

**บทที่ 2**  
**เอกสารที่เกี่ยวข้อง**

**2.1 ไอศกรีม**

**2.1.1 ส่วนประกอบของไอศกรีม**

ส่วนประกอบของไอศกรีมและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แสดงไว้ในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ส่วนประกอบของไอศกรีมและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง (เปอร์เซ็นต์)

ผลิตภัณฑ์	ไขมันนม	ของแข็งไม่รวมไขมันนม	น้ำตาล	สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์	เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดโดยประมาณ
ไอศกรีมมาตรฐาน ( Standard ice cream )	10.0	10.0-11.0	15.0	0.3	35-37
	12.0	9.0-10.0	13-16.0	0.20-0.40	
ไอศกรีมทางการค้า ( Trade brand ice cream )	12.0	11.0	15.0	0.30	37.5-39.0
	14.0	8.0-9.0	13.0-16.0	0.20-0.40	
ไอศกรีมชนิดพิเศษ ( Deluxe ice cream )	18.0-20.0	6.0-7.5	16.0-17.0	0.0-0.20	42.0-45.0
	20.0	5.0-6.0	14.0-17.0	0.25	
ไอศกรีมนม ( Ice milk )	3.0	14.0	14.0	0.40	31.4
	4.0	12.0	13.5	0.40	
	5.0	11.5	13.0	0.40	
	6.0	11.5	13.0	0.35	
เชอร์เบต ( Sherbet )	1.0-3.0	1.0-3.0	26.0-35.0	0.40-0.50	28.0-36.0
เมลโลโรน ( Mellorine )	6.0-10.0	2.7 (โปรตีน)	14.0-17.0	0.40	36.0-38.0
โยเกิร์ตแช่แข็ง ( Frozen yogurt )	3.25-6.0	8.25-13.0	15.0-17.0	0.50	30.0-33.0
	0.5-2.0	8.25-13.0	15.0-17.0	0.60	

ที่มา : Arbuckle ( 1986 )

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนม และผลิตภัณฑ์นม ซึ่งส่วนผสมต่าง ๆ จะมีคุณค่าทางอาหารสูง ดังนั้นไอศกรีมจึงจัดว่าเป็นอาหารที่ให้พลังงานต่อร่างกาย ตาราง 2.2 แสดงถึงปริมาณสารอาหารต่าง ๆ และพลังงานของไอศกรีมชนิดต่าง ๆ

ตาราง 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของไอศกรีมชนิดต่าง ๆ (ต่อ 100 กรัมที่บริโภคได้)

ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	ไอศกรีม มาตรฐาน	ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน			ไอศกรีม นม	ไอศกรีมโคน (Icecream cones)	หวานเย็น (water ice)
		10%	12%	16%			
น้ำ	61.7	63.2	62.1	62.8	66.7	8.9	66.9
พลังงาน(แคลอรี)	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 แคลอรี	50.8	51.7	48.3	45	65.6	26.5	128.4

ที่มา : Arbuckle ( 1986 )

**ไอศกรีม** เป็นผลิตภัณฑ์นมแช่เยือกแข็งชนิดหนึ่ง ซึ่งส่วนผสมที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่เป็นนม และผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นม ครีม หางนมผงและนมระเหย เป็นต้น และส่วนที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ น้ำตาล สารให้ความคงตัว (stabilizer) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) สารให้กลิ่นรส และสี เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของไอศกรีมแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น มีส่วนประกอบหลักดังนี้ คือ ไขมัน 8 - 20 % ของแข็งไม่รวมไขมัน (milk solid not fat :MSNF) 8 - 15 % น้ำตาล 13 - 20 % สารให้ความคงตัว - อิมัลซิไฟเออร์ 0.0 - 0.7 % และ เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมด ( total solid : TS ) 36 - 43 % ( Arbuckle , 1986 )

**ไขมัน** เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของไอศกรีม การใช้ไขมันในปริมาณที่เหมาะสมทำให้ได้ส่วนผสมที่สมดุล และเป็นไปตามกฎหมายกำหนด ไขมันช่วยให้ไอศกรีมมีกลิ่นรสที่ดี ไม่มีผลต่อการลดจุดเยือกแข็ง การเพิ่มไขมันในไอศกรีมทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กลง แต่ต้นทุนสูง และยังทำให้อัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมลดลง ปริมาณไขมันที่ใช้ในไอศกรีมโดยทั่วไป 10 - 15 % แห่

ของไขมันที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมได้แก่ ครีมสด ครีมแช่แข็ง เนย และน้ำมันเนย เป็นต้น ไอศกรีมที่มีคุณภาพสูงจะใช้ครีมสดเป็นแหล่งไขมัน (Marshall และ Arbuckle , 1996)

Cheema และ Arora (1991) ผลิตไอศกรีมที่มีส่วนประกอบไขมัน 10 % ใช้ไขมันไม่อิ่มตัวจากพืช คือ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำตาลทราย 15 % และ milk solid not fat 12 % ใช้สารให้ความคงตัวโซเดียมอัลจิเนต 0.3 % , 0.4 % และอิมัลซิไฟเออร์ ทวิน 80 (Tween 80) 0.08 % , 0.10 % , 0.12 % ไอศกรีมสูตรควบคุมประกอบด้วย ไขมันนม โซเดียมอัลจิเนต 0.3 % และทวิน 80 0.06 % พบว่า ความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีมที่ใช้ไขมันพืชต่ำ แต่ปริมาณไขมันอิสระสูงกว่าในสูตรควบคุม ไอศกรีมที่ใช้ไขมันพืช โซเดียมอัลจิเนต 0.3 % และทวิน 80 0.1 % ได้รับการประเมินทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรควบคุม

Sivaramakrishnan *et al.*, (1994) ได้ทดลองใช้ไขมันพืชเพื่อทดแทนไขมันนมบางส่วนในการผลิตซอฟต์เสิร์ฟไอศกรีม (soft serve) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ ไขมัน 10 % milk solid not fat 12 % น้ำตาล 15 % และสารให้ความคงตัว โซเดียมอัลจิเนต คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เจลาติน แต่ละชนิดเข้มข้น 0.5 % โดยใช้ไขมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลือง ทดแทนไขมันนมดังต่อไปนี้ ใช้น้ำมันเมล็ดฝ้ายทดแทน 20 % และ 15 % , น้ำมันเมล็ดฝ้าย 10 % ผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง 5% ส่วนสูตรควบคุมใช้ไขมันนม จากการประเมินทางประสาทสัมผัส ทางฟิสิกส์ เคมี และหนู 30 ตัวที่มีอายุ 30-40 วัน เพื่อใช้วัดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด พบว่า สารให้ความคงตัวที่เหมาะสมที่สุดคือ เจลาติน รองลงมาได้แก่ โซเดียมอัลจิเนต ผู้ชิมยอมรับสูตรที่ใช้ไขมันพืช เมื่อใช้น้ำมันเมล็ดฝ้ายทดแทนไขมันนมในปริมาณที่มากขึ้น พบระดับคอเลสเตอรอลในเลือดของหนูลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต้นทุนการผลิตลดลง และยังให้อัตราการละลายช้าลงอย่างชัดเจน

เมลโลโรน (Mellorine) เป็นไอศกรีมที่ใช้น้ำมันหรือไขมันชนิดอื่นแทนไขมันนม ไขมันพืชที่นิยมใช้คือ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันดอกคำฝอย และ น้ำมัน canola (Marshall และ Arbuckle , 1996)

Adhikari และ Arora (1994) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์เมลโลโรน โดยใช้ น้ำมันถั่วลิสง และ vanaspati ghee แทนไขมันนม ใช้กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (GMS) และ ทวิน 80 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ เค็มกลิ่นรส สตรอเบอร์รี่ กล้วย และสีสังเคราะห์ พบว่า แรงตึงผิว ความข้นหนืด อัตราการละลาย พิเอช และการยอมรับจากประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรควบคุม ส่วนปริมาณ

ไขมันอิสระสูงกว่า แต่ความสามารถในการขึ้นฟูต่ำกว่าสูตรควบคุม (ยกเว้นเมลโลโรนีน vanaspati ghee ที่มี GMS 0.15 %) ทวิน 80 0.1% และ GMS 0.15 % เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมกับการผลิตเมลโลโรนีน อิมัลซิไฟเออร์ GMS ให้ความสามารถในการขึ้นฟูดีกว่า ทวิน 80

Guinard *et al.*, (1997) ศึกษาผลของน้ำตาล และไขมันที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาโดยใช้น้ำตาลซูโครส 8 % , 13 % และ 18 % ไขมัน 10 % , 14 % และ 18 % พบว่า น้ำตาลที่เพิ่มขึ้นทำให้เพิ่มการรับกลิ่นวานิลลา กลิ่นอัลมอนด์ กลิ่นเนย รสหวาน ความมัน ลักษณะความเป็นครีม การเคลือบในปาก การลดความเย็นในปาก ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง อัตราการละลายช้าลง และความแข็งลดลง การเพิ่มไขมันมีผลในการเพิ่มกลิ่นเนย รสหวาน ความมัน ลักษณะความเป็นครีม การเคลือบในปาก ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง อัตราการละลายช้าลง การยอมรับของผู้บริโภคมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับกลิ่นวานิลลา ลักษณะความเป็นครีม ความมัน กลิ่นรสนม และมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับสีที่ปรากฏ ขนาดผลึกน้ำแข็ง และความแข็ง จากผลการวิเคราะห์ RSM (Response surface methodology) เพื่อหาระดับน้ำตาล และไขมันที่มีผลให้ผู้บริโภคยอมรับไอศกรีมวานิลลามากที่สุด พบว่า น้ำตาล 13.2% ไขมัน 14% มีอิทธิพลต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปากมากที่สุด น้ำตาล 14.1% ไขมัน 15.4% มีอิทธิพลต่อความชอบด้านกลิ่นรสมากที่สุด น้ำตาล 14.3% ไขมัน 14.8% มีอิทธิพลต่อการยอมรับรวมมากที่สุด

Roland *et al.*, (1999a) ศึกษาไอศกรีมวานิลลาที่มีไขมันนม 0.1 % , 3 % , 7 % และ 10 % ประเมินผลโดยใช้เครื่องวัด และผู้ทดสอบชิม พบว่า ไอศกรีมที่มีไขมัน 0.1 % , 3 % และ 7 % ไม่มีความแตกต่างกันในลักษณะความแข็ง และอัตราการละลาย แต่ต่างจากไอศกรีมที่มีไขมัน 10 % ( $P \leq 0.05$ ) โดยไอศกรีมที่มีไขมัน 10 % ละลายช้ากว่า และแข็งน้อยกว่าไอศกรีมที่มีไขมัน 7 % สำหรับการทดสอบโดยใช้ผู้ชิม พบว่า ไอศกรีมไขมันต่ำจะมีลักษณะเกล็ดน้ำแข็ง และร่วน (crumbly) มากกว่า รสหวานไม่มีความแตกต่างกันสำหรับ ไอศกรีมปริมาณไขมัน 0.1 % ถึง 7 % ความมันเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ไอศกรีมที่มีไขมันลดลงกลิ่นของนมผงเพิ่มขึ้น ถึงแม้ไอศกรีมไขมัน 0.1 % จะมึนมผงน้อยกว่าก็ตาม พบว่ากลิ่นคอร์นไซรัปจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไขมันลดลง ถ้ากลิ่นทั้งสองนี้มีมากเกินไปจะทำให้การยอมรับของผู้บริโภคน้อยลง

Tanteeratarom *et al.*, (1993) รายงานว่า ไขมันช่วยเพิ่มรสชาติ และให้เนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนของไอศกรีมถั่วเหลือง ไขมันได้มาจากนมถั่วเหลือง และไขมันพืช เช่น น้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน ซึ่งเป็นไขมันอิ่มตัวมีคุณสมบัติคล้ายไขมันนม ไขมันไม่อิ่มตัว เช่น

น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกคำฝอย อาจเป็นทางเลือกสำหรับแหล่งไขมัน แต่จะลดการขึ้นฟู และเกิดกลิ่นไม่ดี เนื่องจากไขมันเหล่านี้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย แต่มีข้อดีก็คือไม่มีคอเลสเตอรอล

Li *et al.*, (1997) ศึกษาผลของไขมันนมต่อกลิ่นวานิลลาในไอศกรีมที่ใช้ไขมันนม ตั้งแต่ 0.5 ถึง 10 % ใช้เครื่อง HPLC วัดเปอร์เซ็นต์วานิลลิน (vanillin) พบว่า จำนวนวานิลลินอิสระลดลง เมื่อเพิ่มไขมัน แต่จากการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝน พบว่า กลิ่นวานิลลาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบชิมบอกได้เพียงว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัส และการยอมรับรวมของไอศกรีมดีขึ้น เมื่อปริมาณไขมันในสูตรไอศกรีมเพิ่มขึ้น และระดับไขมันเพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาการรับรู้กลิ่นวานิลลาลานานขึ้น โดยให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในไอศกรีมแต่ละสูตร

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

**ของแข็งไม่รวมไขมัน ( milk solid not fat )** เป็นส่วนของแข็งในทางนมผงประกอบด้วย โปรตีน 37 % น้ำตาลแลคโตส 55 % และเกลือแร่ 8 % ของแข็งไม่รวมไขมันช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้ไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีรสชาติอร่อย น้ำตาลแลคโตสเพิ่มรสหวาน และเกลือแร่ทำให้เกิดรสเค็ม ส่วนโปรตีนนมทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสแน่น และเรียบเนียน มีความคงตัวที่ดี และป้องกันเนื้อสัมผัสหยาบ การเติมของแข็งไม่รวมไขมันมากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมมีรสเค็ม มีกลิ่นนมผง และเพิ่มผลึกแลคโตสในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากน้ำตาลแลคโตสมีความสามารถในการละลายต่ำ ของแข็งไม่รวมไขมันช่วยเพิ่มความข้นหนืด ลดจุดเยือกแข็งให้ต่ำลง ทำให้ไอศกรีมละลายช้า และการขึ้นฟูดีขึ้น ปริมาณทางนมผงที่ใช้ในไอศกรีมจะเป็นสัดส่วนผกผันกับไขมันนม (Marshall และ Arbuckle, 1996)

**สารให้ความหวาน หรือน้ำตาล** สารให้ความหวานที่ใช้ในไอศกรีม เช่น น้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส น้ำผึ้ง คอรันไซรัป และน้ำตาลทรายแดง เป็นต้น น้ำตาลให้รสหวานแก่ไอศกรีม ให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดแก่ส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น น้ำตาลช่วยเพิ่มความข้นหนืดให้แก่ส่วนผสม

ไอศกรีม ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น ให้กลิ่นรสที่ดี ช่วยลดจุดเยือกแข็งของไอศกรีม ลดการขึ้นฟูของไอศกรีม และยืดระยะเวลาในการปั่นไอศกรีม ถ้าเพิ่มน้ำตาลในส่วนผสม จะได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนขึ้น แต่ถ้ามาก อาจทำให้ไอศกรีมมีเนื้อแฉะ (soggy) ถ้าไอศกรีมขาดน้ำตาลจะทำให้มีเนื้ออ่อน หยิบ และเป็นแผ่น (Marshall และ Arbuckle , 1996 )

Smith และ Bradley (1983) พบว่า สารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ลดจุดเยือกแข็งได้น้อยกว่าสารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการลดลงของจุดเยือกแข็งสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวน โมเลกุลของสารต่อหน่วยปริมาตรของสารละลายนั่นเอง คอรัลไซรัปที่มีค่า dextrose equivalent ( DE ) สูง ซึ่งประกอบด้วย monosaccharide และ disaccharide เป็นส่วนใหญ่มี polysaccharide เป็นส่วนน้อย ถ้าค่า DE ต่ำลง ส่วนของ polysaccharide จะมีเพิ่มขึ้นทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยมากขึ้น เช่น คอรัลไซรัป 36 DE มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 543 มีผลในการลดจุดเยือกแข็งน้อยกว่า คอรัลไซรัป 62 DE ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 296 ไอศกรีมต้องมีจุดเยือกแข็งที่สูงพอเหมาะจะทำให้ได้ผลึกน้ำแข็งอย่างเพียงพอ จุดเยือกแข็งไม่ต่ำเกินไปจนมีปริมาณของเหลวที่ไม่แข็งตัวเหลืออยู่มากจนเป็นผลให้ได้ไอศกรีมแฉะเกินไป และไม่คงตัวในระหว่างการเก็บรักษา และจุดเยือกแข็งไม่ควรสูงเกินไปจนมีผลึกน้ำแข็งเกิดมากเกินไป ไอศกรีมที่ได้จะแข็งมาก และยังพบว่า น้ำตาลdisaccharide เช่นซูโครส มีค่า freezing point depression factor เท่ากับ 1.0 มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย เท่ากับ 342 ในขณะที่น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเช่นกลูโคส มีค่า freezing point depression factor เท่ากับ 1.86 มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย เท่ากับ 180 ถ้าค่า freezing point depression factor มาก แสดงว่ามีจุดเยือกแข็งต่ำกว่า และอัตราการละลายเกิดได้เร็ว

Goff *et al.*, (1990) พบว่า ระดับ dextrose equivalent (DE : สมดุลย์เดกซ์โตรส) ของไซรัปที่ใช้ มีผลต่อความชื้นหนืดของส่วนไอศกรีม การใช้ไซรัปที่มีระดับ DE ต่ำ ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดมากกว่าการใช้ไซรัปที่มี DE สูง ทั้งนี้เนื่องจากในไซรัปที่มีระดับ DE ต่ำ มีปริมาณน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์มากกว่าในไซรัปที่มี DE สูง ซึ่งมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่มากกว่า โอลิโกแซคคาไรด์สามารถจับน้ำได้มากกว่าน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ดังนั้นจึงมีผลทำให้ไซรัปที่มีระดับ DE ต่ำ จับน้ำได้มากกว่าไซรัปที่มี DE สูง ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมที่มีไซรัประดับ DE ต่ำกว่า มีความหนืด มากกว่าส่วนผสมไอศกรีมที่มีไซรัป ระดับ DE สูงกว่า และยังพบว่า เมื่อใช้คอรัลไซรัปที่มีค่า DE สูง ไอศกรีมมีจุดเยือกแข็งลดลง ความไม่คงตัวของไขมัน (fat destabilisation) ลดลง และความแน่นเนื้อ (firmness) ของไอศกรีมลดลง

Hagiwara และ Hartel (1996) ศึกษาไอศกรีมที่ใช้สารให้ความหวานร้อยละ 16.5 คือ คอรั่นไซรัป 20 DE และ 42 DE น้ำตาลซูโครส คอรั่นไซรัปฟรุกโตส (HFCS) พบว่า จุดเยือกแข็งของไอศกรีมที่ใช้ HFCS เป็นสารให้ความหวานจะต่ำกว่าการใช้สารให้ความหวานอื่น ๆ คือ  $-4.36^{\circ}\text{C}$  ส่วนจุดเยือกแข็งของไอศกรีมที่ใช้คอรั่นไซรัป 20 DE สูงกว่าการใช้สารให้ความหวานอื่น ๆ คือ  $-1.73^{\circ}\text{C}$  ความแตกต่างของจุดเยือกแข็งนี้ เป็นผลมาจากความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสารให้ความหวานนั่นเอง โดยสารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถลดจุดเยือกแข็งได้มากกว่า สารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ไอศกรีมซึ่งใช้สารให้ความหวานที่ทำให้จุดเยือกแข็งต่ำกว่า ทำให้มีปริมาณของน้ำที่แข็งตัวน้อยกว่า นั่นก็คือมีปริมาณของน้ำที่ยังไม่แข็งตัวอยู่มากกว่า เช่นกรณีของ HFCS ซึ่งมีผลทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีจุดเยือกแข็งต่ำสุด ปริมาณของน้ำที่ไม่แข็งตัวมีมากที่สุด อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่จึงมีโอกาสมาก สารให้ความหวาน HFCS , น้ำตาลซูโครส , คอรั่นไซรัป 42 DE และ 20 DE มีอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่เท่ากับ 11.2 , 8.7 , 3.4 และ 2.3 ไมโครเมตรต่อวัน<sup>0.33</sup> (micrometers per day<sup>0.33</sup>) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา  $-15.2^{\circ}\text{C}$  ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Harper และ Shoemaker (1983) พบว่า ชนิดของสารให้ความหวานมีผลต่ออัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ โดยสารให้ความหวานแต่ละชนิดมีผลต่อขนาดผลึกน้ำแข็งต่างกัน พื้นที่หน้าตัดของผลึกน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นตามจุดเยือกแข็งที่ลดลง สารละลายน้ำตาลซูโครส คอรั่นไซรัป 62 DE และน้ำตาลฟรุกโตส เข้มข้น 35 % มีจุดเยือกแข็งเป็น  $-3.5$  ,  $-4.2$  และ  $-6.1^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และมีพื้นที่หน้าตัดของผลึกน้ำแข็ง เท่ากับ 4.46 , 9.92 และ 23.73 ตารางไมโครเมตร ดังนั้น สารละลายน้ำตาลฟรุกโตสจึงมีขนาดผลึกน้ำแข็งใหญ่กว่าในสารละลายอื่น ๆ

Miller – Livney และ Hartel (1997) ศึกษาการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ (recrystallization) ของไอศกรีมที่ใช้สารให้ความหวาน 4 ชนิด คือ คอรั่นไซรัป 20 DE , คอรั่นไซรัป 42 DE , น้ำตาลซูโครส และคอรั่นไซรัปฟรุกโตส (HFCS) ร่วมกับสารให้ความคงตัว 4 ชนิด คือ เจลาติน โคลด์สปีนแกม แซนแทนแกม ร้อยละ 0.3 และคาราจีแนน ร้อยละ 0.1 และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ  $-5.2$  ,  $-9.5$  และ  $-15^{\circ}\text{C}$  พบว่า อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ต่ำที่สุดสำหรับไอศกรีมที่ใช้สารให้ความหวานคอรั่นไซรัป 20 DE เพราะ คอรั่นไซรัป 20 DE มีจุดเยือกแข็งที่สูงกว่า มวลโมเลกุลมากกว่า ปริมาณน้ำที่ไม่แข็งตัวเหลืออยู่น้อยกว่า และ HFCS มีจุดเยือกแข็งที่ต่ำกว่า มวลโมเลกุลน้อยกว่า ปริมาณน้ำที่ไม่แข็งตัวเหลืออยู่มากกว่าจึงทำให้อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นได้มากกว่า สำหรับสารให้ความคงตัวทุกชนิดที่ใช้ เหมาะกับทุกอุณหภูมิของการเก็บรักษา

Specter และ Setser (1994) ศึกษาไอศกรีมพลังงานต่ำโดยการลดปริมาณการใช้น้ำตาลซูโครสในไอศกรีมแล้วใช้ แอสพาร์เทม (aspartame : APM) เป็นสารให้ความหวานแทน รวมทั้งมีการใช้ polydextrose เป็น bulking agent พบว่า ไอศกรีมสูตรควบคุม มีน้ำตาลซูโครส 16 % ไขมันนม 12 % ได้ค่าคะแนนความหยاب เท่ากับ 9.2 เปรียบเทียบกับทริทเมนต์ที่ใช้ น้ำตาลซูโครส 8 % polydextrose - APM 8 % ไขมันนม 12 % มีค่าคะแนนความหยاب เท่ากับ 8.3 ค่าคะแนนความหยابลดลง เพราะ เมื่อน้ำตาลซูโครสลดลง จุดเยือกแข็งของส่วนผสมไอศกรีมสูงขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำส่วนที่ไม่แข็งตัวเหลือน้อยลง ดังนั้นค่าคะแนนความหยابของไอศกรีมจึงลดลง

Schaller - Povolny และ Smith (1999) ศึกษาการใช้อินูลิน (inulin) ซึ่งเป็นน้ำตาลฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์โดยจะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนแบคทีเรียในลำไส้พวก Bifidobacteria ทำให้เกิดประโยชน์ต่อคน ในการทดลองไอศกรีมไขมันต่ำโดยทดแทนน้ำตาลคอร์นไซรัป ที่ปริมาณ 50% และ 100% พบว่า อินูลินจะช่วยเพิ่มความเหนียวหนืด ลดความหวาน และลดการสร้างผลึกน้ำแข็งใหม่ในช่วงการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

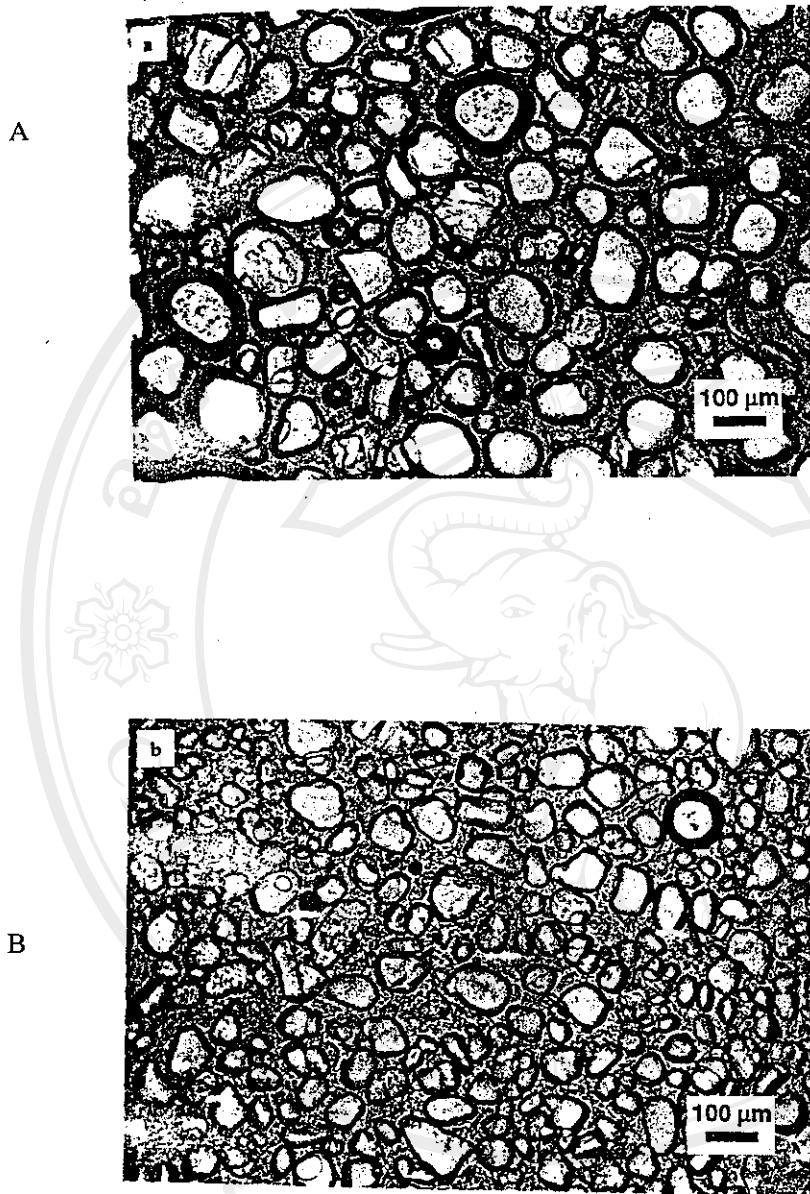
**สารให้ความคงตัว** มีความสามารถในการเกิดพันธะกับน้ำได้ดี มีหน้าที่ปรับปรุงเนื้อสัมผัส ไอศกรีมให้เรียบเนียนป้องกันไม่ให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขณะแช่แข็ง และในระหว่างการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิผันแปรต่าง ๆ (heat shock) ซึ่งไม่ทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมหยاب ทำให้ผลิตภัณฑ์ มีความคงตัวที่ดี และยืดระยะเวลาในการละลายของไอศกรีม สารให้ความคงตัวจะไปเพิ่มความหนืด แต่ไม่มีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีม ปริมาณการใช้ประมาณ 0.2 - 0.3 % ยังมีการใช้สารให้ความคงตัวหลาย ๆ ชนิดมาผสมกันเพื่อปรับปรุงคุณภาพไอศกรีมให้ดีขึ้น เนื่องจากใช้สารเหล่านี้ในปริมาณน้อย จึงไม่มีผลต่อคุณค่าทางอาหารและกลิ่นรส การใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไป ทำให้ไอศกรีมละลายช้า มีผลทำให้เนื้อสัมผัสแข็ง ไอศกรีมและ หรือเหนียวมาก ตัวอย่างสารให้ความคงตัว เช่น เจลาติน ได้มาจากสัตว์เช่น หนังลูกวัว หนังหมู กระจุกสัตว์ จากพืชเช่น โซเดียมอัลจิเนต คาราจีแนน จากการสังเคราะห์ เช่น โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ได้มาจากกัม เช่น กัวร์กัม โคลัสปีนัม ทรากาแกนท์ คาราया เป็นต้น (Marshall และ Arbuckle, 1996)

Moore และ Shoemaker (1981) ศึกษาความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีม พบว่า ความเข้มข้นของ โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.0 ถึง 0.20 % ทำให้ลักษณะเกล็ดน้ำแข็ง (iciness) ลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวน และขนาดของผลึกน้ำแข็ง



Martinou – Voulasiki และ Zerfirids (1990) ศึกษาการใช้สารให้ความคงตัวในไอศกรีมโยเกิร์ตที่ทำจากนมแกะที่มีไขมัน 6.5 % และ milk solid not fat 11.5 % พีเอช 4.4 - 4.9 พบว่า เมื่อใช้สารให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น ค่าความข้นหนืดเพิ่มขึ้น และทำให้ไอศกรีมละลายช้าลง แชนแทนกัมให้ค่าความข้นหนืดมากกว่า และทำให้ไอศกรีมละลายช้ากว่ากัวร์กัม แชนแทนกัมจะให้ความแน่นเนื้อ (firmness) มากกว่ากัวร์กัม ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้ได้ผลดีคือ แชนแทนกัม 0.2% และกัวร์กัม 0.3% ตามลำดับ

Hagiwara และ Hartel (1996) ศึกษาไอศกรีมที่ใช้สารให้ความคงตัว 2 ชนิดผสมกัน 0.3 % โดยใช้โลคัสทีน 80 % ผสมกับคาราจีแนน 20 % พบว่า ไอศกรีมที่ไม่ใช้สารให้ความคงตัว มีความข้นหนืด 23 - 58 เซนติพอยส์ และใช้สารให้ความคงตัว มีความข้นหนืด 579 - 687 เซนติพอยส์ ไอศกรีมที่ใช้สารให้ความคงตัว มีอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ต่ำกว่าไอศกรีมที่ไม่ใช้สารให้ความคงตัว เมื่อเก็บรักษาไอศกรีมที่อุณหภูมิ - 9.4 °ซ มีอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่เป็น 24.8 และ 43.8 ไมโครเมตร/วัน<sup>0.33</sup> ตามลำดับ นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมที่ใช้สารให้ความคงตัวมีขนาดเล็กกว่ากรณีไม่ใช้สารให้ความคงตัวเมื่อเก็บรักษาไอศกรีมที่อุณหภูมิ - 15.2 °ซ เป็นเวลา 24 สัปดาห์  
 ดังรูป 2.1



รูป 2.1 แสดงขนาดผลึกน้ำแข็งของไอศกรีมที่มี และไม่มีสารให้ความคงตัว ภายหลังจากเก็บรักษา ไอศกรีมที่อุณหภูมิ  $-15.2^{\circ}\text{C}$  เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์

a : ไม่มีสารให้ความคงตัว

b : มีสารให้ความคงตัว

ที่มา : Hagiwara และ Hartel (1996)

Budiaman และ Fennema (1987a) ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ในการยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งที่ช่วงอุณหภูมิ  $-3$  ถึง  $-5$  °ซ พบว่า ไฮโดรคอลลอยด์มีผลทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น ลดการเคลื่อนที่ของสารต่าง ๆ รวมทั้งน้ำ ซึ่งเป็นการขัดขวางการโตของผลึกน้ำแข็งได้ ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ Haper และ Shoemaker (1983) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวโลคัสปีนกัน จาก 0.0 % เป็น 0.5 % ความข้นหนืดของสารละลายให้ความหวานคอร์นไซรัป เพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 720 เซนติพอยต์ แต่ความข้นหนืดที่เพิ่มขึ้นไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ สังเกตได้จากค่าเฉลี่ยอัตราการโตของพื้นที่หน้าตัดของผลึกน้ำแข็งมีการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นในทางใดทางหนึ่ง แต่มีลักษณะเล็กลง แล้วเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ LBG เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Budiaman และ Fennema (1987b) ศึกษาอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งเชิงเส้น (linear rate of crystallization) ของน้ำที่อุณหภูมิ  $-3$  °ซ ในสารแขวนลอยของไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส , กัวร์กัม , โลคัสปีนกัน , โซเดียมอัลจินต และทรากาแคนท์กัม (tragacanth gum) โดยให้ความข้นหนืดต่าง ๆ กัน พบว่า อัตราเชิงเส้นของการเกิดผลึกน้ำแข็งของน้ำลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าปรับสารแขวนลอยดังกล่าวให้มีความหนืดเท่ากันจะได้อัตราเชิงเส้นของผลึกน้ำแข็งต่างกัน เมื่อศึกษาการเกิดผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $-3$  °ซ ความหนืด 3 Pa.s พบว่า โลคัสปีนกัน และกัวร์กัม เป็นสารชะลอการเกิดผลึกน้ำแข็งที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดอื่น แต่น้ำตาลซูโครสสามารถชะลอการเกิดผลึกน้ำแข็งได้มากกว่า สรุปว่า ความข้นหนืดไม่ใช่ตัวบ่งชี้ที่ดีในการพิจารณาถึงความสามารถของไฮโดรคอลลอยด์ในการยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ ไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมากกว่าการควบคุมขนาดของผลึกน้ำแข็ง

Buyong และ Fennema (1988) ทำการวัดความร้อนของการหลอมเหลวของสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ที่แช่แข็ง ณ อุณหภูมิ  $-43$  °ซ โดยวิธี Differential Scanning Calorimetry พบว่า เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์สูงขึ้น ค่าความร้อนของการหลอมเหลวลดลง เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 1 และ 2 % มีค่าความร้อนของการหลอมเหลวเท่ากับ 77.1 และ 75.4 แคลอรี / กรัม สำหรับค่าความร้อนของการหลอมเหลวน้ำบริสุทธิ์เท่ากับ 79.77 แคลอรี / กรัม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าความร้อนของการหลอมเหลวในสารละลายไฮโดรคอลลอยด์น้อยกว่าน้ำ ซึ่งให้เห็นว่าน้ำบางส่วนเกิดพันธะกับไฮโดรคอลลอยด์ จึงเกิดเป็น bound water ที่ไม่ถูกทำให้แข็งตัวเมื่อแช่แข็งที่  $-43$  °ซ ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มมากขึ้น น้ำที่เกิดพันธะกับไฮโดรคอลลอยด์จึงมากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำส่วนที่กลายเป็นน้ำแข็งลดลง ค่าความร้อนของการหลอมเหลวจึงลดลงด้วย ดังนั้นการที่สารให้ความคงตัวสามารถขัดขวางการโตของผลึกน้ำแข็งได้ อาจเนื่องมาจากสารให้ความคงตัวสามารถดูดซับบนพื้นผิวของผลึกน้ำแข็งจึงเป็นการขัดขวางการเกาะตัวกันของผลึกน้ำแข็งหรืออาจ

เนื่องจากสารให้ความคงตัวสามารถเกิดพันธะกับน้ำ ทำให้น้ำไม่อยู่ในรูปน้ำอิสระ ( free water ) จึงไม่สามารถกลายเป็นน้ำแข็ง หรืออาจเป็นเพราะว่าเมื่อเกิดผลึกน้ำแข็งมากขึ้น ส่วนของเหลวที่ยังไม่แข็งตัวมีความเข้มข้นของตัวถูกละลายมากขึ้น ทำให้สารให้ความคงตัวมีความเข้มข้นสูงขึ้นจนสามารถเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้หรือก็คือเกิดเป็นเจล ซึ่งมีผลในการขัดขวางการโตของผลึกน้ำแข็งได้

Harper และ Shoemaker (1983) ศึกษาการเก็บรักษาสารละลายที่ใช้สารให้ความคงตัวโพลีสปีนกันเข้มข้น 0.3% ในสภาพอุณหภูมิไม่คงที่จาก  $-9$  ถึง  $-23$  °ซ พบว่า ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อผ่านวงจรการเพิ่ม และ ลดอุณหภูมิเป็นจำนวนครั้งมากขึ้น เนื่องจากว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจะละลาย ส่วนผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่จะละลายไปบางส่วน แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำลงเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นมาใหม่ ซึ่งผลึกที่เกิดใหม่ไปจับกับผลึกน้ำแข็งที่มีอยู่เดิม ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ และเมื่อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น โมเลกุลของน้ำเคลื่อนไหวได้ง่ายกว่า เพราะส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัวมีความหนืดน้อยกว่า ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่กว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

Miller – Livney และ Hartel (1997) พบว่า การเก็บรักษาไอศกรีมไว้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมครอน เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในไอศกรีมเกิดได้มากขึ้น ผลึกน้ำแข็งจึงมีโอกาสโตได้มากขึ้น

Goff *et al.*, (1993) ศึกษาผลของสารให้ความคงตัวต่อสมบัติการถ่ายเทความร้อน และความชื้นหนืดที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์ของสารละลายน้ำตาลซูโครส และไอศกรีม พบว่า สารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของสารละลายน้ำตาลซูโครสเมื่อวัดด้วยวิธี Differential Scanning Calorimetry แต่ช่วยชะลอการละลายเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ สารให้ความคงตัวช่วยเพิ่มความชื้นหนืดที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์เหนืออุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (glass transition : Tg) แต่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิ Tg ของสารละลายหรือส่วนผสมไอศกรีม จากการตรวจสอบลักษณะของผลึกน้ำแข็งเมื่อใช้สารให้ความคงตัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดกราดลำแสง (Scanning Electron Microscopy) ขนาด และการโตของผลึกน้ำแข็ง หลังการเก็บไว้ 24 สัปดาห์มีขนาดเล็ก และเกิดขึ้นน้อยกว่า ไอศกรีมที่ไม่มีการใช้สารให้ความคงตัว เนื่องจากสารให้ความคงตัวทำให้เกิดความชื้นหนืดมากขึ้น และรวมตัวกับส่วนผสมอื่นๆ เกิดโครงร่างตาข่ายสามมิติ ทำให้ลดการเคลื่อนที่ของน้ำในเฟสที่เป็น

ของเหลวที่ล้อมรอบผลึกน้ำแข็ง ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านผลึกน้ำแข็งจนทำให้น้ำแข็งละลาย และแข็งตัวซ้ำอีก

Goff *et al.*, (1994) ได้วัดความหนืดของส่วนผสมไอศกรีม พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 °ซ พบว่า ส่วนผสมไอศกรีมที่ใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส , กัวร์กัม , โคลด์สปีนกัม , แชนแทนกัม ที่ความเข้มข้น 0.13 % และ 0.28 % มีความหนืดมากกว่าส่วนผสมไอศกรีมที่ไม่ได้เติมสารให้ความคงตัว การใช้สารให้ความคงตัว 0.28 % มีความหนืดมากที่สุด ส่วนผสมไอศกรีมที่มีความหนืดสูงจะทำให้ส่วนผสมแข็งตัวได้เร็วทำให้น้ำเชื่อมผสมเรียบเนียน ยืดระยะเวลาการละลายของไอศกรีม แต่ทำให้การขึ้นฟู (whipping ability) ลดลง (Marshall และ Arbuckle , 1996)

เมื่อส่วนผสมไอศกรีมถูกตีปั่นให้แข็งตัวจะเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงเรื่อย ๆ มีผลึกน้ำแข็งเกิดมากขึ้น ทำให้อส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัวมีความเข้มข้นสูง ดังนั้นความหนืดเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่อุณหภูมิหนึ่งความหนืดสูงมากจนไม่เกิดผลึกน้ำแข็งอีกต่อไป อุณหภูมิ ณ จุดนี้ เรียกว่า อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (glass transition : T<sub>g</sub>) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า T<sub>g</sub> สารต่าง ๆ ในระบบจะเคลื่อนไหวได้มากยิ่งขึ้น ซึ่ง T<sub>g</sub> ของไอศกรีมอาจผันแปรจาก - 23 ถึง - 43 °ซ ขึ้นกับสูตร ดังนั้นเมื่ออยู่ใน glassy state คืออุณหภูมิต่ำกว่า T<sub>g</sub> ผลิตภัณฑ์จะมีความคงตัวที่ดีต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ เนื่องจากมีความหนืดสูงมาก จากการศึกษาของ Hagiwara และ Hartel (1996) พบ ความสัมพันธ์ในทางตรงระหว่าง T<sub>g</sub> และจุดเยือกแข็ง พบว่า เมื่อจุดเยือกแข็งลดต่ำลง T<sub>g</sub> จะลดต่ำลงมากเช่นกัน เช่น ไอศกรีมที่ใช้คอร์นไซรัป 20 DE เป็นสารให้ความหวานมีจุดเยือกแข็งที่ - 1.73 °ซ มี T<sub>g</sub> ที่ - 23.6 °ซ แต่เมื่อใช้ HFCS เป็นสารให้ความหวานจุดเยือกแข็งจะลดต่ำลงมาเป็น - 4.36 °ซ ส่วน T<sub>g</sub> จะลดต่ำลงมาอยู่ที่ - 42.7 °ซ และหาก T<sub>g</sub> ลดลงมากขึ้น จะทำให้อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่มีโอกาสเกิดได้มากขึ้น นอกจากนี้ Hagiwara และ Hartel (1996) ยังพบว่า อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ มีความเกี่ยวข้องกับผลต่างของอุณหภูมิการเก็บรักษา (Ts) และ T<sub>g</sub> ถ้ามีค่ามากขึ้น อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่จะสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการเพิ่มจุดเยือกแข็งของส่วนผสมไอศกรีม ให้สูงเท่าที่จะเป็นไปได้ จะทำให้ปริมาณน้ำที่ไม่แข็งตัวเหลือน้อยที่สุด โดยจุดเยือกแข็งต้องไม่สูงเกินไป เพราะจะทำให้ไอศกรีมที่ได้แข็งมากเกินไป และจุดเยือกแข็งต้องไม่ต่ำเกินไปเพราะจะทำให้ไอศกรีมจะเกินไป นอกจากนี้ต้องเก็บรักษาไอศกรีมที่อุณหภูมิต่ำใกล้เคียงกับ T<sub>g</sub> มากที่สุด จะช่วยให้ได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน และมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา

Lo *et al.*, (1996) รายงานว่า กัวร์กัมเหมาะที่จะใช้เป็นการให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว พบว่า ความข้นหนืดของสารละลายกัวร์กัม ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของกรดในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว กัวร์กัมมีน้ำหนักโมเลกุล 220,000 จึงสามารถดูดน้ำ และกระจายตัวได้ดีในน้ำเย็นให้สารละลายที่มีความหนืด และจากการศึกษาอิทธิพลของกัวร์กัมต่อการกระจายสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว โดยใช้กัวร์กัม 0.1 % - 0.5 % พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (partition coefficient) ของสารให้กลิ่นรสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แสดงว่ากัวร์กัมไม่มีผลต่อปริมาณสารให้กลิ่นรส เช่นเดียวกับ Marshall และ Arbuckle (1996) รายงานว่า ไอศกรีมใช้สารให้ความคงตัวในปริมาณน้อยจึงไม่มีผลต่อคุณค่าทางอาหาร และกลิ่นรส

Sutton และ Wilcox (1998) ได้ทดลองใช้สารให้ความคงตัวโลคัสบีนิกัม (LBG) และกัวร์กัม (GG) ในไอศกรีมเพื่อลดอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิคงที่ และการเกิด heat shock พบว่า ความเข้มข้นของ LBG มีผลต่อการลดอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ในไอศกรีมมากกว่า GG การเพิ่มความเข้มข้น LBG และ GG มีผลต่อการลดอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ ซึ่งช่วงความเข้มข้น LBG ที่มีผลต่อการลดอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่อยู่ในช่วง 0.1 % - 0.3 % ส่วนความเข้มข้นของ GG อยู่ในช่วง 0.1 % - 0.13 % แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวทั้ง 2 ชนิด มากกว่านี้จะไม่มีการลดอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่

Baer *et al.*, (1999) พบว่า การเติมกัมซึ่งเป็นสารประกอบไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methyl cellulose ; HPC) 0.25 % ในไอศกรีมที่ไม่มีไขมันมีส่วนประกอบดังนี้ milk solid not fat 12 % น้ำตาลซูโครส 12 % คอรั่นไซรัป 5 % มอลโตเดกซ์ทริน 3.5 % สารให้ความคงตัวผสม 0.25 % (โลคัสบีนิกัม กัวร์กัม และ คาราจีแนน) จะไม่มีผลในการลดขนาดผลึกน้ำแข็ง ( $P > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมซึ่งไม่มีอัลซิไฟเออร์ และไม่มีกัม แต่อย่างไรก็ตามการเติม HPC 0.15 % ในไอศกรีมไม่มีไขมัน จะทำให้ขนาดผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กกว่าสูตรควบคุม ( $P \leq 0.05$ ) แสดงว่าสารโพลีแซคคาไรด์ที่ใช้เป็นสารให้ความคงตัว จะช่วยลดขนาดผลึกน้ำแข็ง โดยลดพลังงานจลน์ของโมเลกุลน้ำในเฟสที่ไม่แข็งตัว ซึ่งจะช่วยลดความร้อนของน้ำในสารละลายไฮโดรคอลลอยด์กับน้ำ จะทำให้น้ำแข็งตัวได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งจะไปควบคุมการเกิดผลึกน้ำแข็งได้จากผลดังกล่าวทำให้ทราบว่า มีข้อจำกัดในการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในไอศกรีมคือ การใช้ในปริมาณสูงอาจไม่มีผลต่อการลดขนาดผลึกน้ำแข็ง

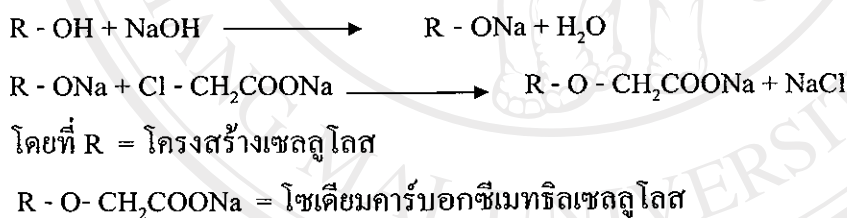
โลคัสบีนกัม (locust bean gum) มาจากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดต้นคารอบ (carob tree) ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ceratonia siliqua* โครงสร้างของกัมชนิดนี้เป็นโพลีเมอร์ กาแลคโทแมนแนนที่มีน้ำตาลดี-แมนโนสต่อกันด้วยพันธะเบต้า (1-4) กลูโคสิดิกและมีแขนงแยกเป็นน้ำตาลดี-กาแลคโตส โมเลกุลเดียวต่อกันด้วยพันธะ (1-6) กลูโคสิดิก โดยอัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อกาแลคโตสเป็น 4 ต่อ 1 มีน้ำหนักโมเลกุล 310,000 โลคัสบีนกัมต้องให้ความร้อนช่วยในการละลาย เป็นสารให้ความหนืด แต่ไม่เกิดเจล สารละลายจะมีสีขุ่นเนื่องจากมีโปรตีนและเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบอยู่เล็กน้อย มีความทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในช่วงพีเอช 3 - 11 โลคัสบีนกัมผสมกับการเจี้นและวุ้นจะทำให้เกิดเจล และป้องกันการแยกตัวของน้ำ (syneresis) นิยมใช้ในไอศกรีม เพราะ มีสมบัติในการคูดน้ำ และพองตัวได้ดีทำให้ไอศกรีมมีสมบัติการละลายที่ดี ป้องกันการเกิด heat shock (Kloes และ Glicksman, 1983) ปริมาณการใช้โลคัสบีนกัมในไอศกรีมอยู่ในช่วง 0.1 - 0.3 % ของน้ำหนักส่วนผสมไอศกรีม (Arbuckle, 1986)

กัวร์กัม (guar gum) ได้จากเมล็ดของต้นกัวร์ ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่ว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cyamopsis tetragonolobus* กัวร์กัม มีลักษณะคล้าย โลคัสบีนกัม โครงสร้างของกัวร์กัมประกอบด้วยโมเลกุลสายตรงของ ดี - แมนโนสที่ต่อกันด้วยพันธะเบต้า (1-4) และมีแขนงของ ดี - กาแลคโตสหนึ่งโมเลกุลต่อทุก ๆ 2 โมเลกุลของน้ำตาล ดี - แมนโนส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา (1-6) ทำให้อัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อการแลคโตสเป็น 2 : 1 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 220,000 - 250,000 กัวร์กัมไม่สามารถเกิดเจลได้แต่สามารถคูดน้ำได้อย่างรวดเร็วในน้ำเย็น สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงและจะให้ความหนืดสูง หลังจากละลาย 2 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะคูดน้ำได้มากขึ้น และมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย ความหนืดของสารละลายกัวร์กัมจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ พีเอช ความเข้มข้น การกวน และปริมาณของกัมที่ใช้ สารละลายกัวร์กัมมีความคงตัวอยู่ในช่วงพีเอช 4 - 10.5 และมีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์เล็กน้อย การใช้กัวร์กัมในไอศกรีมอาศัยคุณสมบัติในการคูดน้ำ และคูดน้ำได้ดี เหมาะกับวิธีการพาสเจอร์ไรซ์แบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (HTST) ป้องกันการเกิด heat shock ในไอศกรีม การใช้กัวร์กัมร่วมกับคาราจีแนนป้องกันการแยกตัวของส่วนผสม ใช้ในปริมาณ 0.2 - 0.3 % ของน้ำหนักส่วนผสมไอศกรีม (Kloes และ Glicksman, 1983)

โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate) มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 32,000 - 200,000 เป็นกัมที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล ได้แก่ สาหร่าย *Macrocystis pyrifera* และ *Laminaria digitata* กรดอัลจินิก (alginic acid) ซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่เมื่ออยู่ในรูปเกลือโซเดียม โปตัสเซียม แอมโมเนีย และโพรไพลีนกลัยคอลเอสเทอร์ (propylene glycol ester) จะละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อน และน้ำเย็น

กรดอัลจินิกประกอบด้วยกรดดี-แมนูโรนิก (D-manuronic acid) และกรดแอล-กูลูโรนิก (L-guluronic acid) ซึ่งกรดทั้ง 2 ชนิดนี้เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1-4 กลูโคสิดิก เป็นโพลิเมอร์ผสมสายตรงซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ ความหนืดของสารละลายที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล สามารถรวมตัวกับโลหะประจุบวก (polyvalent metal cations) สำหรับพีเอชช่วง 4-10 จะไม่มีผลต่อความหนืดของสารละลายอัลจินเนต แต่ถ้าพีเอชต่ำกว่า 4 จะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ถ้าเติมแคลเซียม และโลหะประจุบวกอื่น ๆ ทำให้เกิดเจลได้ อัลจินเนตใช้เป็นสารให้ความคงตัวในไอศกรีม ปริมาณการใช้ 0.3 - 0.4 % ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างการเก็บรักษาในอุณหภูมิผันแปร ทำให้อาหารไอศกรีมเรียบเนียน (Kloes และ Glicksman ,1983) ปริมาณการใช้โซเดียมอัลจินเนตอยู่ในช่วง 0.18 - 0.25 % ของน้ำหนักส่วนผสมไอศกรีม ปรับปรุงความสามารถการขึ้นฟูของไอศกรีม (Arbuckle , 1986)

โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose) รู้จักกันทั่วไปในชื่อ CMC หรือเซลลูโลสกัม (cellulose gum) เป็นสารสังเคราะห์เกิดจากอันตรกิริยา alkali cellulose กับโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท (sodium monochloroacetate) หรือกรดโมโนคลอโรอะซิติก (monochloroacetic acid) ดังสมการ



สารละลาย CMC มีความคงตัวที่พีเอชช่วงกว้าง 5-11 แต่จะให้ค่าความหนืดสูงสุด และมีความคงตัวดีที่พีเอช 7-9 ถ้าพีเอชต่ำกว่า 2-3 ความหนืดของสารละลาย CMC จะลดลงเนื่องจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในรูปกรดอิสระจะตกตะกอน CMC ใช้เป็นสารให้ความคงตัวในไอศกรีม 0.15 - 0.25 % จะให้ body ที่ดี เนื้อสัมผัสแบบ chewy และคุณสมบัติการขึ้นฟูไอศกรีมดีขึ้น ถ้าใช้ CMC ร่วมกับสารให้ความคงตัวชนิดอื่น เช่น ใช้ร่วมกับโกลด์สปีนกัม หรือคาราจีแนน จะเพิ่มประสิทธิภาพ มีการแนะนำให้ใช้ CMC 12 ส่วน ผสมกับคาราจีแนน 1 ส่วน ( Kloes และ Glicksman ,1983 ) CMC เป็นชื่อทางการค้าของโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำสูง สามารถละลายได้ในน้ำเย็น สามารถใช้ร่วมกับคาราจีแนน โกลด์สปีนกัม หรือกัวร์กัมทำให้อาหารไอศกรีมเรียบเนียน ปริมาณการใช้ 0.05 - 0.20 % ของน้ำหนักส่วนผสมไอศกรีม ( Arbuckle , 1986 )



แซนแทนกัม ( xanthan gum ) เป็นกัมที่ผลิตโดยแบคทีเรีย คือ *Xanthomonas campestris* สูตรโครงสร้างประกอบด้วย ดี-กลูโคส ดี-แมนโนส และกรดดี-กลูคูโรนิก ในอัตราส่วน 2.8 : 3 : 2 มีหมู่อะซิทิลประมาณ ร้อยละ 4.7 และกรดไพรูวิกประมาณร้อยละ 3-3.5 โดยมีกลูโคสต่อกับแมนโนสเป็นเส้นตรงยาวด้วยพันธะเบต้า (1-4) และสายแขนงต่อกับแมนโนส และกลูโคส (Klose และ Glicksman , 1983) แซนแทนกัมนิยมใช้ในอาหาร เพราะละลายได้ดีทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายมีความหนืดสูงถึงแม้จะมีความเข้มข้นต่ำ ความหนืดของสารละลายแซนแทนกัมจะคงตัวไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เช่นที่อุณหภูมิ 5-70 °ซ หรือพีเอชเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างก็ตาม เช่นในน้ำสลัดมีพีเอช 3.5 นอกจากนั้นสารละลายแซนแทนกัมยังมี คุณสมบัติเป็นซูโคพลาสติก ซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่นรส ลักษณะปรากฏ และความรู้สึกเมื่ออาหารอยู่ในปาก (mouthfeel) แซนแทนกัมเป็นสารให้ความคงตัวใน ไอศกรีม สารเพิ่มความข้นหนืด ในอาหารพวกซूप ซอสชนิดต่าง ๆ น้ำสลัด เป็นต้น แซนแทนกัม ใช้ในไอศกรีมปริมาณ 0.2 % ป้องกันการเกิด heat shock ปรับปรุงเนื้อสัมผัส ไอศกรีมให้ดีขึ้น และทำให้ mouthfeel ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการใช้กัมชนิดอื่น ๆ ร่วมกับแซนแทนกัม เช่น กัวร์กัม โลคัสปินกัม คาราจีแนน คาร์บอออกซิเมทิลเซลลูโลส ในการผลิตไอศกรีม (Nussinovitch , 1997)

คาราจีแนน (carrageenan) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดมาจากสาหร่าย (*Chondrus crispus*, *Gigartina stellata* ) และบางสปีชีส์ของสาหร่ายสีแดง คาราจีแนนแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ได้แก่ แคปปา (kappa) ไอโอตา (iota) และแลมดา (lambda) ชนิด แคปปา- และไอโอตา-คาราจีแนน มีคุณสมบัติการเกิดเจลได้เมื่อเติมโปตัสเซียมไอออน ส่วนแลมดา-คาราจีแนนเกิดเจลไม่ได้ คาราจีแนนสามารถละลายน้ำได้ แต่ถ้าต้ม 50 - 80 °ซ จะละลายดีขึ้น ความหนืดของสารละลายคาราจีแนนขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้น อุณหภูมิ ชนิดของสาหร่ายที่สกัดมาทำคาราจีแนน น้ำหนักโมเลกุล และอนุพลไลหะ ถ้ามีอนุพลไลหะ เช่น โปตัสเซียม แคลเซียม แอมโมเนียม เนื่องจากคาราจีแนนสามารถเกิดเจลกับโปตัสเซียมไอออน ปกติจะใช้โปตัสเซียมคลอไรด์ 0.2 % ต้มที่อุณหภูมิ 45 - 55 °ซ ลักษณะเจลของคาราจีแนนที่มีการยึดหยุ่นไม่ดีนั้นอาจแก้ไขโดยการใส่สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ๆ ร่วมกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งโลคัสปินกัม ซึ่งจะมีส่วนช่วยลดการเกิดซินเนอริสิส (syneresis) ลงด้วย โดยทั่ว ๆ ไปเจลของสารละลายคาราจีแนนจะคงตัวในช่วงพีเอชที่กว้าง ที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง แต่จะมีการสลายตัวอย่างรวดเร็วที่พีเอชต่ำและอุณหภูมิสูง คุณสมบัติที่สำคัญของคาราจีแนนคือการทำปฏิกิริยาได้อย่างดีกับโปรตีนบางชนิด โดยเฉพาะทำปฏิกิริยากับโปรตีนนม (เคซีน) จึงได้ใช้คาราจีแนนช่วยให้โกโก้ในน้ำนมแขวนลอยอยู่ได้ โดยใช้คาราจีแนนในปริมาณ 0.025 % คาราจีแนนใช้เป็นสารให้ความคงตัว 0.03 % ในการใช้ร่วมกับ

สารให้ความคงตัวชนิดอื่น โดยจะป้องกันการแยกตัวของเวย์ในไอศกรีม มีการแนะนำให้ใช้คาราจีแนน ร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โลกัสปีนัมหรือกัวร์กัม เช่น คาราจีแนน 1 ส่วน ผสมกับกัวร์กัม 5.5 ส่วน หรือคาราจีแนน 1 ส่วน ผสมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 1-12 ส่วน เป็นต้น (Klose และ Glicksman , 1983)

แคลปา-คาราจีแนนละลายได้ในน้ำนมอุ่น ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 °ซ ทำให้เกิดเจลลักษณะ เปราะ และเกิดการแยกน้ำ (syneresis) ดังนั้นจึงมักใช้ร่วมกับสารให้ความคงตัวอื่น เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ เช่น ใช้ร่วมกับโลกัสปีนัม ทำให้เจลยืดหยุ่นได้ดีและป้องกันการแยกน้ำ ไอโอดา-คาราจีแนนจะละลายในน้ำนมอุ่นที่อุณหภูมิ 55 °ซ ให้เจลที่มีความยืดหยุ่น โดยไม่มีการแยกน้ำ แลเมดา-คาราจีแนน สามารถละลายได้ในน้ำเย็น และใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด แคลปา- และไอโอดา-คาราจีแนน ในสภาพอิเล็กโทรไลต์ สามารถทำปฏิกิริยากับเคซีนเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ ป้องกันการแยกตัวของเวย์ในไอศกรีม ในเวลาการทำงานจะไม่ใช้คาราจีแนนชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ แต่จะผสมกันหรือผสมกับสารให้ความคงตัวอื่น ปริมาณการใช้ในไอศกรีมอยู่ในช่วง 0.02 - 0.15 % ของน้ำหนักส่วนผสมไอศกรีม (Marshall และ Arbuckle , 1996)

**อิมัลซิไฟเออร์** เป็นสารที่ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะแห้ง (dryness) ลดระยะเวลาในการตีขึ้นฟูของไอศกรีม ทำให้ฟองอากาศมีขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ทั่วไปในโครงสร้างไอศกรีม ควบคุมความไม่คงตัวของไขมัน (fat destabilization) ป้องกันการหดตัว (shrinkage) อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีม คือ 1. กลีเซอรอลเอสเทอร์ เช่น โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) หรือ โมโนเอซิลกลีเซอรอล ( กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต ) และ ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) ซึ่งอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือรวมกันทั้งสองชนิด ปริมาณการใช้ไม่เกิน 0.2 % ต่อน้ำหนัก จะช่วยรักษาอิมัลชัน และเพิ่มความสามารถในการขึ้นฟู (whipping ability) ของไอศกรีม 2. polyoxyethylene derivatives ของ hexahydric alcohols , glycol และ glycol ester จะช่วยให้ไอศกรีมละลายช้าลง และทำให้ไอศกรีมมีผิวแห้ง เนื้อสัมผัสเรียบเนียนเมื่อนำออกจากตู้แช่แข็ง อิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นที่มีการนำมาใช้ เช่น ซอร์บิแทนไตรสเตียเรต (sorbitan tristearate) และ โมโนโอเลอเทต (monooleate) ปริมาณการใช้ไม่เกิน 0.1 % ( Marshall และ Arbuckle , 1996 )

Baer *et al.*, (1997) ได้ศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีมไขมันต่ำ 2 % โดยใช้สารให้ความคงตัวโลกัสปีนัมผสมกับกัวร์กัม และคาราจีแนน 0.3 % อิมัลซิไฟเออร์ 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ โพลีซอร์เบต 80 ผสมกับ โมโนและ ไดกลีเซอไรด์ในอัตราส่วน 80 : 20 ที่

ความเข้มข้น 0.12 % , 0.17 % และ 0.22 % อิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ 2 คือ เลซิทินที่ความเข้มข้น 0.06 % , 0.10% และ 0.14 % อิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ 3 ประกอบด้วยแอลฟาโมโนกลีเซอไรด์ 40 % ผสมกับ ไดกลีเซอไรด์ 60 % ที่ความเข้มข้น 0.15 % , 0.20 % และ 0.25 % อิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ 4 ประกอบด้วยแอลฟาโมโนกลีเซอไรด์ 70 % ผสมกับ ไดกลีเซอไรด์ 30 % ที่ความเข้มข้น 0.15 % , 0.20 % และ 0.25 % พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ในสูตรไอศกรีม ความหนืดของไอศกรีมเพิ่มขึ้น และช่วยลดขนาดผลึกน้ำแข็งในเนื้อไอศกรีม การผันแปรชนิด และปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ไม่ทำให้ความเรียบเนียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไอศกรีมสูตรควบคุมที่ไม่ใช้อิมัลซิไฟเออร์ จะมีขนาดผลึกน้ำแข็งเฉลี่ย 86.1 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าทุกทริทเมนต์ ทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมหยาบกว่า ( $P \leq 0.05$ ) อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในไอศกรีมสามารถปรับปรุงรูปร่าง และเนื้อสัมผัสของไอศกรีมไขมันต่ำให้ดีขึ้นได้

Baer *et al.*, (1999) ได้ทดลองใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ 1 ประกอบด้วย แอลฟา-โมโนกลีเซอไรด์ 52 % และไดกลีเซอไรด์ของไขมันพืช 48 % อิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ 2 ประกอบด้วย แอลฟา-โมโนกลีเซอไรด์ 72 % และไดกลีเซอไรด์ของไขมันพืช 28 % ที่ความเข้มข้น 0.15 % , 0.20 % และ 0.25 % พบว่า ค่าเฉลี่ยผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กกว่า ( $P \leq 0.05$ ) และมีค่าอยู่ระหว่าง 77.3 - 82.1 ไมโครเมตร เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่ใช้อิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 91.4 - 96.6 ไมโครเมตร การเติมอิมัลซิไฟเออร์จะช่วยชะลอการโตของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม อิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้เซลล์อากาศมีขนาดเล็กลง และกระจายตัวที่ดี และโฟมมีความคงตัวได้ดี อิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้ไขมันเกิดความไม่คงตัว (fat destabilization) ซึ่งทำให้เกิดชั้นบาง ๆ ระหว่างเซลล์อากาศที่สามารถขึ้นฟูได้ โมโนกลีเซอไรด์เป็นสารทำให้เกิดโฟมได้ดีกว่าโพลีซอร์เบต และเป็นสารที่ทำให้เกิดความไม่คงตัวของไขมันได้มากกว่า สารที่ทำให้เกิดโฟมจะทำให้เกิดชั้นบาง ๆ ระหว่างเซลล์อากาศ ดังนั้นความเข้มข้นของเฟสที่ยังไม่แข็งตัวในชั้นบางเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวในเฟสที่ยังไม่แข็งตัวจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ได้น้อยลง และช่วยชะลอการโตของผลึกน้ำแข็งด้วย ดังนั้นอิมัลซิไฟเออร์ไปช่วยสารให้ความคงตัวให้ควบคุมขนาดผลึกน้ำแข็ง อิมัลซิไฟเออร์ช่วยลดความไม่คงตัวของไขมันไว้ที่ผิวเซลล์อากาศหรือในส่วนที่ไม่มีไขมัน อิมัลซิไฟเออร์ดูดซับที่ผิวเซลล์อากาศแทนที่โปรตีน ทำให้โปรตีนไปจับกับน้ำได้มากขึ้น และทำให้น้ำอิสระที่จะแข็งตัวมีน้อยลง ปริมาณน้ำที่รวมตัวกับโปรตีนไม่แน่นอน เพราะว่าโปรตีนสามารถจับกับน้ำ และอากาศได้

**น้ำ** เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดใไอศกรีม ไอศกรีมแทบทุกชนิดมีน้ำประมาณ 60 - 70 % โดยน้ำหนัก น้ำที่ใช้ในการทำไอศกรีมควรมีคุณภาพดี สะอาด ไม่มีสิ่งสกปรก ปนเปื้อน น้ำเป็นตัวทำลายส่วนผสมแห้งต่าง ๆ เช่น หางนมผง น้ำตาล บางครั้งน้ำได้มาจาก น้ํานม น้ำเชื่อม คริม เป็นต้น

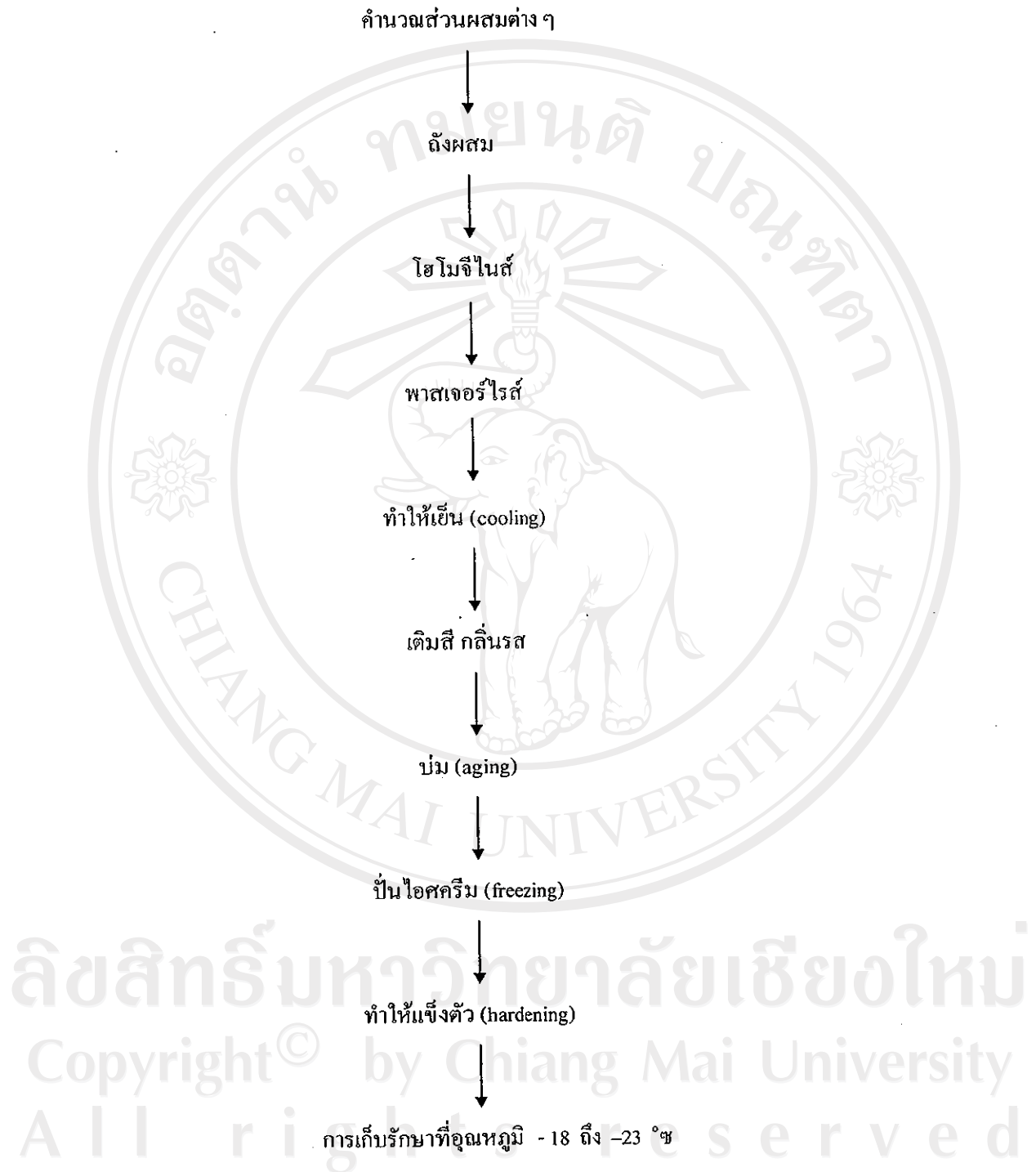
**อากาศ** หมายถึง ปริมาตรของอากาศในเนื้อไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นขณะตีปั่น ไอศกรีมให้แข็ง ปริมาตรของอากาศในเนื้อไอศกรีมนี้มีผลต่อความยากง่ายในการตักไอศกรีม และถ้าไอศกรีมสามารถเก็บอากาศได้มากจะช่วยให้ปริมาตรของไอศกรีมที่ผลิตได้เพิ่มมากขึ้นด้วย ขณะที่ Marshall และ Arbuckle (1996) รายงานว่า โอเวอร์รันที่เพิ่มขึ้นของไอศกรีมจะทำให้ไอศกรีมที่ได้ตักง่ายขึ้น ลดความเย็นจัด และต้นทุนการผลิตลดลง

**กลี้นรส** ที่ใช้ปรุงแต่งกลี้นรสไอศกรีมเป็นกลี้นสังเคราะห์ทางเคมี ซึ่งละลายในแอลกอฮอล์มีหลายกลี้นด้วยกันเช่น กลี้นกาแฟ กลี้นโกโก้ กลี้นสตรอเบอรี่ และกลี้นวานิลาเป็นต้น กลี้นรสเป็นลักษณะสำคัญที่สุดของไอศกรีม กลี้นรสของไอศกรีมเป็นการผสมกลี้นรสทั้งหมดของไอศกรีม ลักษณะที่สำคัญ 2 ประการของกลี้นรส คือ ชนิด และความแรง กลี้นรสที่อ่อนสามารถใช้ผสมได้ง่ายกว่า แม้ใช้ปริมาณที่มากก็จะไม่ทำให้เกิดกลี้นรสที่ไม่ดีได้ แต่กลี้นรสที่แรงใช้ผสมยาก แม้ใช้ปริมาณน้อยก็อาจทำให้เกิดกลี้นรสที่ไม่ดีได้ การใช้กลี้นรสควรใช้พอประมาณเพื่อให้รับรู้ได้ (Arbuckle , 1986 )

**สี** เป็นสีประเภทผสมอาหารที่กฎหมายอนุญาตให้ใช้ได้ ไอศกรีมมักจะเจือสีสร้างความน่ารับประทาน ไอศกรีมควรใช้สีอ่อน สีที่ดึงดูดผู้บริโภค สีเข้มเกินไปไม่เป็นที่นิยม และใช้สีที่เหมาะสมกับกลี้นรสของไอศกรีม เช่น ไอศกรีมวานิลาเติมสีเหลืองอ่อน เพื่อให้เห็นสีเหลืองของครีม ไอศกรีมผลไม้เติมสีสังเคราะห์ลงไป เพราะ ผลไม้ให้สีไม่เพียงพอ เช่น ไอศกรีมรสส้มเติมสีส้มลงไป ไอศกรีมช็อคโกแลตจะไม่เติมสีเนื่องจากมีผงโกโก้อยู่แล้ว (Arbuckle , 1986)

Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

### 2.1.2 กรรมวิธีการผลิตไอศกรีม



รูป 2.2 ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม

ที่มา : Marshall และ Arbuckle (1996)

**คำนวณส่วนผสมไอศกรีม** การคำนวณส่วนผสมของไอศกรีมมีความสำคัญมากจะช่วยให้ได้สูตรไอศกรีมที่สมดุล ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ ราคาของไอศกรีมไม่สูงเกินไป และ ทำให้ไอศกรีมที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานกฎหมายกำหนด (Arbuckle , 1986)

ตัวอย่างการคำนวณไอศกรีมนม (สูตรควบคุม) จากส่วนผสม 100 กรัม  
วัตถุดิบ

นมผงพร้อมมันเนย (whole milk powder) fat 26 % , solid not fat (snf) 72%

ที่มา : ยี่ห้อ Tatura Brand Product of Australia

เนยสด มีองค์ประกอบดังนี้ นมผงขาดมันเนย 2 % , ไขมัน 82 %

ที่มา : เนยสดตรากล้วยไม้ชนิดจืด

นมผงขาดมันเนย มี solid not fat 97 % (Marshall และ Arbuckle ,1996)

ต้องการทำไอศกรีมนมให้มีส่วนประกอบดังนี้

fat	10 %
solid not fat	11 %
น้ำตาล	13 %
สารให้ความคงตัว	0.2%
อิมัลซิไฟเออร์	0.2 %
กลิ่นวานิลลา	0.2 %

ที่มา : ( Marshall และ Arbuckle ,1996 )

วิธีทำ                   เนยสด 100 กรัม มีนมผงขาดมันเนย 2 กรัม

นมผงขาดมันเนย 100 กรัม มี snf 97 กรัม

นมผงขาดมันเนย 2 กรัม   มี snf  $\frac{2 \times 97}{100}$  กรัม

จะได้เนยสด 100 กรัม มี snf = 1.94 กรัม

ทำไอศกรีมนม 100 กรัม

สมมุติใช้นมผงพร้อมมันเนย = a กรัม

เนยสด = b กรัม

$$\text{คิดจาก snf จะได้ } \frac{72 a}{100} + \frac{1.94 b}{100} = \frac{11 \times 100}{100}$$

$$\text{คิดจาก fat จะได้ } \frac{26 a}{100} + \frac{82 b}{100} = \frac{10 \times 100}{100}$$

เพราะฉะนั้นจะได้นมผงพร้อมมันเนย (a) = 15.078 กรัม

เพราะฉะนั้นจะได้เนยสด (b) = 7.414 กรัม

สารให้ความคงตัว (LBG) = 0.2 กรัม

อิมัลซิไฟเออร์ (GMS) = 0.2 กรัม

กลีคนวานิลา = 0.2 กรัม

น้ำตาลทราย = 13 กรัม

น้ำ = 63.907 กรัม

รวมทั้งหมด = 100 กรัม

ตาราง 2.3 การคำนวณส่วนประกอบของสูตรไอศกรีมนม

วัตถุดิบ	น้ำหนัก (กรัม)	% ไขมัน	% MSNF	% น้ำตาล	% ของแข็งทั้งหมด
นมผงพร้อมมันเนย	15.078	3.9202	10.8516	-	14.7764
เนยสด	7.4143	6.0797	0.1438	-	6.2235
น้ำตาลทราย	13	-	-	13	13
กลีคนวานิลา	0.2	-	-	-	-
สารให้ความคงตัว	0.2	-	-	-	0.2
อิมัลซิไฟเออร์	0.2	-	-	-	0.2
น้ำ	63.9077	-	-	-	-
รวม	100	9.9999	10.9999	13	34.3999

จากตาราง 2.3 และวิธีการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน

**การผสมส่วนผสมไอศกรีม** ส่วนผสมที่เป็นของเหลว เช่น ครีม นำนม นมข้น น้ำเชื่อม เกลงในถัง ให้ความร้อนแล้วกวนส่วนผสมไปเรื่อย ๆ พออุณหภูมิสูงถึง 49 °ซ จึงค่อยเติมส่วนผสมที่เป็นของแข็ง เช่น ของแข็งไม่รวมไขมัน ไข่ผง โกโก้ น้ำตาล สารให้ความคงตัว และอื่น ๆ วิธีป้องกันส่วนผสมที่เป็นของแข็งจับตัวเป็นก้อนทำได้โดยผสมส่วนผสมของแข็งทั้งหมดเข้ากับน้ำตาล ก่อนนำไปผสมกับของเหลวอย่างช้า ๆ พร้อมกับกวนไปเรื่อย ๆ หรือร้อนส่วนผสมของแข็งเช่น ของแข็งไม่รวมไขมัน โกโก้ ด้วยตะแกรงลงไปอย่างช้า ๆ ในของเหลวซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า 27 °ซ พร้อมกับกวนตลอดเวลา ถ้าใช้เจลาตินเป็นสารให้ความคงตัว ควรผสมเจลาตินเข้ากับน้ำตาลในปริมาณเท่ากัน แล้วจึงเติมลงในส่วนผสมของเหลวก่อนที่อุณหภูมิจะสูงถึง 49 °ซ หรือผสมเจลาตินในน้ำอุ่นจนละลายได้หมด ก่อนผสมลงในของเหลวที่อุณหภูมิ 38-49 °ซ ส่วนโซเดียมอัลจินเตเติมลงในส่วนผสมของเหลวที่อุณหภูมิ 66 °ซ หรือผสมในน้ำเย็น แล้วเทลงในของเหลวที่ร้อนทันที เหนยสด ครีมแช่แข็ง หรือผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่จะใช้ในส่วนผสมไอศกรีมควรตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ การเติมสี และกลิ่นจะเติมในขั้นตอนการปั่นไอศกรีมให้แข็งตัว (Arbuckle, 1986)

**การพาสเจอร์ไรส์** การพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมไอศกรีมเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ทำให้ส่วนผสมที่เป็นของแข็งละลาย ช่วยให้ไขมันละลาย และลดความหนืด ปรับปรุงเรื่องกลิ่นรส ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา วิธีการพาสเจอร์ไรส์ที่เหมาะสมควรให้ความร้อนอย่างรวดเร็วเพื่อให้ถึงอุณหภูมิที่กำหนด และคงไว้ที่ ณ อุณหภูมิที่กำหนด และตามเวลาที่ต้องการแล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °ซ วิธีการพาสเจอร์ไรส์สามารถเลือกใช้อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันตามวิธีการดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 เวลาและอุณหภูมิสำหรับวิธีการพาสเจอร์ไรส์ไอศกรีมแบบต่างๆ

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 shorter-time , UHT คือ ultra high temperature

ที่มา : Marshall และ Arbuckle (1996)



ควรเลือกใช้วิธีการพาสเจอร์ไรส์แบบอุณหภูมิสูง ( higher heat treatment) และแบบระบบต่อเนื่อง ในการผลิตไอศกรีม เพราะ แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคถูกทำลาย ลดจำนวนการใช้สารให้ความคงตัว ปรับปรุง body และเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า เพราะ โปรตีนสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น ด้านการเกิด oxidation ประหยัดเวลา แรงงาน และสถานที่ ทำความสะอาดด้วยระบบ CIP ได้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต (Marshall และ Arbuckle , 1996)

**การโฮโมจีไนส์** ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ซึ่งจะป้องกันการแยกชั้นของครีมแล้วยังช่วยให้ไอศกรีมมีคุณภาพสม่ำเสมอ มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ปรับปรุงความสามารถในการขึ้นฟูให้ดีขึ้น ใช้เวลาการบ่มให้สั้นลง ลดโอกาสการเกิด churning ขณะตีปั่นไอศกรีม และลดการใช้สารให้ความคงตัวน้อยลง ในการโฮโมจีไนส์มักจะทำที่อุณหภูมิ 63-77 °ซ เพราะที่อุณหภูมิต่ำ (49-54 °ซ) จะทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของเม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น และต้องใช้เวลานานในการตีปั่นไอศกรีม (freezing time) ส่วนผสมที่พาสเจอร์ไรส์แล้วจะถูกทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 66 °ซ เพื่อโฮโมจีไนส์ต่อไปซึ่งสามารถลดการเกิดกลิ่นคั่วได้ (cooked flavor) (Arbuckle , 1986) ความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์ขึ้นอยู่กับความหนืด ลักษณะของส่วนผสม ความคงตัวของส่วนผสม อุณหภูมิที่ใช้ และเครื่องโฮโมจีไนส์ นอกจากนี้ไขมันในส่วนผสมก็ยังมีผลต่อความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์ดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 ความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์ไอศกรีมที่ปริมาณไขมันต่าง ๆ

ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ขั้นตอนเดียว (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<sup>2</sup> เท่ากับ 6.895 X 10<sup>-3</sup> Mpa

ที่มา : Marshall และ Arbuckle (1996)

Schmidt และ Smith (1988) พบว่า ส่วนผสมไอศกรีมที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนส์มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า เนื่องจากการโฮโมจิไนส์ ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง ทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมเรียบเนียน การละลายช้าลง กลิ่นรสของไอศกรีมถูกปลดปล่อยออกมาช้ากว่า และได้เสนอความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนส์ แบบ 2 ขั้นตอน คือ ความดันวาล์วแรก เท่ากับ  $140.74 - 175.92 \text{ kg / cm}^2$  ( 2,000 - 2,500 psi ) และ วาล์วที่สอง เท่ากับ  $35.18 \text{ kg / cm}^2$  ( 500 psi )

**การทำให้เย็น** หลังจากการพาสเจอร์ไรส์ และโฮโมจิไนส์จะนำส่วนผสมไอศกรีมมาทำให้เย็นทันทีที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  เพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้ความชื้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น (Arbuckle , 1986)

**การบ่ม (aging) ส่วนผสมไอศกรีม** ทำการบ่มที่อุณหภูมิไม่เกิน  $4^{\circ}\text{C}$  ณ อุณหภูมินี้ เชื้อจุลินทรีย์จะไม่เพิ่มปริมาณซึ่งขณะบ่มส่วนผสมไอศกรีมจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ เม็ดไขมันในส่วนผสมจะกลายเป็นไขมันแข็ง ถ้าใช้เจลาตินเป็นสารให้ความคงตัวจะพองตัวและรวมตัวกับน้ำ โปรตีนในของผสมเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้น ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนละลายช้า และคุณสมบัติการขึ้นฟูดีขึ้น เวลาที่ใช้ในการบ่มโดยทั่วไปคือ 24 ชั่วโมง แต่ในทางการค้าจะใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง การใช้เวลาบ่มนานก็จะยิ่งให้ผลดีกับของผสมที่มีไขมันสูง (Arbuckle , 1986)

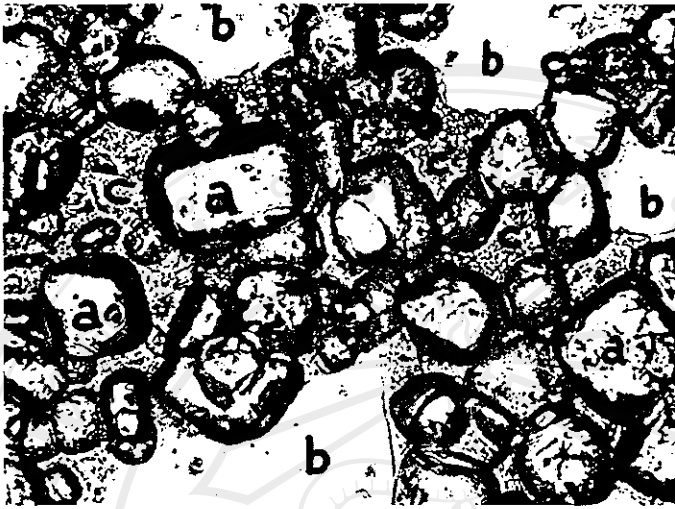
**การปั่นไอศกรีม (freezing)** ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในกระบวนการผลิตไอศกรีม เพราะมีผลต่อคุณภาพ และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ การปั่นไอศกรีมมีขั้นตอนดังนี้ ส่วนผสมของไอศกรีมที่ผ่านการบ่ม เติมน้ำ และกลิ่นรสตามต้องการแล้วจะถูกทำให้แข็งตัวอย่างรวดเร็ว พร้อมกับ การกวนเติมอากาศตลอดเวลาเพื่อทำให้น้ำกลายเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก จะได้เนื้อสัมผัสเรียบเนียน สามารถอุ้มอากาศได้ดี เมื่อส่วนผสมถูกทำให้แข็งตัวบางส่วนที่อุณหภูมิ  $-5^{\circ}\text{C}$  น้ำในส่วนผสมกลายเป็นผลึกน้ำแข็งคิดเป็น 47 % ของน้ำทั้งหมด ดังตาราง 2.6 ( Arbuckle , 1986 )

ตาราง 2.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่แข็งตัวในไอศกรีมที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°ฟ) / (°ซ)	น้ำแข็งตัว (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิ (°ฟ) / (°ซ)	น้ำแข็งตัว (เปอร์เซ็นต์)
25 / -3.9	33	20 / -6.7	59
24 / -4.4	41	19 / -7.2	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)

จากตาราง 2.6 ถ้าอุณหภูมิของไอศกรีมขณะตีปั่นอยู่ในช่วง - 3.9 ถึง - 8.3 °ซ ปริมาณน้ำที่แข็งตัวในไอศกรีมจะอยู่ในช่วง 33 – 67 % ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีปริมาณอากาศตามต้องการ แต่ปริมาณผลึกน้ำแข็งยังไม่เพียงพอต้องนำไปแช่แข็งต่อไป (Marshall และ Arbuckle , 1996) ในช่วงการตีปั่นไอศกรีมนอกจากเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็ง ยังเป็นขั้นตอนให้อากาศเข้าไปผสมในผลิตภัณฑ์ด้วย การตีปั่นจะสิ้นสุดลงเมื่อไอศกรีมมีปริมาณอากาศ และผลึกน้ำแข็งที่มากเพียงพอ โครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีมค่อนข้างจะซับซ้อนดังแสดงในรูป 2.3 จะเห็นว่ามีเซลล์อากาศและผลึกน้ำแข็งกระจายอยู่ในส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัว โดยผลึกน้ำแข็งมีขนาดเฉลี่ย 45 - 55 ไมโครเมตร ระยะทางระหว่างผลึกน้ำแข็งกับผลึกน้ำแข็ง หรือเซลล์อากาศมีระยะทางเฉลี่ย 6 - 8 ไมโครเมตร ส่วนเซลล์อากาศมีขนาดเฉลี่ย 110 - 185 ไมโครเมตร ระยะทางระหว่างเซลล์อากาศ 100 - 150 ไมโครเมตร สำหรับส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัวที่อยู่ระหว่างผลึกน้ำแข็ง และเซลล์อากาศนั้นเรียกว่า ลามลลา (lamella) ส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัวนั้น ประกอบไปด้วย อนุภาคไขมันแข็งตัว , โปรตีน , นม , ผลึกแลคโตส , เกลือ , สารให้ความคงตัว , อิมัลซิไฟเออร์ และสารให้ความหวาน เป็นต้น การที่ไอศกรีมประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว ของแข็ง และอากาศ จึงกล่าวได้ว่าไอศกรีมมีลักษณะเป็นระบบ 3 เฟส ( three-phase system ) ( Arbuckle , 1986 )



รูป 2.3 โครงสร้างภายในไอศกรีม (a) ผลึกน้ำแข็ง (b) ฟองอากาศ (c) ส่วนของเหลวที่ไม่แข็งตัว  
ที่มา : Arbuckle (1986)

การตีปั่นไอศกรีมหากใช้เวลาเร็วเท่าไร จะได้ผลิตภัณฑ์เรียบเนียน เพราะผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็ก และเกิดขึ้นได้เร็ว เวลาการตีปั่น และอุณหภูมิขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปั่นไอศกรีมดังตาราง 2.7

ตาราง 2.7 อุณหภูมิและเวลาการปั่นไอศกรีม

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 % ในช่วงไอศกรีมออกจากเครื่องปั่นไอศกรีมแล้วเพิ่มเป็น 75 – 80 % ในช่วงการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว อุณหภูมิการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว คือที่อุณหภูมิใจกลางของไอศกรีมในภาชนะบรรจุอยู่ที่  $-18^{\circ}\text{C}$  หรือต่ำกว่า ที่นิยมใช้คืออุณหภูมิใจกลางของไอศกรีมอยู่ที่  $-25^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-30^{\circ}\text{C}$  ยิ่งเวลาของการทำให้ไอศกรีมแข็งตัวเร็วขึ้น ไอศกรีมที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน (Marshall และ Arbuckle , 1996)

**การเก็บรักษา** หลังจากไอศกรีมผ่านขั้นตอนการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว ใช้เวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ไอศกรีมสามารถออกจำหน่ายได้ทันที หรือเก็บรักษาไว้ 1-2 อาทิตย์ โดยอุณหภูมิห้องเก็บรักษาอยู่ในช่วง  $-18^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-23^{\circ}\text{C}$  (Arbuckle , 1986)

### 2.1.3 ข้อบกพร่องของไอศกรีม

**ข้อบกพร่องทางด้านกลิ่นรส (flavor defects)** เกิดจาก

1. การใช้ผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งมีกลิ่นรสผิดปกติ เช่น กลิ่นหืน กลิ่นบูด กลิ่นรสเปรี้ยว หรืออาจเกิดจากการใช้ถังผสมที่ล้างไม่สะอาด มีกลิ่นติดมา
2. การใช้สารให้ความหวานใน ไอศกรีมมากหรือน้อยเกินไป ทำให้รสชาติไม่ดี
3. การใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสมากหรือน้อยเกินไป เช่น ใส่กลิ่นวานิลามากเกินไป หรือใช้ชนิดที่มีกลิ่นแตกต่างจากปกติ ไม่ตรงกับลักษณะไอศกรีมที่ผลิต ทำให้เกิดกลิ่นรสไม่เป็นธรรมชาติ
4. กลิ่นต้ม (cooked flavor) ซึ่งกลิ่นต้มมีสาเหตุมาจากผลิตภัณฑ์ผ่านอุณหภูมิที่สูงเกินไป เนื่องจากการใช้ความร้อนของผลิตภัณฑ์
5. กลิ่นไข่ (egg flavor) มีสาเหตุมาจากการใส่ไข่ในส่วนผสมมากเกินไป
6. กลิ่นอับ สาเหตุจากการเก็บไอศกรีมนานเกินไป

### ข้อบกพร่องทางด้าน body

1. Crumbly เป็นลักษณะไอศกรีมที่ไม่จับหรือรวมตัวเป็นก้อน ร่วนไม่แข็ง อาจมีสาเหตุมาจากการที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำเกินไป การใช้สารให้ความคงตัวน้อยเกินไป โอเวอร์รันมากเกินไป เซลล์อากาศมีขนาดใหญ่เกินไป หรือความไม่สมบูรณ์ของการโฮโมจิไนส์
2. Soggy ไอศกรีมที่มีลักษณะเปียกและ เนื่องจากมีโอเวอร์รันน้อยเกินไป หรือการมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากเกินไป ปริมาณน้ำตาลมากเกินไป หรือการใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไป
3. Weak เป็น ไอศกรีมที่มีลักษณะขาดความแน่น (firmness) เนื่องจากปริมาณส่วนที่เป็นของแข็งในไอศกรีมน้อยเกินไป
4. Heavy เนื้อไอศกรีมแน่นหนัก
5. Shrinkage ไอศกรีมเกิดการหดตัวหรือยุบตัว เมื่อเซลล์อากาศแตกจะทำให้ไอศกรีมหดตัวซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุดังนี้ มีโอเวอร์รันมากเกินไป ปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำไป เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องเก็บรักษา (fluctuation)

### ข้อบกพร่องทางด้านเนื้อสัมผัส (texture defect)

1. Coarseness or Iceness เป็นไอศกรีมที่มีผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่หรือขนาดไม่เท่ากัน หรือมีเซลล์อากาศขนาดใหญ่ เนื่องจากมีการใช้สารคงตัวน้อยเกินไป รวมทั้งมีน้ำแข็งละลายไปก่อนที่จะนำไปห้องแช่แข็ง (hardening room)
2. Fluffy เป็นไอศกรีมที่มีลักษณะ โครงสร้างที่เบาเนื่องจากมีอากาศในเนื้อไอศกรีมมากเกินไป
3. Sandiness เป็นไอศกรีมที่มีเนื้อหยาบคล้ายเม็ดทราย เวลารับประทานจะรู้สึกสากลิ้น เนื่องจากการตกผลึกของน้ำตาลแลคโตส มีปริมาณของแข็งไม่รวมไขมันมากเกินไป หรืออุณหภูมิในห้องเก็บแช่แข็งไม่คงที่สม่ำเสมอ (heat shock)
4. ไอศกรีมมีความเหนียวหนืดผิดปกติ (gummy , sticky ) เนื่องมาจากการใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไป

### ข้อบกพร่องทางการละลาย

เกิดจากการที่ไอศกรีมละลายช้าหรือเร็วเกินไป เป็นโฟมหรือมีฟองอากาศขนาดใหญ่ (foamy) เป็นก้อนลิ่ม (curdy) เป็นน้ำ (watery) ลักษณะการละลายที่ดีไอศกรีมควรละลาย และไหลออกจากจุดศูนย์กลางของก้อนไอศกรีม ของเหลวของไอศกรีมที่ละลายแล้วควรมีความเนียน และยังคงความเป็นเนื้อเดียวกันอยู่

### ข้อบกพร่องทางด้านสี (color defects)

เกิดจากการผสมสีไม่เข้ากันดี หรือไม่ได้มาตรฐาน ทำให้สีจางหรือเข้มเกินไป ซึ่งทำให้ขาดความสม่ำเสมอของสีในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ดีควรมีสีเดียวกันสม่ำเสมอ และมีสีใกล้เคียงธรรมชาติของชนิดไอศกรีมนั้น ๆ

### ข้อบกพร่องทางด้านจุลินทรีย์

เกิดจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับส่วนผสม และภาชนะบรรจุ ไอศกรีม ขบวนการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมไอศกรีมไม่ถูกต้อง การควบคุมสุขลักษณะ และความสะอาดของอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ดี (Arbuckle , 1986 ; Marshall และ Arbuckle , 1996)

Tanteeratarum (1993) กัดค้นสูตร ไอศกรีมถั่วเหลืองดังตาราง 2.8

ตาราง 2.8 สูตรไอศกรีมถั่วเหลือง

ส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
นมถั่วเหลือง(ปริมาณของแข็งทั้งหมด 10 %)	56.79
น้ำ	13.65
Corn syrup solids (42 DE)	9.50
น้ำตาลทราย	10.48
น้ำมันมะพร้าว	8.82
กลีคนวานิลลา	0.20
อิมัลซิไฟเออร์	0.20
สารให้ความคงตัว	0.10
เลซิทิน	0.10
เกลือ	0.152
กลีคนเนย	0.008
เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในส่วนผสม	35.239

ที่มา : Tanteeratarum (1993)

Shurtleff และ Aoyagi (1984) ได้แนะนำ สูตรไอศกรีมถั่วเหลืองดังต่อไปนี้ ไขมัน 10 % ของแข็งไม่รวมไขมันของนมถั่วเหลือง 13 % น้ำตาล 13 % สารให้ความคงตัว และอิมัลซิไฟเออร์ 0.50 % และเกลือ 0.15 % ไขมัน เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกคำฝอย สารให้ความคงตัวเช่น โคลด์สปีนกับผสมกับการาจีเนนเล็กน้อย โซเดียมอัลจิเนต เจลาติน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และ กัวร์กัม ปริมาณที่ใช้ 0.2 - 0.3 % ของน้ำหนักส่วนผสม อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้เช่น โมโนกลีเซอไรด์ และ ไดกลีเซอไรด์ ปริมาณที่ใช้ 0.2 % ของน้ำหนักส่วนผสม

Kailasapathy และ Sellepan (1998) ได้ศึกษาไอศกรีมถั่วเหลือง โดยใช้ส่วนผสมดังตาราง 2.9 ใช้สารให้ความคงตัว เช่น กัวร์กัม (GG) โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส(CMC) โคลด์สปีนกับ



(LBG) ปริมาณ 0.2 % และ อัลจิเนต (alginate) 0.25 % และใช้กัลิเซอรอลโมโนสเตียเรต (GMS) 0.45 % เป็นอิมัลซิไฟเออร์ เปรียบเทียบกับสารให้ความคงตัว และอิมัลซิไฟเออร์ทางการค้า (Sherex) ที่มีส่วนผสมของโมโนไดกลีเซอไรด์ LBG GG และ คาราจีแนน 0.7 % (ไม่ใช้ GMS) พบว่า Sherex ให้ความข้นหนืดของส่วนผสมสูงที่สุด (8.88 Pa.s) LBG CMC และ Sherex ให้การตีขึ้นฟูได้ดี โดยมี LBG ให้การตีขึ้นฟูได้ดีที่สุด 58.0 % โดยเฉพาะ Sherex LBG และอัลจิเนต ผู้บริโภคให้การยอมรับที่ดี

ตาราง 2.9 ส่วนผสมของไอศกรีมถั่วเหลือง

ส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
น้ำมันพืช	8.0
น้ำตาล	13.0
กลูโคสไซรัป	10.0
โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	4.0
สารให้ความคงตัว	0.2-0.7
อิมัลซิไฟเออร์	0.45
Soy-tech flavour	0.125
วานิลลา	0.1
น้ำ	64.075 - 64.325

ที่มา : Kailasapathy และ Sellepan (1998)

## 2.2 ถั่วเหลือง (soybean)

มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L.) Merrill เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล *Leguminosae* และ subfamily *Papilionoideae* จัดเป็นพืชดั้งเดิมของคนในแถบเอเชีย เช่น จีน เกาหลี ญี่ปุ่น และไทย ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดถั่วประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) 8 % ส่วนของต้นอ่อน (embryo) 2 % ส่วนที่เป็นเนื้อถั่วที่ใช้รับประทานซึ่งเมื่อนำไปเพาะจะเจริญเติบโตเป็นใบเลี้ยง (cotyledon) 90 % โดยน้ำหนัก (Liu ,1997) ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง แสดงดังตาราง 2.10

ตาราง 2.10 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองโดยประมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

ส่วนของถั่วเหลือง	สัดส่วน (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	เถ้า (%)
เปลือก	8	9	1	8.6	4.3
ไฮโปโคทิล (Hypocotyl axis)	2	41	11	43	4.4
ใบเลี้ยง	90	43	23	29	5.0
ถั่วเหลืองทั้งเมล็ด	100	40	20	35	5.0

ที่มา : Wolf and Cowan cited in Liu (1997)

จากตารางจะพบว่าในเนื้อถั่วเหลืองโดยเฉพาะส่วนของใบเลี้ยงมีปริมาณโปรตีน และไขมัน รวมกันประมาณ 60 % ของน้ำหนักทั้งหมด และเป็นคาร์โบไฮเดรตประมาณ 30 % ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ พันธุ์ ฤดูกาล สถานที่ปลูก ฯลฯ (Liu , 1997)

### 2.2.1 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วเหลือง

**พันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60** รับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรในปี พ.ศ. 2530 เมล็ดมีสีเหลืองผิวมัน ตามเมล็ดมีสีน้ำตาล ลำต้นแข็งแรง ไม่ทอดยอด ดอกสีขาว เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง และเป็นพันธุ์ที่ปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้กว้างขวาง สามารถปลูกให้ผลผลิตสูงทั้งฤดูแล้ง และฤดูฝน มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 90 วัน (เชียรชัย , 2541) ผลผลิต 320 กิโลกรัมต่อไร่ ไขมัน 20.20 % โปรตีน 43.80 % (กรมวิชาการเกษตร , 2539)

ตาราง 2.11 การเปรียบเทียบลักษณะบางประการของพันธุ์ถั่วเหลือง

ลักษณะ	พันธุ์ถั่วเหลือง				
	สุโขทัย 2	เชียงใหม่ 60	สุโขทัย 1	สจ. 5	สจ. 4
ลักษณะลำต้น	กิ่งทอดยอด	ไม่ทอดยอด	กิ่งทอดยอด	ไม่ทอดยอด	ไม่ทอดยอด
สีโคนต้น	ม่วง	เขียว	ม่วง	ม่วง	ม่วง
สีดอก	ม่วง	ขาว	ม่วง	ม่วง	ม่วง
อายุออกดอก(วัน)	28-43	25	30	35	36
อายุเก็บเกี่ยว(วัน)	74-107	97	90	90-100	90-95
สีฝักแก่	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	เทาเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม
ลักษณะเมล็ด	กลม	กลม	กลม	ค่อนข้างกลม	ค่อนข้างกลม
สีตาของเมล็ด	ดำ	น้ำตาล	ฟางข้าว	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาล
น้ำหนัก100 เมล็ด (กรัม)	15.0	15.5	17.2	15.2	15.6
ผลผลิต (กก./ไร่)	290-310	320	307	320	300
น้ำมัน (เปอร์เซ็นต์)	21.0	20.2	23.2	18.7	19.0
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	39.0	43.8	34.4	41.8	37.8

ที่มา : สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ , 2539

**โปรตีน** ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพราะมีโปรตีนปริมาณมาก สามารถทดแทนโปรตีนเนื้อสัตว์ได้ จึงเป็นที่นิยมในผู้บริโภคมังสวิรัติ (vegetarian) และแมคโครไบโอติก (macrobiotic) อย่างไรก็ตามโปรตีนจากถั่วเหลืองยังมีคุณภาพไม่สมบูรณ์ คือขาดกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะเมทไธโอนีน (methionine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณที่ต่ำ แต่มีไลซีน (lysine) สูง ถ้าวรับประทานข้าวหรือธัญพืช และอาหารอื่น ๆ ร่วมกับผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองจะทำให้ได้รับคุณภาพ และปริมาณโปรตีนที่ดีขึ้น ( สมชาย , 2524 ) ถั่วเหลืองเมล็ดแห้งมีโปรตีนอยู่ประมาณ 38 - 44 % โปรตีนในถั่วเหลืองสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มย่อย (fraction) หลังจากแยกโดยใช้ Ultracentrifuge ได้แก่ 2 S 7 S 11 S และ 15 S ซึ่งค่า S หมายถึง Svedburg unit และตัวเลขที่มีค่ามากแสดงว่ามีน้ำหนักโมเลกุลมาก (Snyder และ Kwon ,1987) แสดงดังตาราง 2.12

ตาราง 2.12 กลุ่มของ โปรตีน โดยการใช้ Ultracentrifuge ในการแยกจากโปรตีนถั่วเหลือง

กลุ่มของ โปรตีน (Fraction)	ปริมาณ โปรตีน (%)	ชนิดของ โปรตีน	น้ำหนักโมเลกุล (Da)
2 S	22	Trypsin inhibitors Cytochrome C	8,000-21,500 12,000
7 S	37	Hemagglutinin Lipoxygenase $\beta$ -amylase 7 S globulin	110,000 102,000 61,700 180,000-210,000
11 S	31	11 S globulin	350,000
15 S	11	-	600,000

ที่มา : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (2527)

กลุ่มโปรตีน 2S- fraction จะมีประมาณ 22% ของโปรตีนทั้งหมด มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและประกอบไปด้วยโปรตีนประเภท Trypsin Inhibitor ซึ่งมี 2 ชนิดได้แก่ Bowman-Brick Inhibitor และ Kunitz Trypsin Inhibitor , Cytochrome C สำหรับในกลุ่มโปรตีน 7S- fraction จะมีประมาณ 37% ของโปรตีนทั้งหมด และประกอบด้วยโปรตีน 4 ชนิดของโปรตีนได้แก่ Hemagglutinin Lipoxygenase  $\beta$ -amylase และ 7 S globulin และมี 7 S globulin สูงถึง 50% หรือคิดเป็น 18% ของโปรตีนถั่วเหลืองทั้งหมด ส่วนกลุ่ม 11S- fraction เป็นโปรตีนบริสุทธิ์ มีเฉพาะ Glycinin สำหรับกลุ่มโปรตีน 15S- fraction ยังไม่มีการแยกมาศึกษากันมากนัก ซึ่งก็พบว่ามีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 600,000 (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร , 2527 ; Liu ,1997 )

ตาราง 2.13 ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น และ Protein score ในถั่วเหลือง(กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีน)

กรดอะมิโน	มาตรฐาน FAO	ถั่วเหลือง	เนื้อวัว	ไข่
ไอโซลิวซีน (Isoleucine)	4.0	5.08	4.8	5.4
ลิวซีน (Leucine)	7.0	8.56	8.8	8.6
ไลซีน (Lysine)	5.5	6.85	9.12	7.0
เฟนิลอะลานีน (Phenylalanine)	-	5.97	4.48	-
ไทโรซีน (Tyrosine)	-	2.89	3.52	-
เมทไธโอนีน (Methionine)	-	1.47	2.24	-
ซิสทีน (Cystine)	-	1.42	1.8	1.2
ทรีโอนีน (Threonine)	4.0	4.33	4.48	4.7
ทริพโตเฟน (Tryptophan)	1.0	1.33	1.1	1.7
วาเลีน (Valine)	5.0	5.10	5.44	6.6
Protein score	100	83	98	100

- หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ที่มา : อรวินท์ (2539)

**คาร์โบไฮเดรต** ที่ละลายน้ำได้ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่พบทั่วไป ได้แก่ ไดแซ็กคาไรด์ เช่น ซูโครส (sucrose;  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) 2.5-8.2 % ไตรแซ็กคาไรด์ (trisaccharides) เช่น ราฟฟิโนส (raffinose;  $C_{18}H_{32}O_{16}$ ) 0.1-0.9 % เตตระแซ็กคาไรด์ (tetrasaccharides) เช่น สตาชิโอส (stachyose;  $C_{24}H_{42}O_{21}$ ) 1.4-4.1 % ส่วนเพนตะแซ็กคาไรด์ (pentasaccharides) เช่น เวอร์บาโคส (verbacose;  $C_{30}H_{52}O_{26}$ ) พบน้อยมาก แต่มีพบในรูปของสตาร์ช (starch) ของถั่วเมล็ดแก่ ในเมล็ดถั่วเหลืองที่ยังอ่อนจะพบน้ำตาลในรูปของโมโนแซ็กคาไรด์คือกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) อื่น ๆ ในปริมาณพอสมควร แต่จะลดน้อยลงจนไม่มี ในสภาวะที่มีความแก่พอเหมาะ น้ำตาลโอลิโกแซ็กคาไรด์ พวก ราฟฟิโนส สตาชิโอส เวอร์บาโคส ร่างกายไม่สามารถย่อยได้เพราะขาดเอนไซม์แอลฟา-กาแลคโตซิเดส น้ำตาลที่ไม่ถูกย่อยนี้จะผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียจะย่อยทำให้เกิดก๊าซบางชนิด เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนและมีเทน (methane) จึงเป็นสาเหตุของอาการท้องอืด (flatulence) คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำที่อยู่ในใบเลี้ยง

ได้แก่สารพวกที่มีโครงสร้างของโมเลกุลซับซ้อน เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน แป้ง มีปริมาณ 1 % และเส้นใย 20 % (Berk , 1992 ; Snyder and Kwon , 1987 ; Liu , 1997)

ตาราง 2.14 ปริมาณไขมัน กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์)ที่มีอยู่ในอาหาร (กรัมต่อ 100 กรัมที่บริโภคได้)

องค์ประกอบของไขมัน	ถั่วเหลือง	น้ำมันวัว	น้ำมันคน
ไขมัน	17.7	3.5	3.2
กรดไขมันอิ่มตัว			
- ปาลมิติก (palmitic ; C16:0)	1.5	0.9	1.1
- สเตียริก (stearic ; C18:0)	0.7	0.4	0.2
กรดไขมันไม่อิ่มตัว			
- โอเลอิก (oleic ; C18:1)	5.1	1.1	1.0
- ลิโนเลอิก (linoleic ; C18:2)	9.0	trace	0.3
- ลิโนเลนิก (linolenic ; C18:3)	0.3	trace	trace
อื่นๆ	0	0.3	0.2

ที่มา : FAO (1978)

**ไขมัน** ถั่วเหลืองมีไขมัน 17.7 % ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) 15 % และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) 85 % ของทั้งหมด กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้แก่ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ลิโนเลนิก (linolenic acid) และโอเลอิก (oleic acid) โดยน้ำมันถั่วเหลืองจะมีกรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid) สูงที่สุด กรดลิโนเลอิกช่วยในการเจริญเติบโตของทารกและเด็ก ช่วยบำรุงผิวหนัง และช่วยลดความเสี่ยงต่อการที่ไขมันอุดตันในหลอดเลือด ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ไขมันจากถั่วเหลืองยังประกอบไปด้วยสารฟอสโฟลิพิด (phospholipid) มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบ โดยฟอสฟอรัสอยู่ในรูปกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ในโมเลกุลของไขมัน และไนโตรเจนอยู่ในรูปของเลซิทิน (lecithin) เลซิทินเป็นส่วนประกอบของเซลล์หุ้มสมองและเซลล์ประสาท ช่วยในการรักษาโรคผิวหนัง โรคประสาท ช่วยในการดูดซึมและขนส่งไขมัน ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลใน

เลือด เลซิทีนยังจัดเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่ช่วยให้ไขมัน และน้ำผสมกันด้วยดี (อรวินท์, 2541 ; Snyder และ Kwon , 1987 ; Liu , 1997 )

**แร่ธาตุ (Minerals)** ถั่วเหลืองจะมีแร่ธาตุที่สำคัญคือ โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม คลอไรด์ และ โซเดียม โดยเฉลี่ยมีปริมาณ 0.2 - 2.1% ส่วนแร่ธาตุที่มีปริมาณน้อย เช่น ทองแดง แมงกานีส สังกะสี เหล็ก และซิลิกอน โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.01-140 ppm แสดงตาราง 2.14 ปริมาณแร่ธาตุในถั่วเหลืองจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับพื้นที่ปลูก สายพันธุ์ และฤดูกาลที่ปลูก แร่ธาตุส่วนมากอยู่ร่วมกับโปรตีน แต่ แคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส มักถูกสกัดออกมาพร้อมกับฟอสโฟลิปิดจึงรวมกันอยู่ในน้ำมัน เช่นเดียวกับเหล็ก และทองแดง ( Liu , 1997 ) ถั่วเหลืองมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็กมากกว่าถั่วอื่น ๆ ( กรมอนามัย , 2535 )

ตาราง 2.14 แร่ธาตุต่าง ๆ ในถั่วเหลืองทั้งเมล็ด

แร่ธาตุ	ปริมาณโดยเฉลี่ย
โปแตสเซียม (K)	1.70%
ฟอสฟอรัส (P)	0.70%
ซัลเฟอร์ (S)	0.20%
โซเดียม (Na)	0.20%
แคลเซียม (Ca)	0.30%
แมกนีเซียม (Mg)	0.30%
คลอไรด์ (Cl)	0.02%
เหล็ก (Fe)	137 ppm
สังกะสี (Zn)	52 ppm
ทองแดง (Cu)	20 ppm
แมงกานีส (Mn)	38 ppm
ซิลิกอน (Si)	140 ppm

ที่มา : Snyder และ Kwon (1987)

**วิตามิน (vitamins)** ในถั่วเหลืองอุดมด้วยวิตามินทั้งที่ละลายได้ในน้ำและในไขมัน วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ เช่น วิตามินบี 1 ( thiamine ) วิตามินบี 2 ( riboflavin ) ไนอะซิน ( niacin ) กรดแพนโททีนิก ( panthothenic acid ) และกรดโฟลิก ( folic acid ) ส่วนวิตามินซี

( ascorbic acid ) พบในถั่วที่ยังอ่อน หรือกำลังงอก แต่จะหายไปเมื่อถั่วแก่ขึ้น ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำระหว่างการผลิต เช่น เต้าหู้ ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินที่ละลายน้ำไปจำนวนหนึ่ง สำหรับวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอและอี แต่ไม่พบวิตามินดีและเคเลย โดยวิตามินเอพบในรูปของ provitamin  $\beta$ - carotene พบในถั่วที่ยังอ่อน หรือกำลังงอก แต่จะหายไปเมื่อถั่วแก่ขึ้น เช่นเดียวกับวิตามินซี ส่วนวิตามินอี มีทั้งที่อยู่ในรูป  $\alpha$  - ,  $\beta$  - ,  $\delta$  - และ  $\tau$ -tocopherols โดยมีปริมาณต่อน้ำหนักแห้ง 10.9-28.4 150-191 และ 24.6-72.5 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ (Liu , 1997)

ตาราง 2.16 ปริมาณสารอาหารที่มีในถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อาหารอื่น (เฉพาะส่วนที่บริโภค 100 กรัม)

สารอาหาร	หน่วย	ถั่วเหลือง	นมถั่วเหลือง	น้ำมันมარดา	น้ำมันวัว
พลังงาน	แคลอรี	400	37	62	63
ความชื้น	เปอร์เซ็นต์	10.2	91.4	88.1	87.7
โปรตีน	กรัม	35.1	2.8	1.5	3.1
ไขมัน	กรัม	17.7	1.5	3.2	3.5
คาร์โบไฮเดรต	กรัม	32.0	3.6	7.0	5
เส้นใย	กรัม	4.2	0.1	0	0
เถ้า	กรัม	5.0	0.7	0.2	0.7
แคลเซียม	มิลลิกรัม	226	18	-	114
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม	546	36	20	102
เหล็ก	มิลลิกรัม	8.5	1.2	0.2	0.1
วิตามินบี 1	มิลลิกรัม	0.66	0.05	0.02	0.04
วิตามินบี 2	มิลลิกรัม	0.22	0.02	0.07	0.14
ไนอาซิน	มิลลิกรัม	2.2	0.3	0.2	0.2
วิตามินซี	มิลลิกรัม	0	0	-	1

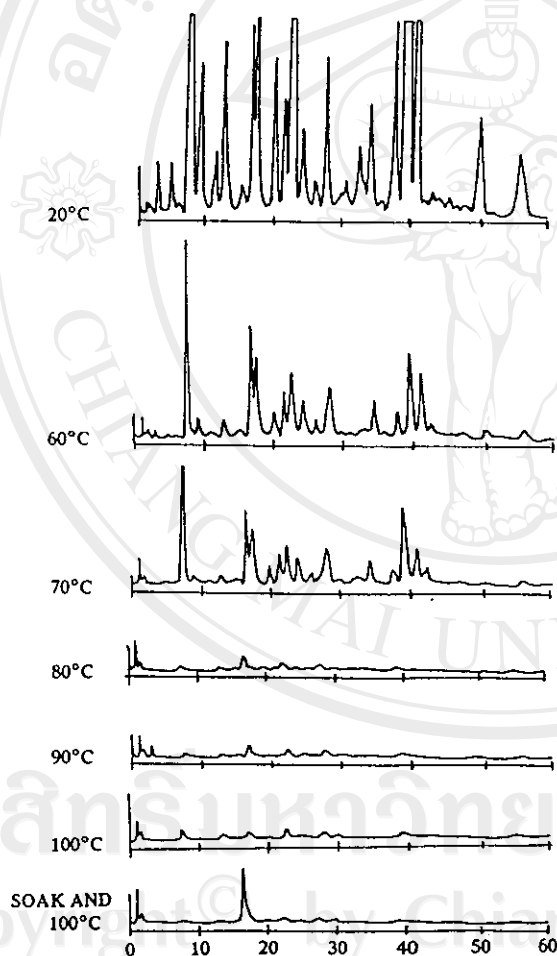
- หมายถึง ยังไม่มีการรายงาน

ที่มา : FAO (1978)

**กลีโนถั่ว** กลีโนถั่วเกี่ยวข้องกับสารที่ระเหยได้ที่ได้มาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ( lipoxygenase ) ซึ่งมีอยู่ในถั่วเหลืองตามธรรมชาติ กลีโนถั่วนี้จะไม่เกิดในถั่วเมล็ดแห้งที่เก็บไว้



แต่จะเกิดในขั้นตอนการผลิตโดยเฉพาะขั้นตอนการแช่ตัวเหลืองในน้ำ โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสจะเป็นตัวเร่งให้เกิดกลิ่นฉุนที่มาจากไขมันในตัวของปลาทู โดยจะไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) และกรดอาราชิไดนิก (arachidonic acid) เกิดสารระเหยมากกว่า 80 ชนิดที่ให้กลิ่นไม่ดี ทั้งชนิดที่เป็นสารประกอบคีโตน อัลดีไฮด์และแอลกอฮอล์ และสารสำคัญที่ให้กลิ่นแรงมากคือ ethyl vinyl ketone (Shurtleff และ Aoyagi , 1984)



รูป 2.4 ผลของอุณหภูมิในการเตรียมนมถั่วเหลืองต่อปริมาณสารให้กลิ่นฉุน  
ที่มา : Shurtleff และ Aoyagi (1984).

## 2.2.2 วิธีการเตรียมนมถั่วเหลือง

### วัตถุดิบ

ควรเลือกถั่วเหลืองที่มีเปลือกบาง เนื้อหนา ปราศจากการทำลายของแมลงและไม่มีสิ่งแปลกปลอม ควรใช้ถั่วเหลืองที่มีความแก่ – อ่อนพอเหมาะ เป็นถั่วใหม่และไม่เก็บไว้นานหลายเดือน เพราะจะมีคุณภาพโปรตีนสูงกว่า แต่ถ้าเป็นถั่วเหลืองเก่าเก็บ จะมีเถ้าและความเป็นกรดสูง ทั้งนี้ถ้าเก็บไว้นานเกินไปหรือเก็บในสภาวะไม่เหมาะสม จะทำให้สัคคโปรตีนออกมาได้น้อย หรือมีค่า NSI ( nitrogen solubility index ) ต่ำ เป็นผลให้การสกัดเอาโปรตีนออกมาจากถั่วเหลืองได้น้อยลง ดังนั้นในการเก็บจึงต้องใช้สภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิและความชื้นต่ำ ( สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร , 2527 )

### การล้าง และแช่ถั่วเหลืองในน้ำ ( Shurtleff และ Aoyagi , 1984 )

ถั่วเหลืองที่นำมาใช้ต้องผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดเป็นอย่างดีเพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอม ต่าง ๆ เช่นเศษหิน และตะปูที่อาจปนมา จะทำให้ใบมีดที่ใช้บดถั่วเหลืองเสียหาย และอาจมีเศษโลหะปนลงมาในส่วนผสมของถั่วเหลืองบดกับน้ำ การล้างถั่วเหลืองควรทำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อขจัดสิ่งสกปรกออกและสิ่งแปลกปลอมออก ก่อนที่จะนำไปแช่น้ำ

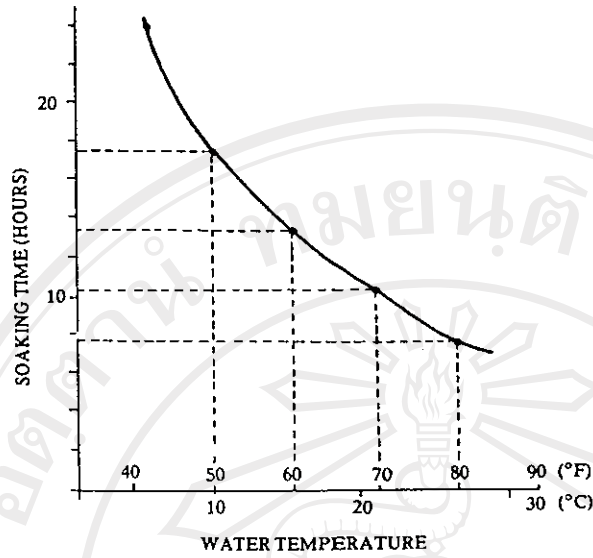
การแช่ถั่วเหลืองในน้ำ นอกจากเพื่อทำความสะอาดแล้ว ยังทำให้โครงสร้างของเซลล์เมล็ดถั่วเหลืองอ่อนนุ่มขึ้น ช่วยให้การบดถั่วเหลืองในการเตรียมนมถั่วเหลืองทำได้ง่ายขึ้น ประหยัดพลังงาน และสามารถสกัดสารต่าง ๆ ในถั่วเหลืองออกมาได้มาก

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่ถั่วเหลืองควรใช้ประมาณ 3 เท่าของน้ำหนักถั่วเหลืองเพื่อให้ น้ำที่แช่ท่วมถั่วเหลืองอย่างทั่วถึง และมากพอ ใช้เวลาแช่ประมาณ 8-10 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ พันธุ์ และระยะเวลาในการเก็บเมล็ดถั่วเหลือง ถ้าถั่วเหลืองเก็บไว้นานมากกว่า 6 เดือน หรือมีขนาดเล็ก จะต้องใช้เวลาในการแช่ถั่วเหลืองนานขึ้น การพิจารณาว่าถั่วเหลืองแช่น้ำได้พอดีหรือไม่ พิจารณาได้จาก

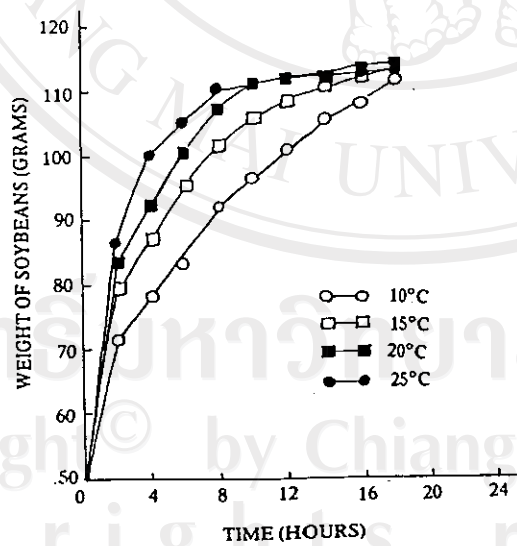
1. ผิวของน้ำที่ใช้แช่ถั่วเหลือง ถ้ามีฟองมาก แสดงว่ามีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการหมักของจุลินทรีย์ ซึ่งหมายถึงเวลาในการแช่ถั่วเหลืองนานเกินไป
2. เปลือกของเมล็ดถั่วเหลืองที่แช่น้ำแล้ว ถ้าเมล็ดถั่วเหลืองแช่น้ำได้ที่แล้วเปลือกจะตั้งเรียบ และหลุดออกจากเมล็ดถั่วเหลืองง่าย
3. สีของเนื้อในเมล็ดถั่วเหลือง ทำโดยบีบเมล็ดถั่วเหลืองออกเป็น 2 ส่วน พิจารณาคูสีของเนื้อในเมล็ดถั่วเหลือง ถ้าเป็นสีเดียวกันตลอด แสดงว่าถั่วเหลืองแช่น้ำได้ที่ดีแล้ว แต่ถ้าตรงกลางมีสีเหลืองเข้มกว่าด้านนอก แสดงว่ายังแช่น้ำไม่พอ

ถั่วเหลืองที่แช่น้ำนานเกินไป ก็ไม่สามารถดูดซึมน้ำไปได้มากกว่าที่เมล็ดถั่วเหลืองจะสามารถดูดซึมได้ แต่จะทำให้เกิดผลเสีย คือ ทำให้เกิดการหมัก และการเสื่อมเสียตามมา ในการแช่น้ำโดยทั่วไปถั่วเหลืองหลังแช่ จะมีน้ำหนักประมาณ 2.2 เท่าของน้ำหนักเดิม

เวลาที่ใช้ในการแช่ถั่วเหลืองจน ได้ที่นั้นจะแปรผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่น้ำ เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเวลาที่ใช้จะสั้นลง ดังแสดงในรูป 2.5 และ 2.6 การใช้อุณหภูมิที่ 55 °ซ จะให้อัตราการดูดน้ำที่สูงที่สุด หากใช้อุณหภูมิสูงเกินกว่านี้จะทำให้เมล็ดถั่วเหลืองสุกเป็นบางส่วน ทำให้โปรตีนในถั่วเหลืองเสียสภาพธรรมชาติ และทำให้ปริมาณผลผลิตนมถั่วเหลืองที่ควรได้ก็จะลดลง



รูป 2.5 ผลของอุณหภูมิต่อเวลาในการแช่ถั่วเหลือง  
ที่มา : Shurtleff และ Aoyagi (1984)



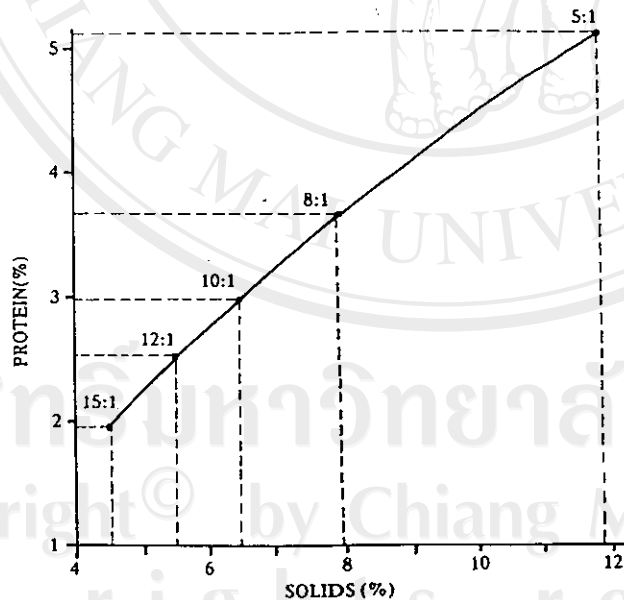
รูป 2.6 อัตราการดูดน้ำของถั่วเหลืองที่แช่ที่อุณหภูมิต่างๆ  
ที่มา : Shurtleff และ Aoyagi (1984)

### การบดฉั้วเหลือง (Shurtleff และ Aoyagi , 1984)

การบดฉั้วเหลืองจะใช้บดกับน้ำหรืออาจเรียกได้ว่าเป็นการสกัดด้วยน้ำ เป็นขั้นตอนในการเตรียมนมฉั้วเหลืองที่สำคัญ ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะมากหรือน้อยจะขึ้นกับขั้นตอนนี้

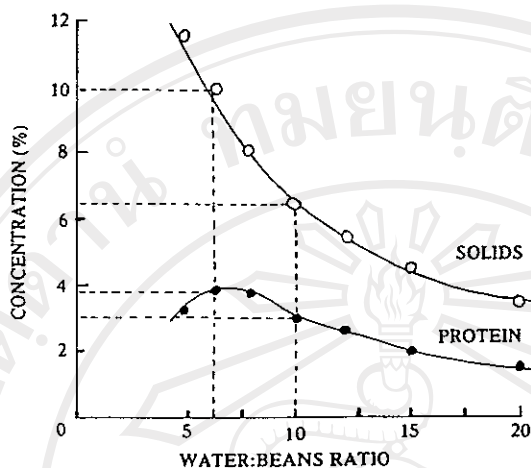
อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการบดฉั้วเหลืองมีการศึกษากันมาก เพื่อที่จะพยายามลดกลิ่นฉั้วที่เกิดขึ้น โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ในปี คศ. 1966 มีการค้นพบว่า การบดฉั้วเหลืองกับน้ำเดือด หรือพยายามรักษาอุณหภูมิให้สูงกว่า 80 °ซ จะสามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ดังกล่าว และช่วยลดกลิ่นฉั้วลงได้มาก แต่อย่างไรก็ตามการให้ฉั้วเหลืองสัมผัสกับน้ำร้อนเป็นเวลานานก่อนบดจะทำให้เกิดการเสียดสภาพของโปรตีนทำให้ปริมาณผลผลิตนมฉั้วเหลืองลดลงมากเช่นกัน

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดขึ้นอยู่กัชนิดของเครื่องบดที่ใช้ โดยทั่ว ๆ ไปการใช้น้ำมากเกินไปในการบดจะทำให้บดได้ไม่ละเอียด การสกัดของแข็งทำได้ไม่ดี และถ้าใช้น้ำน้อยเกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ส่วนที่บดได้จะเหนียวขึ้นเกินไป ของแข็งที่สกัดได้ก็ต่ำเช่นกัน



รูป 2.7 ผลของอัตราส่วนน้ำ : ฉั้วเหลืองที่มีต่อของแข็งและปริมาณโปรตีนในฉั้วเหลือง

ที่มา : Shurtleff และ Aoyagi (1984)



รูป 2.8 เปอร์เซ็นต์ของแข็ง และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในนมถั่วเหลืองที่อัตราส่วนน้ำ : ถั่วเหลือง ต่างๆ กัน  
ที่มา : Shurtleff และ Aoyagi (1984).

มัตซึนา และคณะ (2529) ได้แนะนำวิธีการแช่ถั่วเหลืองในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ( $30^{\circ}\text{C}$ ) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือการแช่น้ำร้อน  $80^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ถั่วเหลืองสามารถดูดซึมน้ำได้เท่ากับ น้ำหนักของถั่วเหลืองเอง คือ ถั่วเหลือง 1 กรัมจะดูดซึมน้ำได้ถึง 1.1 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณที่ถั่วเหลืองสามารถดูดซึมน้ำได้มากที่สุด (1.2 กรัม น้ำ / ถั่วเหลือง 1 กรัม) ถั่วเหลืองที่ได้จะมีเปลือกนิ่มและพองตัวทำให้ลอกออกจากเมล็ดได้ง่าย เนื้อถั่วเหลืองจะนิ่มสะดวกต่อการตีปั่น และการกรองเพื่อสกัดนมถั่วเหลือง

Shurtleff และ Aoyagi (1984) ได้เปรียบเทียบวิธีการเตรียมนมถั่วเหลือง 3 วิธี ดังตาราง 2.17

วิธีที่ 1 เป็นวิธีของ Nelson *et al.*, 1976

วิธีที่ 2 เป็นวิธีของ Wilkens *et al.*, 1967

วิธีที่ 3 เป็นวิธีดั้งเดิมของจีน

ตาราง 2.17 วิธีการเตรียมนมถั่วเหลือง

วิธีที่ 1 Nelson <i>et al.</i> , 1976	วิธีที่ 2 Wilkens <i>et al.</i> , 1967	วิธีที่ 3 วิธีดั้งเดิมของจีน
1. ถั่วเหลืองแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.5% 18 ชั่วโมง	1. ถั่วเหลืองแช่น้ำธรรมดา 18 ชั่วโมง	1. ถั่วเหลืองแช่น้ำธรรมดา 18 ชั่วโมง
2. เทน้ำทิ้ง ล้างถั่วเหลืองด้วยน้ำธรรมดา 2 ครั้ง	2. เทน้ำทิ้ง ล้างถั่วเหลืองด้วยน้ำธรรมดา 2 ครั้ง	2. เทน้ำทิ้ง ล้างถั่วเหลืองด้วยน้ำธรรมดา 2 ครั้ง
3. ต้มถั่วเหลืองในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.5% 30 นาที	3. ถั่วเหลืองแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95-100 °ซ 15 - 20 วินาที	-
4. บดถั่วเหลืองด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 20 - 25 °ซ	4. บดถั่วเหลืองด้วยน้ำร้อน	4. บดถั่วเหลืองด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 20 - 25 °ซ
5. โฮโมจิไนส์	5. โฮโมจิไนส์	5. โฮโมจิไนส์
6. ปรับพีเอช 6.95-7.05	6. ปรับพีเอช 6.95-7.05	6. ปรับพีเอช 6.95-7.05
7. เซนติฟิวส์ที่ 642 X G	7. เซนติฟิวส์ที่ 642 X G	7. เซนติฟิวส์ที่ 642 X G

ที่มา : Shurtleff และ Aoyagi (1984)

ตาราง 2.18 ผลของวิธีการเตรียมนมถั่วเหลือง ทั้ง 3 วิธี

วิธีการ	อัตราส่วน ถั่วเหลือง : น้ำ	ของแข็งในนม ถั่วเหลือง (%)	นมถั่วเหลือง (%)	Yield ของของแข็ง (%)
1 Nelson <i>et al.</i> , 1976	1:5	5.27	44.5	19.2
	1:6	4.58	47.3	19.3
	1:8	3.33	58.7	22.7
	1:10	2.79	64.8	26.3
2 Wilkens <i>et al.</i> , 1967	1:5	13.48	33.7	28.2
	1:6	11.45	40.7	33.2
	1:8	9.28	53.1	37.9
	1:10	8.15	57.1	42.5
3 วิธีดั้งเดิมของจีน	1:5	11.81	47.5	41.1
	1:6	10.22	45.3	40.6
	1:8	8.18	58.7	51.0
	1:10	6.40	71.8	58.4

ที่มา : Shurtleff และ Aoyagi (1984)



ตาราง 2.19 องค์ประกอบของของแข็งในนมถั่วเหลือง ทั้ง 3 วิธี

วิธีการ	อัตราส่วน ถั่วเหลือง:น้ำ	องค์ประกอบของของแข็ง (%)			
		โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
1 Nelson <i>et al.</i> , 1976	1:5	33.05	32.43	29.29	5.23
	1:6	31.59	33.78	29.09	5.54
	1:8	30.00	35.93	28.35	5.72
	1:10	28.43	42.08	24.25	5.24
2 Wilkins <i>et al.</i> , 1967	1:5	43.25	25.14	26.30	5.28
	1:6	43.40	23.08	27.74	5.78
	1:8	44.42	21.01	29.07	5.50
	1:10	42.53	20.53	31.19	5.75
3 วิธีดั้งเดิมของจีน	1:5	45.30	24.13	25.33	5.24
	1:6	45.40	23.51	25.74	5.35
	1:8	44.52	23.19	24.91	5.38
	1:10	46.23	26.01	22.17	5.59

ที่มา : Shurtleff และ Aoyagi (1984)