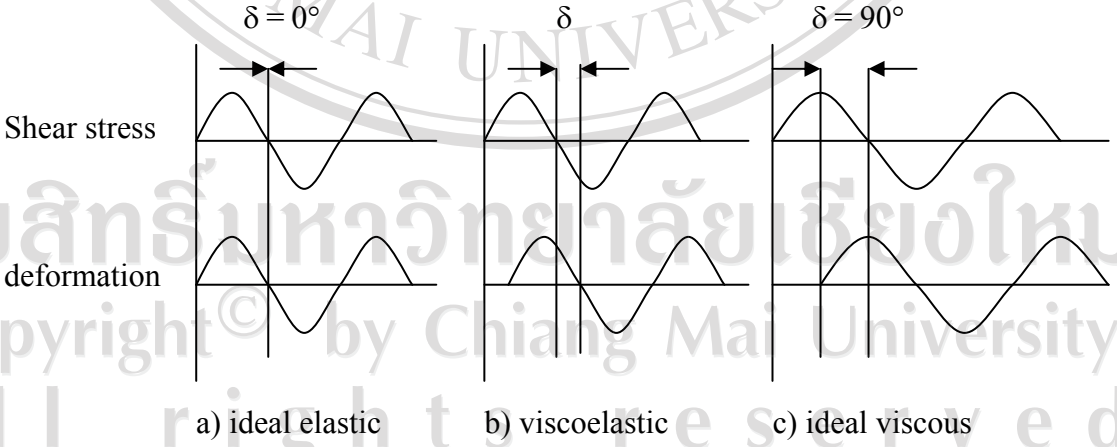
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.3.5 การทดสอบพฤติกรรมทางวิสโคอิลาสติก

การทดสอบแบบสั่น (Oscillation testing)

การทดสอบแบบสั่นเป็นการศึกษาคุณสมบัติการไหลหนืดและการยืดหยุ่นของวัสดุ ตลอดจนสามารถศึกษาลงไปถึงโครงโมเลกุลได้ด้วย (มนัส, 2538) การศึกษาสมบัติการไหลหนืดและการยืดหยุ่นของโพลิเมอร์โดยวิธีการสั่นนี้มีความสะดวก และความไวมากกว่าการทดสอบแบบคืบหรือการพักความเค้นและเป็นที่ยอมรับ และสำคัญต่อการศึกษาสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์ของวัสดุโพลิเมอร์ นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาโครงสร้างโมเลกุล (Molecular structure) ได้ดี

การทดสอบแบบสั่นอาจกระทำได้หลายรูปแบบทั้งวิธียืดหรือวิธีกดหรือวิธีเฉือน แต่ที่นิยมคือวิธีเฉือนเป็นวิธีที่ควบคุมให้ความเครียดคงที่ แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงของความเค้นไปตามความถี่ของการสั่นหรือตามเวลาของการสั่นหรืออุณหภูมิในการสั่น ในทำนองเดียวกันอาจให้ความเค้นคงที่แล้ววัดความเครียดที่เปลี่ยนไปตามความถี่ของการสั่นเช่นเดียวกับการวัดความเค้น สำหรับวิธีการสั่นนี้ใช้กับอาหารเหลวและอาหารกึ่งแข็ง(เจล) โดยอาหารจะถูกวางไว้ระหว่างแผ่นกรวยกับแผ่นเรียบ(cone and plate) หรือแผ่นเรียบกับแผ่นเรียบ (plate and plate) แผ่นบนจะหมุนในแนวราบไปและกลับตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ จะปรากฏคลื่นในการการสั่น 2 คลื่น คือ คลื่นของความเค้นและคลื่นของความเครียด ถ้าเป็นวิธีสั่นแบบให้ความเครียดคงที่การตอบสนองของความเค้นจะมีความต่างเฟสกันระหว่าง 0-90 องศา (อรุณี, 2548) ดังแสดงในภาพ 2.21



ภาพที่ 2.21 มุมเฟสที่เปลี่ยนเมื่อให้ความเค้นหรือความเครียดแบบสั่น

ที่มา: Figura และ Teixeira, 2007

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเครียดสั่นมีสมการเป็น

$$\gamma = \gamma_0 \sin(\omega t) \qquad (2.9)$$

เมื่อ γ คือ ความเครียดสั่น

γ_0 คือ ความเครียดเฉือนสูงสุด

ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

วัสดุวิสโคอิลาสติก (viscoelastic material)

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั่นจะทำมุมต่างเฟส δ จะอยู่ระหว่า 0-90 องศา ดังแสดงในภาพ 2.5 b) ความเค้นที่ตอบสนองมีสมการเป็น

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta) \qquad (2.10)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น

σ_0 คือ ความเค้นเฉือนสูงสุด

ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

δ คือ มุมต่างเฟส

วัสดุยืดหยุ่นสมบูรณ์ (ideal elastic material)

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั่นจะทำมุมต่างเฟส $\delta = 0$ องศา ดังแสดงในภาพ 2.25 a) ความเค้นที่ตอบสนองมีสมการเป็น

$$\sigma = G\gamma_0 \sin(\omega t) \qquad (2.11)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น

γ_0 คือ ความเครียดเฉือนสูงสุด

ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

G คือ elastic modulas

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัสดุไหลหนืดสมบูรณ์ (ideal viscous material)

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั่นจะทำมุมต่างเฟส $\delta = 90$ องศา ดังแสดงในภาพ 2.5 c) ความเค้นที่ตอบสนองมีสมการเป็น

$$\sigma = \eta\omega_0 \sin(\omega t+90) \qquad (2.12)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น

γ_0 คือ ความเครียดเฉือนสูงสุด

ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

η คือ ความหนืด

วัสดุวิสโคอิลาสติกสามารถแสดงสมบัติของวัสดุยืดหยุ่นและวัสดุไหลหนืด ที่ตอบสนองต่อการสั่น ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ได้ในค่า complex modulus: G*

$$G^* = G' + G'' \qquad (2.13)$$

เมื่อ G' คือ ค่าโมดูลัสสะสม (shear storage modulus) จะมีเฟสเดียวกับเฟสจริงของความเครียด แสดงถึงสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุ หรือ elastic modulas โดยวัสดุจะสะสมพลังงานที่ใช้ในการผิดรูปไว้ภายในวัสดุ เพื่อใช้ในการคืนสู่รูปเดิม (storage partition) เมื่อถอนแรงเค้น และแสดง solid-body like behavior ของวัสดุที่ทดสอบ ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่น้ำในองค์ประกอบทั้งหมดแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ จะทำให้มีค่า storage modulus สูงสุด อีกทั้งยังหมายถึง การมีคุณลักษณะแบบ stiffness หรือ rigidity ของไอศกรีมด้วย(Wildmoser *et al.,* 2005)

$$G' = (\sigma_0 / \gamma_0) \cos\delta \qquad (2.14)$$

G'' คือ โมดูลัสสูญหาย (shear loss modulus) จะมีเฟสต่างจากเฟสจริง 90 แสดงถึงสมบัติการไหลหนืดของวัสดุ หรือ viscous modulus ซึ่งในส่วนนี้พลังงานถูกใช้ในการสร้างและสลายพันธะตลอดเวลาที่เกิดการผิดรูปและจะสูญสลายไป (loss partition) ก่อนสิ้นสุดช่วงเวลาที่กำหนด และแสดง viscous fluid behavior (flowability) ของวัสดุที่ทดสอบโดยในวัสดุที่เป็น non-elastic fluid ค่าพลังงานที่ทำให้เสียสภาพโดยรวมจะเปลี่ยนเป็นค่าความร้อน แต่ในไอศกรีมค่า loss

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

modulus จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิลง ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง และความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้น flowability จึงลดลง (Wildmoser *et al.,* 2005)

$$G'' = (\sigma_0 / \gamma_0) \sin \delta \qquad (2.15)$$

นอกจากนี้ยังมีการกำหนดค่า loss tangent: tan δ เพื่อแสดงสัดส่วนของการแสดงสมบัติการไหลหนืดต่อสมบัติการยืดหยุ่น

$$\tan \delta = G'' / G' \qquad (2.16)$$

ค่า loss tangent: tan δ เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนของการแสดงสถานะของการเป็นวัสดุไหลหนืดต่อสถานะยืดหยุ่น ค่า loss tangent: tan δ แปรผันตามความถี่เช่น การเปลี่ยนแปลงค่า loss tangent: tan δ นี้เป็นตัวชีถึงการเปลี่ยนแปลงจากสถานะแก้วสู่สถานะยางได้

เนื่องจาก $0 \leq \delta \leq \pi/2$ ค่า loss tangent: tan δ จึงมีค่าตั้งแต่ 0-∞

ตัวอย่าง loss tangent: tan δ ของอะมอร์ฟอสโพลิเมอร์มีค่าเท่ากับ 0.2-0.3 loss tangent: tan δ ของผลึกโพลิเมอร์มีค่าเท่ากับ 0.01 (อรุณี, 2548) และถ้าค่า tan δ มากกว่า 1 แสดงว่าวัสดุมีการไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น (Rosenthal, 1999)

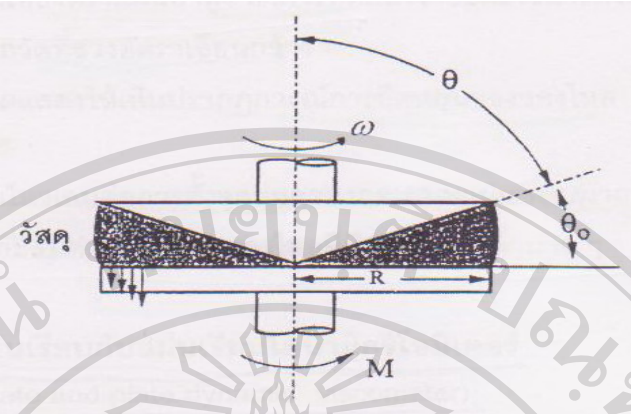
2.5.3.6 เครื่องมือวัดทางรีโอโลจี

เครื่องวัดทางรีโอโลจีสามารถแบ่งตามประเภทของแรงที่กระทำได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือวัดพฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear behavior) เช่น คาปิลารีวิสโคมิเตอร์ และเครื่องมือวัดชนิดสั่น และเครื่องมือวัดพฤติกรรมเชิงเส้น (linear behavior) เช่น เครื่องมือวัดชนิดสั่น (oscillating) (มนัส, 2538) การทดสอบแบบไดนามิคเป็นการทดสอบชนิดใช้ความเค้นหรือเคาวามเครียดต่ำมาก ๆ (small deformation) เครื่องมือวัดระบบไดนามิครีโอโลยีทั่วไปนั้นสารตัวอย่างจะถูกสั่นภายใต้การกระทำของความเค้นหรือความเครียดที่กำหนด ไดนามิครีโอมิเตอร์แบ่งออกเป็น

2.5.3.6.1 เครื่องรีโอมิเตอร์ชนิดหมุนแบบกรวยกับแผ่นเรียบ (Cone and Plate rheometer)

รีโอมิเตอร์แบบกรวยกับแผ่นเรียบวัสดุที่ศึกษาจะถูกบรรจุอยู่ระหว่ากรวยและเผ่นเรียบที่มีรัศมี R มียอดของกรวยอยู่บนแผ่นเรียบทำมุม ∝ ซึ่งปกติจะน้อยกว่า 5 องศา ดังแสดงในภาพ 2.26

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.22 ภาพตัดขวางของรีโอมิเตอร์แบบกรวยกับแผ่นเรียบ

ที่มา: Rao, 1999; อรุณี, 2548

เมื่อแผ่นเรียบอยู่นิ่ง และกรวยหมุนด้วยความเร็วคงที่ ω_0 ของไหลจะเกิดการเคลื่อนที่แบบลามินาร์เฉือน ของไหลจะแบ่งเป็นชั้นเล็กๆที่มีลักษณะเป็นกรวย มีจุดยอดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของแผ่นเรียบ ของไหลที่จุดใดๆ P ห่างจากจุดศูนย์กลางรัศมี r และทำมุม θ กับแกนกรวย ดังภาพ 2.6 จะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω จะได้อัตราเฉือนคือ

$$\dot{\gamma} = -(d\omega / d\theta) \qquad (2.17)$$

เนื่องจากอัตราเฉือนในเนื้อของของไหลเท่ากัน และในกรณีที่ θ มีค่าเข้าใกล้ 90 องศา และ$\propto$ มีขนาดเล็กมาก จะได้ความเค้นเฉือนที่จะก่อให้เกิดโมเมนต์บนพื้นผิวดังสมการ

$$M = (2\pi / 3)R^3\tau \qquad (2.18)$$

เมื่อ M คือ โมเมนต์การหมุน มีหน่วยเป็น Nm

R คือ รัศมีของแผ่นเรียบ มีหน่วยเป็น m

τ คือ ความเค้นเฉือน มีหน่วยเป็น Pa

และ $\dot{\gamma} = \omega_0 / \propto$ (2.19)

เมื่อ $\dot{\gamma}$ คือ อัตราเฉือน มีหน่วยเป็น s^{-1}

ω_0 คือ ความเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น $rad{\cdot}s^{-1}$

$\propto$ คือ มุมระหว่างกรวยและแผ่นเรียบ มีหน่วยเป็น rad

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องรีโอมิเตอร์แบบกรวยกับแผ่นเรียบมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี (อรุณี, 2548)

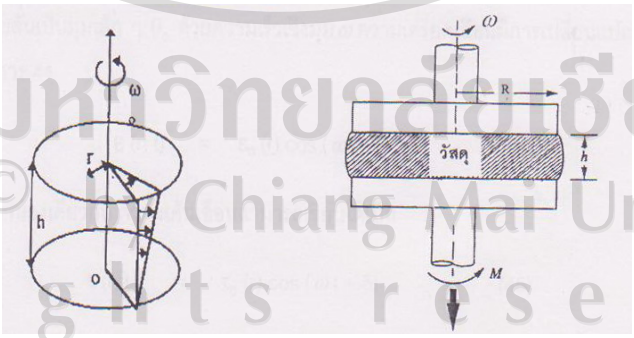
- ที่มุมระหว่างกรวยกับแผ่นเรียบ ไม่เกิน 5 องศา อัตราเฉือนภายในของไหลจะคงที่ในทุกตำแหน่งเพราะอัตราเฉือนขึ้นกับความเร็วเชิงมุมในการสั่น(ω) และมุมของกรวยซึ่งเป็นค่าคงที่ส่วนความเร็วเชิงมุมในการสั่นของวัสดุเท่ากันทุกตำแหน่งใช้ได้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง
- มีความเที่ยงตรงแม่นยำสูง ทำการทดลองง่ายและใช้สารตัวอย่างน้อย
- สามารถวัดได้ที่ช่วงอัตราเฉือนกว้าง
- สามารถแสดงปรากฏการณ์การยืดหยุ่นของของไหล

ข้อจำกัด

- ไม่เหมาะกับของไหลที่มีอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเกิน 30 ไมครอน
- ไม่เหมาะสมต่อของไหลที่มีความหนืดต่ำมากๆ
- มีความไหวเอนต่อการตั้งจุดยอดของกรวยบนแผ่นเรียบมาก
- เครื่องมือมีราคาแพง

2.5.3.6.2 เครื่องรีโอมิเตอร์ชนิดแผ่นเรียบกับแผ่นเรียบ (Plate and Plate rheometer)

รีโอมิเตอร์แบบกรวยกับแผ่นเรียบวัสดุที่ศึกษาจะถูกบรรจุอยู่ระหว่างกรวยและเผ่นเรียบที่มีรัศมี R โดยมีแผ่นเรียบแผ่นบนเป็นตัวหมุนกลับไปกลับมาเป็นมุมเล็ก ๆ แผ่นเรียบแผ่นล่างอยู่นิ่งและเป็นตัววัดแรงกระทำ ภาพตัดขวางเครื่องมือแสดงดังรูป



ภาพที่ 2.23 ภาพตัดขวางของแผ่นเรียบกับแผ่นเรียบไดนามิครีโอมิเตอร์

ที่มา: มนัส, 2538; Rao, 1999; อรุณี, 2548

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเร็วเชิงมุมในแต่ละชั้นที่ความสูง Z มีค่าเป็น ω(z) โดยที่ ω(z) มีค่าเป็น 0 ที่แผ่นเรียบแผ่นล่าง และมีค่าเป็น $\omega_0(h)$ ที่แผ่นบน อัตราเฉือนที่เกิดขึ้นในสารตัวอย่างที่ตำแหน่ง (r,z) จะเป็นฟังก์ชันของ r เท่านั้น ดังสมการที่

$$\varepsilon = r\frac{\partial \omega}{\partial z} = r\omega_0/h \qquad (2.20)$$

ข้อดี (อรุณี, 2548)

- สามารถทำการทดลองได้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง หรือโพลิเมอร์ที่มีสถานะหลอม
- มีความเที่ยงตรงแม่นยำสูง ทำการทดลองง่ายและใช้สารตัวอย่างน้อย

นวรัตน์ (2547) ศึกษาผลของสารให้ความคงตัวได้แก่แป้งข้าวโพดกัวร์กัม และ Carboxymethylcellulose (CMC) ในระดับความเข้มข้น 0.1- 0.3% ต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของส่วนผสมไอศกรีม (Ice Cream Mix) และคุณภาพของไอศกรีมกะทิ พบว่า ส่วนผสมไอศกรีมที่มี CMC และกัวร์กัม เป็นของเหลวประเภทนอนนิวโตเนียน (non-newtonian) แบบ Shear thining มีค่า Flow Behavior Index (n) หลังพาสเจอร์ไรส์ อยู่ในช่วง 0.40 ถึง 0.89 และหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 16 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 0.45 ถึง 0.94

Adapa *et al.* (2000) ศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของไอศกรีมและส่วนผสมไอศกรีมที่มีไขมันนม 12%, 8%, 6% ผสมกับสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน 6% และสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต 6 % พบว่า ค่า loss modulus (G") มีค่าสูงกว่า storage modulus (G') คุณสมบัติยืดหยุ่นของส่วนผสมไอศกรีมจะลดลงเมื่อปริมาณไขมันลดลง G' และ G" เปลี่ยนแปลงตามความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป จำนวนของไขมัน และการเกิด fat destabilization มีผลต่อสมบัติยืดหยุ่นของไอศกรีม การเติม สารทดแทนไขมัน ไม่มีส่วนช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น แต่ช่วยเพิ่มความหนืดของไอศกรีมได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การพัฒนาคุณภาพไอศกรีมไขมันต่ำหรือไอศกรีมปราศจากไขมัน

ปัจจุบันการนิยมบริโภคผลิตภัณฑ์ลดไขมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่กลับพบว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไขมันต่ำ และปราศจากไขมันกลับได้รับความนิยมลดลง (Aime *et al.*, 2001) ทั้งนี้เนื่องมาจาก การผลิตไอศกรีมไขมันต่ำเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เนื่องจากไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมีผลต่อลักษณะไอศกรีมทั้งทางด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะการละลาย โดยทั่วไป

ไขมันที่ใช้ในไอศกรีมเป็นไขมันนมซึ่งให้กลิ่นรสเฉพาะ และทำหน้าที่เป็นตัวพากลิ่นรส ที่เติมลงไปลักษณะเนื้อสัมผัสที่มันของไอศกรีม เกิดจากการเกาะกลุ่มของเม็ดไขมัน และขนาดของเม็ดไขมัน การเกิดโครงข่ายของเม็ดไขมันหลังจากการโฮโมจิไนส์ การตีอากาศสามารถทำให้เซลล์อากาศคงรูปร่างได้ด้วยผนังเซลล์ที่แข็งแรง นอกจากนี้ไขมันยังส่งเสริมให้ไอศกรีมแข็งและเกิดการแข็งตัวได้(Kilara, 1998) ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงสูตรการผลิตไอศกรีมไขมันต่ำ และปราศจากไขมันให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น(Aime *et al.,* 2001)

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดไขมันหรือปราศจากไขมัน โดยมีการใช้ประโยชน์จากสารที่ช่วยทดแทนไขมัน และองค์ประกอบที่เป็นนมเข้มข้น ซึ่งโปรตีนนมมีผลอย่างยิ่งต่อ กลิ่นรสและความรู้สึกขณะรับประทานของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ซึ่งการลดไขมันจะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และโครงสร้างของไอศกรีมเช่น coarseness, iciness, crumbly body, การหดตัวและมีกลิ่นรสที่เปลี่ยนไป โดยแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสูตรการผลิตไอศกรีมเพื่อให้มีเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับ คือการปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพ โดยโครงสร้างของไอศกรีมจะมี 3 องค์ประกอบที่เป็นโฟม ซึ่งเกิดจากโครงสร้างของเม็ดไขมัน และการกระจายตัวของผลึกน้ำแข็งใน aqueous phase ที่มีความหนืดสูง สิ่งที่น่าสนใจในการ การผลิตไอศกรีมที่มีไขมันต่ำคือ ไม่มี network ของเม็ดไขมัน ซึ่งจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเป็นอย่างมาก (Aime *et al.,* 2001)เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการทดลองเพื่อนำใช้ประโยชน์จากสารทดแทนไขมันขึ้น

2.6.1 สารทดแทนไขมัน (Fat replacers)

สารทดแทนไขมัน(fat replacers)เป็นสารผสมอาหารที่ใช้ทดแทนไขมัน เป็นส่วนประกอบที่ใช้แทนแหล่งไขมันบางส่วนหรือทั้งหมดในอาหาร โดย ต้องทำหน้าที่แทนไขมันและลดคอเลสเตอรอลในผลิตภัณฑ์อาหาร การใช้สารทดแทนไขมันในไอศกรีมจะต้องทำให้อาหารมีลักษณะเป็นครีมมีความมัน ความลื่น และมีลักษณะของเนื้อสัมผัสที่ดีเช่นเดียวกับไอศกรีมไขมันปรกติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดคอเลสเตอรอลในอาหาร สารทดแทนไขมันที่นิยมในการผลิตไอศกรีม คือสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน (Protein-based fat replacers) และสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต(Carbohydrate-based fat replacers) ซึ่งสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนมีบทบาททำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมเรียบเนียน มีความอ่อนนุ่มมีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รัน(overrun) สูง มีค่าความแข็ง(hardness)น้อยกว่า และมีความยืดหยุ่น(elastic)มากกว่า แต่ก็มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลิ่นของเวย์ (whey) มากกว่าการให้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตซึ่งจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เรียบเนียน แต่ไอศกรีมมีความหนืดสูงส่งผลให้การละลายช้าลง ช่วยเพิ่มความหนืดให้กับไอศกรีม และให้ความรู้สึกทางปากคลายครีม และเนื่องจากไม่มีสารเพียงตัวเดียวที่สามารถทดแทนสมบัติของไขมัน จึงมีการพัฒนาเอาสารทดแทนไขมันหลาย ๆ ตัวมาผสมกันเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีสามารถนำมาทดแทนไขมันได้ ดังนั้นจึงได้นำข้อดี และข้อเสียของสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน และสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตมาใช้ร่วมกันเพื่อให้ได้ลักษณะของไอศกรีมที่ดี เช่น มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ค่าโอเวอร์รัน(overrun) สูง มีกลิ่นรสที่ดี ลดความเสี่ยงของผู้บริโภคในการเกิดโรคที่เกิดจากการบริโภคไขมันมากเกินไป และช่วยลดต้นทุนในการผลิตไอศกรีม มีการใช้ Carbohydrate-based bulking agents เช่น maltodextrin และ polydextrose ในผลิตภัณฑ์ ไอศกรีมไขมันต่ำ เนื่องจากมีผลต่อคุณลักษณะ อายุการเก็บรักษา และราคา ของไอศกรีมน้อยที่สุด (Muhammet, 2006) และยังมีการนำเอา Modified starches ซึ่งเป็นสตาร์ชที่ถูกดัดแปรโครงสร้างโมเลกุล โดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ทำให้สตาร์ชมีคุณสมบัติที่ดีในการละลายและพองตัวดีขึ้นอยู่ในรูปคอลลอยด์เพิ่มความหนืดใน continuous phase จึงขัดขวางการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และช่วยลดขนาดผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น (Moore และ Shoemaker, 1981) ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีความเรียบเนียนขึ้นและให้ความรู้สึกคล้ายครีม เช่น เอ็มที- 01 ซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรโดยวิธี ครอสลิงค์ (cross-linking) เป็นต้น โดยมีผลต่อค่าความหนืดของ liquid phase และสามารถที่จะปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมลดไขมัน และนอกจากนี้ยังมีสารใช้ อินนูลิน (Inulin) ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นใยอาหาร ช่วยทำให้ระบบการย่อยการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตและไขมันช้าลงและช่วยในการดูดซึมอาหารอื่น ๆ ในลำไส้เล็ก ในผลิตภัณฑ์ลดไขมันอีกด้วย

สารทดแทนไขมันสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.1.1 สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากไขมัน (Fat-based replacer)

เป็นสารสังเคราะห์ซึ่งเป็นสารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้ทนต่อการย่อยของน้ำย่อยในร่างกาย จึงไม่ให้พลังงานหรือให้พลังงานน้อยมาก ตัวอย่างสารทดแทนไขมันกลุ่มนี้ได้แก่

โอเลสตรา (Olestra) คือสารซูโครส โพลีเอสเทอร์ (sucrose polyester : SPE) ผลิตโดยบริษัท Proter & Gamble ประกอบด้วยส่วนผสมของ ออคตะ- เฮพตะ- และเฮคซะ- เอสเทอร์ เกิดจากปฏิกิริยาของซูโครสและกรดไขมันสายโซ่ยาว สามารถต้านทานการย่อยของน้ำย่อยในร่างกาย

และเอนไซม์จากจุลินทรีย์ จึงไม่ถูกย่อยและไม่ถูกดูดซึม และไม่ให้พลังงาน โอเลสตรามีลักษณะปรากฏ กลิ่นรส ความต้านทานต่อความร้อน จุดวาบไฟ และอายุการเก็บรักษาเช่นเดียวกับไขมันมาตรฐาน จึงอาจใช้โอเลสตราแทนไขมัน แม้ในสภาพอุณหภูมิสูง เช่นการทอดหรือการอบ (Anonymous, 1990)

2.6.1.2 สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate-based fat replacers)

เป็นสารทดแทนไขมันกลุ่มใหญ่ที่สุด สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรตให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี่/กรัม แต่เนื่องจากสามารถมีพันธะกับน้ำได้ประมาณ 3 เท่าของน้ำหนัก จึงมีความเป็นไปได้ในการแทนที่ไขมัน 4 ส่วน ด้วยสารทดแทนไขมัน 1 ส่วน น้ำ 3 ส่วนทำให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี่/กรัม ของไขมันถูกแทนที่ด้วยพลังงาน 1 กิโลแคลอรี่/กรัมของสารทดแทนไขมันที่มีพันธะกับน้ำ(Marshall และ Arbuckle, 1996) การไฮโดรไลซ์สารละลายแป้งด้วยเอนไซม์ ทำให้ได้เด็กซตริน มอลโตเด็กซตริน ซึ่งมีสมบัติเป็นสารทดแทนไขมัน ประเทศแถบซีกโลกตะวันตกได้จัดสารทดแทนไขมันที่ได้จากคาร์โบไฮเดรตว่าเป็นแป้งดัดแปลงคุณภาพ (Modified starch) ได้มีการใช้สารดังกล่าวเป็นสารให้ความคงตัว สารให้ความหนืด และจัดเป็นสารทดแทนไขมันที่มีความปลอดภัยสูง เจลของสารทดแทนไขมันที่มาจากคาร์โบไฮเดรตจะทนความร้อนได้ไม่นาน และพบว่าส่วนมากการใช้สารทดแทนไขมันที่มาจากคาร์โบไฮเดรต จะไม่สามารถใช้ทดแทนไขมันได้มากกว่าครึ่งหนึ่งของปริมาณไขมันโดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงเดิม (ภัทรา, 2540)ตัวอย่างสารทดแทนไขมันกลุ่มนี้ได้แก่

สตาร์ชดัดแปร เป็นสตาร์ชที่ถูกดัดแปรโครงสร้างโมเลกุล โดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ทำให้สตาร์ชมีคุณสมบัติแตกต่างไป นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น ทำให้สตาร์ชมีคุณสมบัติที่ดีในการละลายและพองตัวดีขึ้น อยู่ในรูปคอลลอยด์เพิ่มความหนืดใน continuous phase จึงขัดขวางการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และช่วยลดขนาดผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น (Moore และ Shoemaker, 1981) ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีความเรียบเนียนขึ้นและให้ความรู้สึกคล้ายครีม (นันทินา, 2544) เช่น สตาร์ชที่ดัดแปรโดยวิธีออกซิเดชัน(oxidation) ครอสลิงค์กิ้ง (cross-linking) และพรีเจลาติไนซ์เซชัน (pregelatinization)เช่น เอ็มที- 01 ซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรโดยวิธี ครอสลิงค์ (cross-linking) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กัม และสารจำพวกเซลลูโลส สามารถเลียนแบบบทบาทบางอย่างของไขมันได้ โดยให้ความหนืด ทำให้โฟมคงตัว ควบคุมการโตของผลึกน้ำแข็ง และควบคุมการแยกตัวของน้ำ (syneresis) เมื่อใช้เซลลูโลสร่วมกับกัวกัมจะได้อนุภาครูปทรงกลมขนาด 1-10 ไมครอน มีลักษณะหยุ่น อ่อนตัว มีสมบัติการไหลเหมือนไขมัน โดยทั่วไประดับการทดแทนที่ใช้คือ ร้อยละ 1- 2 นอกจากนี้การใช้กัมหลายชนิดร่วมกัน สามารถทำให้เกิดอนุภาครูปทรงงกลมที่สามารถเลียนแบบลักษระการไหล และความรู้สึกในปากของไขมัน ของผสมอาจประกอบไปด้วย กัวกัม โลคัสบีนกัม แซนแทนกัม คาราจีแนน โซเดียมคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส และไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส โดยแซนแทนกัม ทำหน้าเป็นสารให้ความข้นหนืด กัวกัม และโลคัสบีนกัม ควบคุมการตกผลึก และส่งเสริมลักษณะความเป็นครีม (creaminess) ขณะที่คาราจีแนน และโพลีแซคคาไรด์สายโซ่ตรงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ให้โครงสร้าง และความรู้สึกในปาก(Marshall และ Arbuckle, 1996) ตัวอย่างสารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้เช่น Avicel ซึ่งเป็นเซลลูโลสเจล มีสมบัติการไหล และให้ความรู้สึกในปากซึ่งสามารถนำมาใช้กับสูตรที่มีการลดไขมันได้ (Penichter และ McGinley, 1991)

2.6.1.3 สารทดแทนไขมันที่มาจากโปรตีน (Protein-based fat replacers)

สารทดแทนไขมันกลุ่มนี้ได้จากการนำโปรตีนในไข่ นม และอาหารอื่น ๆ มาพัฒนาเป็นสารทดแทนไขมัน โดยโปรตีน 1 กรัม น้ำ 2 กรัม สามารถทดแทนไขมัน 3 กรัม นั่นคือได้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี่ แทน 27 กิโลแคลอรี่ (Anonymous, 1990) ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการจับน้ำ เกิดอิมัลชัน ปรับปรุงความรู้สึกระหว่างอยู่ในปาก และเนื้อสัมผัส สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนถูกนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในกรณีที่ต้องการเพิ่มกลิ่นรสให้อาหารที่มีไขมันต่ำ แต่มีข้อจำกัดในการใช้ โดยไม่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารประเภททอด ลักษณะเป็นครีมและผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสเหมือนไขมัน (fat-like texture) เนื่องจากโปรตีนสามารถเสียสภาพ (denaturation) เมื่อถูกความร้อนและเกิดการจับตัวเป็นก้อน (coagulation) ดังนั้นจึงปรับปรุงคุณลักษณะของสารทดแทนไขมันกลุ่มนี้ เกิดเป็นอนุภาคโปรตีนขนาดเล็ก (microparticulated protein) ซึ่งผลิตจากไข่ขาว หางนม โปรตีนจากนมที่ผ่านกระบวนให้ความร้อนและปั่นผสมกัน ทำให้เกิดการรวมกลุ่มของโปรตีน เกิดเป็นอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กประมาณ 0.1-0.2 ไมครอน เกาะรวมกับโมเลกุลของน้ำ อนุภาคทรงกลมที่มีขนาดสม่ำเสมอทำให้สามารถกลิ้งไปกลิ้งมาได้ง่าย เป็นให้ต่อมรับรสรู้สึกถึงของเหลวคล้ายครีมที่มีความเนียนข้นเช่นเดียวกับไขมัน ซึ่งสารทดแทนไขมันที่มาจากโปรตีนนี้เมื่อถูกความร้อนโปนตีนจะเกิดการแตกตัวของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เมื่อสัมผัสกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลิ้นจะรู้สึกเหมือนเป็นของเหลวเนื้อสัมผัสคล้ายครีม ไขมันหรือน้ำมัน (ภัทรา, 2540) ตัวอย่างสารทดแทนไขมันกลุ่มนี้ได้แก่

Whey Protein คือ โปรตีนคุณภาพสูงพบเป็นส่วนน้อยของโปรตีนในนม (โปรตีนในนมจะมี Whey Protein 20 เปอร์เซ็นต์ Milk Protein 80 เปอร์เซ็นต์) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทำเนยแข็งหลังจากตกตะกอนเคซีนโดยเอนไซม์เรนเนท (Rennet enzyme) หรือกรด ส่วนWPI (Whey protein isolate) ประกอบด้วย ส่วนผสมของโปรตีนหลายชนิดโดยมี β-lactoglobulin (β-Lg) และ α-lactalbumin (α-Lac)เป็นองค์ประกอบหลัก และประกอบด้วย lactoferrin และlactoperoxidase มีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางเช่น ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ สารก่อโฟม foaming และสารก่อเจล (Kerstens *et al.*, 2005) โดยคุณสมบัติของ whey protein isolate (WPI) เป็น amphiphilic protein จึงสามารถดูดซับและละลายใน water–oil และ air–water interface ได้ (Damodaran, 1996)

องค์ประกอบของ Whey Protein

1. กรด Amino จำเป็น ครบถ้วนในปริมาณสูง ถูกจัดเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูงสุดตามข้อกำหนดขององค์การอาหารระหว่างประเทศ และองค์การอนามัยโลก
2. β-lactoglobulin ช่วยสร้าง Glutathione ซึ่งเป็นสารพิษ , ต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญมาก จึงช่วยปกป้องเซลล์ และชะลอความเสื่อม
3. α-lactalbumin อุดมไปด้วยกรดAmino ชนิดกิ่ง (คือ Leucin , Isoleucine และ Valine) ช่วยในการเสริมสร้างมวลกล้ามเนื้อ
4. Immunoglobulins ได้แก่ IgG , IgM ,IgE ช่วยเสริมภูมิต้านทาน ต่อเชื้อโรคและมะเร็ง
5. Lactoferrin ช่วยขจัดเชื้อ Bacteria ที่เป็นพิษ และส่งเสริมให้ Bacteria ที่เป็นประโยชน์เติบโตได้ดีในลำไส้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจุบันเวย์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมมี 2 ชนิดคือ Acid Whey มี pH ต่ำกว่า 5.1 ได้จากกระบวนการตกตะกอนเคซีนด้วยกรด ส่วน Sweet Whey มี pH มากกว่า 5.6 ได้จากการตกตะกอนเคซีนด้วยเอนไซม์เรนนิน โดยองค์ประกอบของเวย์ทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับแหล่งของน้ำนมดิบและกระบวนการผลิต ดังนั้นเพื่อให้ได้โปรตีนที่เข้มข้นมากขึ้น เวย์จะถูกแยกด้วยเทคนิคหรือกระบวนการต่าง ๆ ที่เหมาะสม เช่น enzyme hydrolysis, ultrafiltration, reverse osmosis, ion-exchanged หรือ การทำแห้ง ซึ่งจะทำให้ได้โปรตีนที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากเวย์ และเวย์โปรตีนเช่น whey protein isolate, whey protein

concentrate และ whey powder โดยองค์ประกอบหลักของเวย์โปรตีนเข้มข้น (whey protein concentrate) ประกอบด้วย โปรตีนประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ แลคโตสประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และแร่ธาตุประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ (เนาวรัตน์, 2548)

เวย์โปรตีนมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ย่อยง่าย โดยมีคุณค่าทางชีววิทยา(Biological Value: BV) สูงกว่าไข่ ข้าว ถั่วเหลืองและเคซีน ซึ่งในเวย์โปรตีนจะมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนจำเป็นครบทุกตัว และมากกว่าร้อยละ 60 ของกรดอะมิโนจำเป็น และมีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอย่างหลากหลาย โดยอาศัยคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เหมาะสมหลายประการ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทไส้กรอกอิมัลชัน นมและผลิตภัณฑ์นม และผลิตภัณฑ์ไอศกรีม เป็นต้น โดยเวย์โปรตีนทำหน้าที่เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ และเป็นองค์ประกอบสำคัญในอาหารไขมันต่ำและอาหารลดไขมัน นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ช่วยอุ้มน้ำ และเพิ่มความหนืด และปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารได้ จึงทำให้คุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยรวมดีขึ้น

Soy Protein โปรตีนถั่วเหลืองจัดได้ว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่สมบูรณ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามส่วนปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบ ดังนี้

1. แป้งถั่วเหลือง (Soy flour) แป้งถั่วเหลืองมีสีเหลืองนวล มีรสเหมือนถั่วเหลืองที่คั่วแล้ว มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นและจับกับไขมันได้ดี มีองค์ประกอบของโปรตีนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

2. โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (Soy protein concentrates) เป็นรูปแบบของโปรตีนจากถั่วเหลืองที่เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันจากถั่วเหลือง และผ่านกระบวนการการกำจัดส่วนของน้ำตาลและเกลือแร่ออก เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน ช่วยแก้ปัญหาการเกิดก๊าซในกระเพาะอาหาร อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงรสชาติได้ ประกอบด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 70

3. โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy protein isolate) มีองค์ประกอบของโปรตีนประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นโปรตีนที่มีความบริสุทธิ์สูง เพราะสกัดแยกไขมัน และคาร์โบไฮเดรตออกแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนถั่วเหลืองนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองให้คุณสมบัติในการเกิดเจล (Gelation) ช่วยในการจับน้ำ (Water binding) ดูดซับไขมัน (Fat absorption) และจับกลิ่นรส (Flavor binding) นิยมเตรียมในรูป Isolate เพื่อให้ได้เป็น Soy Protein Isolate ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งรวมของกรดอะมิโนที่มี

ความเข้มข้นสูงสุด (The Highest Concentration Amino Acids) และยังเป็นแหล่งโปรตีนสำคัญที่จำเป็นต่อร่างกายนอกจากนี้ โปรตีนถั่วเหลืองยังจะไปเพิ่มการผลิตไธรอยด์ฮอร์โมน (Thyroid Hormone) ชื่อ ไธร็อกซิน (Thyroxin) ที่ต่อมไธรอยด์ (Thyroid Gland) ซึ่งจะทำให้ร่างกายมีอัตราการเผาผลาญสารอาหารเพิ่มมากขึ้น ทำให้ไขมันที่สะสมอยู่ในร่างกายมีปริมาณลดลง Soy Protein Isolate จะให้ Branched Chain Amino Acids (BCAA) ประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ โดย BCAA จะเป็นตัวไปกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโต (Growth Hormone) จากต่อมใต้สมอง (Pituitary Gland) ซึ่งจะทำให้ร่างกายสามารถสร้างกล้ามเนื้อ (Skeleton Muscle) ได้อย่างรวดเร็วมีการประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อ อาหารสำหรับทารก และผลิตภัณฑ์นม ซึ่ง โปรตีนถั่วเหลืองต้องมีคุณสมบัติในการละลายน้ำ (solubility) และดูดซับไขมัน (fat absorption) ที่ดี เกิดอิมัลชันที่คงตัว (emulsion stabilization) ตีอากาศได้ (whipability) ความสามารถในการเกิดเจล(gelation) มีความสามารถในการเกิดโฟม (foaming) และมีคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัสที่ดี (organoleptic properties) (Kinsella, 1976) ซึ่งคุณสมบัติในการก่อเจลของโปรตีนถั่วเหลือง ช่วยเพิ่มความสามารถในการจับตัวกันกับโมเลกุลน้ำ จึงมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

นอกจากการใช้โปรตีนถั่วเหลืองเพื่อเป็นสารทดแทนไขมันแล้ว โปรตีนถั่วเหลืองยังมีประโยชน์ด้านสุขภาพคือ ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ โรคกระดูกพรุน โรคมะเร็งบางชนิด เป็นต้น โดยที่โปรตีนถั่วเหลืองสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลทั้งหมดในกระแสเลือด และช่วยลดระดับ Low-density lipoprotein cholesterol (LDL-cholesterol) ได้ซึ่งคลอเลสเตอรอลเป็นปัจจัยที่ให้เกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ

2.6.2 การใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตและประเภทโปรตีนในไอศกรีม

การใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในไอศกรีมปราศจากไขมันช่วยเพิ่มความหนืดให้กับไอศกรีม โดยขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอื่น ๆ ในไอศกรีม คาร์โบไฮเดรตสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติในการระเหยของสารให้กลิ่นรสได้ขึ้นกับว่าสารให้กลิ่นรสนั้นเป็นชนิดใดอย่างไรก็ตามไอศกรีมที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นสารทดแทนไขมันจะสูญเสียกลิ่นรสเร็วกว่าไอศกรีมที่มีไขมัน(นันทินา, 2544)

การใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนในไอศกรีมปราศจากไขมันมีผลทางด้านกลิ่นรสแตกต่างจากการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต สารทดแทนไขมันประเภท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่เป็นโพลิแซคคาไรด์ มีความเป็นชั้วสูง จึงไม่สามารถเกิดอันตรกิริยากับสารให้กลิ่นรสที่ละลายในลิปิด แต่สามารถเกิดอันตรกิริยากับสารให้กลิ่นรสที่ละลายได้ในด้วยด้วยแรงไดโพล ไดโพลและพันธะไฮโดรเจน(Plug และ Haring, 1993) ในขณะที่สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนสามารถจับกับสารให้กลิ่นรสด้วยแรงวันเดอร์วาวล์อ่อน ๆ และแปรผันกลับได้ หรือสร้างพันธะโควาเลนท์ หรือดึงดูดด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (Fischer และ Widder, 1997) เคซีนซึ่งเป็นโปรตีนหลักที่พบในไอศกรีมเหลวที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสและความแรงของการให้กลิ่นของสารดังกล่าวขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเคซีน

สารทดแทนไขมันที่ใช้ในไอศกรีมมีความสำคัญต่อลักษณะเนื้อสัมผัสจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้ลักษณะของเนื้อสัมผัสที่ดีในไอศกรีมไขมันต่ำเช่นเดียวกับไอศกรีมไขมันปกติ ลักษณะทางกระแสวิทยา (rheology)ของไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเท่านั้นที่เลียนแบบลักษณะทางวิทยากระแสของไอศกรีมที่มีไขมันได้ ในขณะที่ลักษณะการตกผลึกของไขมันและโครงสร้างทางโมเลกุลของไขมัน (polymorphism) ไม่สามารถทำเลียนแบบได้ ความสามารถของสารทดแทนไขมันในด้านความรู้สึกมันที่เกิดขึ้นเพื่อเลียนแบบไขมันมาจากหลักการที่ว่า ปกติลิ้นของคนเรารับรู้อนุภาคของอาหารที่มีรูปร่างและขนาดไม่แน่นอนได้ ในลักษณะรวม ๆ มากกว่าเป็นอนุภาคเดี่ยว อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร เช่นเคซีนให้ความรู้สึกลื่นไหลได้ ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.1-3.0 ไมโครเมตร ซึ่งปรากฏในสารทดแทนไขมัน ลิ้นจะรับรู้ได้ในลักษณะคล้ายครีม (Anonymous, 1990)

Schmidt *et al.,* (1993) ทดลองการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในไอศกรีมไขมันต่ำที่ระดับ 4.8 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เอ็น-ไลท์ดี และซิมเพลส-ดี 100 เป็นตัวแทนของสารทดแทนไขมันทั้งสองประเภท ทดแทนปริมาณไขมันนม 2.1 เปอร์เซ็นต์ ไอศกรีมสูตรควบคุมประกอบด้วยไขมันนม 4.8 เปอร์เซ็นต์ หางนมผง 11 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 15 เปอร์เซ็นต์ มอลโตเด็กซ์ทริน 2 เปอร์เซ็นต์ และสารให้ความคงตัว 0.8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้ซิมเพลสให้ค่าความเป็นกรดสูงกว่าไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมลดไขมันที่ใช้เอ็นไลท์ดี เนื่องจาก ซิมเพลสมีปริมาณของเวย์โปรตีนมากกว่าสูตรอื่น โปรตีนชนิดนี้มีปริมาณกรดแลกติกรวมอยู่จึ่งให้ปริมาณกรดสูกว่า ส่วนไอศกรีมที่ใช้เอ็นไลท์ดีมีความหนืดและความคงตัวมากว่า ทำให้มีค่าการไหล (flow behavior index) ต่ำลักษณะเช่นนี้ช่วยให้ไอศกรีมละลายได้ช้าลง ไอศกรีมที่ใช้ซิมเพลส-ดี 100 มีความหนืดและความคงตัวใกล้เคียงกับสูตรควบคุม การเกิด destabilized fat มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามสูตร โอเวอร์รันของไอศกรีมสูตรที่ใช้ ซิมเพลส-ดี 100 สูงถึง 111.5 เปอร์เซ็นต์ และมีความสามารถในการก็บอากาศได้ดีกว่าสูตรควบคุมและสูตรที่ใช้เอ็นไลท์ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Aime *et al.* (2001) พัฒนาไอศกรีมวานิลลาชนิดไขมันน้อย ไขมันต่ำ และไม่มีไขมันโดยใช้แป้งดัดแปรเป็นสารทดแทนไขมัน การประเมินเนื้อสัมผัสของไอศกรีมวานิลาชนิดไขมันปกติ - regular (10%) ไขมันน้อย - light (5%) ไขมันต่ำ – low (2.5%) และปราศจากไขมัน – free (0.4%) จะใช้การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ในการเตรียมไอศกรีมไขมันน้อย ไขมันต่ำและปราศจากไขมันจะใช้แป้งถั่วดัดแปลงเป็นตัวทดแทนไขมัน พบว่าการใช้ modified starch ในการลดไขมันของตัวอย่างไอศกรีม มีผลกระทบต่อ mimicking ในด้านความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่มีไขมันสูง และ Modified starch สามารถทำให้ไอศกรีมมีเนื้อแน่น ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง ดังนั้นการรับรู้เกี่ยวกับ Coldness มีไม่มาก จึงไม่มีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ พบว่าสายของ modified amylase และ amylopectin สามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำ/น้ำแข็ง และส่วนประกอบอื่นๆในไอศกรีม บางทีสาย polymer ของแป้ง ในตัวไอศกรีมอาจเกิดปฏิกิริยาการ form gel ของแป้ง ทำให้ตัวอย่างไม่เปลี่ยนรูปร่างเมื่อสัมผัสลิ้น จึงให้ความแน่นเนื้อมากกว่าในระหว่างการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในทางกลับกันถ้าสาย modified amylose และ amylopectin สามารถเรียงตัวที่ช่องว่างอากาศในเซลล์, ไขมันนม และผลึกน้ำแข็งบริเวณผิวหน้าได้ทำให้แรงที่ลิ้นใช้ในการกดไอศกรีมให้แบนลงจะลดลง โดยความแน่นเนื้อของไอศกรีมเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของมัน อากาศภายในไอศกรีมเป็นรูปทรงกลมพิเศษ แม้ว่าอาจมีการบิดเบี้ยวไปเนื่องจากไขมันและการฟอร์มรูปร่างของผลึกน้ำแข็ง วัตถุดิบรอบๆช่องว่างของอากาศ เป็น non-Newtonian fluid บรรจุเป็น clumps ของไขมัน (มากถึง 80%) และผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ในไอศกรีมที่มีไขมันลดลง มีความชัดเจนเรื่อง rheology ของส่วนที่เป็นรอบๆของไหล (fluid surrounding) อากาศในเซลล์จะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีการลดลงของกลุ่มไขมัน ที่เป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้าง conventional ของไอศกรีมซึ่ง modified starch สามารถขจัดปัญหาการเพิ่มขึ้นของปริมาตรผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมที่ลดปริมาณไขมันลง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อเท่ากับไอศกรีมปกติ พบว่าตัวอย่าง LF และ FF (Fat Free) มีค่าความหนืดปรากฏต่ำสุด สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝน การใช้ modified starch สามารถทดแทนความหนืดที่หายไปจากการลดไขมันบางส่วนของไอศกรีมได้ ตัวทดแทนไขมันที่มีประสิทธิภาพจะได้ผลดีถ้าโพลีเมอร์ของแป้งทำหน้าที่ในการช่วยกระจายองค์ประกอบอื่นที่เป็นโพลีเมอร์ และผลึกน้ำแข็ง กล่าวโดยรวม มีหลักฐานเพียงพอที่จะสนับสนุนว่าการใช้แป้งดัดแปลงสำหรับทดแทนไขมันในไอศกรีมวานิลาจะมีผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของไอศกรีม

Muhammet (2006) ศึกษาผลของการใช้ hazelnut flour (1.5, 3 และ 4.5%) และ hazelnut kernel skin (1, 2 และ 3 %) ต่อคุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างไอศกรีมวนิลา พบว่า Hazelnut flour และ Hazelnut skin มีความเหมาะสมที่จะใช้ในไอศกรีมนิลาได้ โดยตัวอย่างที่เติม hazelnut flour จะ มีค่า pH, nitrogen, เถ้า, ความหนืด, และL-, กลิ่นรส, body , เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏที่มีดีกว่าการเติม kernel skin ซึ่งสามารถเติม hazelnut flour ได้มากถึง 3% ส่วน Hazelnut skin ใช้ได้เพียง 1% โดยใช้ร่วมกับ maltodextrin ซึ่งไม่สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของไอศกรีมได้ยกเว้นค่า โอเวอร์รันเท่านั้น

พัชรินทร์ (2544) ศึกษาการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตในไอศกรีมกะทิสูตรลดไขมัน โดยใช้ แอลฟา-สตาร์ช เอ็มที-01 เอ็นไลท์ดี และควอลิเซลผสมแอลฟาสตาร์ชในอัตราส่วน 1:2 เป็นสารทดแทนไขมัน พบว่าการลดปริมาณไขมันแล้วใช้สารทดแทนไขมันเพิ่มขึ้นทำให้มีค่าโอเวอร์รันและความหนืดสูงขึ้น ต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้ไอศกรีมเสียรูปร่าง แต่ไม่มีผลมากนักต่ออัตราการละลายและพีเอชของไอศกรีม และไอศกรีมที่ได้มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับแม้เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน

นันทินา (2544) ศึกษาการใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนในสูตรลดไขมันระดับต่าง ๆ พบว่า การใช้ซิมเพลส-ดี 100 ในสูตรที่มีไขมัน 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ไอศกรีมที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับสูตรควบคุม และมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสกะทิ ความมัน ความเหนียวหนืด การละลายในปากไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม และพบว่าการใช้โพรโล-11 ในสูตรที่มีไขมัน 1.5 เปอร์เซ็นต์ ให้อัตราการละลายต่ำ มีโอเวอร์รันสูง และมีแนวโน้มของคะแนนความชอบใกล้เคียงกับสูตรควบคุม ส่วนการใช้สารทดแทนไขมันร่วมกับสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนพบว่า การใช้ซิมเพลส-ดี 100 ร่วมกับ เอ็น-ไลท์ดี (1:2) มีลักษณะทางกายภาพและคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของลักษณะต่าง ๆ ไม่แตกต่างกับสูตรที่ใช้ซิมเพลส-ดี 100 เพียงอย่างเดียว และมีโอเวอร์รันสูงถึง 61.02 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเก็บรักษาไอศกรีมที่ -30 องศาเซลเซียส 8 สัปดาห์ พบว่าสูตรที่มีคุณภาพด้านกลิ่นรสและความเรียบเนียนดี ได้แก่ ซิมเพลส-ดี 100 ร่วมกับแอลฟา-สตาร์ช (1:2) และโพรโล-11 ร่วมกับ เอ็นที-01 (1:4) นำทั้งสองสูตรมาเปรียบเทียบกันพบว่า การใช้ซิมเพลส-ดี 100 ร่วมกับแอลฟา-สตาร์ช (1:2) มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากกว่า ส่วนอัตราการละลายและเนื้อสัมผัสร่วมทั้งลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสกะทิ และความเรียบเนียนไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม

การพัฒนาไอศกรีมลดไขมันและพลังงานต่ำจึงเป็นแนวทางหนึ่งของการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพให้แก่ผู้บริโภค แต่ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้ต้องพัฒนาคุณภาพด้านกายภาพ และรสชาติควบคู่ไปด้วยเพื่อให้เป็นที่พอใจและยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 การพัฒนาคุณภาพไอศกรีมลดพลังงาน

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในการเลือกบริโภคอาหาร โดยเฉพาะกระแสการบริโภคนิยมอาหารประเภทให้พลังงานต่ำ และอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตต่ำ เนื่องจากผู้บริโภคมีแนวโน้มเป็นโรคอ้วน โรคหัวใจ โรคความดันโลหิต และโรคมะเร็งมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งโรคเหล่านี้ไม่ได้เกิดจากการติดต่อ แต่เชื่อว่าสาเหตุใหญ่มาจากการบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลและไขมันสูง

2.7.1อาหารลดน้ำหนัก (นวพร, 2545)

อาหารลดน้ำหนักมักอยู่ในรูปอาหารที่มีไขมันต่ำ และมีเส้นใยสูง ซึ่งจะมีผลทำให้ระบบการย่อยช้าลง ทำให้เกิดความรู้สึกอิ่มได้นาน สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กำหนดให้อาหารลดน้ำหนักเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ ตามประกาศฉบับที่ 121 พ.ศ. 2532 โดยแบ่งประเภทอาหารเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1. อาหารที่ใช้กินแทนอาหารตามปรกติใน 1 มื้อ หรือแทนอาหารทั้งวัน มีแคลอรี่ระหว่าง 200-400 กิโลแคลอรี่ ต่อการรับประทาน 1 มื้อ

1.1 มีพลังงานจากโปรตีนไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมด โปรตีนที่มีอยู่จะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการเทียบเท่าเคซีน

1.2 มีพลังงานจากสารไขมันไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมด และต้องมาจากกรดไลโนเลอิก ในรูปของกลีเซอไรด์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 3 ของพลังงานทั้งหมด

1.3 มีสารคาร์โบไฮเดรตซึ่งอยู่ในรูปของน้ำตาลและหรือน้ำตาลแอลกอฮอล์ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก

1.4 มีปริมาณเกลือแร่และวิตามินตามค่าที่กำหนด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. อาหารใช้กินแทนอาหารบางส่วน ได้แก่ อาหารที่ถูกลดพลังงาน (Reduced Calorie diet) และอาหารที่ให้พลังงานต่ำ (Low Calorie diet)

2.1 อาหารลดน้ำหนักจะมีพลังงานไม่เกิน 66 เปอร์เซ็นต์ หรือ 2/3 ของอาหารนั้นก่อนถูกลดพลังงาน มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนตามลักษณะอาหารนั้น

2.2 อาหารพลังงานต่ำมีพลังงานได้ไม่เกิน 40 กิโลแคลอรี่ ต่อส่วนที่กำหนดให้รับประทาน

ตารางที่ 2.8 คำจำกัดความของการหารลดไขมันประเภทต่าง ๆ ซึ่งกำหนดโดยองค์การอาหาร และยา (FDA) ของสหรัฐอเมริกา

ประเภทอาหาร	คำจำกัดความ
อาหารปราศจากไขมัน หรืออาหารปราศจากพลังงาน	อาหาร 1 Serving ให้พลังงานน้อยกว่า 2 กิโลแคลอรี่ โดยมีปริมาณไขมันน้อยกว่า 0.5 กรัม ปริมาณไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า 0.5 กรัม หรือปริมาณคอเลสเทอรอลน้อยกว่า 2 มิลลิกรัม
อาหารไขมันต่ำ หรืออาหารพลังงานต่ำ	อาหาร 1 Serving ให้พลังงานไม่เกิน 40 กิโลแคลอรี่ มีปริมาณไขมัน 3 กรัม โดยเป็นไขมันอิ่มตัว 1 กรัม และปริมาณพลังงานร้อยละ 15 ได้จากไขมันอิ่มตัวหรือมีปริมาณคอเลสเทอรอลเป็น 20 มิลลิกรัม
อาหารลดพลังงาน หรืออาหารลดไขมัน	อาหาร 1 Serving ให้พลังงานลดลงร้อยละ 25(เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารปรกติ)
อาหารประเภท “Light”	อาหาร 1 Serving ให้พลังงานลดลง 1 ใน 3 หรือลดปริมาณไขมันได้ร้อยละ 50

ที่มา : CCC, 1996

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.2 การลดพลังงานในอาหาร (Sunyer, 1993)

การลดพลังงานในอาหารสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบภายในอาหารนั้น ๆ ซึ่งอาจทำได้โดยใช้เทคนิค 3 ประการคือ

1.การแทนที่ส่วนประกอบในอาหารด้วยสารให้พลังงานต่ำ คือ

1. การเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม
2. การลดปริมาณไขมัน หรือใช้สารทดแทนไขมัน
3. เติมสารเพิ่มปริมาณ (Bulking ingredients) เช่น คอลลอยด์ หรือใยอาหาร

4. ลดปริมาณน้ำตาลโดยใช้สารให้ความทดแทนน้ำตาล

2. การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบหลักที่ให้แคลอรี่สูงในอาหาร

1. การลดปริมาณพลังงานจากไขมันซึ่งให้พลังงานถึง 9 กิโลแคลอรี่ต่อไขมัน 1 กรัมโดยการลดส่วนลง หรือใช้สารทดแทนไขมัน (Fat Substitute)

2. การลดพลังงานจากสารคาร์โบไฮเดรตด้วยสารพวกกัม คอลลอยด์ ใยอาหาร และสารให้ความหวานแทนน้ำตาล (Sugar Substitute) หรือพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์ (polyols)

3. สารเพิ่มปริมาณและเส้นใย

เส้นใยอาหาร (dietary fiber) เป็นสารเพิ่มปริมาณประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนและลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช เนื่องจากเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของคนไม่สามารถย่อยสลายได้ จึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย การเติมเส้นใยอาหารลงในผลิตภัณฑ์อาหารยังมีผลดีต่อสุขภาพ คือ ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ, โรคเบาหวาน และโรคมะเร็ง เส้นใยอาหารมีหลายชนิดเช่น เปกติน, กัม, ลิกนิน และเซลลูโลส เส้นใยอาหารส่วนใหญ่มีความสามารถรวมกับน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อเติมในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเหลวจะเพิ่มความหนืดให้อาหาร ส่วนเส้นใยอาหารชนิดที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อยหากเติมลงในเครื่องดื่มจะทำให้รู้สึกระคายลิ้น จึงนิยมนำมาผสมกับผลิตภัณฑ์คุ้กกี้ และขนมปังกรอบเพราะจะช่วยเพิ่มความกรอบ และเนื้อสัมผัสที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ แต่อาจมีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์บ้าง ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน เช่น ธัญพืชเส้นใยสูง (high fiber cereal)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อควบคุมน้ำหนักและจำกัดพลังงานกำลังเป็นประเด็นร้อนของระบบอุตสาหกรรมอาหารซึ่งมี 3 ลักษณะคือ ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้สารทดแทนไขมันและน้ำตาล ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีพลังงานต่ำ ในที่นี้จะเน้นไปที่มีพลังงานต่ำ ในที่นี้จะเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารทดแทนน้ำตาลมากกว่า เพราะระบบการผลิตอาหารได้เปลี่ยนแปลงสู่ระบบอุตสาหกรรมอาหารที่สามารถผลิต ได้ในปริมาณมาก หลากหลายชนิด อีกทั้งแนวโน้มของผู้บริโภคที่มีปัญหาจากการเป็นโรคอ้วน โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตและโรคมะเร็งมากขึ้นกว่าเดิม ด้วยกระแสการบริโภคในปัจจุบันที่นิยมอาหารประเภทโลว์คาร์โบไฮเดรต (Low-Carbohydrate) และอาหารพลังงานต่ำ แทนสารพลังงานสูงจำพวกน้ำตาลและไขมัน ซึ่งปกติแล้วสารเหล่านี้จะมีหน้าที่ทำให้อาหารมีคุณลักษณะแตกต่างกัน เช่น น้ำตาล ให้ความหวานและให้โครงสร้าง ไขมันให้การหล่อลื่น ความนุ่มและเรียบเนียน และความชุ่มชื้นภายในปาก ดังนั้นเมื่อลดและตัดสารจำพวกแป้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และน้ำตาล หรือไขมันออกจากส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว จำเป็นต้องเติมสารตัวใหม่เข้าไปทดแทนปริมาณมวลสารที่หายไป ตัวอย่างสารเพิ่มปริมาณที่ใช้กันมาก คือ สารให้ความหวาน (Sweeteners) พลังงานต่ำ หรือสารทดแทนน้ำตาล (Sugar substitutes) ที่เรียกว่าน้ำตาลเทียม เช่น แอสปาเทม ซัคคาริน ซอร์บิทอล ไซลิทอล แต่ใช้ในปริมาณน้อยเพราะให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส (ตารางที่ 2.9) ทำให้สัดส่วนของปริมาณมวลสารในผลิตภัณฑ์นั้นหายไป และมีผลต่อผลิตภัณฑ์ไม่สามารถคงรูปได้ตามปกติ จึงจำเป็นต้องใช้สารที่ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มปริมาณหรือสารเพิ่มมวล (Bulk Ingredients) ที่มีสมบัติอุ้มน้ำได้ดีหลายเท่าตัว และน้ำจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มมวลในผลิตภัณฑ์นั้นด้วย เช่น สารในกลุ่มน้ำตาลแอลกอ ฮอล์ (Polyol Sugar) หรือสารทดแทนคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ เช่น สารในกลุ่มเซลลูโลสและเซลลูโลสดัดแปร เฮมิเซลลูโลส มอลโตเด็กซตริน และแป้งดัดแปรชนิดต่าง ๆ ซึ่งล้วนเป็นสารในกลุ่มโพลีแซคคาไรด์

ตารางที่ 2.9 สารให้ความหวานพลังงานต่ำ

สารให้ความหวาน	คุณลักษณะ/ คุณสมบัติ	รสชาติ / ข้อจำกัด	หมายเหตุ / ความปลอดภัย
แซคคาริน	ทนความร้อน/ละลายน้ำได้ดี/หวานมากกว่าน้ำตาลประมาณ 450 เท่า	มีรสขม/ให้กลิ่นโลหะ/ thin mouth feel	ในอเมริกา : ตั้งแต่ค.ศ. 2007 อนุญาตให้ใช้ตามปกติ ด้วยมีข้อพิสูจน์ว่าไม่เป็นสาเหตุของมะเร็ง ใน EU : ระดับสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ 80-100 มก./ลิตร
แอสปาเทม	ไม่ทนความร้อนสูง/ละลายน้ำปานกลาง/หวานมากกว่าน้ำตาลประมาณ 180 เท่า/มีฟอง	ไม่เสถียรที่ค่า pH เป็นกลาง ละลายน้ำเย็นได้ช้า	นิยมใช้ในเครื่องดื่ม เครื่องดื่มผงผสม ผลิตภัณฑ์นม เบเกอรี่ ขนมอบกรอบ ลูกกวาด ใน EU : ระดับสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ 60 มก./ลิตร
นีโอเทม	หวานมากกว่าน้ำตาลประมาณ 7000-13,00 เท่า	-	นิยมใช้ในเครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เค้ก ผลิตภัณฑ์นม ไอศกรีม ขนมหวานแช่แข็ง ลูกกวาด ขนมอบกรอบ
อะเซซัลเฟม-	ทนความร้อน/ละลาย	เสถียรที่ช่วงค่า pH กว้าง/	นิยมใช้ในหมากฝรั่ง เครื่องดื่มผง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เค	น้ำได้/หวานมากกว่าน้ำตาลประมาณ 200 เท่า	มีรสขม/ให้กลิ่นโลหะ/ที่ความเข้มข้นสูงมี thin mouth feel บ้าง	ผสม โยเกิร์ต ใน EU : ระดับสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ 350 มก./ลิตร ในอเมริกา : ไม่อนุญาตให้ใช้
ไซเคลเมต	ทนความร้อน/ละลายน้ำได้ดี/ให้รสหวานมากกว่าน้ำตาลประมาณ 35 เท่า	มีรสหวาน	ใน EU : ระดับสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ 400 มก./ลิตร
อะลิเทม	-	ไม่เสถียรในทุกตัวพา	-
สตีวิโอไซด์	Slow sweetness onset	มีรสขม มี licorice aftertaste	-
Thaumatin Monellin	Slow sweetness onset / ไม่ทนความร้อน	มีรส licorice / menthol aftertaste นานกว่า	เป็นโปรตีน

ที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2007

สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล (Sugar substitutes) เป็นสารกลุ่มหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม แนวเพื่อสุขภาพ โดยเฉพาะอาหารสำหรับผู้ต้องการควบคุมหรือลดน้ำหนัก และอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน สารให้ความหวานทดแทนส่วนใหญ่แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ กลุ่มแรก คือ สารที่ให้ความหวานพลังงานต่ำ (Low-calorie sweeteners) เป็นสารให้แคลอรีเป็นศูนย์ บางครั้งเรียกว่าน้ำตาลเทียม มีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส (น้ำตาลทราย) ตั้งแต่ 30 ถึง 8,000 เท่า เช่น แอสพาเทม (Aspartame) ไซคลาเมต (Cyclamate) นีโอเทม (Neotame) แซคคาริน (Saccharin) ซูคราโลส (Sucralose) สารกลุ่มนี้เหมาะนำมาใช้ในกรณีต้องการควบคุมน้ำหนัก กลุ่มที่สอง เป็นสารให้ความหวานที่ลดพลังงาน (Reduced-calorie sweeteners) ได้แก่ น้ำตาลแอลกอฮอล์ (Sugar alcohols) หรือ โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohols) โพลีออล์ (Polyols) สารกลุ่มนี้ต่างกับกลุ่มแรก คือให้ความหวานและมีคุณสมบัติเพิ่มมวลเหมือนน้ำตาลซูโครส แต่ให้พลังงานต่ำกว่า (ประมาณ 1.6 ถึง 2.6 กิโลแคลอรีต่อกรัม) และไม่ทำให้น้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างเฉียบพลัน เนื่องจากน้ำตาลแอลกอฮอล์จะถูกย่อยเปลี่ยนเป็นกลูโคสช้ามาก และไม่ต้องใช้อินซูลิน นอกจากนี้น้ำตาลแอลกอฮอล์บางชนิดให้ความรู้สึกเย็น (cooling effect) และไม่ก่อให้เกิดฟันผุ เพราะจุลินทรีย์ในปากไม่สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารได้ ดังนั้นจึงมีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์หมากฝรั่ง ลูกกวาด และใช้แทนน้ำตาลซูโครสในกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวาน

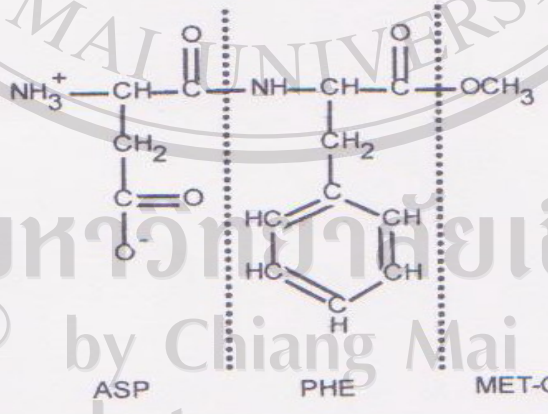
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเริ่มใช้มากขึ้นในผู้บริโภคทั่วไป ปัจจุบันนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งในยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น แต่การบริโภคสารกลุ่มนี้มากเกินไปกว่าระดับที่กำหนดอาจก่อให้เกิดการระบายจน ถึงขั้นท้องเสียได้ (Laxative effect) น้ำตาลแอลกอฮอล์พบในธรรมชาติ เช่น ในอาหาร และในพืช นอกจากนี้สามารถผลิตได้จากการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) ของน้ำตาล ซึ่งอาจเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยว หรือเชิงคู่ หรืออาจทำการสกัดจากพืชผัก ตัวอย่างน้ำตาลที่มีการนำไปใช้ในอาหารประเภทเพื่อสุขภาพดังนี้

แอสพาร์เทม (Aspartame)

ปัจจุบันพบว่าแอสพาเทม เป็นสารให้ความหวานที่ประสบความสำเร็จในด้านการนำไปใช้มากที่สุด และยังเป็นที่ยอมรับของตลาดการค้ามีการใช้แอสพาร์เทมในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ทั่วโลกมากกว่า 4,100 ชนิด

แอสพาร์เทม เป็นไดเปปไทด์เอสเทอร์ของกรดอะมิโน 2 ชนิด คือ L-aspartic acid และ L-phenylalanine (ดังภาพที่ 2.24) เป็นผงสีขาวสะอาดไม่มีกลิ่น และมีรสหวานคล้ายน้ำตาล ไม่มีรสขม และมีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครสประมาณ 180-200 เท่า (Homler *et al.*, 1991) และเป็น nutritive food จะใช้ในปริมาณน้อย เพื่อให้ได้ความหวานตามต้องการ โดยที่ไม่ให้พลังงานเลย (กล้าณรงค์, 2542)



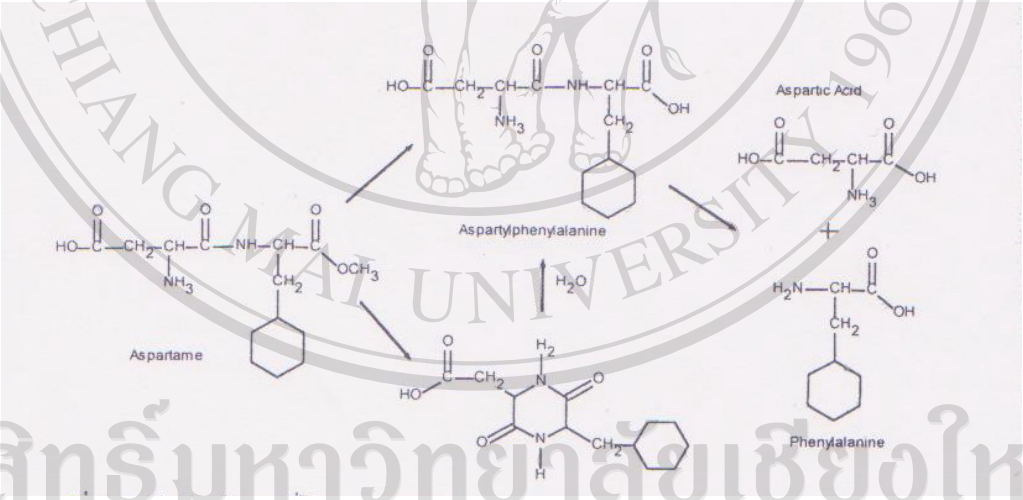
ภาพที่ 2.24 โครงสร้างของ aspartame

ที่มา : กล้าณรงค์, 2542

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอสพาร์เทมมีรสหวานไม่สนิท ไม่มีรสขมติดลิ้นหลังรับประทาน ได้มีการทดลองเปรียบเทียบรสของแอสพาร์เทมกับน้ำตาล โดยใช้ผู้ชิมทั้งที่มีประสบการณ์และไม่มีประสบการณ์ ปรากฏว่าผู้ชิมลงความเห็นว่าแอสพาร์เทมมีรสหวานสนิท ไม่มีรสขมเจือปนเลย แต่มีผู้ให้ข้อสังเกตว่า แอสพาร์เทมมีรสหวานติดลิ้นซึ่งคุณสมบัติข้องนี้บางครั้งก็เป็นที่ต้องการ แต่ถ้าไม่ต้องการก็สามารถทำได้โดยการผสมสารให้ความหวานชนิดอื่นหรืออาจลดปริมาณแอสพาร์เทมลง (Giese, 1993)

นอกจากนี้แอสพาร์เทมยังช่วยให้กลิ่นรสของอาหารดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำผลไม้ที่มีกรดสูง เช่น น้ำส้ม น้ำมะนาว และน้ำองุ่น เป็นต้น สำหรับความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทมขึ้นกับปัจจัยสามประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง, อุณหภูมิ และเวลา ถ้าปัจจัยที่ไม่เหมาะสมจะทำให้แอสพาเทมถูกไฮโดรไลซ์เป็น aspartylphenylalanine (AP) หรือ diketopiperazine (DKP) และ DKP ring สามารถเปลี่ยนรูปกลายเป็น AP และไฮโดรไลซ์ไปเป็น aspartic acid และ phenylalanine ซึ่งฟอร์มต่าง ๆ เหล่านี้เป็นสารประกอบที่ไม่มีความหวาน(Homler *et al.,* 1991)



ภาพที่ 2.25 ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้จาก aspartame

ที่มา : Hendrick *et al.,* 1996; กล้าณรงค์, 2542

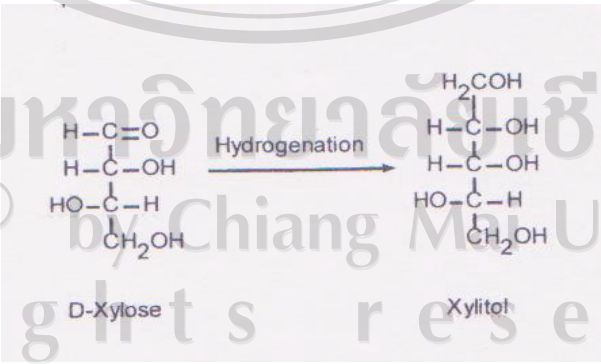
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอสพาร์เทมในสภาพสารละลายเก็บที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะการเการสลายตัวได้มาก ถ้าให้ความร้อนเพิ่มขึ้นหรือนานขึ้น แอสพาร์เทม จะเกิดการสลายตัว แต่แอสพาร์เทมจะคงตัวดีที่สุดเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 3.0-5.0 ซึ่งเป็นลักษณะของอาหารส่วนใหญ่ และความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมคือ 4.3 และเป็นโปรตีนที่เมื่อเผาผลาญจะให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี/กรัม

(กล้าณรงค์, 2542) มีการนำเอาแอสพาร์เทม มาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ (Homler *et al.,* 1991) เช่น เครื่องดื่มต่าง ๆ โยเกิรต์ ผลิตภัณฑ์ผสมแห้ง เช่น กาแฟผง หมากฝรั่ง และอาหารที่พร้อมบริโภค ปัจจุบันได้มีการใช้แอสพาร์เทมกันอย่างแพร่หลาย มากกว่า 90 ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศอุตสาหกรรมหลัง เช่น อังกฤษ เยอรมนี และญี่ปุ่น ในประเทศแคนาดาได้มีการนำแอสพาร์เทมมาใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ถึง 145 ชนิด สำหรับกลุ่มประเทศยุโรปปัจจุบัน ตามที่กฎหมายเกี่ยกับสารให้ความหวานและคณะกรรมการวิทยาศาสตร์การอาหารของกลุ่มประเทศยุโรปได้อนุญาตให้ใช้แอสพาร์เทมใสกรผลิตภัณฑ์ อาหารชนิดต่าง ๆ ได้ (Montijano *et al.,* 1998) ผลการศึกษาความปลอดภัยของแอสพาร์เทมที่มีผลกระทบต่อระบบเมตาบอลิซึม ความเป็นพิษต่อร่างกาย, สารก่อมะเร็ง, สารก่อกลายพันธุ์ และผลต่อตัวอ่อน พบว่ารับประทานแอสพาร์เทมไม่มีอันตรายแต่อย่างใด ดังนั้นคณะกรรมการอาหารและยาสหรัฐอเมริกา (FDA) จึงได้กำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมรับให้บริโภคได้ต่อวัน (acceptable daily intake) ของแอสพาร์เทมเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (The International Council Foundation, 1998 และ American Dietetic Association, 1998)

ไซลิทอล (Xylitol)

xylitol พบอยู่ทั่วไปในผักและผลไม้ เป็นสารให้ความหวานจำพวกคาร์โบไอเดรต (carbohydrate sweetener) และยังเป็นสารประกอบจำพวกแอลกอฮอล์ของน้ำตาล (polyol) ที่ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม (xylose) ซึ่งเป็นสารทั่วไปในระบบการเผาพลาญอาหารของมนุษย์ (Dziezak, 1986)



ภาพที่ 2.26 โครงสร้างของ xylitol และ xylose ซึ่งเป็น monosaccharide
ที่มา : Hendrick *et al.,* 1996; กล้าณรงค์, 2542

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการผลิต xylitol เป็นอุตสาหกรรม จะใช้ hemicellulose (xylan) เป็นวัตถุดิบซึ่งส่วนใหญ่ได้รับมากจากของเสียจากการเกษตร โดยจะนำ hemicellulose มาทำการย่อยสลาย (hydrolysis) ด้วยกรด จะได้น้ำตาล xylose ออกมา จากนั้นทำการ hydrogenation และแยกด้วยโครมาโตกราฟฟิค (chromatographic separation)

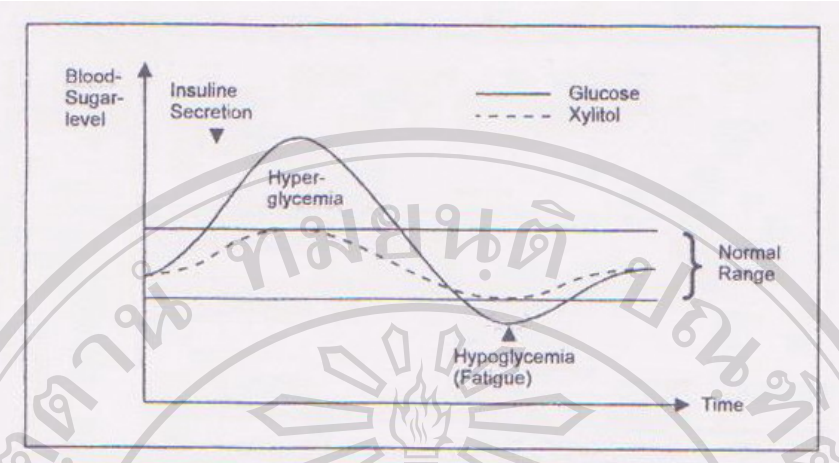
xylitol มีความหวานใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครสจึงสามารถใช้ xylitol ในผลิตภัณฑ์ในปริมาณ % ที่ใกล้เคียงกันในผลิตภัณฑ์เดิม สำหรับในอุตสาหกรรม chewing gum จะใช้ xylitol 60 % กับ sorbitol 40% จะให้ความหวานเท่ากับน้ำตาลซูโครส

xylitol เป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรต เมื่อมีการเผาผลาญจะให้พลังงานออกมา 4 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม และเนื่องจาก xylitol ไม่มีหมู่ aldo และ keto ในโครงสร้าง จึงไม่ทำปฏิกิริยา maillard browning กับ amino acid ที่มีอยู่ ดังนั้นอาหารรสหวานซึ่งมีโปรตีนด้วย เมื่อนำไปให้ความร้อนจึงไม่ได้ทำลาย essential amino acid และเมื่อให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ขึ้นไป จะเกิด polymerization เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และถ้ามีการให้ความร้อนถึง 316 องศาเซลเซียส ก็ยังไม่ทำให้สาร polyol เปลี่ยนสีได้

ร่างกายเราสามารถปรับตัวเพื่อนำ xylitol ไปใช้ได้อย่างดี จึงมีขบวนการเผาผลาญ (metabolic pathway) 2 กระบวนการด้วยกัน คือ

1. การเผาผลาญ xylitol ที่ถูกดูดซึมเข้ามาโดยตรง ส่วนใหญ่จะเกิดที่ตับ
2. การเผาผลาญ xylitol ที่ไม่ถูกดูดซึมโดยอ้อม คือ จะเกิดการหมักขึ้นจาก intestinal flora และการเผาผลาญ xylitol ไม่ขึ้นกับ insulin ดังนั้น จึงไม่เกิด hyperglycemic peaks หรือ hypoglycemic fatigue และการที่ xylitol ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี่ต่อกรัมเท่ากับสารคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ นั้น จะมีผลต่อปริมาณกลูโคสในเลือดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ปกติ xylitol ไม่ได้เป็นอาหารพิเศษสำหรับผู้เป็นโรคเบาหวาน เพราะการเผาผลาญของฟรักโทสก็ไม่ขึ้นกับอินซูลินเช่นกัน โดยที่ฟรักโทสมีราคาถูกกว่าและใช้ในปริมาณที่มากกว่าได้โดยไม่มีผลเสียเลย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.27 ผลของกลูโคส และ xylitol ต่อปริมาณน้ำตาลในเลือด

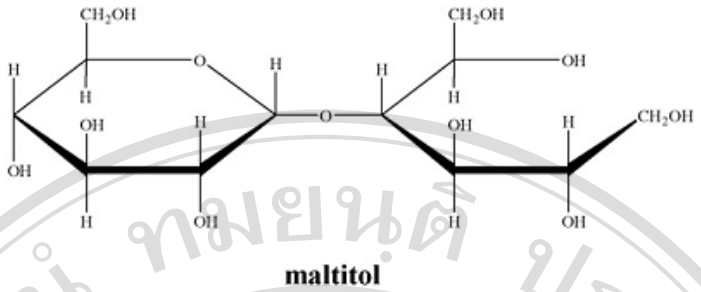
ที่มา : Homler *et al.,* 1991; กล้าณรงค์, 2542

xylitol ก็เหมือนกับคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ คือ จะดูดซับน้ำไว้อย่างช้า ๆ จึงอาจจะทำให้ระบบทางเดินอารหารผิดปรกติไป และเกิดอาการท้องร่วง ถ้ามีการบริโภคในปริมาณมาก ฉะนั้นในช่วงแรกที่บริโภค ควรบริโภคเพียง 30 กรัมต่อวันเป็นปริมาณสูงสุด และสำหรับผู้ใหญ่เท่านั้น และเมื่อระบบย่อยอาหารปรับตัวรับ xylitol ได้แล้วปริมาณสูงสุดที่ร่างกายจะรับไว้ได้เป็น 200-300 กรัมต่อวันมีการนำเอา xylitol มาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์หมากฝรั่ง, Tableted product, ผลิตภัณฑ์ลูกอม, ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เคลือบ, Pectin และ gelatin jelliesและช็อคโกแลต

มอลติตอล (maltitol)

มอลติตอลเป็นเป็นสารให้ความหวานจำพวกคาร์โบไอเดรต(carbohydrate sweetener) และยังเป็นสารประกอบจำพวกแอลกอฮอล์ของน้ำตาล (polyol) มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า hydrogenated high maltose glucose syrup หรือ hydrogenated glucose syrup มีรสหวานใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครส คือความหวานของมอลติตอลมีประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณในการใช้ใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครส และเป็นสารให้เนื้อกับไอศกรีมได้อีกด้วย มีความคงตัวในระหว่างกระบวนให้ความร้อน โฮโมจิไนซ์เซชั่น (homogenization) และการตี (whipping) และเนื่องจากมอลติตอลมีผลในการลดจุดเยือกแข็งในผลิตภัณฑ์ได้ จึงไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสและการละลายเมื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.28 โมเลกุลของ maltitol

ที่มา : Li *et al.*, 2007

ร่างกายดูดซึมมอลติตอลได้อย่างช้า ๆ จึงเกิดการย่อยสลาย (metabolism) ได้พลังงานออกมาน้อยกว่าน้ำตาลซูโครสซึ่งให้พลังงานถึง 4 แคลอรี่ต่อกรัมในขณะที่มอลติตอลให้พลังงานเพียง 2.1 แคลอรี่ต่อกรัม โดย U.S. Food and Drug Administration ไม่มีกำหนดให้ระบุบนฉลากผลิตภัณฑ์เมื่อใช้มอลติตอล แต่ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ระบุว่าเป็น ผลิตภัณฑ์ลดพลังงาน "reduced calorie" ใน United States กำหนดให้ใช้มอลติตอลทดแทนน้ำตาลได้ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากไม่เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือดแล้วมอลติตอลยังให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลธรรมดาถึงประมาณครึ่งหนึ่งคือ นอกจากนี้ยังเป็นน้ำตาลที่ไม่ให้ความเย็นซ่า ในขณะที่น้ำตาล polyol ตัวอื่น ๆ มักจะให้ความเย็นซ่าด้วย เนื่องจากเป็นสารให้ความหวานหรือ น้ำตาลที่ไม่เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดอีกทั้งยังเป็นน้ำตาลที่เชื้อจุลินทรีย์ในปากนำไปใช้ไม่ได้ จึงไม่ก่อให้เกิดโรคฟันผุ ซึ่งได้รับการรับรองจาก American Dental Association และ FDA ว่าไม่ก่อให้เกิดฟันผุ

ทางด้านโภชนาการพบว่าค่าดัชนีไกลซิมิกซ์(glycaemic index (GI)) เป็นค่าที่ใช้เพื่อบอกความสามารถในการดูดซึมอาหารคาร์โบไฮเดรตชนิดต่าง ๆ โดยอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซิมิกซ์สูงแสดงวาเป็นอาหารที่ดูดซึมได้ดี ส่วนอาหารที่มีการดูดซึมช้า ๆ จะมีค่าดัชนไกลซิมิกต่ำ มีการวิจัยพบว่าอาหารที่มีดัชนไกลซิมิกต่ำจะช่วยลดภาวะของโรคเบาหวานได้ดีกว่าอาหารที่มีดัชนีไกลซิมิกสูงได้ในส่วนของมอลติตอล เป็นสารที่มีค่า GI ต่ำ และลดค่าไกลซิมิกของอาหารที่บริโภคได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณสมบัติด้านความปลอดภัยของมอลติตอลได้รับการยอมรับจากสถาบัน GRAS (Generally Recognized as Safe) โดย U.S. Food and Drug Administration ในการใช้เป็นhumectant, สารให้กลิ่นรส (flavoring agent),สารให้ความหวานที่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (nutritive sweetener), สารเสริมฤทธิ์(sequestrant), สเตบิไลเซอร์(stabilizer) และ สารเพิ่มความข้นหนืด

(thickener) ซึ่งยอมรับให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกอมในปริมาณ 99.5 เปอร์เซ็นต์, ใช้ทดแทนน้ำตาลในปริมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในหมากฝรั่งปริมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ , ในผลิตภัณฑ์เจลลี่ 55เปอร์เซ็นต์ และในผลิตภัณฑ์คุ๊กกี่และเค้ก 30 เปอร์เซ็นต์ และสถาบัน Joint Food and Agriculture Organization/World Health Organization Expert Committee on Food Additives (JECFA) และ Scientific Committee for Food of the European Union (EU) ได้กล่าวถึงข้อมูลด้านความปลอดภัยของมอลติตอลว่ามีการยอมรับให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่ไม่จำกัด. อย่างไรก็ตามมอลติตอลก็มีข้อจำกัดเช่นเดียวกับน้ำตาล polyol อื่น ๆ กล่าวคือหากรับประทานในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดอาการท้องเสียได้ แต่สำหรับมอลติตอล GRAS กล่าวว่าสามารถทานได้ในปริมาณ 100 กรัมต่อวันโดยจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องถ่ายท้อง ซึ่งถ้าเราใช้มอลทิทอลในไอศกรีม 16 เปอร์เซ็นต์แล้วก็เท่ากับว่าเราสามารถทานไอศกรีมที่ผสมมอลติตอลได้ไม่เกินวันละ 625 กรัม(พรหล้า, 2548)

ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติของมอลติตอลเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส.

	Maltitol	**Sucrose**
Molecular weight (g/mol)	344	342
Sweetening power	0.9	1
Heat of dissolution (cal/g)	-16.3	-4.3
Solubility at 37 °C (g/100 ml)	200	220
Viscosity (50% solution in water at 20°C, m Pa.s)	23	18
Melting point (°C)	150	185
Heat Stability	Yes	No
Safe for teeth	Yes	No
Energy value (Kcal/g)	2.4	4
EU	2.1	4
USA	2	4
Japan 2.4		
Glycemic index	29	60

ที่มา: Roquette และ Lestrem , 2003

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ประโยชน์จากมอลติตอล

เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงน้ำตาลซูโครสมาก ดังนั้นจึงสามารถใช้ทดแทนซูโครสในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น กัม(gum) และหมากฝรั่ง, ผลิตภัณฑ์ช็อคโกแล็ต, เค้ก และคุกกี้(บิตกิส), ธัญพืช และขนมขบเคี้ยว, ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน,ลูกอม และลูกกวาด, ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม, ขนมหวานแช่แข็ง, ผลิตภัณฑ์จากผลไม้ประกอบด้วย แยมและเจลลี่ต่าง ๆ, ผลิตภัณฑ์ซอสต่าง ๆ , ประยุกต์ใช้ในยารักษาโรค (หมากฝรั่ง, ยาเม็ด, เคลือบเม็ดยา), ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

สารให้ความหวานในตระกูล sugar alcohols หรือ polyols เป็นสารให้ความหวานที่ถูกเลือกใช้เพื่อผลิต ผลิตภัณฑ์ปราศจากน้ำตาล (Sugar Free) เพราะเป็นสารให้ความหวานหรือน้ำตาลที่ไม่เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด ตัวอย่างของน้ำตาลในตระกูลนี้ได้แก่ sorbitol, mannitol, xylitol, erythritol, lactitol, maltitol, isomalt และ hydrogenated starch hydrolysate อีกบางตัวน้ำตาลที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมปราศจากน้ำตาลก็คือ น้ำตาลมอลติตอล (maltitol) เนื่องจากเป็นน้ำตาลที่ไม่ให้ความเย็นซ่า ในขณะที่น้ำตาล polyol ตัวอื่น ๆ มักจะให้ความเย็นซ่าด้วย (พวกนี้เหมาะจะทำหมากฝรั่งที่ไม่ทำให้ฟันผุ) นอกจากนี้ความหวานของมอลติตอลยังมีประมาณ 90% เมื่อเทียบกับน้ำตาลทราย ทำให้ปริมาณในการใช้ใกล้เคียงกับน้ำตาลทราย จึงเป็นสารให้เนื้อกับไอศกรีมได้อีกด้วย นอกจากไม่เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือดแล้วมอลติตอลยังให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาล ตัวอย่างของสารทดแทนความหวานมอลติตอลที่ผลิตในทางการค้าเช่น Hooray คือมอลติตอลไซรัป เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่ไม่เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือดหรือปริมาณอินซูลิน ใช้ทำไอศกรีมปราศจากน้ำตาล (Sugar-free) โดยสามารถใช้ทดแทนน้ำตาลในสูตรไอศกรีมปกติไอศกรีมปราศจากน้ำตาล(พรหล้า, 2548)

Smith และ Bradlay (1983) พบว่า สารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ลดจุดเยือกแข็งได้น้อยกว่าสารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการลดลงของจุดเยือกแข็งสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโมเลกุลของสารต่อหน่วยปริมาตรของสารละลายนั่นเอง ไอศกรีมต้องมีจุดเยือกแข็งที่สูงพอเหมาะจะทำให้ได้ผลึกน้ำแข็งอย่างเพียงพอ จุดเยือแข็งไม่ต่ำเกินไปจนมีปริมาณของเหลวที่ไม่แข็งตัวเหลืออยู่มากจนเป็นผลให้ได้ไอศกรีมแฉะเกินไป และไม่คงตัว

ดังนั้นในยุคที่ผู้บริโภคต้องการเน้นคุณภาพ ของผลิตภัณฑ์มากขึ้น โดยเฉพาะ “ สุขภาพ ” ต้องการลดแคลอรี่ ลดปริมาณไขมัน ลดเกลือ ลดความหวานจากน้ำตาล แต่มีความต้องการสูตรอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารครบ ถึงขั้น “ อาหารเป็นยา ” หรือ “ อาหารต้านมะเร็ง ” โดยเพิ่มสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เสริมต่างๆ เช่น เส้นใย แคลเซียม ไอโอดีน วิตามิน และอาหารออร์แกนิค (organic food) ผู้ผลิตควรจะต้องมีบุคลากรที่มีความรู้ครบวงจรของระบบ อุตสาหกรรมอาหาร ทั้งด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร โภชนาการและการตลาดในคนเดียวกัน จึงจะสามารถเลือกใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพลังงานต่ำ มีความคงตัว อายุการเก็บได้นานขึ้น ยังสามารถลดต้นทุนที่เป็นปัญหา ทางเศรษฐกิจ และเข้าแข่งขันในระดับนานาชาติได้ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved