บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แก้วมังกร

แก้วมังกร หรือ Dragon Fruit เป็นพืชในตระกูลกระบองเพชร มีถิ่นกำเนิดจากทวีปอเมริกากลาง ได้แก่ เวสท์อินดิส โคลัมเบีย กัวเตมาลา เวเนซูเอล่า และอื่น ๆ มีปลูกอย่างแพร่หลายและยาวนานมากในเวียดนาม สำหรับในประเทศไทยพบว่า มีผู้นำเข้ามาปลูกนานมากกว่ากึ่งศตวรรษและพบพืชประเภทนี้ในธรรมชาติซึ่งเป็นผลไม้ท้องถิ่นต่าง ๆ เช่น หุบเขาบอน จังหวัดชลบุรี พนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี มวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี และจังหวัดสมุทรสงคราม รวมทั้งจังหวัดลำพูนด้วย เนื่องจากผลไม้นี้มีรูปร่างคล้ายลูกแก้วจึงได้ชื่อว่า "แก้วมังกร" (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2545)

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของแก้วมังกร

ต้นแก้วมังกรอยู่ในวงศ์แคกทาซีอี้ (Cactaceae) ในสกุลไฮโลซีรีอัส (Hylocereus) เป็นพืชกระบองเพชรประเภทเลื้อย โดยมีความยาวลำต้น 5 เมตร หรือยาวกว่า รากมี 2 กลุ่ม คือ รากดินและรากอากาศ ซึ่งใช้ยึดเกาะ และดูดน้ำกับแร่ธาตุ ลำต้นมักจะเป็น 3 แฉก หรือเหลี่ยม เป็นข้อ ๆ สีเขียว หรือเทาอมน้ำเงิน ขอบลำต้นมักจะแข็งแรง ลักษณะตามขอบเป็นหยักซึ่งมีโหนกและที่โคนโหนกจะมีแอ่ง และมีหนามสั้น แต่บางต้นก็พบว่าไม่มีหนาม หรือมีจำนวนน้อยมาก

ดอกของต้นแก้วมังกรมีขนาดใหญ่ เป็นรูปทรงกรวยคล้ายแตร และบานในเวลากลางคืนโดยจะบานเพียงคืนเดียว สีของดอกมีสีขาวแต่อาจมีสีแดงปนแต่น้อยมากรอบ ๆ ของส่วนรังไข่แข็งแรง กลีบดอกกว้างเป็นสามเหลี่ยม เกสรตัวผู้มีจำนวนมากติดกันเป็นแผง ก้านเกสรตัวเมียอ้วน ปลายเกสรตัวเมียเป็นแฉก ผลมีขนาดใหญ่ รูปทรงกลมหรือกลมแป้น รูปไข่ หรือทรงกลมรี เป็นผลไม้แบบมีกลีบกว้าง เมล็ดรูปไข่ ขนาด 2.5 X 1.5 มิลลิเมตร สีน้ำตาลไหม้ ผิวเรียบรอยบุ๋มขนาดกลางลาดเอียงบนผิว มีสารเหนียวคล้ายวุ้นหุ้มเมล็ด สกุลนี้มีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง เช่น เวสท์อินดีส โคลัมเบีย กัวเตมาลาและเวเนซูเอล่าเป็นต้น (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2545)

2. การจำแนกต้นแก้วมังกร

ต้นแก้วมังกรในสกุลไฮโลซีรีอัสมีอยู่ 18 ชนิด แต่ชนิดที่นำมาศึกษาและทำการแปรรูป คือ แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง อยู่ในวงศ์ Cactaceae สกุล Hylocereus ซึ่งเป็นพืชกระบองเพชรประเภทเลื้อย (climbing cacti) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตอบอุ่นและความชื้นต่ำ

โดยสามารถเจริญเติบโตได้บนต้นไม้หรือก้อนหิน รากมีการเจริญเติบโตทั้งในดินและมีรากพิเศษที่ลำต้น เพื่อช่วยในการพยุงลำต้น ดูดซับความชื้นในอากาศและน้ำ (Nerd and Mizrahi, 1997)

อัญชลี นามวงษ์ (2546) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำต้น ดอก และผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง สายพันธุ์ไต้หวัน ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Hylocereus costaricensis พบว่า ลำต้นเป็นปล้องสามเหลี่ยมแยกเป็น 3 แฉกมีสีเขียวเข้มปนเทา มีความยาวปล้อง 15-42 เซนติเมตร ความยาวของหนาม 0.3-0.5 เซนติเมตร จำนวนหนาม/กลุ่มหนาม 4-6 หนาม/กลุ่มหนาม

ดอกของแก้วมังกรมีลักษณะเป็นดอกเดี่ยว มีรังไข่ใต้วงกลีบ (inferior ovary) มีส่วนของฐานรองดอกที่หนาอยู่ล้อมรอบส่วนของรังไข่ ดอกประกอบไปด้วยเกสรเพศผู้จำนวนมาก มี style 1 อัน ส่วนของกลีบดอกจะอยู่ด้านบนของรังไข่ (Gibson and Nobel, 1986) ลักษณะชีววิทยาของดอก แบ่งเป็น 4 ระยะ คือ ดอกตูม ดอกแรกแย้ม ดอกบานเต็มที่ และดอกหุบหลังดอกบานเต็มที่โดยที่ระยะดอกตูมมีความยาวดอก 25-26 เซนติเมตร จำนวนกลีบเลี้ยงและฐานรองดอกรวมกัน 73-74 กลีบ จำนวนกลีบดอก 22-23 กลีบ สีกลีบเลี้ยงมีสีแดงแซมม่วง ระยะดอกแรกแย้มดอกจะเริ่มแย้มในเวลา 20.00 นาฬิกา ดอกบานเต็มที่ช่วงเวลา 24.00-01.00 นาฬิกา ความกว้างของดอกเมื่อบาน 27-28 เซนติเมตร มีจำนวนเกสรตัวผู้ 863 อัน ความยาวก้านชูเกสรเพศผู้ 9.3-10 เซนติเมตร ความยาวของก้านชูเกสรเพศเมีย 26.7-27 เซนติเมตร บริเวณปลายยอดเกสรเพศเมียมีลักษณะเป็นแฉก มีจำนวนแฉกประมาณ 19-20 แฉก ความยาวของแฉกยอดเกสรเพศเมีย 1.19 เซนติเมตร ช่วงเวลาที่ดอกหุบหลังจากบานเต็มที่แล้ว 9.30-10.00 นาฬิกา

ผลแก้วมังกรเป็นผลมีเนื้อหลายเมล็ด (berry) มีการพัฒนามาจากส่วนของรังไข่และฐานรองดอกที่อยู่รอบรังไข่ ส่วนของเปลือกเจริญมาจากฐานรองดอก และจะมีชั้นบาง ๆ ด้านในของเปลือกซึ่งเจริญมาจากผนังรังไข่ ส่วนของเนื้อผลเป็นการพัฒนามาจากก้านชูเมล็ด (funiculi) ซึ่งเชื่อมต่อกับผนังรังไข่ ลักษณะของผล พบว่า มีรูปทรงกลม ความหวาน 14.7 °Brix จำนวนกลีบผล 18-30 กลีบ ความยาวของกลีบผล 2-3.5 เซนติเมตร ความหนาเปลือก 2-3 มิลลิเมตร เมล็ดมีลักษณะคล้ายเมล็ดงา ขนาด 0.3 x 0.3 มิลลิเมตร ในผลแก้วมังกรที่มีน้ำหนักผล 400 กรัม จะมีจำนวนเมล็ด 4,449 เมล็ด (Gibson and Nobel, 1986)

3. การออกดอก

สุรพงษ์ โกสิยะจินดา (2545) กล่าวว่า เมื่อต้นแก้วมังกรเจริญเติบโตอย่างปกติและมีความสมบูรณ์ดีประกอบกับช่วงวันยาว ต้นแก้วมังกรจะเริ่มออกดอกในช่วงเดือนเมษายน ระยะเวลาออกดอก ประมาณ 6 เดือน ตั้งแต่เมษายนถึงกันยายน โดยมากออกดอกบริเวณปลายกิ่ง

อายุของกิ่งที่จะออกดอกได้จะเป็นกิ่งที่แก่พอดีหรือกิ่งที่กำลังแก่ ตำแหน่งหรือจุดกำเนิดดอกนั้นอยู่ที่แผงกลุ่มหนาม บางกิ่งอาจพบดอกมากกว่า 5 ดอก จุดตาดอกเริ่มต้นที่แกนลำต้น เมื่อเจริญต่อมาตาดอกจะเกิดขึ้นใต้แผงกลุ่มหนามและดูคล้ายกลุ่มหนามบวมเป่งเล็กน้อย เมื่อตาดอกเจริญพัฒนาใหญ่ขึ้นก็จะดันแผงกลุ่มหนามเผยอเปิดออก ตาดอกซึ่งพัฒนาเป็นตุ่มดอกที่มีขนาดเท่าเมล็ดถั่วเขียวจะดันแผงกลุ่มหนามให้หลุดออกไป ระหว่างการเจริญเติบโตของตุ่มดอกไปเป็นดอกตูม ดอกพวกนี้ไม่ได้มีการเจริญพัฒนาจนสมบูรณ์ทุกดอก ส่วนหนึ่งจะฝ่อแห้งหรือเหลืองหลุดไป

4. **การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผล**

การเจริญของผลไม้โดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ single sigmoidal curve แบ่งการเจริญเติบโตได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เป็นช่วงที่เกิดภายหลังการติดผลใหม่ ๆ ที่มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ในผลนั้น มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโดยตรง ระยะที่ 2 ระยะนี้สืบเนื่องมาจากการขยายของเซลล์ (cell enlargement) และการเพิ่มช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) มีการเพิ่มของส่วนปริมาตร (volume) มากกว่าน้ำหนักผล ระยะที่ 3 การขยายขนาดของผลมีอัตราการเพิ่มที่ลดลง ผลเริ่มเข้าสู่ระยะ maturity และเริ่มมีการพัฒนาทางด้านเปลี่ยนสีผิว (pigmentation) และกระบวนการสุก (ripenning) ได้เริ่มต้นขึ้น ได้แก่ มะม่วง มังคุด ส้มเขียวหวาน ส้มตรา และมะกอกน้ำพันธุ์แก้มแหม่ม ส่วนการเจริญอีกแบบหนึ่ง คือ การเจริญเติบโตแบบ double sigmoidal curve มักพบในผลไม้พวก drupe แบ่งการเจริญเติบโตเป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เป็นระยะภายหลังช่วงที่มีการขยายขนาดค่อนข้างช้าสืบเนื่องจากการแบ่งเซลล์ ระยะที่ 2 ระยะนี้การเจริญจะช้าลงอย่างมากหรือชะลอตัว เนื่องจากตัวผลมีการสร้างชั้น endocarp ให้แข็งตัว (endocarp hardening) ระยะที่ 3 เมื่อชั้น endocarp แข็งตัวแล้วผลมีการขยายขนาดเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง อันเป็นผลของการขยายของเซลล์ ของชั้น mesocarp เป็นส่วนใหญ่ ผลที่มีการเจริญแบบนี้ เช่น มะเดื่อ องุ่น พลัม เนคทารีน พุทราพันธุ์บอมเบิ้ล และ Opuntia ficus-indica เป็นต้น (Nerd and Mizrahi, 1997)

ในการเจริญเติบโตของผลนั้นนอกจากมีการเปลี่ยนแปลงด้านขนาด น้ำหนัก และปริมาตรแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีควบคู่ไปด้วย โดยมีการเปลี่ยนแปลงของสารสะสมในผลที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงระหว่างการพัฒนาของผล เช่น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาล ของแข็งที่ละลายน้ำได้ ไขมัน กรดอินทรีย์ สารประกอบฟีนอล รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของสารสี เช่น คลอโรฟิลล์ แอนโธไซยานินส์ และแคโรทีนอยด์ ตลอดจน สารประกอบอื่น ๆ เช่น วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น (ดนัย บุญเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2535)

5. **ดัชนีการเก็บเกี่ยว**

การเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่เหมาะสมทำให้เหมาะสมทำให้ผักและผลไม้มีคุณภาพดี การเก็บเกี่ยวผลที่มีอายุอ่อนจนเกินไปจะทำให้คุณภาพต่ำ เก็บรักษาได้ไม่นาน การสุกไม่เป็นไปตามธรรมชาติ กระบวนการสุกที่ผิดปกติ (erratic ripening) **ถ้าเก็บเกี่ยวช้าเกินไปทำให้ผลมี** คุณภาพต่ำเช่นเดียวกัน มีอายุการวางขายสั้น เกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย (ดนัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, 2535)

จริงแท้ ศิริพานิช (2538) กล่าวว่า ดัชนีความสมบูรณ์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันมีมากมายหลายวิธี โดยทั่วไปเกษตรกรใช้ดัชนีหลายอย่างประกอบการตัดสินใจในการเก็บเกี่ยว ซึ่งทำให้เก็บเกี่ยวได้ถูกต้องตามความบริบูรณ์ของผลผลิตมากขึ้น วิธีการต่าง ๆ นี้แยกออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

1. การนับระยะเวลา เป็นการนับเวลาจากจุดใดจุดหนึ่งของการเจริญเติบโตของพืช หรือส่วนของพืช

2. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพระหว่างการเจริญเติบโตของพืชมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหลายอย่างที่บ่งบอกถึงความสมบูรณ์ ได้แก่ สี รูปร่าง ขนาด ความแน่น การหลุดร่วงออกจากต้น ปริมาณน้ำคั้น ความถ่วงจำเพาะ

3. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ แป้ง น้ำตาล กรด ไขมัน สารสี (pigment) สารประกอบฟีนอล

4. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาสำหรับ Hylocereus undatus, H. costaricensis และ H. polyrhizus ที่ปลูกในอิสราเอลจะมีช่วงการเจริญเติบโตของผลประมาณ 7 สัปดาห์ (ช่วงฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง) ส่วนแก้วมังกรผิวทองหรือ Selenicereus megalanthus จะมีช่วงการเจริญของผลยาวนานกว่า ประมาณ 13-14 สัปดาห์ในฤดูร้อน และ 20-22 สัปดาห์ในฤดูหนาว (Nerd and Mizrahi, 1997) และ Opuntia ficus-indica ผลสุกจะมีอายุประมาณ 85-100 วันหลังดอกบาน โดยเปลือกผลจะเริ่มเปลี่ยนสีเมื่อ 70 วันหลังดอกบาน และเปลี่ยนสีเต็มที่ 85-100 วันหลังดอกบาน นอกจากนี้พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำคั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อผลเจริญหลังดอกบานแล้ว 70 วันจนถึงผลสุก

ผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดงมีคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะอุดมไปด้วยแร่ธาตุดังตาราง 1

ตาราง 1 คุณค่าทางอาหารของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง ต่อ 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม)	82.5-83
โปรตีน (กรัม)	0.159-0.229
ไขมัน (กรัม)	0.21-0.61
ใยอาหาร (กรัม)	0.7-0.9
แคโรทีน (มิลลิกรัม)	0.005-0.012
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	6.3-8.33
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	6.3-8.8
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	30.2-36.1
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.55-0.65
วิตามินบี 3 (มิลลิกรัม)	0.28-0.043
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	0.043-0.045
อื่น ๆ (กรัม)	0.297-0.43

ที่มา สุรพงษ์ โกสิยะจินดา (2545, หน้า 14)

6. **สมบัติพิเศษของต้นแก้วมังกร**

ลำต้นของต้นแก้วมังกรสะสมน้ำได้มาก เพราะพืชพวกนี้มีแวคคิวโอลขนาดใหญ่อยู่ตรงกลางเซลล์ และลักษณะพิเศษหลายอย่างในการป้องกันการสูญเสียน้ำ ทำให้ทนแล้งได้มากกว่าพืชชนิดอื่น ๆ พืชเหล่านี้มีการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยกระบวนการพิเศษ เป็นพืชประเภทเปลี่ยนแปลงกรดคล้ายกับพืชในวงศ์คราสซูเลเซี่ยน (crassulacean acid metabolism) เรียกพืชกลุ่มนี้แบบย่อ ๆ คือ พืชแคม (CAM) ซึ่งมีปากใบเปิดตอนกลางคืน ทำให้แลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี กลางวันปากใบมีความต้านทานสูงหรือปากใบปิดทำให้เสียน้ำน้อยกว่าพืชอื่น ๆ 5-10 เท่าตัว ในตอนกลางวัน กลางคืนเกิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และตามมาด้วยการสะสมกรดเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงต่อไป (Drennan and Noble, 2000)

7. ลักษณะของผลแก้วมังกรที่มีคุณภาพดี

ลักษณะภายนอกของผลแก้วมังกรที่มีคุณภาพดีควรมีรูปร่างทรวดทรงตามพันธุ์ ผลแก่ที่ได้ต้องดูสดและผลแน่น ทรงผลอาจเป็นทรงรูปไข่ สีของผลควรเป็นสีแดงบานเย็นเกือบทั้งผล ยกเว้น กลีบบนผลมีสีเขียว แต่โคนกลีบสีแดงบานเย็น กลีบผลสมสัดส่วนไม่รกรุงรัง ผิวด้านล่างจะมีสีเข้มกว่าผิวด้านบน ผลที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ หรือหลังเก็บเกี่ยวไม่เกิน 3 วัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องปกติ กลีบผลจะยังคงมีสีเขียว กลีบผลที่เหลืองเร็ว และเหี่ยวเร็วจะเป็นลักษณะที่ไม่ดี ขนาดของผลควรอยู่ระหว่าง 0.3-0.6 กิโลกรัม ผิวผลและกลีบผลควรจะเรียบมัน นอกจากนี้ ผลต้องไม่มีรอยบุ๋ม หรือมีลักษณะที่นิ่มเหลว ลักษณะภายในของผลแก้วมังกร เมื่อผ่าผลออก (ตามยาว) เนื้อจะมีสีขาวขุ่นคล้ายน้ำกะทิ มีเมล็ดสีดำฝังตัวอยู่ทั่วไป เนื้อแน่น รสชาติหวานอมเปรี้ยว เนื้อแก้วมังกรมีความหวานสูงสุดบริเวณส่วนกลางผล โดยความหวานของเนื้อแก้วมังกรในประเทศไทยอยู่ระหว่างร้อยละ 13-16 ปริมาณกรดร้อยละ 0.2-0.3 หากมีกลิ่นหมัก หรือกลิ่นแอลกอฮอล์ หวานชืด แสดงว่าเป็นลักษณะที่ไม่ดี (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2545)

8. สมบัติทางสมุนไพรของแก้วมังกร

พืชพวกกระบองเพชรมีสารเมือก (mucilage) เป็นจำนวนมาก สารพวกนี้คือ สารโพลีแซคคาไรด์เชิงซ้อน (complex polysaccharides) ซึ่งมีลักษณะคล้ายวุ้นเหลว หรือคล้ายเยลลี่ และมีสมบัติดูดน้ำ ซึ่งผลของแก้วมังกรมีสารเมือกนี้อยู่เช่นกัน (คชษิณ สุวิชา, 2544) และมีการใช้ลำต้น ดอก และผลของพวกกระบองเพชร ซึ่งมีสมบัติทางยา ช่วยปรับปรุงการควบคุมน้ำตาลกลูโคสในคนที่เป็นโรคเบาหวาน โดยไม่ต้องพึ่งอินซูลิน เนื่องจากสามารถลดระดับน้ำตาลกลูโคสและเพิ่มฤทธิ์ของอินซูลินภายใต้สภาวะน้ำตาลในเลือดสูง สามารถลดระดับไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) และคอเลสเตอรอลทั้งหมด โดยเน้นการลดไลโปโปรตีนคอเลสเตอรอล (lipoprotein-cholesterol) ชนิดความหนาแน่นต่ำในเลือดได้ (Mizrahi, Nerd, and Noble, 1997) แก้วมังกรเป็นอาหารจากธรรมชาติจึงมีการผลิตเพื่อบริโภคในหลายประเทศ นอกจากนี้ ผลของแก้วมังกรมีปริมาณของธาตุเหล็กสูง การรับประทานผลแก้วมังกรจะช่วยบรรเทาโรคโลหิตจางได้ และการรับประทานผลแก้วมังกรผิวสีทอง (Selenicereus megalanthus) ซึ่งเป็นพืชในวงศ์กระบองเพชรอีกสายพันธุ์หนึ่ง ซึ่งมีสารแคบทิน (captine) จะช่วยบำรุงหัวใจ และพบว่าเม็ดสีดำในแก้วมังกรนั้น แท้จริงแล้วเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ใช้เป็นยาดูดซับสารพิษ และสารเคมีออกจากร่างกายของคนเราได้ และสามารถทานได้มากเท่าใดก็ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดโทษต่อร่างกาย เพราะในเม็ดสีดำ ๆ นั้นมีสารกลุ่ม FOS (Fructose oligosaccharide) ในปริมาณสูงมีคุณสมบัติเป็นสาร Prebiotic ที่ช่วยปรับสมดุลของแบคทีเรียในลำไส้ได้ (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2545)

จากการวิเคราะห์ในแก้วมังกรมีกากใยสูง และยังเป็นไขมันไม่อิ่มตัวสามารถต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น มีส่วนช่วยรักษาโรคภูมิแพ้ โรคเบาหวาน จากการทดสอบโดยนำหนูทดลองที่น้ำหนักตัว 240 กรัม จำนวน 2 ตัว โดยให้แต่ละตัวถูกฉีดน้ำตาลและสารพาเข้าร่างกาย ในปริมาณสูง โดยที่ตัวหนึ่งจะถูกฉีดสารที่สกัดจากแก้วมังกรเข้าไปด้วย ปรากฏว่าเวลาผ่านไป 6 วัน หนูที่ไม่ได้รับสารสกัดจากแก้วมังกรตายไป ส่วนตัวที่ได้รับสารสกัดจากแก้วมังกรสามารถมีชีวิตอยู่ได้หลายสัปดาห์โดยที่ไม่เป็นอะไร (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2545)

9. **การใช้ประโยชน์จากผลแก้วมังกร**

ผลแก้วมังกรมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยอุดมไปด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ มากมายจึงนิยมบริโภคโดยการรับประทานในรูปของเนื้อแก้วมังกรสด แต่เมื่อมีผลผลิตมากล้นความต้องการของตลาด จึงนำผลแก้วมังกรมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ เช่น เป็นส่วนผสมในไอศกรีม ใช้ในการผลิตแยม น้ำหวาน ผลไม้กวน ทำลูกอม รวมทั้งการผลิตไวน์ (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2545)

นอกจากนี้มีการสกัดสารสีของเปลือกแก้วมังกร และเนื้อแก้วมังกรจากพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง (Hylocereus polyrhizus) ซึ่งเป็นสารสีม่วงแดงธรรมชาติ เป็นสีผสมอาหารทางการค้า โดยมีการใช้สีที่สกัดได้เพื่อให้สีผลิตภัณฑ์อาหารในประเทศอิสราเอล เช่น ผลิตภัณฑ์จากนมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประเภทที่มีการเติมน้ำผลไม้ และไม่มีการเติมน้ำผลไม้ เป็นต้น (Mizrahi, Nerd, and Noble, 1997)

Wybraniec and Mizrahi (2002) พบว่า แก้วมังกรในสกุลไฮโลซีรีอัสที่มีสายพันธุ์แตกต่างกันจะมีองค์ประกอบ และสัดส่วนของรงควัตถุที่แตกต่างกัน ดังนั้น แก้วมังกรที่ต่างสายพันธุ์กันจะมีโทนสีแดงของเนื้อ และเปลือกที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ Stintzing, Schieber, and Carle (2001) รายงานว่า สีของเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงมีลักษณะที่เหมือนสีของหัวบีท เปลือกของแก้วมังกรที่มีสีแดงบานเย็นนี้เป็นแหล่งของรงควัตถุสีแดงธรรมชาติที่มีปริมาณสูง ซึ่งสามารถสกัดออกมาใช้เป็นสารให้สีธรรมชาติแก่ผลิตภัณฑ์อาหารแทนสีสังเคราะห์ได้ รงควัตถุสีแดงในเปลือกแก้วมังกรที่สำคัญคือ เบต้าไซยานิน ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มของเบต้าเลน (Castellar, et al., 2003)

10. **เบต้าเลน (betalains)**

พืชในธรรมชาติมีสีที่แตกต่างกันมากมาย เนื่องจากมีรงควัตถุเป็นองค์ประกอบ ซึ่งรงควัตถุบางชนิดเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นต่อปฏิกิริยาที่สำคัญของพืช เช่น การสังเคราะห์แสง โดยมีรงควัตถุที่เกี่ยวข้อง คือ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ นอกจากนี้ สีที่มาจากรงควัตถุยังเป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดการขยายพันธุ์ โดยสีที่เกิดขึ้นในพืชเหล่านี้จะทำหน้าที่ดึงดูดแมลงและนก

ให้เข้ามาช่วยในการผสมพันธุ์พืช รงควัตถุที่สำคัญ คือ แอนโธไซยานิน (Anthocyanins) และเบต้าเลน ทั้งสองชนิดนี้จะมีลักษณะบางชนิดที่คล้ายคลึงกัน มีช่วงของการให้สีที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ แอนโธไซยานิน จะมีช่วงสีจากสีเหลือง-ส้ม ไปจนถึงสีแดง และน้ำเงิน แต่ เบต้าเลน มีสีช่วงเหลือง ส้มแดง ม่วง ไม่มีสีน้ำเงิน ซึ่งสีต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับสารประกอบที่มาเกาะกับโครงสร้างหลัก ทั้งแอนโธไซยานิน และเบต้าเลน ไม่เคยมีรายงานว่า พบอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชที่มีสปีชีส์เดียวกัน และไม่พบในสัตว์ แต่ที่น่าสนใจคือ พบการสังเคราะห์รงควัตถุซึ่งคล้ายกับเบต้าเลนใน Basidiomycetes (Piattelli, 1981)

เบต้าแลน คือ กลุ่มของสารประกอบที่อยู่ในรงควัตถุของพืช ซึ่งเป็นสารที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำให้พืชมีสีที่แตกต่างกัน มีสูตรโครงสร้างหลัก คือ 1,7-Diazoheptamethin ซึ่งหมู่ R และ R' ที่เปลี่ยนไปจะเป็นตัวกำหนดชนิดสีที่ต่างกันเกิดจากสมบัติการเรโซแนนซ์ (resonance) ของโครงสร้างของโมเลกุลเบต้าเลน รงควัตถุชนิดนี้สามารถนำไปใช้ได้เป็นสีผสมอาหารแทนการใช้สีสังเคราะห์ เนื่องจากไม่เป็นอันตราย ในปัจจุบันทั้งในอเมริกาและยุโรปมีการอนุญาตให้เป็นสีผสมอาหารได้ แต่เบต้าเลนจะสลายตัวได้ง่ายหากถูกความร้อน โดยในอุตสาหกรรมอาหารจะมีผลเนื่องจากกระบวนการแปรรูป ดังนั้น การนำไปใช้จึงยังมีข้อจำกัดในการใช้อยู่หลายอย่าง (Sapers and Hornstein, 1979) ต่อมา Stintzing, Schieber, and Carle (2002) ได้ศึกษาพืชที่อยู่ในวงศ์แคกทาซีอี้ (Cactaceae) ซึ่งเป็นพืชกระบองเพชรประเภทเลื้อย (cacti) ซึ่งมีรงควัตถุที่สำคัญ 2 ชนิด คือ เบต้าไซยานิน (betacyanins) และเบต้าแซนธิน (betaxanthins) โดยชนิดรงควัตถุในเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดงเปลือกแดง คือ เบต้าไซยานิน Savolainen and Kuusi (1978) พบว่า รงวัตถุเบต้าไซยานินจะสลายตัวได้ง่ายหากอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเสถียร หรือความคงตัวของเบต้าไซยานิน ได้แก่ แสง ออกซิเจน ความชื้น อุณหภูมิ หรือค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) Stintzing, Schieber, and Carle (2003) ได้ศึกษารูปแบบของเบต้าเลนใน Hylocereus polyrhizus (Weber) Britton & Rose รวมทั้งการสกัดแยกรงควัตถุจากเนื้อโดยอาศัยน้ำ พบว่าจากการสกัดไม่พบเบต้าแซนธิน แต่พบเบต้าไซยานิน ถึง 10 ชนิด และเบต้าไซยานินทุกชนิดมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นเดียวกัน คือ 536 นาโนเมตร ดังนั้นเบต้าไซยานินที่ชนิดแตกต่างกันจะไม่มีผลต่อค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับผลแก้วมังกรเนื้อขาว Hylocereus undatus (Haworth) Britton & Rose ซึ่งมีเนื้อออกสีชมพูเล็กน้อย พบว่ามีรูปแบบของเบต้าไซยานิน คล้ายกับ H. polyrhizus

Castellar, et al. (2003) ได้ทำการศึกษาเปลือกของแก้วมังกรที่มีสีแดงบานเย็น พบว่าเป็นแหล่งของรงควัตถุสีแดงธรรมชาติที่มีปริมาณสูง ซึ่งสามารถสกัดออกมาใช้เป็นสารให้สี

ธรรมชาติแก่ผลิตภัณฑ์อาหารแทนสีสังเคราะห์ได้ รงควัตถุสีแดงในเปลือกแก้วมังกรที่สำคัญคือเบต้าไซยานิน ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มของเบต้าเลน

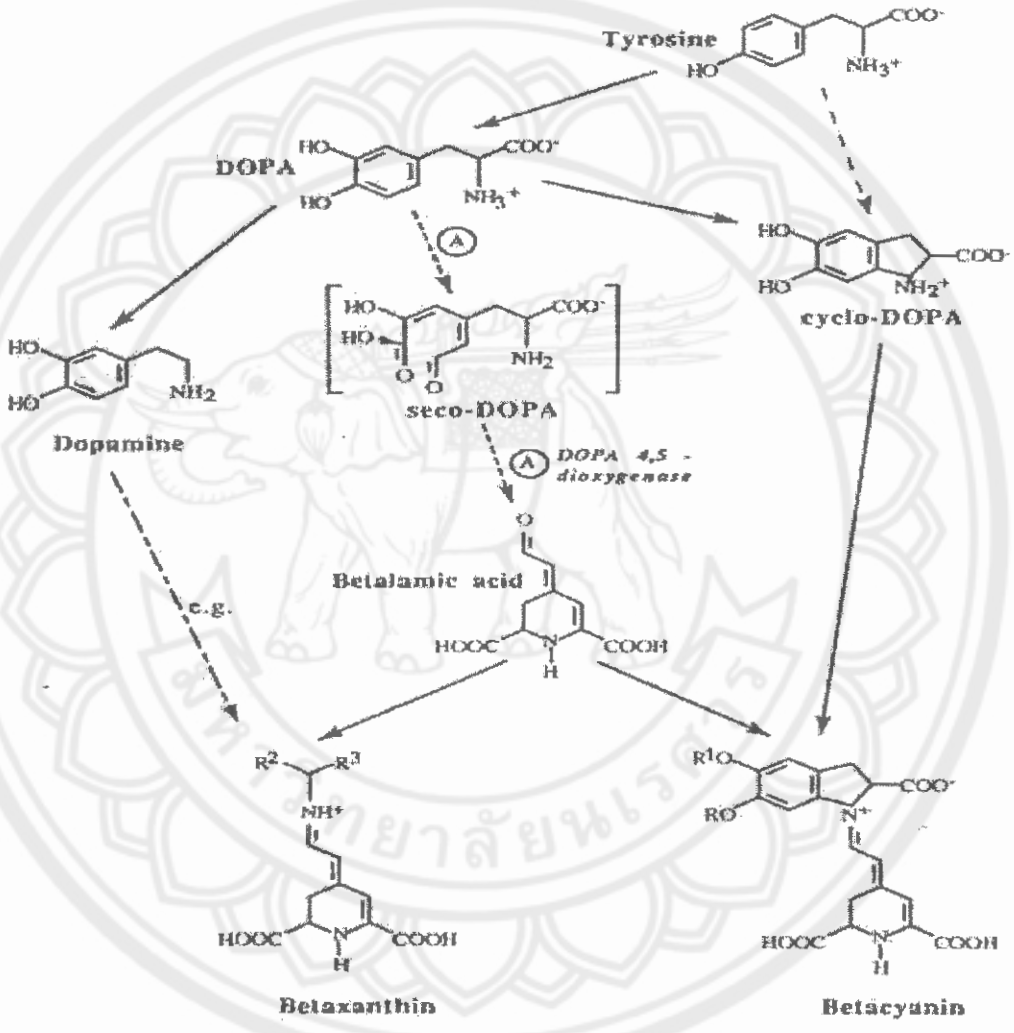
Von Elbe, Schwartz, and Hildenbrand (1981) ได้ศึกษาการสูญเสียเบต้าไซยานินในหัวบีทระหว่างกระบวนการแปรรูปโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า มีปริมาณการสูญเสียเบต้าไซยานินภายหลังกระบวนการแปรรูปบรรจุกระป๋อง ร้อยละ 41 สูญเสียจากการลวกที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส ร้อยละ 23 และปริมาณการสูญเสียจากการให้ความร้อนแบบสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที (โดยการคิดเทียบกับปริมาณที่เหลืออยู่จากการลวก) ร้อยละ 22 ดังนั้น การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นในกระบวนการแปรรูป จะทำให้มีปริมาณการสูญเสียเบต้าไซยานินที่สูงขึ้น

กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์เบต้าเลน เริ่มจากกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาซึ่งถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) ให้ 3,4-dihydroxyphenylalanine เอนไซม์ชนิดนี้ยังรวมตัวกับ cyclo-DOPA โดยผ่านโดป้าควิโนน (dopaquinone) โครงสร้างที่เป็นวงแหวนของ DOPA พันธะที่ 4,5 จะแตกออกได้สารตัวกลาง คือ seco-DOPA แต่ seco-DOPA นั้นไม่เสถียร จึงมีการจัดเรียงตัวใหม่จะได้กรดเบต้าลามิค (betalamic acid) ซึ่งเป็นสารที่ให้สีในเบต้าเลน ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้เอมไซม์ DOPA-4,5-dioxygenase เป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยานี้

กรดเบต้าลามิคสามารถรวมตัวกับกรดอะมิโน ให้สารประกอบสีเหลือง เรียกว่าเบต้าแซนธิน (betaxanthins) หรือรวมตัวกับ cyclo-DOPA ให้สารประกอบสีม่วงแดง เรียกว่าเบต้าไซยานิน ดังแสดงในภาพ 1 และจะมีปฏิกิริยาไกลโคไซด์ เกิดขึ้นหลังกระบวนการนี้ จากกลไกของปฏิกิริยาการสังเคราะห์เบต้าเลน ตามภาพ 1 จึงสามารถจำแนกชนิดของเบต้าเลนออกเป็น 2 ชนิดดังนี้ (1) เบต้าแซนธิน: เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลือง ซึ่งเกิดจากกรดเบต้าลามิครวมตัวกับกรดอะมิโนที่เป็นโปรตีน และกรดอะมิโนที่ไม่ใช่โปรตีน โดยจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่กรดเบต้าลามิคไม่ไปรวมตัวกับกรดอะมิโนทั้งหมด เนื่องจากจะถูกเอนไซม์ในพืชยับยั้งการรวมตัวกันของสารประกอบนี้ สารประกอบชนิดนี้จึงมีอยู่ในพืชแต่ละชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องจากองค์ประกอบ และการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกันในพืชชนิดต่าง ๆ รงควัตถุเบต้าแซนธินจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 480 นาโนเมตร นอกจากนี้โครงสร้างที่เกิดขึ้นของเบต้าแซนธินไม่สามารถเกิดการเรโซแนนซ์ (resonance) ได้ (Piatteli, 1981) (2) เบต้าไซยานิน : เกิดจากการรวมตัวระหว่างกรดเบต้าลามิค และ cyclo-DOPA ให้สารประกอบที่มีสีม่วงแดง ซึ่งจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 540 นาโนเมตร ชนิดของเบต้าไซยานินที่พบมากที่สุด คือ 5-*O*-β-

glycoside ที่ติดกับโครงสร้างของเบต้านิดิน (betanidin) (เบต้านิดินเป็น aglycone ของ เบต้าไซยานิน) จะสามารถเกิดการเรโซแนนซ์ ได้ (Piattelli, 1981)

โครงสร้าง และกลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์เบต้าเลน 2 ชนิด คือ เบต้าไซยานิน และเบต้าแซนธิน แสดงดัง ภาพ 1



ภาพ 1 โครงสร้าง และ กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์เบต้าเลน 2 ชนิด คือ **เบต้าไซยานิน และเบต้าแซนธิน**

ที่มา Piattelli (1981, p.560)

11. ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของเบต้าไซยานิน

รงควัตถุเบต้าไซยานินจะสลายตัวได้ง่ายหากอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเสถียร หรือความคงตัวของเบต้าไซยานิน ได้แก่ แสง ออกซิเจน ความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (Savolainen and Kuusi, 1978) ต่อมา Saguy (1979) ได้ศึกษาอิทธิพลของความร้อน และค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 4.8-6.2 พบว่า สารสกัดจากหัวบีทที่บ่มในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 61.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ใช้ในการทดลอง และค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.8 มีความเสถียรของรงควัตถุเบต้านินสูงที่สุด โดยมีค่าครึ่งชีวิตของรงควัตถุเบต้านินในสภาวะนี้เป็นเวลา 154.3 นาที Sapers and Hornstein (1979) ได้ศึกษาสมบัติและความเสถียรของรงควัตถุเบต้าไซยานินในหัวบีทที่มาจากแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน และปริมาณของรงควัตถุที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณเบต้าไซยานินจากตัวอย่างต่าง ๆมีความเสถียรที่ 25 องศาเซลเซียสที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 0.1 และไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 0.05 โดยความเสถียรของเบต้าไซยานินที่ความเป็นกรด-ด่าง 3 นอกจากนี้เบต้าไซยานินมีความไวแสงสูง

Merin, et al. (1987) ได้ศึกษาการลดลงของรงควัตถุสีแดง หรือเบต้าไซยานินเนื่องจาก ความร้อนในสารสกัดจาก prickly pear fruit ที่สกัดโดยเอธานอล พบว่า ความเสถียรของเบต้าไซยานินมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบผลกระทบจากการขาดออกซิเจน หรือ มีกรดแอสคอร์บิคในสารสกัดตัวอย่าง ต่อมา Castellar, et al. (2003) ศึกษาสมบัติทางด้านสีและความคงตัวของเบต้าไซยานินในผลไม้ที่ได้จากตระกูลตะบองเพชร (Opuntia fruit) พบว่า สารสกัดจากผลไม้ตัวอย่างที่สกัดโดย น้ำ แอลกอฮอล์ และ ซิเตรตฟอสเฟสบัฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5 มีปริมาณเบต้าไซยานินสูงสุด เมื่อทดสอบความเสถียรของเบต้าไซยานินในสารสกัดตัวอย่างในสภาวะที่มีอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน พบว่าเบต้าไซยานินมีความเสถียรสูงสุดในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ และค่าความเป็นกรดด่างในช่วง 4-6 นอกจากสมบัติของสารสี หรือรงควัตถุเบต้าไซยานินที่กล่าวมาแล้ว ยังมีรายงานว่า รงควัตถุเบต้าไซยานินดังกล่าว ยังมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น หรือสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย

ไอศกรีม

1. ความเป็นมา ความหมายและประเภทของไอศกรีม

ย้อนหลังไปสมัยศตวรรษที่ 1 จักรพรรดิเนโรห์แห่งอาณาจักรโรมันได้พระราชทานเลี้ยงไอศกรีมแก่เหล่าทหารที่อยู่ในกองทัพ โดยทรงออกคำสั่งให้ทาสไปขุดน้ำแข็งจากภูเขามาผสมเข้ากับน้ำผึ้งและน้ำผลไม้ซึ่งต่อมาเรียกไอศกรีมประเภทนี้ว่า เซอร์เบ็ทหรือซอร์เบท์ (ศิริพร เจริญวุฒ, 2548)

คนจีนรู้จักการนำหิมะมาผสมกับน้ำผลไม้เมื่อราว 4 พันปีมาแล้ว ซึ่งในขณะนั้นไอศกรีมลักษณะเหมือนนมข่น ๆ แช่แข็ง เนื่องจากตอนนั้นประเทศจีนเพิ่งจะเริ่มมีการรีดนมจากสัตว์เลี้ยงในฟาร์ม นมจึงจัดเป็นอาหารที่มีราคาแพง ชนชั้นสูงจะนำนมมาหมกไว้ในหิมะเพื่อถนอมอาหารจนกลายเป็นนมแช่แข็ง หลังจากนั้นก็เริ่มพัฒนาทำน้ำผลไม้แช่แข็งรับประทานกัน พอถึงต้นศตวรรษที่ 13 ก็มีวางขาย เข็นขายกันตามถนนทั่วกรุงปักกิ่ง ซึ่งเชื่อว่าเป็นที่มาของน้ำแข็งใสในปัจจุบัน จนปลายศตวรรษที่ 13 มาร์โคโปโล ซึ่งเดินทางมาจากจีน ได้นำสูตรนี้กลับมาแพร่หลายในอิตาลีซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับที่คนตะวันตกรู้จักการนำน้ำแข็งและเกลือมาเป็นส่วนผสมเพื่อทำให้เกิดความเย็น คนอิตาเลียนจึงถือว่าตนเป็นต้นตำรับ ไอศกรีมแบบที่นำมาปั่นให้เย็นจนแข็ง เรียกว่าเจลาติน (ศิริพร เจริญวุฒ, 2548)

หลังจากที่หมอชาวสเปนในกรุงโรมคนหนึ่งได้พบเทคนิคพิเศษ ว่าอุณหภูมิของส่วนผสมในการทำไอศกรีมแช่แข็งจะลดลงถึงจุดเยือกแข็งได้รวดเร็วขึ้นหากเติมดินประสิวลงไปในหิมะหรือน้ำแข็งที่อยู่รอบถัง ซึ่งเป็นการริเริ่มผลิตของหวานแช่แข็งที่ทำจากไอศกรีมล้วน ๆ ชนิดแรกของโลกไอศกรีมข้ามไปอเมริกาในช่วงต้นศตวรรษที่ 17 กลายเป็นที่ชื่นชอบของคนอเมริกากันมากขนาดประธานาธิบดีจอร์จ วอชิงตัน ลงทุนถึง 200 ดอลลาร์ซื้อเครื่องปั่นไอศกรีม ไปทำกินเองในฤดูร้อนจากบันทึกพบว่ามีการเรียกขานคำว่า ไอศกรีม เป็นครั้งแรกในปี 1673 ช่วงนั้นลักษณะของไอศกรีมจัดเป็นประเภทเดียวกับไอซ์ทีหรือชาเย็นกับไอซ์คอฟฟี หรือกาแฟเย็น จึงตั้งชื่อคล้าย ๆ กันแม้ต่อมาลักษณะของไอศกรีมจะเปลี่ยนจากเดิมก็ตาม (ศิริพร เจริญวุฒ, 2548)

กระทั่งปี 1843 นางแนนซี่ จอห์นสัน รัฐนิวเจอร์ซีย์ ได้คิดค้นเครื่องผลิตไอศกรีมแบบมือเขย่าขึ้น ซึ่งเธอสามารถขายสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์ด้วยราคา 200 เหรียญสหรัฐ อีก 7 ปีต่อมา จาค็อบ ฟัสเซลล์ผู้รับซื้อนมได้เปิดธุรกิจไอศกรีมขึ้นเป็นเจ้าแรก (ศิริพร เจริญวุฒ, 2548)

ไอศกรีมโคนเกิดขึ้นในงานออกร้านเซนต์หลุยส์ แฟร์ ในรัฐมิสซูรี่ในปี 1904 เมื่ออาร์โนลด์ ฟอร์นาโช ซึ่งขายไอศกรีมภายในงานเกิดขาดแคลนกระดาษสำหรับใส่ไอศกรีมขึ้นจึงลองใช้แผ่นวอฟเฟิลจากร้านขายวอฟเฟิลที่อยู่ข้าง ๆ มาม้วนเป็นกรวยแล้วใช้เป็นภาชนะที่บรรจุไอศกรีม ทำให้มีการม้วนแผ่นวอฟเฟิลทำเป็นโคนอย่างแพร่หลายจนถึงปี 1912 เฟรเดอริก บรุคแมน นัก

ประดิษฐ์จากรัฐโอเรกอนได้ประดิษฐ์เครื่องจักรผลิตไอศกรีมขึ้น ส่วนไอศกรีมโซดาถือกำเนิดขึ้นเมื่อโรเบิร์ต เอ็ม. กรีน ผู้จำหน่ายโซดาในฟิลาเดเฟียคิดค้นสูตรไอศกรีม ซึ่งมีส่วนผสมระหว่างน้ำโซดาครีม และน้ำหวานขึ้น วิลเลียม เดรเยอร์ผู้ผลิตไอศกรีม และโจเซฟ เอดี้ ผู้ผลิตลูกกวาดเป็นผู้ริเริ่มไอศกรีมยี่ห้อ ร็อกกี้โร้ด ในปี 1929 (ศิริพร เจริญวุฒ, 2548)

ในประเทศไทยมีการบริโภคไอศกรีมหลังสมัยรัชกาลที่ 5 ซึ่งเป็นช่วงที่ประเทศไทยมีการผลิตน้ำแข็งเพื่อใช้ในการบริโภค ไอศกรีมตอนนั้นทำจากน้ำหวานหรือน้ำผลไม้นำไปปั่นเย็นจนแข็ง โดยไม่มีนมหรือครีม เป็นส่วนผสม เรียกว่า ไอติม การปั่นไอติมจะใช้แรงคนในการปั่น โดยมีหม้อทองเหลืองเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-60 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ภายในมีรูสำหรับเสียบแม่พิมพ์กระบอก ทำจากโลหะทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุน้ำผลไม้หรือน้ำหวานภายในทรงกระบอก การปั่นต้องใช้มือจับหูหม้อทองเหลืองทั้งสองข้าง และแกว่งหรือหมุนไปมาในถังไม้ที่ใส่น้ำแข็งผสมเกลือ หลังจากปั่นได้ประมาณ 1 ชั่วโมง ไอของความเย็นจะเริ่มเกาะรอบนอกของกระบอก และน้ำหวานข้างในจะเริ่มแข็งตัว ช่วงนี้เองที่ต้องเสียบไม้เข้าไปตรงกลางรอบนอกของทรงกระบอก และน้ำหวานข้างในจะเริ่มแข็งตัวจึงเอากระบอกโลหะไปจุ่มในน้ำอุ่นเพื่อให้ดึงไอติม ออกจากกระบอกง่ายขึ้นนำไปใส่กระติกเร่ขาย ต่อมาบริษัทป็อบผู้ผลิตไอศกรีมตราเป็ด ซึ่งเป็นผู้ผลิตไอศกรีมรายแรกของเมืองไทย ได้สั่งซื้อเครื่องทำไอศกรีมจากต่างประเทศมาผลิตไอศกรีมได้ครั้งละมาก ๆ เน้นความสะอาด และคุณภาพทำให้ไอศกรีมเป็นที่นิยมอย่างรวดเร็ว ไอศกรีมตราเป็ดยุคแรก ๆ- ยังเป็นไอศกรีมหวานเย็นต่อมาจึงดัดแปลงรสชาติใหม่ ๆ เป็นรสระกำ เฉาก๊วย ลอดช่อง โอเลี้ยง ข้าวเหนียวแดง ถั่วดำ และอื่น ๆ อีกมากมาย พร้อมกับนำสูตรใส่นมจากต่างประเทศใส่ถ้วย ทำให้เนื้อไอศกรีมละเอียดเนียน คนจึงนิยมกินไอศกรีม ใส่นมหรือครีมกันมาก (ศิริพร เจริญวุฒ, 2548)

ส่วนไอศกรีมที่เป็นผลงานของไทย คือ ไอศกรีมกะทิ โดยใช้กะทิสดผสมน้ำตาล ใส่แทนนมและครีม เป็นไอศกรีมกะทิมีต้นกำเนิดจากเมืองไทยเป็นแห่งแรก และไม่ต้องใช้กระบอกทำเป็นแท่ง แต่ใช้ตักใส่ถ้วยเป็นลูก ๆ เรียกว่า ไอศกรีมตัก ต่อมาจึงมีการตักใส่ถ้วยกรอบ และขนมปังผ่ากลางจุดเด่นของไอศกรีมกะทิ คือ ดัดแปลงให้มีรสชาติต่าง ๆ ได้ง่าย เช่น เติมเม็ดลอดช่อง เม็ดแมงลัก ข้าวโพด ขนุน ทุเรียน และเผือกเป็นต้น และไอศกรีมเป็นอาหารที่ให้พลังงานสูง จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ทำ ที่สำคัญเหมาะกับเด็กที่กำลังเจริญเติบโตหรือคนที่ต้องการเพิ่มน้ำหนัก ปัจจุบันมีการผลิตไอศกรีมภูมิปัญญาไทยจากผลไม้ และจากสมุนไพรของไทยเกิดขึ้นจำนวนมาก บางอย่างไม่นึกว่าจะทำได้ เช่น กล้วยเล็บมือนาง น้อยหน่า มะขาม เสาวรส หรือ

ไอศกรีมดอกไม้ เช่น ดอกกุหลาบ ดอกเก๊กฮวย และดอกกระเจี๊ยบแดง เป็นต้น (ศิริพร เจริญวุฒ, 2548)

ไอศกรีม หมายถึง ส่วนผสมแช่แข็งที่ประกอบด้วยนม สารให้ความหวาน (sweetener) สารให้ความคงตัว (stabilizer) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และสารให้กลิ่นรส (flavour) อาจมีการเติมส่วนผสมอื่น เช่น ไข่ สี สตาร์ชไฮโดรไลเซต ลงไปในส่วนผสม แล้วนำส่วนผสมไปพาสเจอร์ไรซ์และโฮโมจิไนซ์ก่อนนำไปปั่นเป็นไอศกรีม (freezing) ซึ่งเป็นการให้อากาศเข้าไปในส่วนผสม พร้อมกับทำให้ส่วนผสมเย็นจนได้ไอศกรีมที่นุ่มเนียนและอยู่ในสภาวะแช่แข็ง (Marshall and Arbuckle, 1996)

ไอศกรีมเป็นอาหารที่มีรสชาติน่ารับประทาน ประกอบด้วยคุณค่าทางอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ได้รับความนิยมจากทุกวัย ไอศกรีมนับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมสูง ปัจจุบันปริมาณการผลิตไอศกรีมเพิ่มมากขึ้นในทุกประเทศ ไอศกรีมมีมากมายหลายชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนผสม ปริมาณของส่วนผสมในแต่ละชนิดและคุณสมบัติโดยทั่วไป (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531) สามารถแบ่งออกเป็น 5 ชนิด

1. ไอศกรีมมาตรฐาน (Standard ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีร้อยละของแข็งทั้งหมด (total solid) อย่างน้อยร้อยละ 16-24 ของน้ำหนักเมื่อทำเสร็จแล้ว ส่วนผสมส่วนใหญ่เป็นไขมัน (milk fat) ของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (Milk Solid Not Fat, MSNF) น้ำตาล สารให้ความคงตัวอิมัลซิไฟเออร์ กลิ่น (odour) และสี ปริมาณของไขมันจะแปรผันตามหางนมผง แต่จะต้องมีไขมันอย่างน้อยร้อยละ 10 ค่าโอเวอร์รัน (over run) ประมาณร้อยละ 80-100

2. ไอศกรีมนมสด (Milk ice cream) ต่างจากไอศกรีมมาตรฐานคือ ปริมาณไขมันและปริมาณของแข็งที่น้อยกว่า รวมทั้งกลิ่นและรสของไอศกรีม สำหรับไอศกรีมนมสดจะต้องประกอบด้วยไขมันอย่างน้อยร้อยละ 2 แต่ไม่เกินร้อยละ 7 และกลิ่นของไอศกรีมนมสดจะเป็นกลิ่นของส่วนผสมที่นำมาประกอบ (Total Milk Solid) ลักษณะของไอศกรีมนมสดมี 2 แบบ คือ (1) แบบอ่อน (Soft Frozen Form) และ (2) แบบแข็ง (Hard Frozen Form) มีความแตกต่างในสองลักษณะดังกล่าว คือ แบบแข็งจะใส่ สารให้ความคงตัว และอิมัลซิไฟเออร์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็ง แห้ง และละลายช้า ส่วนแบบอ่อนจะใช้น้ำตาลน้อยเพื่อหลีกเลี่ยงจุดเยือกแข็งต่ำ (Low freezing point) และเพื่อมิให้มีไขมันน้อยกว่าที่กำหนดจึงมีความฟูค่อนข้างต่ำประมาณร้อยละ 30-60 เมื่อเทียบกับแบบแข็งซึ่งมีโอเวอร์รันประมาณร้อยละ 80-100 ซึ่งแบบอ่อนจะต้องนำออกจากเครื่องปั่นที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -7.5 องศาเซลเซียส

3. **เมลโลไรน์ไอศกรีม** (Mellorine ice cream) **มีส่วนผสมคล้ายไอศกรีมนมสดยกเว้นไขมันนมซึ่งจะใช้ไขมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยมีประมาณร้อยละ 6 ดังนั้น เมลโลไรน์จะมี ร้อยละไขมันมากกว่าไอศกรีมนมสดแต่น้อยกว่าไอศกรีมมาตรฐาน ต้องมีโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 2.7 โดยน้ำหนัก**

4. ไอศกรีมเชอร์เบท (Sherbet ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีรสหวาน แต่ออกรสฝาด ปริมาณของแข็งต่ำร้อยละ 3-5 ซึ่งได้จากการผสมระหว่าง ไอศกรีมกับผลไม้ และมีร้อยละของกรดแลกติก (lactic acid) ต่ำสุดประมาณร้อยละ 0.35 หรืออาจใช้พวกกรดมาลิก (malic acid) และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) แทนได้ โอเวอร์รันของไอศกรีมประมาณร้อยละ 24-50 เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลมาก จุดหลอมเหลวจึงต่ำ ดังนั้นไอศกรีมพวกนี้จึงเนื้ออ่อนกว่าไอศกรีมที่มีอุณหภูมิเดียวกันและส่วนมากไอศกรีมผลไม้จะขายในแบบแข็ง (Hard Frozen Form) มากกว่าแบบอ่อน (Soft Frozen Form)

5. ไอศกรีมผลไม้ (Fruit ice cream) ประกอบด้วยน้ำตาลประมาณร้อยละ 30 น้ำผลไม้ ร้อยละ 20 กลิ่น สี รวมทั้ง สารให้ความคงตัว ประมาณร้อยละ 0.2-0.6 กรดซิตริก ประมาณร้อยละ 0.4 และน้ำร้อยละ 30 จะมีลักษณะแข็งเช่นเดียวกับไอศกรีมแต่เมื่อละลายมีลักษณะเป็นน้ำ โดยมากนิยมเป็นแท่ง (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

2. **องค์ประกอบของไอศกรีม**

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบค่อนข้างซับซ้อน แสดงดังตาราง 2 ในส่วนผสมทั้งหมดของไอศกรีมจะมีสารต่าง ๆ ละลายอยู่ มีน้ำเป็นตัวทำละลาย สารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่นั้นอาจแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ไขมัน จะกระจายตัวอยู่ในน้ำกลายเป็นอิมัลชัน ซึ่งอยู่ในรูปของน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) โดยมีสารอิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้อิมัลชันคงตัว มีโปรตีนของแข็งที่มาจากนม และสารคงตัวละลายอยู่ในรูปคอลลอยด์ และมีน้ำตาลแลคโตส น้ำตาลที่เติมลงไป และเกลือแร่ต่าง ๆ ละลายอยู่ในรูปของสารละลายแท้ (true solution) เมื่อนำส่วนผสมทั้งหมดของไอศกรีมไปปั่น อากาศจะเข้าไปในส่วนผสม และกระจายตัวอยู่ในรูปของฟองอากาศเล็ก ๆ ซึ่งมีชั้นของเม็ดไขมันที่รวมตัวกันอยู่ล้อมรอบฟองอากาศ น้ำจะแข็งตัวอยู่ในรูปของผลึกน้ำแข็ง (Andreasen and Nielsen, 1992)

องค์ประกอบของไอศกรีมมาตรฐาน ไอศกรีมนมสด เมลโลไรน์ เชอร์เบท และซอร์เบท มีองค์ประกอบดังตาราง 2

ตาราง 2 องค์ประกอบของไอศกรีมและผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดไอศกรีม	ไขมัน	ของแข็งในนม ไม่รวมไขมัน	น้ำตาล	สารอิมัลซิไฟเออร์ สารให้ความคงตัว
	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
ไอศกรีมมาตรฐาน	15	10	17	0.3
ไอศกรีมนมสด	10	11	14	0.5
เมลโลไรน์	4	12	13	0.7
เชอร์เบท	2	4	25	0.6
ซอร์เบท	0	0	30	0.5

ที่มา สุรีย์ นานาสมบัติ (2539, หน้า 65)

โดยทั่วไปส่วนผสมของไอศกรีมประกอบด้วย ไขมันนม ของแข็งในนมไม่รวมไขมันนม สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารให้กลิ่นรส น้ำและอากาศ ซึ่งส่วนผสมแต่ละชนิดนั้นมีหน้าที่แตกต่างกันไป ดังนี้

2.1 **ไขมันนม** (Milk Fat) เป็นส่วนผสมหลักที่สำคัญ ช่วยให้ส่วนผสมดีขึ้น ปรับปรุงรสชาติ ไม่ทำให้จุดเยือกแข็งลดลง ไขมันมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดเกล็ดน้ำแข็ง (Ice Crystal) และปริมาณของอากาศบริเวณผิวหน้าของไอศกรีมความแตกต่างในปริมาณของไขมันที่มีผลทำให้มีกลิ่นและรสแตกต่างกันระหว่างไอศกรีมแต่ละชนิด ไขมันเป็นส่วนผสมที่มีความสำคัญในการผลิตไอศกรีม เนื่องจากช่วยทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสตามต้องการ ให้กลิ่นรสที่ดีของไขมันและช่วยเสริมกับสารที่ให้กลิ่นรสที่เติมลงไป สำหรับวัตถุดิบที่เป็นไขมันนมได้แก่ น้ำนมพร่องมันเนยนมข้นไม่หวาน ครีมสด ครีมแช่แข็ง และเนย อาจใช้ไขมันพืชเป็นส่วนผสมในไอศกรีมแทนได้ ไขมันพืชชนิดที่ใช้ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเหล่านี้มักนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วน จนมีจุดหลอมเหลว 30-35 องศาเซลเซียส การใช้น้ำมันพืชจะทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อคล้ายกับการใช้ไขมันนม (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

2.2 **ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน** (Milk Solid Not Fat, MSNF) ประกอบด้วยแลคโตส โปรตีน และพวกเกลือแร่อื่น ๆ ซึ่งปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของไอศกรีมที่ต้องการ แลคโตสจะช่วยให้เกิดรสหวานและมีจุดเยือกแข็งต่ำลง แต่ถ้าใช้แลคโตสเข้มข้นมากเกินไปจะทำให้เกิดลักษณะหยาบกร้าน (Sandiness) เนื่องจากผลึกของแลคโตสละลายช้า เวลารับประทานในปากจะรู้สึกเป็นทรายหยาบ ๆ การเกิดลักษณะหยาบร่วนนั้นนอกจากมีแลคโตสเข้มข้นสูงแล้ว ยังมีสาเหตุหลายประการ เช่น มีแป้ง (Corn Solid) มากเกินไป อุณหภูมิในการเก็บไม่สม่ำเสมอขึ้น ๆ ลง ๆ และการเก็บไว้นานเกินไป ซึ่งในภาวะของการเก็บไอศกรีมโดยทั่ว ๆ ไป ไม่ควรมี ของแข็งไม่รวมไขมันนม เกิน 1 ปอนด์ต่อน้ำ 6 ปอนด์ ในส่วนผสมของไอศกรีม สำหรับโปรตีนนั้นช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ทำให้รสชาติดีขึ้น

นอกจากนี้ ของแข็งในนมไม่รวมไขมันนม ยังช่วยให้รูปร่างของไอศกรีมคงรูป ช่วยดูดซึมน้ำ รวมทั้งยังช่วยให้เนื้อของไอศกรีมเรียบ และเหนียว เนื้อแน่นขึ้น ช่วยเพิ่มความข้นหนืด และไม่ให้ไอศกรีมละลายเร็ว ปริมาณของของแข็งในนมไม่รวมไขมัน ไม่มีผลต่อความสามารถในการกวน แต่มีผลต่อคุณภาพของไอศกรีม และต้นทุนการผลิต (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

แหล่งของ ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน (Redhead, 1986) ได้แก่

1. Liquid Whole Milk เป็นแหล่งของไขมัน แต่มีของแข็งในนมไม่รวมไขมันเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงร้อยละ 9 ซึ่งไม่เพียงพอในการทำไอศกรีม และไม่สามารถทำให้ไอศกรีมมีความเข้มข้นขึ้นได้

2. Non-fat milk powder เป็นแหล่งของ ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน ที่ใช้กันทั่วไป โดย Skim milk จะถูกทำให้เข้มข้นขึ้นภายใต้สุญญากาศจากนั้นจึงแยกส่วนของน้ำออกมาเป็นนมผงลักษณะของนมผงที่ดีจะมีรสชาติดี สีสว่างไม่มีสีเจือปน และละลายง่าย ส่วนลักษณะนมผงที่ไม่ดีจะมีสีเหลืองและเป็นเม็ด

3. Liquid Skim Milk ได้มาจากการแยกครีมออกจาก Skim milk ซึ่งแยกโดยใช้การเหวี่ยงแยก liquid Skim milk เป็นแหล่งของ ของแข็งในนมไม่รวมไขมันที่ดี และเป็นน้ำนมที่มีความเข้มข้นมากกว่าปกติ

4. Butter Skim Milk เป็นแหล่งที่ดีของของแข็ง สามารถใช้แทน Skim milk ได้มากถึง ร้อยละ 50 ตามต้องการ

5. Whey product สามารถใช้เวย์ ในไอศกรีมได้ถึงร้อยละ 25 เพราะมีส่วนประกอบของแลคโตส ในปริมาณมาก สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่มีลักษณะหยาบในไอศกรีมได้ดี เวย์ มีราคาถูกกว่าแหล่งของ ของแข็งในนมไม่รวมไขมันนมทุกชนิดดังที่กล่าวมา

ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์นมที่เป็นแหล่งของแข็งในนมไม่รวมไขมันแสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์นมที่เป็นแหล่งของแข็งในนมไม่รวมไขมันนม

ชนิดของผลิตภัณฑ์นม	ไขมัน (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)		แลคโตส (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	น้ำ (ร้อยละ)
		เคซีน	เวย์โปรตีน			
นมผง	0.1	2.5	0.8	4.8	0.8	91
หางนมผง	1	27.7	9.3	52	7	3
เวย์ผง	1	-	13	73	9	4
โปรตีนเวย์เข้มข้น	2	-	35	51	7	5

ที่มา Andreasen and Nielsen (1992, p.263)

จากตาราง 3 จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบหลักของของแข็งในนมไม่รวมไขมัน คือ โปรตีนและแลคโตส โปรตีนในนมจะมีสมบัติช่วยในการอุ้มน้ำ และมีสมบัติช่วยให้เกิดสภาพอิมัลชันกล่าวคือเคซีน และเวย์โปรตีนสามารถจับกับน้ำได้โดยที่เคซีนสามารถจับกับน้ำได้ประมาณ 3 กรัมต่อกรัมของโปรตีน แต่เวย์โปรตีน จะจับกับน้ำได้น้อยกว่า 1 กรัมต่อกรัมของโปรตีน นอกจากนี้เคซีนยังล้อมรอบเม็ดไขมัน และทำหน้าที่คล้ายกับสารอิมัลซิไฟเออร์ ส่วนแลคโตสนั้นเป็นส่วนประกอบชนิดที่จะจำกัดการใช้ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน เนื่องจากแลคโตสมีความสามารถในการละลายค่อนข้างต่ำ สามารถตกผลึกได้ผลึกรูปขวานที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ไมโครเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะที่หยาบเหมือนทรายในไอศกรีม ดังนั้น เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงที่จะเกิดลักษณะที่ไม่ดีเช่นนี้ จึงควรควบคุมให้ปริมาณของแลคโตสในส่วนผสมของไอศกรีมไม่เกิน 17 ส่วนต่อน้ำ 100 ส่วน (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

ธาตุน้ำนมไม่รวมไขมัน (Nonfat Milk Solid) เป็นของแข็งที่อยู่ในส่วนผสมของหางนม ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 37 น้ำตาลแลคโตสร้อยละ 55 และแร่ธาตุร้อยละ 8 โดยทั่วไปไอศกรีมมีธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันไม่เกินร้อยละ 15.6-18.5 ของของแข็งทั้งหมด (total solid) ของส่วนผสม เมื่อเพิ่มปริมาณในส่วนผสมไอศกรีมมากขึ้น จะทำให้ผลึกน้ำแข็ง อัตราการละลายและความรู้สึก

เย็น (coldness) ลดลง แต่ช่วยความเป็นครีมและการเคลือบภายในปากสูงขึ้น (Stampanoni, Piccinali, and Sigrist, 1996) และจากการศึกษาของ Marshall and Arbuckle (1996) พบว่าการใช้ธาตุน้ำนมไม่รวมไขมัน หรือ Nonfat Milk Solid ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมมีรสเค็ม อาจมีกลิ่นไหม้ (overcooked) กลิ่นนมข้น (condensed milk) และเสี่ยงต่อการเกิดผลึกแลคโตสในระหว่างการเก็บรักษา

2.3 **สารให้ความหวาน** (Sweeteners) สารที่ให้ความหวานแก่ไอศกรีม คือ น้ำตาล ได้แก่ ซูโครสจากอ้อย ซูโครส (sucrose) จากหัวบีท กลูโคสไซรัป น้ำผึ้ง น้ำตาลอินเวอร์ส ฟรุคโตส โมลาส มอล์ทไซรัป เป็นต้น สำหรับน้ำตาลชนิดที่นิยมใช้มากที่สุดคือซูโครส เนื่องจากละลายน้ำได้ดีและราคาถูก อาจใช้ในรูปของแข็ง หรือของเหลวก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสะดวกในการผลิต สมบัติ และชนิดของไอศกรีม ส่วนผสมอาจใช้น้ำตาลทรายอย่างเดียว หรือส่วนผสมของน้ำตาลทรายกับน้ำตาลข้าวโพดก็ได้ ไอศกรีมที่ดีควรทำจากซูโครส ทั้งหมด ซึ่งได้มาจากน้ำตาลทราย หน้าที่หลักของน้ำตาลคือ ให้ความหวาน เพิ่มรส ถ้าขาดไปไอศกรีมจะจืด ถ้ามากไปไอศกรีมจะหวานมากเก็บรักษาไม่ดี เป็นผลึกและเหนียว นอกจากเพิ่มความหวานแล้วยังเพิ่มความข้นหนืด เพิ่มวัตถุแข็งในส่วนผสม เพิ่มคุณค่าทางอาหาร และลดจุดเยือกแข็ง ความหวานปกติร้อยละ10-18 น้ำตาลที่ใช้โดยทั่วไปเป็นน้ำตาลซูโครส นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลชนิดอื่นที่สามารถใช้แทนกันได้เช่น กลูโคส แลคโตส น้ำตาลข้าวโพด เป็นต้น (Stampanoni, Piccinali, and Sigrist, 1996) ทั้งนี้สารให้ความหวานทำให้เกิดรสหวานของไอศกรีม และใช้ในการปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดของส่วนผสมให้เป็นไปตามต้องการ นอกจากนี้ยังช่วยให้กลิ่นคาราเมลและกลิ่นวานิลลามากขึ้น ในทางตรงกันข้ามส่งผลให้กลิ่นนมลดลง ต่อมา Goff (1997) พบว่าการใช้สารให้ความหวานมากเกินไปจะทำให้จุดเยือกแข็งของไอศกรีมลดลง ต้องใช้เวลานานในการปั่นไอศกรีม

2.4 **สารให้ความคงตัว** (stabilizer) สารให้ความคงตัวมีความสามารถในการอุ้มน้ำ ซึ่งช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อเนียน ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขณะเก็บรักษา และช่วยให้ไอศกรีมละลายได้อย่างช้า ๆ หากใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมมีความหนืดมาก ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสแน่นมากและไม่ละลายขณะรับประทาน สารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ ได้แก่ เจลาติน กัม คาราจีแนน เป็นต้น (Goff, 1997)

สุรีย์ นานาสมบัติ (2539) พบว่าไอศกรีมจะไม่อยู่ในสภาพที่แช่แข็งอย่างสมบูรณ์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลึกน้ำแข็งจะละลายและในทางกลับกัน เมื่ออุณหภูมิลดลงน้ำก็จะกลับเป็นผลึกน้ำแข็งอีก การเพิ่มและลดลงของอุณหภูมิจะมีผลทำให้ลักษณะของเนื้อสัมผัสของไอศกรีมเปลี่ยนแปลง ดังนั้นถ้าเติมสารคงตัวลงไป จะจับกับน้ำอิสระที่เกิดจากการหลอมเหลว ซึ่งจะช่วย

ป้องกันการสร้างผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ถ้าหากน้ำที่หลอมนั้นแข็งตัวอีก นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และความหนืด ทำให้เกิดความรู้สึกมัน น่ารับประทาน ช่วยป้องกันการแยกตัวของน้ำระหว่างการหลอมเหลว และช่วยให้ไอศกรีมมีความต้านทานต่อการหลอมเหลวมากขึ้น โดยทั่วไปมักเติมสารคงตัวลงในส่วนผสมประมาณร้อยละ 0.1-0.5 สำหรับไอศกรีมที่อาจใช้สารคงตัวได้ในปริมาณน้อย ได้แก่ ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันสูงหรือปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงร้อยละ 40 ไอศกรีมช็อกโกแลต และไอศกรีมที่ผ่านการให้ความร้อนแบบยูเอชทีที่ 220 องศาฟาเรนไฮต์หรือสูงกว่า ส่วนไอศกรีมที่ต้องใช้สารคงตัวปริมาณมาก ได้แก่ ไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำร้อยละ 37 ไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ แบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (HTST:79.4 องศาเซลเซียส 25 วินาที) และไอศกรีมที่ต้องเก็บไว้นาน สารคงตัวที่ใช้เป็นส่วนผสมไอศกรีม ได้แก่

2.4.1 โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate) อัลจิเนต เป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล ซึ่งจัดอยู่ในสกุล Phaeophyceae ที่มีชื่อเรียกทั่วไปว่า kelp เติบโตตามชายฝั่งทะเลที่เป็นหินซึ่งมีความลึกไม่ต่ำกว่า 125 ฟุต หรือ 40 เมตร และอยู่ในระดับที่แสงแดดไปถึงได้ อัลจิเนตอาจเรียกอีกอย่างว่า อัลจิน (algin) ถูกสกัดออกมาในรูปของกรดอัลจินิก (alginic acid) และเกลือของกรดอัลจินิก คือ โซเดียมอัลจิเนต ซึ่งเป็นสารคงตัวที่ใช้ในการผสมอาหารหลายชนิดรวมทั้งไอศกรีม เมื่อเติมโซเดียมอัลจิเนตลงในส่วนผสมทั้งหมดแล้วจำเป็นต้องให้ความร้อนส่วนผสมจนถึงอุณหภูมิ 68.3-71.1 องศาเซลเซียส เพื่อให้โซเดียมอัลจิเนตละลาย ปริมาณของโซเดียมอัลจิเนตที่ใช้คือร้อยละ 0.18-0.25 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของไอศกรีมด้วยโซเดียมอัลจิเนตจะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีคุณสมบัติที่ดีเกี่ยวกับการหลอมเหลวและช่วยให้ไอศกรีมมีความคงตัวดีระหว่างการเก็บรักษา(สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

2.4.2 คาราจีแนน (carageenan) คาราจีแนนเป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีแดงชนิดที่นำมาสกัด ได้แก่ Chondrus crispus, Cigartina stellata และ Eucheuma spinosum สาหร่ายสีแดงเหล่านี้เจริญตามชายฝั่งทะเล เช่น ชายฝั่งทะเลของประเทศไอร์แลนด์ และประเทศฝรั่งเศส คาราจีแนนมักใช้ร่วมกับสารช่วยคงตัวอื่นโดยประมาณ ร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เพื่อป้องกันการแยกตัวของน้ำออกจากส่วนผสม และคาราจีแนนจะช่วยเพิ่มความหนืดของส่วนผสมโดยการจับโปรตีนนม ในการใช้คาราจีแนนควรให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

2.4.3 โซเดียมคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (sodium carboxyl methyl cellulose) ปัจจุบันใช้กันมากในอุตสาหกรรมผลิตไอศกรีม ซึ่งมีสมบัติช่วยในการอุ้มน้ำ ทำให้เกิดลักษณะเนื้อ

สัมผัสที่เนียนเรียบ ช่วยปรับปรุงในการตีขึ้นฟู (whipping property) โซเดียมคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสสามารถละลายได้ง่ายในน้ำเย็น ใช้ได้ดีกับไอศกรีมเซอร์เบท ปริมาณที่ใช้ผันแปรระหว่างร้อยละ 0.15-0.20 การใช้โซเดียมคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสกับสารช่วยคงตัวอื่นจะให้ผลดียิ่งขึ้น ส่วนใหญ่นิยมใช้ร่วมกับคาราจีแนน โลคัสบีนกัม และกัวกัม (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

2.4.4 สารคงตัวประเภทกัม (gum-type stabilizers) เช่น โลคัสบีนกัม (locust bean gum) และกัวกัม (guar gum) เป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ ที่ได้จากพืช กัมทั้งสองชนิดใช้กันมากในการผลิตไอศกรีม เนื่องจากช่วยให้เกิดลักษณะสัมผัสที่ดี ช่วยปรับปรุงความหนืดและช่วยป้องกันการแยกตัวของน้ำ กัวกัมมีข้อได้เปรียบกว่า คือ ละลายได้ดีในน้ำเย็น แต่โลคัสบีนกัมจะต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 15 นาที จึงจะละลาย นอกจากนี้ยังมีกัมอีกหลายชนิดที่ใช้ผสมไอศกรีมได้ เช่น ทากาแคนกัม (tragacanth) อาราบิกกัม (arabic gum) และคารายากัม (karaya gum) ซึ่งเป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ ที่ผลิตขึ้นโดยเชื้อ Xanthomonas campestris ก็ใช้เป็นสารคงตัวในไอศกรีมได้เช่นกัน (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

2.4.5 เจลาติน (gelatin) เป็นสารคงตัวชนิดแรกที่ผลิตขึ้นในทางการค้า สามารถทำให้เกิดเจลในส่วนผสมทั้งในระหว่างการบ่มและปั่น ช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในไอศกรีม และทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียนเรียบ ปริมาณของเจลาตินที่ใช้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น แหล่งที่มาของเจลาติน (จากหนังวัว หนังหมูหรือกระดูกสัตว์) ความแข็งของเจล (gel strength) ค่าความหนืด และองค์ประกอบในส่วนผสมของไอศกรีม เจลาตินแตกต่างจากสารคงตัวชนิดอื่น คือ เมื่อเติมลงในส่วนผสมแล้วต้องบ่มประมาณ 4 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดคุณสมบัติในการสร้างความคงตัวอย่างสมบูรณ์ (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

2.4.6 วุ้น (agar) เป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง มักใช้เป็นสารคงตัวในไอศกรีมเซอร์เบท โดยใช้ร่วมกับกัม และเจลาติน วุ้นจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่หยาบในไอศกรีม ปกติวุ้นจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะละลายได้ดีในน้ำร้อนตั้งแต่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

2.5 **สารอิมัลซิไฟเออร์** (emulsifier) เป็นสารที่ทำให้เกิดอิมัลชัน สารนี้เมื่อเติมลงไปในส่วนผสมจะเข้มข้นอยู่ที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดไขมัน และน้ำ โดยสามารถลดแรงตึงผิว ปกติน้ำนมและไข่แดงที่ใช้เป็นส่วนผสมจะมีอิมัลซิไฟเออร์เป็นส่วนประกอบอยู่แล้วและอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้กันมากในการผลิตไอศกรีมมี 2 ชนิด คือ mono-diglyceride อนุพันธุ์ของ polyoxyethylene hexahydrie alcohol glycol และ glycol esters สารอิมัลซิไฟเออร์จะช่วยให้ไขมันกระจายตัว ช่วย

ป
ว
378
.07
ข 2216
2551

- 5 ก.ย. 2551

l. 41637710

สำนักหอสมุด

ปรับปรุงความสามารถในการตีขึ้นฟู และช่วยให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อเนียนเรียบ (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539)

Baer, Wolkow and Kasperson (1997) พบว่าสารอิมัลซิไฟเออร์ ช่วยให้เกิดความเรียบเนียนและลดระยะเวลาในการปั่นเป็นไอศกรีม ทำให้เซลล์อากาศมีขนาดเล็ก กระจายตัวสม่ำเสมอในโครงสร้างไอศกรีม นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความหนืดให้กับไอศกรีมไขมันต่ำ ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลงอีกด้วย ไอศกรีมที่ได้จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี และ Kappas (1998) รายงานว่ามีอิมัลซิไฟเออร์ และสารให้ความคงตัวหลายชนิดที่สามารถใช้ร่วมกับโพลีเด็กซ์โตรส และทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งดีขึ้น ตัวอย่างเช่น คาราจีแนน โมโน-และไดกลีเซอไรด์ เป็นต้น

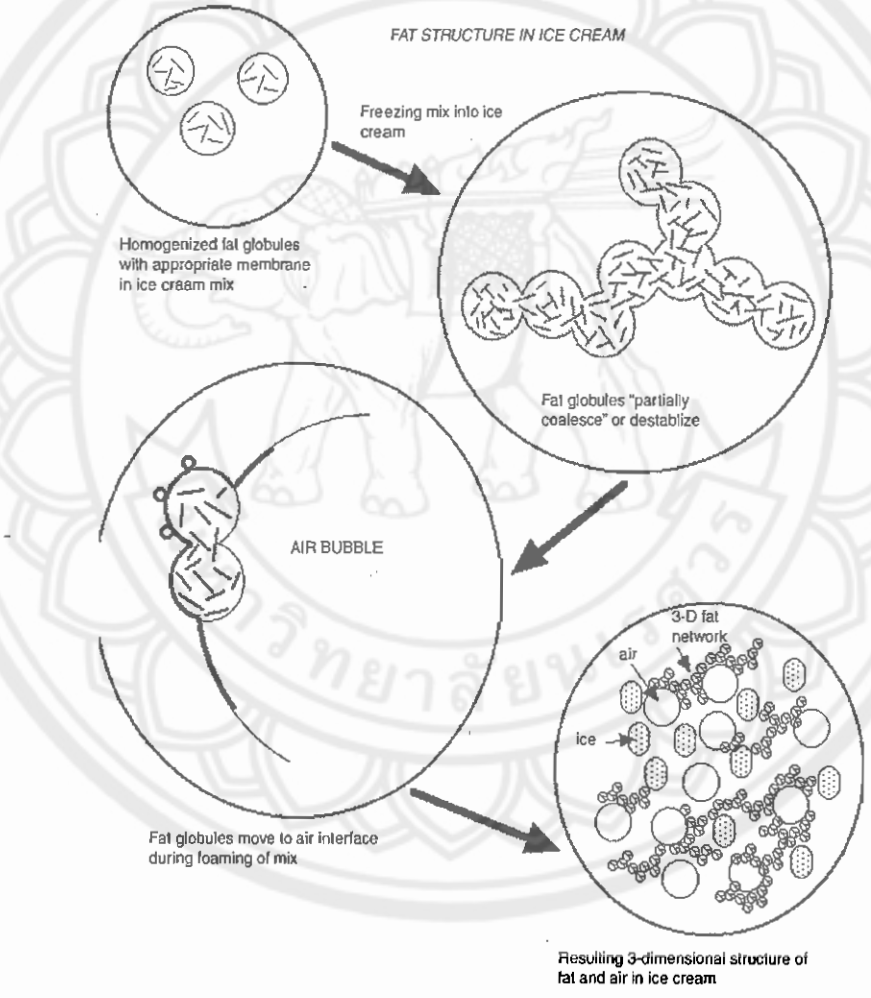
2.6 **น้ำและอากาศ** น้ำเป็นตัวทำละลายส่วนผสมแห้ง เช่น นมผงปราศจากไขมัน หางน้ำนม น้ำที่ใช้ในการทำไอศกรีม ควรมีคุณภาพดี สะอาดปราศจากสิ่งสกปรกและจุลินทรีย์ อากาศจะอยู่ในรูปของโอเวอร์รัน (overrun) หมายถึงปริมาตรของอากาศในเนื้อไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นขณะตีปั่นให้แข็ง ปริมาตรของอากาศในไอศกรีมนี้มีผลต่อความยากง่ายในการตัดไอศกรีม ถ้าไอศกรีมสามารถเก็บอากาศได้มาก จะช่วยให้ปริมาตรของไอศกรีมที่ผลิตได้เพิ่มมากขึ้นด้วย (ศิริพร เจริญวุฒ, 2548)

Early (1992) พบว่าน้ำมีผลต่อการควบคุมคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ โดยน้ำในไอศกรีมอยู่ในสภาพของของเหลวและของแข็ง ซึ่งในระหว่างการปั่นไอศกรีมนั้นมีการนำอากาศเข้าไปในส่วนผสม โดยทั่วไปจะมีอากาศเข้าไปในส่วนผสมร้อยละ 50 กระจายตัวอยู่ในอิมัลชันโดยเซลล์อากาศมีขนาดเล็กประมาณ 50 ไมครอน และมักพบส่วนของไขมันที่บริเวณระหว่างน้ำและอากาศ

2.7 **สารให้กลิ่นรสและสี** สารให้กลิ่นรสจากธรรมชาติที่ใช้ ได้แก่ โกโก้ ช็อกโกแลต กาแฟ วานิลลา เครื่องเทศ ถั่วต่าง ๆ ผลไม้ประเภทส้ม และผลไม้เขตร้อนชนิดต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับสีสังเคราะห์นั้นถูกใช้เติมลงในไอศกรีมทั่วไป ยกเว้นไอศกรีมที่ได้สีธรรมชาติจากส่วนผสมอยู่แล้ว เช่นไอศกรีม ช็อกโกแลต แต่ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้สีธรรมชาติ (natural color) มากขึ้นเช่นกัน (สุรีย์ นานาสมบัติ, 2539) และ Li, Marshall, and Heyman (1997) พบว่าสารให้กลิ่นรสมีความสำคัญในเรื่องการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมของผู้บริโภค ซึ่งกลิ่นรสที่แพร่หลายและนิยมกันมากได้แก่ กลิ่นวานิลลา ช็อกโกแลต สตรอเบอร์รี่ กาแฟ เป็นต้น โดยกลิ่นวานิลลาเป็นกลิ่นรสที่นิยมใช้มากที่สุดในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

3. โครงสร้างทางฟิสิกส์ของไอศกรีม

โครงสร้างทางฟิสิกส์ของไอศกรีมเป็นแบบ physicochemical system ที่ค่อนข้างซับซ้อนแสดงให้เห็นดังภาพ 2 เซลล์อากาศ (air cell) กระจายตัวในส่วนของของเหลวที่ล้อมรอบผลึกน้ำแข็งอยู่ ในส่วนของของเหลวประกอบด้วยเม็ดไขมันแข็ง โปรตีนนม ผลึกน้ำตาลแลคโตส น้ำตาลและสารให้ความคงตัว ที่มีขนาดเล็ก ๆ ในสภาพของคอลลอยด์ ไอศกรีมที่พร้อมต่อการจำหน่ายนั้นจึงประกอบด้วยส่วนของเหลว อากาศ และของแข็ง เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า three-phase system



ภาพ 2 โครงสร้างของไอศกรีมที่ประกอบด้วยเซลล์อากาศ ผลึกน้ำแข็ง เม็ดไขมัน

ที่มา Arbuckle (1986, p. 843)

4. สมบัติสำคัญของส่วนผสมไอศกรีม

สมบัติสำคัญของส่วนผสมไอศกรีม ได้แก่ ความเสถียรของส่วนผสม ความหนาแน่น ความเป็นกรด-ด่าง แรงตึงผิว ความหนืด จุดเยือกแข็ง และอัตราการตีขึ้นฟู

4.1 ความเสถียร (stability) ความเสถียรของส่วนผสมไอศกรีม คือ สภาวะที่โปรตีนนมยังอยู่ในสภาพคอลลอยด์และไขมันนมอยู่ในสภาพอิมัลชัน (emulsion) ขั้นตอนการโฮโมจีไนเซชัน ความเป็นกรด-ด่างของส่วนผสม เกลือ อัตราส่วนระหว่างไขมันกับ SNF การปั่น เวลาการบ่ม (aging time) ตลอดจนปริมาณของ bound water มีความสัมพันธ์กับความเสถียรของส่วนผสมไอศกรีมมาก กล่าวคือ การเกิดเป็นลิ่ม หรือแยกชั้นของไขมันนม หรือเวย์ขณะไอศกรีมละลาย ตลอดจนการแยกตัวของน้ำเชื่อมขณะบ่ม บ่งบอกถึงความเสถียรของผลิตภัณฑ์ (Flack, 1989)

ส่วนผสมที่มีความเสถียรมากที่สุดอยู่ในสภาพของ hydrophilic suspension ซึ่งอนุภาคถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำและประจุ ส่วนผสมที่มีความเสถียรอีกชนิดหนึ่งอยู่ในสภาพของ hydrophobic หรือ hydrophobic suspension อนุภาคถูกล้อมรอบด้วยประจุแต่ไม่มีโมเลกุลน้ำ ส่วนสภาพที่มีความเสถียรน้อยจะพบว่า อนุภาคอยู่ในสภาพ hydrophilic suspension อนุภาคถูกล้อมรอบด้วยน้ำแต่ไม่มีประจุ ส่วนสภาพที่ไม่มีโมเลกุลน้ำหรือประจุล้อมรอบเลยมีความเสถียรน้อยที่สุด (Flack, 1989)

ปัจจัยที่มีผลต่อการไฮเดรชัน (Hydration) ของโปรตีนนม ได้แก่ อุณหภูมิ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความร้อน เกลือ ความเป็นกรด-ด่าง และโฮโมจีไนซ์ ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ นั้นคอลลอยด์ในส่วนผสมไอศกรีมถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำหนาแน่นขึ้น เกลือแคลเซียมลดการไฮเดรชันของโปรตีนได้มากกว่าเกลือโซเดียมและโพแทสเซียม hydrating effect ของซิเตรตและฟอสเฟตที่มีต่อเคซีนแสดงให้เห็นในปฏิกิริยาการสลายตัวดังสมการ

Calcium caseinate + Sodium citrate → Sodium caseinate + Calcium citrate

Calcium caseinate + Sodium phosphate → Sodium caseinate + Calcium phosphate

(วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531, หน้า 42)

ไฮเดรชันเกิดได้มากที่สุดเมื่อความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.2-6.4 การโฮโมจีไนเซชันแบบสองระบบ (two-stage homogenization) ช่วยเพิ่มปริมาณของ bound water เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบตลอดจนลดการจับตัวเป็นก้อนของไขมันด้วย ที่อุณหภูมิต่ำพบว่า

เกลือแคลเซียมเพิ่มประจุไฟฟ้าบวก และทำให้การจับตัวของไขมันเป็นก้อนได้ง่ายขึ้น (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531, หน้า 43)

4.2 **ความหนาแน่นของส่วนผสม** ความถ่วงจำเพาะหรือความหนาแน่นของส่วนผสมไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบสามารถคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมไอศกรีมได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (ณ 60 °F)} = \frac{100}{\frac{\text{ไขมัน (ร้อยละ)}}{0.93} + \frac{\text{น้ำตาล, MSNF, emulsifier (ร้อยละ)}}{158} + \text{น้ำ (ร้อยละ)}}$$

ความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมไอศกรีมอยู่ระหว่าง 1.0544-1.1232 (วรรณา ตั้งเจริญชัยและวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531, หน้า 43)

4.3 **ความเป็นกรด-ด่าง** ความเป็นกรด-ด่างของส่วนผสมไอศกรีมแปรผันไปตามปริมาณ ของแข็งในนมไม่รวมไขมันนม ซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยการคูณร้อยละของของแข็งในนมไม่รวมไขมัน ด้วยแฟคเตอร์ 0.018 เช่น ส่วนผสมไอศกรีมประกอบด้วย ของแข็งในนมไม่รวมไขมันร้อยละ 11 โดยทั่ว ๆ ไปจะมีกรดและแลคติคร้อยละ 0.198 หรือค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6.3 ความสัมพันธ์ของ ของแข็งในนมไม่รวมไขมันนม กับความเป็นกรด-ด่าง ของส่วนผสมไอศกรีมแสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 ความสัมพันธ์ของ ของแข็งในนมไม่รวมไขมันนม กับความเป็นกรด-ด่างของส่วนผสมของไอศกรีม

ของแข็งในนมไม่รวมไขมันนม (ร้อยละ)	กรดแลคติค (ร้อยละ)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
7	0.126	6.4
8	0.144	6.35
9	0.162	6.35
10	0.18	6.32
11	0.198	6.31
12	0.206	6.3
13	0.224	6.28

ที่มา วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ (2531, หน้า 46)

4.4 **ความหนืด** ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมมีความเกี่ยวข้องกับ

4.4.1 องค์ประกอบโดยเฉพาะไขมัน สารให้ความคงตัวมีผลต่อความหนืดมากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ

4.4.2 เกลือ เช่น แคลเซียม โซเดียม ซิเตรต มีผลต่อความหนืด ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดกับเคซีนและโปรตีนอื่น

4.4.3 กรรมวิธีหรือการปฏิบัติต่อส่วนผสมและที่สำคัญสุด คือ การพาสเจอร์ไรส์ โฮโมจิไนเซชัน และการบ่ม

4.4.4 ความเข้มหรือปริมาณของของแข็งทั้งหมด

4.4.5 **อุณหภูมิ**

ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมมีตั้งแต่ 50 **จนถึง** 300 cp (centipoise) (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

4.5 **แรงตึงผิว** แรงตึงผิว คือ แรงที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว ทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบนผิวของของเหลว แรงตึงผิวมีหน่วยเป็นดายน์ (dyne) เครื่องมือที่นิยมใช้วัดแรงตึงผิวของส่วนผสมไอศกรีมมีชื่อว่า du Nouy แรงตึงผิวของไอศกรีมมีค่าระหว่าง 48-53 ดายน์ (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

4.6 **จุดเยือกแข็ง** จุดเยือกแข็งของไอศกรีมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนผสมไอศกรีมโดยเฉลี่ยแล้วประกอบด้วยไขมันร้อยละ 12 ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน ร้อยละ 11 น้ำตาลร้อยละ 15 สารให้ความคงตัวร้อยละ 0.3 และน้ำร้อยละ 6.17 นั้นมีจุดเยือกแข็งประมาณ 27.5 องศาฟาเรนไฮต์ (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

4.7 **อัตราการตีขึ้นฟู** โซเดียมคาซีเนต (sodium caseinate) ช่วยปรับปรุงคุณภาพของการตีขึ้นฟูและมีผลต่อการกระจายของเซลล์อากาศตลอดจนผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ อัตราการตีขึ้นฟูขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

4.7.1 กลไกของการตีขึ้นฟู

4.7.2 ความหนืดของการผสมที่ถูกทำให้เย็นจัดเป็นบางส่วน

4.7.3 การอัดอากาศเข้าไปในส่วนผสมไอศกรีม

การวัดอัตราการตีขึ้นฟูจะวัดเป็นค่าโอเวอร์รัน (overrun) ทุกช่วงหนึ่งนาทีขณะส่วนผสมไปปั่นใน batch freezer ปกติแล้วเมื่อปั่นส่วนผสมนาน 3 นาทีก็จะเริ่มแข็งตัว ภายในเวลา 7 นาที จะได้ค่าโอเวอร์รัน ประมาณร้อยละ 90 (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

5. **กรรมวิธีการผลิตไอศกรีม**

5.1 การเตรียมส่วนผสมและอุปกรณ์เครื่องมือในการผลิต การเลือกผลิตภัณฑ์นมและส่วนประกอบอื่น ๆ ต้องให้มีความเข้ากันได้และมีรสชาติที่ไปด้วยกันได้ เพราะส่วนประกอบแต่ละส่วนของไอศกรีมจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ความอร่อย คุณค่าทางด้านสารอาหารและด้านต้นทุนในการผลิต การเตรียมส่วนประกอบและการคำนวณส่วนผสมที่จะใส่ในไอศกรีมจึงมีความสำคัญอย่างมาก การใช้สูตรไอศกรีมที่มีความสม่ำเสมอจะได้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมาตรฐาน ด้านเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตทุกขั้นตอนต้องมีความสะอาดและพร้อมในการผลิต เพราะการผลิตไอศกรีมเป็นการผลิตแบบต่อเนื่องทุกขั้นตอน ซึ่งไม่ทำให้ไอศกรีมเกิดความเสียหาย (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

5.2 การผสมส่วนผสม การผสมจะเริ่มต้นด้วยการผสมวัตถุดิบที่เป็นของแห้งให้เข้ากันก่อน เช่น ธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนย น้ำตาลและสารให้ความคงตัว พร้อมกับคนให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำไปผสมกับส่วนผสมที่เป็นของเหลว และคนส่วนผสมทั้งหมดตลอดเวลาเพื่อให้ละลาย

เป็น เนื้อเดียวกัน วิธีการนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้ส่วนผสมจับตัวเป็นก้อน ส่วนการแช่แข็งที่ใช้ครีมแช่แข็ง เนย หรือผลิตภัณฑ์แช่แข็งอื่น ๆ ที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมควรจะตัดให้เป็น ชิ้นเล็ก ๆ ก่อนเพื่อจะได้สะดวกในการผสมส่วนผสม สำหรับการผสมสารปรุงแต่งสีและกลิ่น เช่น กลิ่นวานิลลา กลิ่นมะนาว กลิ่นสตรอเบอรี่ ให้เติมลงในช่วงก่อนการปั่นไอศกรีม (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

5.3 การพาสเจอร์ไรส์ การพาสเจอร์ไรส์เป็นการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมที่ผสมเรียบร้อยแล้วเพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ ช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และทำให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันได้ดีปรับปรุงกลิ่นรส ทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้นและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอ วิธีอุณหภูมิและเวลา ที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรส์ไอศกรีมแสดงดังตาราง 5

ตาราง 5 วิธี อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรส์สำหรับไอศกรีม

วิธีการพาสเจอร์ไรส์	อุณหภูมิ
1. Batch method	155 องศาฟาเรนไฮต์ ไม่น้อยกว่า 30 นาที
2. Continuous method (HTST)	175 องศาฟาเรนไฮต์ ไม่น้อยกว่า 25 วินาที
3. Ultra high temperature (UHT)	210-256 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 40 วินาที

ที่มา วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ (2531, หน้า 56)

5.4 การโฮโมจีไนซ์ การโฮโมจีไนซ์จะช่วยให้การผสมเกิดเป็นเนื้อเดียวกันและมีความคงตัวไม่เกิดการแยกชั้นของไขมัน โดยจะไปลดขนาดของหยดน้ำมันให้มีขนาดเล็กลง โดยให้ได้อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 2 ไมครอน ป้องกันการเกาะกันเป็นก้อนของไขมันขณะทำการปั่น ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อที่เนียนเรียบยิ่งขึ้นและสามารถลดระยะเวลาการแช่เข็งให้สั้นลง ในการโฮโมจีไนซ์มักจะทำที่อุณหภูมิ 145-170 องศาฟาเรนไฮต์ เพราะที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดการเกาะของกลุ่มไขมันจะทำให้อนุภาคไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้นและต้องทำให้เพิ่มเวลาการแช่แข็งไอศกรีมนานขึ้น (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531) Marshall and Arbuckle (1996) พบว่าการโฮโมจีไนซ์เป็นกระบวนการที่มีผลต่อโครงสร้างของไขมันในไอศกรีมเหลว เมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วเม็ดไขมันจะเล็กลง ทำให้พื้นผิวของเม็ดไขมันมีปริมาตรเพิ่มขึ้นและสามารถจับกันเป็นกลุ่ม ซึ่งทำให้เนื้อไอศกรีมที่ได้เนียนเรียบและแห้ง

5.5 การบ่มส่วนผสมไอศกรีม การบ่มไอศกรีมเป็นการทำให้ของผสมที่โฮโมจีไนซ์แล้วเย็นลงทันที โดยใช้เวลานานกว่า 4 ชั่วโมง การบ่มทำให้ส่วนผสมของไอศกรีมเกิดการเปลี่ยนแปลง คือ ไขมันในของผสมจะกลายเป็นของแข็ง ความหนืดของของผสมเพิ่มมากขึ้น และโปรตีนในของผสมเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การใช้เวลาในการบ่มส่วนผสมไอศกรีมนานก็จะยิ่งให้ผลดีกับของผสมพวกที่มีไขมันสูง อุณหภูมิในการบ่มจะไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่านี้เล็กน้อย ณ อุณหภูมิที่แบคทีเรียจะไม่เจริญเพิ่มจำนวนขึ้นได้ (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

5.6 การปั่นไอศกรีม การปั่นโดยการนำส่วนผสมบรรจุลงในเครื่องปั่น มีการผสมอากาศและตีปั่นส่วนผสมจนขึ้นรูปเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก เมื่อส่วนผสมกลายเป็นของแข็งและมีความหนืดสูง นำไปบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทแล้วนำไปแช่แข็ง (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

5.7 การแช่แข็งไอศกรีม ไอศกรีมที่ได้จากเครื่องปั่นจะมีลักษณะเป็นของเหลวอยู่ บางส่วนยังไม่กลายเป็นผลึกน้ำแข็ง จึงต้องนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาฟาเรนไฮต์ หรือต่ำกว่านี้ โดยใช้เวลาในการแช่สั้นที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นน้ำแข็งขึ้นได้ (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531)

สารทดแทนไขมัน

สารทดแทนไขมัน (fat replacer) เป็นสารที่มีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกับคาร์โบไฮเดรต โปรตีน หรือไขมัน สามารถใช้ทดแทนไขมันในอาหารหรือทำหน้าที่แทนไขมัน ให้รสชาติและความรู้สึกเหมือนไขมันในอาหาร (อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ, 2524)

กลุ่มผลิตภัณฑ์จากน้ำมันและไขมันเป็นกลุ่มอาหารที่ช่วยเพิ่มรสชาติให้อาหาร และยังเป็นกลุ่มให้พลังงานสูงอีกด้วย จากการศึกษาวิจัยพบว่า ผู้ที่รับประทานอาหารที่มีปริมาณไขมันมากจะเสี่ยงต่อการมีไขมันประเภทคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์สูงในเลือด และอาจจะเป็นโรคอ้วน การศึกษาในระยะหลังพบว่าผู้ที่มีไขมันสะสมมากในช่องท้องมีอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจขาดเลือด โรคอัมพาต โรคเบาหวาน และมะเร็งบางชนิด และการเผยแพร่ข้อมูลทางโภชนาการแก่ผู้บริโภคทำให้ผู้บริโภคทราบว่า ปัจจัยหนึ่งของการที่จะมีสุขภาพดีคือการรับประทานอาหารที่มีชนิดและปริมาณไขมันที่เหมาะสม กลุ่มผู้บริโภคเหล่านี้มีการบริโภคในประเทศที่พัฒนาแล้วจึงมีความตื่นตัวในเรื่องนี้มาก เนื่องจากมีการบริโภคไขมันในปริมาณที่สูงกว่าที่กำหนด และการปรับเปลี่ยนบริโภคนิสัยเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ด้วยความรู้และเทคโนโลยีที่ทันสมัย จึงได้มีผู้ที่

คิดค้นสารที่สามารถใช้ทดแทนไขมัน โดยจะคงคุณลักษณะของไขมันแต่มีปริมาณไขมันต่ำ เพื่อลดผลกระทบที่ได้รับจากการบริโภคอาหารที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบหลักที่มากเกินต้องการ

สารที่ใช้ทดแทนไขมันแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. FAT Substitutes เป็นอนุพันธุ์ของกรดไขมัน ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นเพื่อให้พลังงานต่ำหรือ อาจไม่ให้พลังงานเลย และมีคุณลักษณะทางกายภาพเหมือนไขมัน การใช้สารทดแทนไขมันชนิดกลุ่ม Fat Substitutes สามารถใช้ทดแทนไขมันได้ในอาหารทุกประเภท และไม่ทำให้ลักษณะอาหารที่ทอดและผลิตภัณฑ์อบมีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป ในขณะที่ Fat Mimics มีข้อจำกัดในการใช้ แต่เพื่อความปลอดภัยในการใช้และสถานภาพตามข้อกำหนดของกฎหมาย เนื่องจากการใช้ Fat Substitutes จะทำให้ร่างกายเกิดการสูญเสียวิตามินที่ละลายในน้ำมัน และ Fat Substitutes มีฤทธิ์ถ่ายท้องได้ หรือทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการอาหารไม่ย่อย (มาลี จิรวงศ์ศรี, 2538, หน้า 10)

Sucrose polyester เป็นสารทดแทนไขมันซึ่งสังเคราะห์ขึ้น และอยู่ระหว่างการพิจารณาอนุญาต เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างจะเห็นความแตกต่างที่น้ำหนักโมเลกุล ซึ่งมากกว่าน้ำหนักโมเลกุลของไขมันถึง 3 เท่าโดยเฉลี่ย นั่นหมายความว่า เอนไซม์ lipase ในกระเพาะไม่สามารถที่จะย่อย sucrose polyester และยังไม่สามารถดูดซึมผ่านผนังกระเพาะได้ด้วย sucrose polyester จะผ่านทางเดินอาหารอย่างเดียวโดยไม่ถูกดูดซึม ซึ่งหมายถึงผู้บริโภคไม่ได้รับพลังงานจาก sucrose polyester และจากข้อมูลในการทดลองพบว่า sucrose polyester ทำให้การดูดซึมของปริมาณวิตามินอีน้อยลง (มาลี จิรวงศ์ศรี, 2538)

ชื่อผลิตภัณฑ์กลุ่ม Fat Substitutes แสดงดังตาราง 6

ตาราง 6 ชื่อผลิตภัณฑ์กลุ่ม Fat Substitutes

ชื่อผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	ชื่อผู้ผลิต
Sucrose polyesters (Olestra) (approval pending)	Sugar fatty acid esters with at least six fatty acid (C_6-C_{22}) ester group	The Procter and Gamble Company (Cincinnati, Ohio)

ตาราง 6 (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	ชื่อผู้ผลิต
Carboxy/carboxylate Ester (testing)	Complex polyol esters with at least two distinct types of acids residues, namely fatty acid ester/ethers having an acid function	Nabisco Brands (East Hanover.N.J.)
Esterified propoxylated glycerols (testing)	Epoxide-extended polyols, acetylated with C6 to C24 fatty acids	Arco Chemical Company (Newtown Square, Pa)
Trialhoxytricarballylates (testing)	Tricarballylic acid esterified with saturated or unsaturated alcohols containing eight to thirty carbon atoms	International (Englewood Cliffe, N.J.)
Dicarboxylic acid Esters (testing)	Esters of malonic acid, where the alkyl group contains one to twenty carbon atoms and ester group contains twelve to eighteen carbon atoms	Frito-Lay (Dallas, Texas)
Jojohs oil (testing)	Mixture of linear esters of Monosaturated long-chain fatty acids and fatty alcohols containing twenty-two carbon atoms and one double bond (almost exclusively omega 9)	Lever Brother Company (New York, N.Y.)
Polysiloxanes (testing)	Organic derivatives (Preferably methyl or phenyl) of silica	Dow Corning Corporation (Midland,Mich)

ที่มา มาลี จิรวงศ์ศรี (2538, หน้า 11)

2. Fat Mimics แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มจากส่วนประกอบหลัก

2.1 กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มาจากคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ Modified Starch และกัมชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยทำให้ลักษณะอาหารเป็นครีมข้น มัน เหมือนไขมัน ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทนม มายองเนส น้ำสลัด และไอศกรีม เบเกอรี่ สารกลุ่มนี้จะไม่มีปฏิกิริยากับแป้ง หรือ gluten เหมือนไขมัน แต่มีปริมาณที่จำกัดในการใช้ คือ ร้อยละ 50-75 ของการใช้แทนไขมัน การใช้สารกลุ่มนี้มีผลกระทบต่อรสชาติของอาหาร (off-flavor) Fat Mimics ที่มาจากคาร์โบไฮเดรตนั้น ไม่มีชนิดใดที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันได้ถ้าผลิตภัณฑ์นั้นต้องผ่านอุณหภูมิ เช่นการทอด แต่สารกลุ่มนี้จะถูกดูดซึมและย่อยได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อร่างกาย ยกเว้นการใช้ Polydextrose มีข้อจำกัดเนื่องจากจะไปเพิ่มปริมาณน้ำในลำไส้เล็กช่วงล่าง ซึ่งจะมีฤทธิ์ถ่ายท้องได้ที่ปริมาณ Polydextrose 90 กรัม/วัน (มาลี จิรวงศ์ศรี, 2538, หน้า 13)

อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ (2524) กล่าวว่า สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เป็นสตาร์ชดัดแปร (Modified starch) ซึ่งมีสมบัติทำให้อาหารข้น เมื่อสุกแล้วจะมีลักษณะลื่น เนียนคล้ายไขมัน และกลุ่มที่เป็นเส้นใยอาหารและกัม สามารถเกิดเจล หรือนำมาผสมกับน้ำจะให้ความข้นและความมัน เนื้อเนียนคล้ายไขมัน มีการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่นผลิตภัณฑ์นม ไอศกรีม สลัดเดรซซิ่ง (salad dressings) เป็นต้น

ชื่อผลิตภัณฑ์ Fat Mimics จากกลุ่มที่มาจากคาร์โบไฮเดรต แสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 ชื่อผลิตภัณฑ์ Fat Mimics จากกลุ่มที่มาจากคาร์โบไฮเดรต

ชื่อผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	ชื่อผู้ผลิต
N-Oil™ (available)	Tapioca dextrin DE<5	National Starch and Chemical Corporation (Bridgevater,N.J.)
Maltrin®040 (available)	Corn maltodextrins, DE 4-7	Graia Processing Corporation (Muacatene, Iova)
Paselli SA-2 (available)	Potato starch, DE<3	Avobe (Foxhol, Holland)
Nutrio P-Fibre (available)	Pea fiber	Danish Sugar Factories (Copeahagen, Denmark)

ตาราง 7 (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	ชื่อผู้ผลิต
Polydextrose (available)	Polymer of dextrose, sorbital, citric acid	Pfizer (Grotor, Conn.)

ที่มา มาลี จิรวงศ์ศรี (2538, หน้า 13)

2.2 กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มาจากโปรตีน เป็นส่วนประกอบที่ได้มาจากธรรมชาติ มีสมบัติกระจายตัวได้ดีในน้ำ ไม่จับตัวเป็นก้อน สารเหล่านี้ถูกจำกัดการใช้ตามสมบัติของโปรตีน เช่นจะเสียสภาพเมื่อถูกความร้อน จึงไม่สามารถใช้ในกรรมวิธีการผลิตที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง เช่น การทอด เพราะจะทำให้โปรตีนเสียสภาพ (denature protein) สารเหล่านี้จะใช้ได้ดีในสภาพอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) เช่น mayonnaise, frozen dessert และผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารทดแทนไขมันจะมีผลต่อการใช้สารแต่งกลิ่นรส เช่น กลิ่นของเนยที่ใช้ในน้ำจะต้องใช้ถึง 7 ส่วนในล้านส่วน ขณะที่ในน้ำมันใช้เพียง 0.6 ส่วนในล้านส่วน (มาลี จิรวงศ์ศรี, 2538, หน้า 14) และจากการศึกษาของ อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ (2524) พบว่าสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนได้มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น นม ไข่ เวย์โปรตีน (whey protein) และโปรตีนจากพืช เช่น โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein) โดยนำโปรตีนบางชนิดมาดัดแปรให้มีสมบัติคล้ายไขมันด้วยการทำให้เข้มข้น และตีปั่นให้มีอนุภาคเล็ก ๆ เมื่อรับประทานแล้วจะให้ความรู้สึกเหมือนกับไขมัน ตัวอย่างของสารทดแทนไขมันประเภทนี้ได้แก่

ซิมเพลส (Simplesse®) เป็นสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนที่ผ่านกระบวนการ Microparticulation ความร้อนที่ใช้ทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวเป็นก้อนตกตะกอน (coagulation) ส่วนการโฮโมจีไนซ์ทำให้โปรตีนมีลักษณะทรงกลมสม่ำเสมอและมีขนาดเล็กมาก (microparticle) มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.1-3.0 ไมครอน โดยไม่ทำให้ลำดับของกรดอะมิโนในโครงสร้างและโครงสร้างสามมิติของโปรตีนเปลี่ยนแปลง พื้นผิวของอนุภาคที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ในแต่ละอนุภาคของโปรตีนประกอบไปด้วยโมเลกุลของโปรตีนหลายล้านโมเลกุลเกาะกันอย่างหลวม ๆ โดยมีความสามารถในการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์ได้ รูปร่างและขนาดของอนุภาคโปรตีนมีความสำคัญต่อการให้ความรู้สึกคล้ายไขมันเมื่อรับประทาน รวมทั้งการ Microparticulation ไม่ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปด้วย

ซิมเพลสที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ

1. **ซิมเพลส 100 (Simplesse 100) เป็นสารที่มีลักษณะเป็นของเหลวชนิดธิโซโทรปิค** (Thixotropic fluid) **ที่ทำมาจากเวย์โปรตีนเข้มข้น** (whey protein concentrate)

2. **ซิมเพลส ดราย 100 (Simplesse dry 100) เป็นผง รวมกับน้ำได้ดี**

3. ซิมเพลส 300 (Simplesse dry 300) เป็นสารที่ได้จากของผสมระหว่างไข่ขาวและโปรตีนนม กับเพกตินและน้ำตาล ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับการอนุญาตให้สามารถใช้ซิมเพลสมาทดแทนไขมันนั้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอบ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์นม เช่น เนย เค้ก ไส้ขนมพาย พุดดิ้ง ไอศกรีม โยเกิร์ต เป็นต้น โดยการใช้ซิมเพลส 1 กรัม กับน้ำ 2 กรัม สามารถแทนที่ไขมันได้ถึง 3 กรัม (Marshall and Arbuckle, 1996)

ชื่อผลิตภัณฑ์ Fat Mimics จากกลุ่มที่มาจากโปรตีน แสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 ชื่อผลิตภัณฑ์ Fat Mimics **จากกลุ่มที่มาจากโปรตีน**

ชื่อผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	ชื่อผู้ผลิต
Simplesse® (available June 1990)	Milk proteins and egg whites, spherical particles, 0.1-2 µm	The NutraSweet Company (Deerfield, ill.)
Trailblazer® (approval pending)	Dried egg whites, whey protein, xanthan gum, irregular fibers, less than 10 µm	Kraft-General Foods (Glenview, ill.)
LITA® (testing)	Zein, spherical microparticles, 0.3-3 µm	Opts Food Ingradients, Inc. (Cambridge, Mass.)

ที่มา มาลี จิรวงศ์ศรี (2538, หน้า 14)

การเปรียบเทียบสมบัติของ Fat Substitute และ Fat Mimics แสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 การเปรียบเทียบสมบัติของ Fat Substitutes และ Fat Mimics

	Fat Substitutes	Fat Mimics
ส่วนประกอบ	อนุพันธุ์ของกรดไขมัน	- คาร์โบไฮเดรต - โปรตีน
การย่อย (Digestibility)	น้อยหรือไม่ย่อย	- ย่อยได้บางส่วนหรือทั้งหมด
ผลกระทบด้านรสชาติ	ไม่มี	- เสียรสชาติดั้งเดิม (off-flavor) - มีกลิ่นของคาร์โบไฮเดรตหรือโปรตีน
ปริมาณการใช้ทดแทน	ร้อยละ 75-100	- กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มาจากคาร์โบไฮเดรตใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ได้ ร้อยละ 50-75 - กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มาจากโปรตีนใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ได้ ร้อยละ 75-100
ประเภทอาหารที่ใช้	อาหารทุกประเภท	- ผลิตภัณฑ์ของน้ำมันและไขมันในเนื้อสัตว์ - ผลิตภัณฑ์นม,ผลิตภัณฑ์อาหารอบ - Dressing, Cold Dessert

ตาราง 9 (ต่อ)

	Fat Substitutes	Fat Mimics
ผลข้างเคียงในการใช้	มีฤทธิ์ถ่ายท้อง, สูญเสียวิตามินที่ละลายในไขมัน	- ไม่มี
สถานภาพทางกฎหมาย	วัตถุเจือปนอาหาร (อยู่ระหว่างทดลอง)	- วัตถุเจือปนอาหาร (GRAS = Generally recognized as Safe)

ที่มา มาลี จิรวงศ์ศรี (2538, หน้า 15)

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1988 ตลาดอาหารในประเทศเยอรมันมีผลิตภัณฑ์ low fat, fat reduced foods ได้ขยายตัวมากถึง 2 ใน 3 ส่วนของผลิตภัณฑ์ในตลาดประเทศอังกฤษ ตลาดผลิตภัณฑ์เหล่านี้เติบโตถึงร้อยละ 40 ภายในสองปี (ค.ศ. 1988-1990)

ข้อมูลจากแผนอาหารและโภชนาการแห่งชาติตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ฉบับที่ 7 พ.ศ. 2538-2539 ชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมอาหารทำให้กลุ่มประชากรในเขตเมืองมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการปรุงอาหาร การบรรจุอาหาร การเก็บรักษาอาหาร ซึ่งมีผลต่อภาวะโภชนาการของกลุ่มประชากรในเขตเมือง พบว่าภาวะโภชนาการเกินในเด็กวัยเรียนร้อยละ 16 บุคคลทำงานร้อยละ 15.58 ผู้สูงอายุร้อยละ 19.6 ซึ่งเกิดจากการบริโภคไขมันในปริมาณที่มากเกินไป โดยเฉลี่ยปริมาณพลังงานที่ได้รับจากไขมันจะมากถึงร้อยละ 40 ของปริมาณพลังงานทั้งหมด จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ตลาดผลิตภัณฑ์ในประเทศไทยมีแนวโน้มจะเกิดผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำหรือผลิตภัณฑ์ที่ลดไขมัน ตามความต้องการของกลุ่มผู้บริโภค ซึ่งขณะนี้จะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์นม เช่น นมพร่องมันเนย นมปรุงแต่งพร่องมันเนย และกลุ่มผลิตภัณฑ์จากน้ำมันและไขมันที่จะใช้สารทดแทนไขมัน มีแนวโน้มจะเกิดในตลาดผลิตภัณฑ์มากขึ้น เช่น เนยเทียม เนยไขมันต่ำ เพื่อเป็นทางเลือกของผู้บริโภค ซึ่งไม่ต้องเปลี่ยนบริโภคนิสัยและต้องการควบคุมปริมาณไขมันที่ได้รับจากอาหาร (มาลี จิรวงศ์ศรี, 2538, หน้า 16)

สถานภาพทางกฎหมาย

สารทดแทนไขมัน Fat Substitutes และ Fat Mimics จัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 (พ.ศ. 2527) และฉบับที่ 119 (พ.ศ. 2532) เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร ซึ่งคุณภาพมาตรฐานและปริมาณการใช้ ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (มาลี จิรวงศ์ศรี, 2538, หน้า 18)

การประยุกต์ใช้สารทดแทนไขมันในอาหาร

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้สารทดแทนไขมันในอาหารกลุ่มที่มีไขมันสูงเนื่องจากไขมันให้พลังงานมากกว่ากลุ่มอื่นในปริมาณอาหารที่หนักเท่ากัน (ไขมันให้พลังงาน 9 แคลอรีต่อกรัม โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตให้พลังงาน 4 แคลอรีต่อกรัม) และในปริมาณที่คิดเป็นพลังงานเท่ากันไขมันก็ยังถูกสะสมไว้ในร่างกายมากกว่าอาหารกลุ่มอื่นด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดโรคตามมาอีกมากมาย จึงมีความพยายามลดไขมันในอาหารโดยประยุกต์ใช้สารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น

เนตรนภิส โทนุสิน (2538) ศึกษาการแทนที่ไขมันในกะทิด้วยสารทดแทนไขมันบางชนิด เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากกะทิและศึกษาชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมันที่เหมาะสม เพื่อใช้ในกะทิ จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากกะทิคือ การหมุนเหวี่ยงเพื่อให้ไขมันรวมตัวกันที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบ/นาที นาน 40 นาที และตกผลึกไขมันในส่วนหัวกะทิ โดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จะสามารถแยกน้ำมันออกได้ร้อยละ 80 และในการทดลองนำสารทดแทนไขมัน 3 ชนิด คือ แซนแทนกัม มอลโตเด็กซ์ตริน และ ไมโครพาทิคูเลทโปรตีน แทนที่ไขมันในกะทิที่เหลือไขมันร้อยละ 50 เพื่อให้มีสมบัติการไหลเท่ากับกะทิที่คั้นด้วยน้ำในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งมีค่า Viscosity index (n) เท่ากับ 25 mPa.s และค่า Flow Behaviour index (K) เท่ากับ 0.82 พบว่าการใช้แซนแทนกัม มอลโตเด็กซ์ตริน และไมโครพาทิคูเลทโปรตีนในปริมาณ ร้อยละ 0.11, 26 และ 41 สามารถแทนที่ในกะทิที่มีไขมันเหลือร้อยละ 50 ตามลำดับ และผู้ทดสอบยอมรับกะทิที่มีไขมันเหลือร้อยละ 50 ที่ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 26 มากที่สุด นอกจากนี้เมื่อนำกะทิไขมันต่ำดังกล่าวมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยประกอบเป็นอาหารแกงเขียวหวานไก่ กล้วยบวดชีเปรียบเทียบกับการใช้กะทิสด พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในด้านลักษณะสี กลิ่นรส และความมัน

เพ็ญศรี วงษ์จันทร์เพ็ญ (2541) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตและอิมัลซิไฟเออร์ ในผลิตภัณฑ์เค้กเนยแคลอรีต่ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเค้กเนยแคลอรีต่ำ ในขั้นแรกได้ศึกษาสารอิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิด คือ ซูโครสเอสเทอร์ โมโนกลีเซอไรด์ และโพลีซอร์เบต 60 ที่ระดับร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนักแป้ง ประเมินผลเค้กเนยโดยใช้เกณฑ์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ร่วมกับสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมเหลวและเค้กเนย ต่อมาศึกษาสารทดแทนไขมันที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ 3 ชนิดคือ โพลีเด็กซ์โตส มอลโตเด็กซ์ตริน และ N-Lite B โดยแทนที่ไขมันในสูตรที่ระดับร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยน้ำหนักไขมัน ประเมินผลเค้กเนยโดยใช้เกณฑ์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ร่วมกับสมบัติทางกายภาพ จากนั้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเค้กเนยแคลอรีต่ำ โดยใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารทดแทนไขมันด้วย Response Surface Methodology เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว ศึกษา High concentrate เป็นสารแต่งกลิ่นเนยโดยแปรปริมาณ High concentrate ที่ระดับร้อยละ 0.25, 0.375 และ 0.50 โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ประเมินผลเค้กเนยโดยใช้เกณฑ์คุณภาพทางประสาทสัมผัส จากนั้นศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานของเค้กเนยสูตรควบคุมและสูตรลดไขมัน ในขั้นตอนสุดท้ายศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างเก็บโดยบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงโพลีโพพิลีน ณ อุณหภูมิห้อง (25-28 องศาเซลเซียส) และในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ทุก ๆ วัน วิเคราะห์ความชื้น ค่าความแข็ง ปริมาณแบคทีเรีย รา และยีสต์ ผลการทดลองพบว่า เค้กเนยที่ใช้ซูโครสเอสเทอร์ที่ระดับร้อยละ 1 โดยน้ำหนักแป้งเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ มีคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าเค้กเนยที่ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์อื่น ๆ สำหรับการแทนที่ไขมันด้วยสารทดแทนไขมันทำให้คะแนนการยอมรับของเค้กเนยลดลงเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่า สามารถแทนที่ไขมันด้วยสารมอลโตเด็กซ์ตรินได้ถึงระดับร้อยละ 60 โดยน้ำหนักไขมัน โดยมีปริมาตรและคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าเค้กเนยที่ใช้สารทดแทนไขมันอื่น ๆ ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเค้กเนยแคลอรีต่ำคือ ใช้ซูโครสเอสเทอร์ร้อยละ1.5 โดยน้ำหนักแป้งเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ร่วมกับมอลโตเด็กซ์ตรินแทนที่ไขมันที่ระดับร้อยละ 52 โดยน้ำหนักไขมัน เค้กเนยแคลอรีต่ำที่ผลิตได้นั้นมีกลิ่นเนยลดลง จึงใช้ High concentrate เป็นสารแต่งกลิ่นเนย พบว่าใช้ High concentrate ที่ระดับร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด มีคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($P>0.05$) จากนั้นนำเค้กเนยแคลอรีต่ำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีความชื้นร้อยละ 18.12 โปรตีนร้อยละ 5.63

เจนจิรา นิจจา (2547) พัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้อั่วปลาอิมัลชันเพื่อสุขภาพ โดยศึกษาชนิดของน้ำมันพืช (น้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลือง) และปริมาณน้ำมันพืชและสารทดแทนไขมัน (ผงบุก) ที่เหมาะสมต่อการทำผลิตภัณฑ์ไส้อั่วปลาอิมัลชัน พบว่า สูตรที่ใช้น้ำมันดอกทานตะวันได้คะแนนความชอบของความแน่นเนื้อ และการยอมรับโดยรวมมากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันพืช (น้ำมันดอกทานตะวัน) และสารทดแทนไขมัน (ผงบุก) พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ น้ำมันดอกทานตะวันร้อยละ 9.93 และสารทดแทนไขมัน (ผงบุก) ร้อยละ 4.97 ของส่วนผสมหลัก คิดเป็นร้อยละ 20 และ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักเนื้อปลา ตามลำดับ นอกจากนี้ส่วนประกอบและเครื่องปรุงรสอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละของส่วนผสมหลักประกอบด้วย เนื้อปลาร้อยละ 49.65 พริกแกงร้อยละ 19.86 น้ำแข็ง ร้อยละ 9.93 แป้งข้าวโพดร้อยละ 2.48 เกลือร้อยละ 1.00 ไข่แดงร้อยละ 0.79 น้ำตาลร้อยละ 0.79 ฟอสเฟต (Sodium-Tripolyphosphate) ร้อยละ 0.20 ผักชีร้อยละ 0.20 และใบมะกรูดร้อยละ 0.20 ส่วนการศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไส้อั่วปลาอิมัลชัน บ่งชี้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้น้ำมันพืชและสารทดแทนไขมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันหมู และความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันพืช (ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเนื้อปลา) และสารทดแทนไขมัน (ร้อยละ 10 ของน้ำหนักเนื้อปลา) มากกว่าของผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันหมูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้ยัง พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารทดแทนไขมันและน้ำมันพืชมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันหมู 2.5 เท่า และต่อมาได้มีการใช้สตาร์ช มันสำปะหลังร่วมกับโซเดียมเคซีเนต โปรตีนถั่วเหลือง และคาร์จีแนนเป็นสารทดแทนไขมันในไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ไขมันต่ำ

ชีวารัตน์ สุระประเสริฐ (2547) ได้ศึกษาผลของสารทดแทนไขมันต่อคุณภาพของเค้กเนย โดยใช้ สารทดแทนไขมันได้แก่ Litesse, N-Lite D และ Purity SM 100 ที่ระดับร้อยละ 20 ทดแทนเนย พบว่า Litesses ได้คะแนนความชอบในด้านคุณลักษณะต่าง ๆ มากที่สุด รวมถึงคุณสมบัติทางกายภาพมีความใกล้เคียงกับสูตรควบคุม จากนั้นเมื่อทำการทดแทน Litesse ที่ระดับร้อยละ 20, 35 และ 50 พบว่า คะแนนความชอบด้าน รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่การใช้สารดังกล่าวในปริมาณที่สูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาตรจำเพาะ ความสามารถในการเกาะตัว และ b* (สีเหลือง) เพิ่มมากขึ้น ค่า L* (ค่าความสว่าง) น้อยลงกว่าสูตรควบคุม ให้ค่าความอ่อนนุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว พบว่า ปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ

20.33 นอกจากนี้ เมื่อนำเค้กเนยลดไขมันสูตรเหมาะสมดังกล่าวบรรจุในถุงโพลีเอธิลีน ณ อุณหภูมิห้อง พบว่ามีอายุการเก็บเพียง 3 วัน

พัชรินทร์ เพชรมาก และคณะ (2547) ได้ประยุกต์ใช้สารทดแทนไขมันโดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กลดพลังงานจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์-50 โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับมันสำปะหลัง โดยการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์-50 ทดแทนแป้งสาลี และเพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่สนใจอาหารเพื่อสุขภาพ โดยนำแป้งมันสำปะหลังทดแทนในสูตรได้ร้อยละ 100 และทดลองใช้สารทดแทนไขมันแทนเนยสด และลดปริมาณไข่แดง โดยการวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design ศึกษา 3 ปัจจัย คือ 1) สารทดแทนไขมัน 2) ปริมาณไข่แดง และ 3) กัวร์กัม ผลการศึกษาพบว่า สามารถใช้สารทดแทนไขมันได้ร้อยละ 35 ของน้ำหนักเนยสด ไข่แดงร้อยละ 35 ของน้ำหนักไข่แดงเริ่มต้นและกัวร์กัมร้อยละ 0.75 ของน้ำหนักทั้งหมด และสูตรที่เหมาะสมของบัตเตอร์เค้กลดพลังงานคือ แป้งมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์-50, เนยสด, สารทดแทนไขมัน, ไข่แดง, ไข่ขาว, น้ำตาล, นม, ผงฟู, เกลือ, อิมัลซิไฟเออร์, กลิ่นเนย และกัวร์กัม ร้อยละ 17.40, 15.83, 8.53, 3.32, 24.51, 18.09, 6.26, 0.64 0.48, 3.68, 0.53 และ 0.74 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความแข็ง ปริมาตรจำเพาะ และค่าพลังงาน 2.30 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม, 2.47 นิวตัน และ 335 กิโลแคลอรีต่อ100 กรัม ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบผู้บริโภค ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบระดับปานกลาง และให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้บัตเตอร์เค้กลดพลังงานจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์-50 มีค่าพลังงานลดลงร้อยละ 32 จากบัตเตอร์เค้กสูตรควบคุม และมีปริมาณคอเลสเตอรอลน้อยกว่าเค้กสูตรควบคุมเนื่องจากลดปริมาณเนยสด และไข่แดง อีกทั้งลดต้นทุนในการผลิตได้ ร้อยละ14

จิราวรรณ แย้มประยูร, สุนีย์ วิจารณ์นิกรกิจ และอมรรัตน์ สุขโข (2549) ได้ศึกษาผลของปริมาณน้ำมันพืช และสารทดแทนไขมัน ได้แก่ Carboxymethyl cellulose (CMC), Guargum (GG) และแป้งบุก (KF) ต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสปลายอที่วัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis) และการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า น้ำมันพืชร้อยละ 5, แป้งบุกร้อยละ 5, CMC ร้อยละ 0.5 และ GG ร้อยละ 0.5 จะให้ปลายอที่มีค่า Hardness, Cohesiveness, Springiness, Gumminess และ คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่ดี ปลายอนี้มีปริมาณคอเลสเตอรอล 59-62 มิลลิกรัม/100 กรัม และไขมันอิ่มตัว 1.2-1.9 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งต่ำกว่าปลายอที่ใส่มันหมู แต่ปลายอที่เติมน้ำมันพืชและแป้งบุกมากกว่าร้อยละ 5 คะแนนการยอมรับและค่าเนื้อสัมผัสที่วัดโดยเครื่องจะลดลง ส่วน CMC, GG เติมในปริมาณร้อยละ 0.5 ผู้ทดสอบจะให้การยอมรับเนื้อสัมผัสดีกว่าปลายอที่ใส่ CMC และ GG ร้อยละ 0.3 และจากผลการเก็บรักษาปลา

ยอโดยการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 60 วัน พบว่าปลายอที่ใส่แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่มีคุณสมบัติด้าน Freeze thaw stability ปริมาณร้อยละ 5-10 จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดรูพรุนและทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำ (Drip loss) ต่ำเมื่อเทียบกับปลายอที่ไม่ได้ใส่แป้งมันสำปะหลังดัดแปร และผู้บริโภคให้การยอมรับเช่นเดียวกับปลายอที่ไม่ได้ผ่านการแช่แข็ง

สุนทรี สุวรรณสิชณน์ (2550) ศึกษาผลของการใช้สตาร์ชมันสำปะหลัง (ร้อยละ 5) เพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับโซเดียมคาซีเนต (ร้อยละ 2) โปรตีนถั่วเหลืองสะกัดเข้มข้น (Soy protein isolate : SPI ร้อยละ 2) หรือคาร์ราจีแนน (ร้อยละ 0.9) เป็นสารทดแทนไขมันในไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ไขมันต่ำ (ปริมาณไขมันร้อยละ 5.66-8.00) ผลการทดลองพบว่า ไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ไขมันต่ำที่ใช้สตาร์ชมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวมีปริมาณความชื้นมากกว่า ความแข็ง ความเหนียว แรงในการเคี้ยว และการสูญเสียน้ำออกจากตัวอย่างระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่า ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ cooking loss และคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างจากตัวอย่างไส้กรอกสูตรควบคุมที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 20.65 ($P > 0.05$) การใช้สตาร์ชมันสำปะหลังร่วมกับโซเดียมแคซีเนตให้ผลที่ไม่แตกต่างจากเมื่อใช้สตาร์ชมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว เว้นแต่จะทำให้ตัวอย่างมีความชุ่มน้ำลดลง การใช้สตาร์ชมันสำปะหลังร่วมกับ SPI หรือคาร์ราจีแนนมีผลให้ตัวอย่างมีความแข็ง ความเหนียวและแรงในการเคี้ยวเพิ่มขึ้นกว่าเมื่อใช้สตาร์ชมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวและไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ยังมีผลให้ตัวอย่างมีความชุ่มน้ำลดลงเล็กน้อย และมีความเข้มของกลิ่นรสเครื่องเทศสูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ($P \leq 0.05$)

สำหรับการใช้สารทดแทนไขมันในไอศกรีมนั้น เนาวรัตน์ ดำนิล (2548) ศึกษาการผลิตไอศกรีมซังขนุนไขมันต่ำ โดยแปรผันอัตราส่วนสารทดแทนไขมัน 2 ชนิด ระหว่างอินนูลิน : เวย์โปรตีนเข้มข้น 3 อัตราส่วน คือ 2 : 1, 1 : 1 และ 1 : 2 โดยทดแทนไขมันร้อยละ 70 ของไขมันในองค์ประกอบไอศกรีม พบว่าอัตราส่วนของสารทดแทนไขมันมีผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ความมันลื่น ความเรียบเนียน การละลายในปาก ขนาดเกล็ดน้ำแข็ง กลิ่นรสผิดปกติ และความชอบรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาด้านโอเวอร์รันและอัตราการละลายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้น จึงเลือกสูตรที่แปรอัตราส่วนสารทดแทนไขมัน อินนูลิน : เวย์โปรตีนเข้มข้น 2 : 1 เพราะมีคุณลักษณะของไอศกรีมใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด และแปรผันปริมาณการเติมพิวเร่ซังขนุน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15, 20 และ 25 ของน้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้านสีเหลือง การกระจายตัวของพิวเร่ ความสากลิ้น กลิ่นขนุน และความชอบรวม พบว่าไอศกรีมซังขนุนไขมันต่ำทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) และเมื่อพิจารณาผลของค่าโอเวอร์รัน อัตราการละลาย และค่าสีของไอศกรีมซังขนุนไขมันต่ำทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนการผลิตแล้วนำมาตัดสินการคัดเลือก จึงเลือกสูตรที่แปรปริมาณพิวเร่ขนุนร้อยละ 15 เป็นไอศกรีมซังขนุนไขมันต่ำ จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซังขนุนไขมันต่ำที่ผลิตได้มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 30.00 โปรตีน ร้อยละ 3.28 ไขมัน ร้อยละ 0.88 พลังงาน 462.38 กิโลแคลอรี ตามลำดับ การตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ของไอศกรีมซังขนุนไขมันต่ำมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 12.5 โคโลนี / กรัม และจำนวนแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ไม่พบที่ เอ็มพีเอ็น / กรัม ซึ่งไม่เกินกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 222 (พ. ศ. 2544) ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซังขนุนไขมันต่ำ มีผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบสเกลฮีโดนิก (9 – Point Hedonic Scale) ด้านสีเหลือง ความเรียบเนียนการกระจายตัวของพิวรี ความสากลิ้น ความมันลื่น การละลายในปาก ขนาดเกล็ดน้ำแข็ง กลิ่นขนุน ความหวาน และความชอบรวม พบว่าได้คะแนนอยู่ระหว่าง 7.00-8.00 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก