บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไอศกรีมโยเกิร์ต (frozen yoghurt)

ไอศกรีมโยเกิร์ต แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ แบบนุ่ม (soft) แบบแข็ง (hard) และแบบมูส (mousse) ผลิตภัณฑ์นี้จะมีลักษณะทางกายภาพคล้ายไอศกรีม และมีลักษณะที่เด่นชัด คือ มีรสเปรี้ยวของโยเกิร์ตพร้อมกับมีความเย็นของไอศกรีม เมื่อเทียบกับโยเกิร์ตแล้วไอศกรีมโยเกิร์ตจะมีปริมาณน้ำตาลและสารเพิ่มความคงตัวหรืออิมัลซิไฟเออร์สูงกว่าเพราะส่วนประกอบเหล่านี้มีความจำเป็นในระหว่างกระบวนการปั่นไอศกรีม (freezing process) เพื่อรักษาโครงสร้างฟองอากาศ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมและอุณหภูมิขณะเก็บรักษามีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นี้ จากตารางที่ 2.1 แสดงสูตรที่แนะนำสำหรับการผลิตโดยควรมีเปอร์เซ็นต์ของโยเกิร์ตและผลไม้อยู่ในช่วง 65-80% และ20-35% ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมี (กรัมต่อ 100กรัม) ของไอศกรีมมิกซ์

ส่วนประกอบ	ชนิดไอศกรีมโยเกิร์ต		
	นุ่ม	แข็ง	มูส
ไขมัน	2-6	2-6	3
ของแข็งไม่รวมไขมัน, SNF	5-10	5-14	12
น้ำตาล	8-20	8-16	8
สารเพิ่มความคงตัว/อิมัลซิไฟเออร์	0.2-1.0	0.2-1.0	2.4
% overrun	50-60	70-80	90

ที่มา: Tamime and Robinson, 1999

ในประเทศส่วนใหญ่ยังไม่มีมาตรฐานเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณต่ำสุดของโยเกิร์ตที่ใช้ อุณหภูมิ/ความร้อนของโยเกิร์ตหรือไอศกรีมมิกซ์ก่อนการปั่น และปริมาณของเชื้อ microflora ในขณะบริโภค อย่างไรก็ตามในประเทศเนเธอร์แลนด์ได้กำหนดมาตรฐานของไอศกรีมโยเกิร์ตว่าต้องมีปริมาณโยเกิร์ตมากกว่าหรือเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ และมีพีเอชน้อยกว่า 5 แต่ในประเทศอเมริกาผู้บริโภคชอบไอศกรีมโยเกิร์ตที่มีพีเอชสูงกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอศกรีมโยเกิร์ตได้รับการยอมรับว่าเป็นตัวพาที่ดีสำหรับ *Bifidobacterium* spp. และ*L. acidophilus* เข้าไปยังร่างกายมนุษย์ *B. bifidum* และ*L. acidophilus* รอดชีวิตได้ดีในไอศกรีมโยเกิร์ตที่มีพีเอชสูง จำนวนเฉลี่ยของเชื้อที่นับได้ เท่ากับ 3.6 x 10^6 cfu/ml หลังเก็บไว้ 8 สัปดาห์ที่ –29 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hekmat and Mcmahon (1992) ที่พบว่าหลังจากเก็บรักษาไอศกรีมโยเกิร์ตซึ่งมีพีเอช 4.9 เป็นเวลา 17 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ -29 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณเชื้อ *L. acidophilus* ลดลงเหลือ 4 x 10^6 cfu/ml จากเดิม 1.5 x 10^8 cfu/ml และ *B. bifidum* ลดลงเหลือ 1 x 10^7 cfu/ml จากเดิมมีเชื้ออยู่ 2.5 x 10^8 cfu/ml และนักวิจัยท่านอื่นได้สังเกตพบว่า *B. bifidum* ไม่รอดชีวิตในส่วนผสมไอศกรีมที่มีพีเอชต่ำ (3.9 – 4.6) นอกจากนี้ Modler and Villa-Garcia (1993) ได้รายงานว่า เชื้อ *B. longum* จะมีจำนวนเชื้อที่นับได้หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส นาน 16 สัปดาห์ เท่ากับ 1.0 x 10^7 cfu/ml^{-1} อย่างไรก็ตามจะมีการลดจำนวนลงเล็กน้อยก่อนและหลังการปั่น เนื่องจากการรวมตัวกับอากาศในขั้นตอนการตีให้ขึ้นฟูและการปั่น (Tamime and Robinson, 1999)

2.2 กระบวนการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ต

ไอศกรีมโยเกิร์ตสามารถผลิตได้ 2 แบบ คือ ผลิตจากโยเกิร์ตผสมกับไอศกรีมมิกซ์ หรือผลิตจากส่วนผสมโยเกิร์ตที่ผ่านกระบวนการหมักโดยตรง ซึ่งในภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตแบบที่ 2 ส่วนผสมซึ่งถูกเติมสารเพิ่มความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสม จะถูกนำไปผ่านกระบวนการเหมือนการผลิตโยเกิร์ตแบบดั้งเดิม เริ่มจากส่วนผสมถูกนำไปไล่อากาศ (de-aerated) และโฮโมจีไนส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ก่อนผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (หมายเลข2) หลังจากนั้นส่วนผสมจะถูกลดอุณหภูมิลงเท่ากับ 43 องศาเซลเซียส แล้วส่งต่อไปยังแทงค์บ่ม (incubation tanks) โดยมีการเติมหัวเชื้อโยเกิร์ตประมาณ 4-6% (หมายเลข 3) ซึ่งระยะเวลาบ่มของส่วนผสมโยเกิร์ตจะใช้เวลานานกว่าการผลิตโยเกิร์ตธรรมดามาก ถ้ามีปริมาณน้ำตาลซูโครส 10-12% จะต้องใช้ระยะเวลาบ่มประมาณ 7-8 ชั่วโมงจึงจะทำให้พีเอชลดลงถึง 4.5 (หมายเลข 4) เมื่อได้พีเอชตามต้องการแล้วส่วนผสมโยเกิร์ตจะถูกลดอุณหภูมิลงด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อหยุดกระบวนการหมัก (หมายเลข 5) สารให้กลิ่นรส และน้ำตาลจะถูกเติมโดยปั๊มวัดปริมาตร (metering pump) ผสมกับโยเกิร์ตก่อนส่งไปยังแทงค์พักส่วนผสม (the intermediate storage tanks) จากแทงค์พักส่วนผสมโยเกิร์ตจะส่งไปยังกระบวนการผลิตสำหรับผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตแบบแข็ง (กลุ่มบี)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนผสมไอศกรีมโยเกิร์ตแบบนุ่ม (กลุ่มซี) และส่วนผสมไอศกรีมโยเกิร์ตแบบนุ่มชนิดเก็บรักษาได้นาน (กลุ่มดี)

กลุ่มบี : โยเกิร์ตจะถูกปั่นในเครื่องปั่นไอศกรีมในสภาพที่มีก๊าซไนโตรเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในระหว่างการเก็บรักษา โดยไอศกรีมโยเกิร์ตที่ออกจากเครื่องจะมีอุณหภูมิเท่ากับ -8 องศาเซลเซียส ซึ่งจะต่ำกว่าไอศกรีมทั่วไป และให้ความหนืดที่เหมาะสมกับเครื่องบรรจุ หลังจากนั้นไอศกรีมโยเกิร์ตจะถูกบรรจุลงในกรวยขนมปัง (cones) หรือ ถ้วย หรือบรรจุภัณฑ์ขนาดครอบครัวเหมือนไอศกรีมธรรมดา ซึ่งไอศกรีมที่บรรจุเสร็จแล้วจะถูกส่งต่อไปยังอุโมงค์แช่แข็ง (hardening tunnel) เพื่อให้อุณหภูมิลดลงถึง -25 องศาเซลเซียส ส่วนไอศกรีมแบบแท่งส่วนผสมโยเกิร์ตจะถูกแช่แข็งด้วยเครื่องทำไอศกรีมแบบแท่ง (ice cream bar freezer) จนกระทั่งได้อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส และถูกขนย้ายไปยังห้องเย็นทันทีหลังการบรรจุ

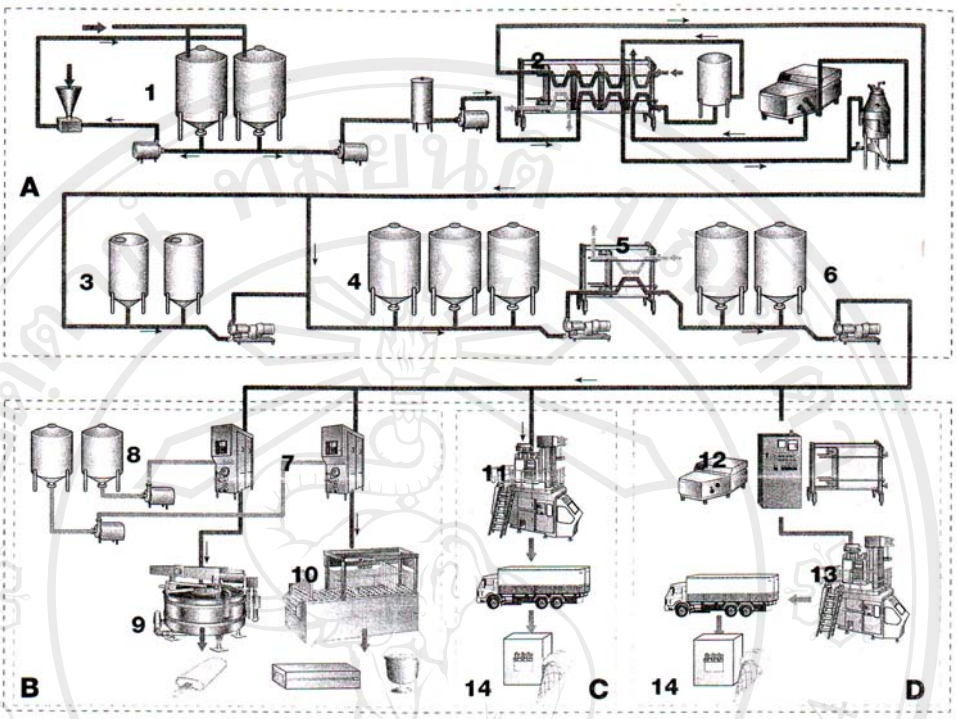
กลุ่มซี : ส่วนผสมโยเกิร์ตจะถูกบรรจุลงในภาชนะบรรจุ จากนั้นจะถูกกระจายไปยังผู้ค้าปลีกเพื่อใช้ผลิตเป็นไอศกรีมโยเกิร์ตแบบนุ่มซึ่งพร้อมรับประทานได้ทันที หรือที่เรียกว่า soft-served frozen yoghurt โดยส่วนผสมที่ยังไม่ได้ผลิตเป็นไอศกรีมสามารถเก็บรักษาเป็นเวลาสองสัปดาห์ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส

กลุ่มดี : เป็นส่วนที่ผลิตส่วนผสมโยเกิร์ตที่สามารถเก็บรักษาได้นาน โดยส่วนผสมจะผ่านกระบวนการสเตอริไรส์แบบยู เอช ที (หมายเลข 12) ก่อนจะบรรจุแบบปลอดเชื้อ (หมายเลข 13)

2.3 เชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ต

ในปัจจุบันการผลิตโยเกิร์ตนิยมใช้เชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ*Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* ทั้งสองสปีชีทำให้เกิดการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ ในขณะที่การหมักดำเนินไป จำนวนแบคทีเรียแลคติกจะเพิ่มสูงขึ้น จนสามารถตรวจนับเชื้อได้ระหว่าง 200-1,000 ล้าน cfu/ml ของโยเกิร์ตสด การเก็บโยเกิร์ตไว้นานมีผลทำให้เชื้อแบคทีเรียแลคติกมีจำนวนลดลง แบคทีเรียทั้งสองสปีชีในโยเกิร์ตเสริมประโยชน์ซึ่งกันและกัน โดยเชื้อ *S. thermophilus* ซึ่งเจริญอย่างรวดเร็วในตอนเริ่มต้นของการหมัก ทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติก และกรดอะซิติก อะเซทตัลดีไฮด์ ไดอะซิติก และกรดฟอร์มิก การมีเกลือฟอร์เมทและการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์จากการให้และรับอิเล็กตรอนในอาหารกระตุ้นให้ *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* เจริญได้ดี แบคทีเรียนี้จะทำให้กรดอะมิโนถูกปลดปล่อยออกมาจากโปรตีนนมจำนวนมากเกินกว่าแบคทีเรีย *S. thermophilus* จะใช้หมด จึงมีกรดอะมิโนอิสระเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (สุมณฑา, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



A Yoghurt manufacture
B Hard ice cream
C Soft ice cream mix
D Long life soft ice cream mix

1 Mixing tanks
2 Pasteuriser
3 Bulk starter tanks
4 Incubation tanks
5 Cooler
6 Buffer tanks
7 Ice cream freezer
8 Aroma tanks
9 Bar freezer
10 Cup/cone filler
11 Packaging
12 UHT treatment
13 Aseptic packaging
14 Soft-ice machine at the retailer

ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตแบบต่างๆ
ที่มา : Tetra Pak, 1995

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบคทีเรีย *S. thermophilus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ผลิตกรดแลคติกเพียงอย่างเดียว เซลล์มีลักษณะกลม หรือรูปไข่ เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร และอยู่รวมกันเป็นสายโซ่หรือเป็นคู่ ไม่เจริญที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส แต่เจริญที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ใช้น้ำตาลฟรักโทส แลคโตส และมอลโทส ได้ดี (Tamime and Robinson, 1999) นอกจากนี้แบคทีเรีย *S. thermophilus* ยังสามารถผลิตสารโพลีแซคคาไรด์ออกมาหุ้มเซลล์ได้ หรือเรียกว่า Expolysaccharides โดยสายพันธุ์ที่สามารถสร้างสารนี้จะมีการเหลือรอดสูงกว่าในผลิตภัณฑ์นมแช่แข็ง เช่น ไอศกรีม (Hong and Marshall, 2001)

2.4 จุลินทรีย์โพรไบโอติก (probiotics)

Fuller ได้ให้คำจำกัดความของโพรไบโอติกว่าคืออาหารที่มีการเติมจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งให้ประโยชน์ต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่มันอาศัยอยู่ (host) โดยการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ปัจจุบันคำว่าโพรไบโอติกหมายถึงจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่มีผลต่อสุขภาพของร่างกายที่รับประทานเข้าไป โดยปรับปรุงคุณสมบัติของจุลินทรีย์ดั้งเดิม (microflora) ที่มีอยู่ในร่างกาย (Gomes and Malcata, 1999) จุลินทรีย์โพรไบโอติกเป็นเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดแลคติกได้ โดยทั่วไปอยู่ในจีนัสต่อไปนี้ (สุมาลัย, 2545)

Lactobacillus ได้แก่ *L. acidophilus, L. crispatus, L. amylouorus, L. casei L. gallinarumm, L. gasseri, L. johaonii, L. reuteri L. paracasei, L. ramnosus, L. fermentum, L. salirarius L. Bulgaricus, L. plantanum* และ *L. rhamnosus*

Enterococcus ได้แก่ *Ec. faecium*และ *Ec. faecalis*

Bifidobacterium เกือบทุกสายพันธ์จัดเป็นเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกแต่ที่สำคัญได้แก่ *B. bifidum, B. longum* และ*B. Infantis*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ จุลินทรีย์ในสายพันธุ์ *Bifidobacterium* spp. และ *Lactobacillus* spp. (ตารางที่2.2) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์นมหมัก เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ดั้งเดิมที่มีการใช้มานาน และพบว่ามีความปลอดภัยต่อสุขภาพ (สุมณฑา, 2549)

ตารางที่ 2.2 เชื้อเริ่มต้น (starter culture) ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมัก

เชื้อจุลินทรีย์ (Starter organisms)	ชนิดของกรดที่ได้จากสลายน้ำตาล (Principal metabolites)
L. acidophilus	DL lactate
L. paracasei subsp.paracasei	L(+) lactate
L. paracasei biovar.shirota	L(+) lactate
L. rhamnosus	L(+) lactate
L. reuteri	DL lactate, CO_2
B. bifidum	lactate, acetate
B. adolescentis	L(+) lactate, acetate
B. breve	L(+) lactate, acetate
B. infantis	lactate, acetate
B. longum	L(+) lactate, acetate
B. lactis	lactate, acetate

ที่มา : Tamime and Robinson, 1999

2.4.1 *Lactobacillus*

พวกนี้มีรูปร่างเป็นท่อนค่อนข้างยาวมักเรียงต่อกันเป็นลูกโซ่ เป็นพวกต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญ (microaerophilic) แต่มีบางชนิดเป็นพวกแอนแอโรบ ไม่สร้างเอนไซม์คะตาเลส ย้อมติดสีแกรมบวก สลายน้ำตาลแล้วให้กรดแลคติกเป็นส่วนใหญ่ ถ้าเป็นโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (homofermentative) จะสลายน้ำตาลแล้วให้กรดแลคติกเกือบทั้งหมด มีกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอื่นๆ บ้างเล็กน้อย แต่ถ้าเป็นพวกเฮตเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ (heterofermentative) จะสลายน้ำตาลแล้วให้สารระเหยได้รวมทั้งแอลกอฮอล์ในปริมาณมากพอๆ กับกรดแลคติก ตัวอย่างของโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ และเฮตเทอโรเฟอร์เมนเททีฟได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 (สุมาลี, 2541)

ตารางที่ 2.3 แสดงการแบ่งพวกของ *Lactobacilli* ตามชนิดของผลผลิตและอุณหภูมิที่เหมาะสม

อุณหภูมิที่เหมาะสม	โฮโมเฟอร์เมนเททีฟ	เฮตเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ
ไม่ต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส	*L. acidophilus L. bulgaricus L. helveticus L.lictis L. thermophilus L.delbrueckii*	*L. fermentum*
ต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส	*L. plantanum L. leichmanii L. casei*	*L. brevis L. bruchneri L.pastorianus L. hilgardii L. trichodes*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับ *Lactobacillus acidophilus* เป็นแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกเพียงอย่างเดียว เซลล์มีรูปแท่งปลายมน เคลื่อนไหวไม่ได้ เซลล์มีขนาด 0.6-0.9 x 1.5-6 ไมโครเมตร อยู่เดี่ยวๆ หรือจับเป็นคู่ หรือรวมตัวกันเป็นสายโซ่สั้นๆ ไม่สร้างสปอร์ ไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่เจริญที่อุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส และพีเอชที่เหมาะสมในการเจริญ คือ 5.5 – 6.0 ใช้น้ำตาล เช่น ฟรักโทส กาแลคโตส แลคโตส มอลโทส แมนโนส และแรฟฟีโนส ได้ (Tamime and Robinson, 1999)

2.4.2 *Bifidobacterium* spp.

Bifidobacteria แยกได้ครั้งแรกจากอุจจาระของทารกในปี ค.ศ. 1899-1900 โดย Tissier ปัจจุบันประกอบด้วยสมาชิก 30 สปีชี (Gomes and Malcata, 1999) มีสมบัติสำคัญ คือ แบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างเป็นท่อนสั้น ไม่ให้เอนไซม์คะทะเลส เคลื่อนที่ด้วยตัวเองไม่ได้ และไม่สร้างสปอร์ ไม่เจริญในสภาพที่มีออกซิเจน ช่วงอุณหภูมิต่ำสุดที่เจริญได้ คือ 25-28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่เจริญได้คือ 43-45 องศาเซลเซียส แบคทีเรียนี้เจริญได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.0-8.0 (สุมณฑา, 2549) สามารถหมักน้ำตาลกลูโคสให้เป็นกรดอะซิติก และกรดแลคติกในอัตราส่วน 3:2 ไม่สังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะผลิตกรดแลคติกในรูป L(+) ซึ่งร่างกายใช้ในระบบเมแทบอลิซึมได้มากกว่า กรดแลคติกในรูป L(-) (อิศรา,2545)

2.4.3 ประโยชน์ของจุลินทรีย์โพรไบโอติก

(1) ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในทางเดินอาหาร เนื่องจากกรดแลคติกซึ่งเป็นสารหลักที่แบคทีเรียผลิตออกมามีผลทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย นอกจากกรดแลคติกแล้วยังมีสารอื่น เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิกและกรดเบนโซอิก แม้มีปริมาณไม่มาก แต่ในสภาวะที่เป็นกรด กรดเหล่านี้สามารถยับยั้งจุลินทรีย์หลายชนิดโดยเฉพาะแบคทีเรียแกรมลบที่ทำให้เกิดโรค นอกจากนี้ยังให้สารที่มีสมบัติทางปฏิชีวนะ เรียกว่า แบคเทอริโอซินส์ (bacteriocins) สามารถยับยั้งแบคทีเรียในลำไส้ที่ทำให้เกิดโรค เช่น Salmonella และShigella ได้ด้วย (สุมณฑา, 2549)

(2) ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด มีงานวิจัยพบว่า *L. acidophilus* สามารถย่อยและลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลได้ (Kalantzopoulos, 1997) นอกจากนี้Abd EL-Ganwad *et al.*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2005) ยังพบว่าการให้หนูบริโภคอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูงร่วมกับโยเกิร์ตนมควาย และโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่มีเชื้อ *Bifidobacterium lactis* (Bb 12) หรือ *Bifidobacterium longum* (Bb 46) จะช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด คอเลสเตอรอลชนิด VLDL (very low-density lipoprotein) และคอเลสเตอรอลชนิด LDL (low-density lipoprotein) ได้อย่างมีนัยสำคัญ

(3) สร้างระบบภูมิคุ้มกันต้านเซลล์มะเร็ง โดยก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเซลล์มะเร็งโดยตรง หรือกำจัดเซลล์ที่จะกลายเป็นเซลล์มะเร็งต่อไป ช่วยลดระดับของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปจากโปรคาร์ซิโนเจน (procarcinogens) ไปเป็นคาร์ซิโนเจน (carcinogens) จึงลดความเสี่ยงในการเกิดเซลล์มะเร็ง จากการศึกษาของ Goldin and Gorbach (1984) พบว่าเมื่อคนบริโภคนมที่มีเชื้อ *L. acidophilus* จะมีผลต่อกิจกรรมของแบคทีเรียในลำไส้ มีผลทำให้ระดับของเอนไซม์เบต้า-กลูคูโรนิเดส (β-glucuronidase) เอนไซม์อะโซรีดักเทส (azoreductase) และเอนไซม์ไนโตรรีดักเทส (nitroreductase) ในอุจจาระลดลงประมาณ 2 ถึง 4 เท่า และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งเซลล์ของแบคทีเรียแลคติกหรือชิ้นส่วนของผนังเซลล์สามารถกระตุ้นเม็ดเลือดขาวในร่างกายได้ พบว่า *L. acidophilus* *L. Bulgaricus* และ *Bifidobacterium* ชักนำให้เกิดสารแอลฟาอินเทอเฟอรอน ซึ่งมีหน้าที่ต้านไวรัสและต้านการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์แปลกปลอม

(4) แก้ไขปัญหาการแพ้น้ำตาลแลคโตส เนื่องจากแลคติกแอซิดแบคทีเรียสามารถผลิตเอนไซม์เบต้า-กาแลคโตซิเดสขึ้นมาเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส กับกาแลคโตส จากนั้นน้ำตาลกลูโคสจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก ทำให้ผู้บริโภคที่ไม่มีเอนไซม์แลคเตสสามารถบริโภคนมได้โดยไม่มีอาการท้องเสีย (นพวรรณ, 2548)

(5) เพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีน โดยกรดแลคติกที่แบคทีเรียสร้างขึ้นในนมหมักมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของตะกอนเคซีนซึ่งเป็นโปรตีนที่มีมากในนม จะช่วยให้การย่อยเคซีนง่ายขึ้น ช่วยให้มีการหลั่งน้ำลายและเอนไซม์ในกระเพาะอาหารและตับอ่อน ช่วยให้การเคลื่อนไหวของลำไส้ดีขึ้น นอกจากนี้ที่แบคทีเรียผลิตออกมายังช่วยย่อยโปรตีนให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก (เปปไทด์และกรดอะมิโนอิสระ) ที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ (สุมณฑา, 2549)

(6) เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดย *B. bifidum* สามารถสังเคราะห์วิตามินบีได้ และเพิ่มการดูดซึมแคลเซียม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.4 การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อโพรไบโอติก

แบคทีเรียแลคติกที่สมควรได้รับการพิจารณาคัดเลือก เพื่อนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์นมโพรไบโอติกควรมีลักษณะดังนี้ (สุมณฑา, 2549)

(1) มีสมบัติเป็นโพรไบโอติกที่มีหลักฐานเป็นเอกสารเชื่อถือได้

(2) มีสมบัติคล้ายกับสมบัติของเชื้อที่ใช้หมักนมแบบพื้นบ้าน เช่น เกิดกรดแลคติกเร็วโดยลำพังตัวของแบคทีเรียนั้นๆ หรือเกิดร่วมกับเชื้ออื่นๆ

(3) ควรเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ง่ายในผลิตภัณฑ์อาหารหมัก และทนต่อกรดแลคติกที่เกิดขึ้นเพื่อจะได้มีชีวิตรอดในระหว่างการเก็บรักษานมหมัก

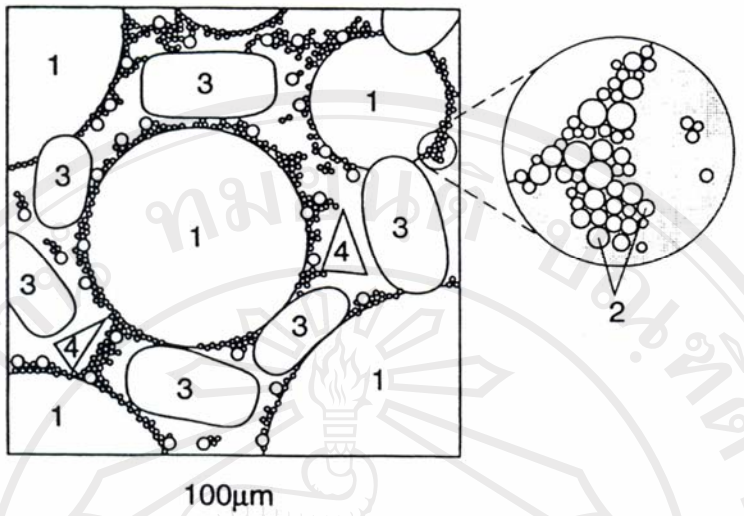
(4) สายพันธุ์ที่คัดเลือกไว้ควรเป็นสายพันธุ์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรส สมบัติทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

(5) มีบทบาทที่ต้องการในลำไส้ คือ เป็นสายพันธุ์ที่รอดชีวิตได้เมื่อผ่านกระเพาะอาหาร สามารถเพิ่มจำนวนในลำไส้เล็ก และทนต่อเกลือน้ำดีขณะอยู่ในลำไส้เล็กส่วนปลาย

2.5 หน้าที่ของส่วนประกอบแต่ละชนิดในไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีส่วนผสมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นนมและผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นม ครีม หางนมและนมระเหยเป็นต้น และส่วนที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ น้ำตาล สารเพิ่มความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารให้กลิ่นรส และสี เป็นต้น (Marshall and Arbuckle, 1996) องค์ประกอบของไอศกรีมจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น ได้แก่ ไขมัน 8-20% ของแข็งไม่รวมไขมัน (Milk Solid Non Fat : MSNF) 8-15% น้ำตาล 13-20% สารเพิ่มความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ 0.0-0.7% และปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid : TS) 36-43% (วรรณาและวิบูลศักดิ์, 2531) ไอศกรีมเป็นสารละลายแท้และสารละลายคอลลอยด์ผสมกันโดยมีน้ำตาลละลายอยู่เป็นสารละลายแท้และโปรตีนเคซีนละลายอยู่เป็นสารละลายคอลลอยด์ นอกจากนี้ยังมีฟองอากาศเล็กๆและอนุภาคของไขมันกระจายตัวอยู่เป็น dispersed phase เมื่อนำไปแช่แข็งไอศกรีมจะมีสถานะเป็น double emulsion ของ air-in-water และ fat-in-water ดังภาพที่ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีม : (1) ฟองอากาศ (2) ไขมันจับอยู่รอบๆ ฟองอากาศ (3) ผลึกน้ำแข็ง และ (4) ผลึกน้ำตาลแลคโตส

ที่มา : Arbuckle and Marshall, 1996

ส่วนผสมแต่ละชนิดในไอศกรีมมีบทบาทและหน้าที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.5.1 ไขมัน

ได้จาก น้ำนมสด ครีม เนย นมผง น้ำมันเนย หรือนมข้นก็ได้ ไอศกรีมบางชนิดยังใช้ไขมันจากน้ำมันพืช เช่น น้ำมันเมล็ดฝ้าย หรือน้ำมันปาล์ม ไขมันที่ใช้ควรมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอศกรีมอ่อนตัวเมื่ออยู่ในปาก ไขมันเป็นตัวช่วยทำให้ไอศกรีมมีกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี (นิธิยา, 2541)

2.5.2 ของแข็งไม่รวมไขมัน

ปริมาณไขมันนมในไอศกรีมจะต้องสมดุลกับปริมาณของแข็งไม่รวมไขมันด้วย หากปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น ปริมาณของ MSNF จะต้องลดลง การมีปริมาณของ MSNF สูงเกินไปจะทำให้น้ำตาลแลคโตสเกิดการตกผลึก เนื้อไอศกรีมจะมีลักษณะหยาบคล้ายเม็ดทราย การใช้ครีมหรือน้ำนมสดเป็นส่วนผสมของไอศกรีมจะทำให้ MSNF ต่ำเกินไป นิยมเติมนมผง นมข้น หรือเวย์ผง ลงไปช่วยเพื่อทำให้ได้เนื้อไอศกรีมมากขึ้น เนื่องจากโปรตีนนมมีสมบัติช่วยอุ้มน้ำ ทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะเนื้อไอศกรีมดีขึ้น MSNF จะช่วยเพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้มี % overrun สูงขึ้น โดยไม่ทำให้ลักษณะเนื้อไอศกรีมเสีย และช่วยให้ไอศกรีมละลายช้าลงด้วย (นิธิยา, 2541)

2.5.3 น้ำตาล

ในไอศกรีมจะมีน้ำตาลประมาณ 10-18% น้ำตาลที่นิยมใช้ได้แก่ น้ำตาลทราย กลูโคส น้ำตาลอินเวิร์ต น้ำผึ้ง และซอร์บิทอล ซึ่ง Güven and Karaca (2002) พบว่าปริมาณน้ำตาลมีผลต่อสมบัติของไอศกรีมโยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของแข็ง ความหนืด และค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด และระยะเวลาที่ใช้ในการละลายไอศกรีม (complete melting times) ลดลง นอกจากนี้ชนิดของน้ำตาลยังมีผลต่อจุดเยือกแข็งของส่วนผสมไอศกรีม โดย 42 DE high fructose corn syrup ($-4.6^{O}C$) จะทำให้จุดเยือกแข็งของส่วนผสมลดต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส ($-2.9^{O}C$) และ20 DE corn syrup ($-1.8^{O}C$) ตามลำดับ (Muse and Hartel, 2004)

2.5.4 อิมัลซิไฟเออร์

เป็นสารช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างอนุภาคของไขมันนมให้น้อยลง ทำให้อนุภาคไขมันกระจายตัวอยู่ได้ทั่วส่วนผสมเกิดเป็นอิมัลชั่นที่คงตัว ป้องกันไม่ให้อนุภาคของไขมันจับตัวรวมกันและแยกออกจากส่วนผสม นอกจากนี้ยังช่วยให้เนื้อไอศกรีมขึ้นฟูดี เมื่อตีให้เกิดฟองอากาศจะทำให้ได้ %overrun ตามต้องการ และยังช่วยให้เนื้อไอศกรีมแห้งและเกาะตัวกัน อิมัลซิไฟเออร์ในไอศกรีมมีประมาณ 0.2-0.5 % ของส่วนผสมทั้งหมด (นิธิยา, 2541)

อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทำไอศกรีม มี 2 ชนิด คือ 1) กลีเซอรอลเอสเตอร์ เช่น โมโนกลีเซอไรด์ (กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต, GMSและกลีเซอรอลโมโนโอลิเอท, bGMO) และไดกลีเซอไรด์ ทั้งสองชนิดรวมกันใช้ได้ไม่เกิน 0.2% ของน้ำหนัก 2) polyoxyethylene derivatives ของ hexahydric alcohols, glycol และglycol esters เช่น ซอร์บิแทนโมโนสเตียเรต (sorbitan monostearate, Span 60) ซอร์บิแทนโมโนโอลิเอท (sorbitan monooleate, Span 80) โพลีออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทนโมโนสเตียเรต (polyoxyethylene sorbitan monostearate, Tween 60) และโพลีออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทนโมโนโอลิเอท (polyoxyethylene sorbitan monooleate, Tween 80) อนุญาตให้ใช้ไม่เกิน 0.1% ของน้ำหนัก ถ้าใช้อิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปจะมีผลทำให้ไอศกรีมมีการละลายช้า เกิดข้อบกพร่องของรูปร่าง (body) และเนื้อสัมผัส (texture) (Marshall and Arbuckle, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.5 สารเพิ่มความคงตัว

นิยมใช้ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ เป็นสารช่วยดูดน้ำและเพิ่มความหนืด ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นเจล และน้ำอิสระมีการเคลื่อนที่ (mobility) ลดน้อยลงทำให้ไม่เกิดผนึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ระหว่างที่ทำให้ไอศกรีมแข็งตัว ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะแห้ง ไม่หยาบ ไม่ละลาย คงตัวในรูปทรงที่ต้องการขณะเสริฟ และลักษณะของเนื้อไอศกรีมดีขึ้น (นิธิยา, 2541) สารเพิ่มความคงตัวแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) เจลาติน สารเพิ่มความคงตัวที่ได้จากสัตว์ เช่น หนังลูกวัว หนังหมู และกระดูก

(2) สารเพิ่มความคงตัวที่ได้จากพืช เช่น โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate) คาราจีแนน (carragenan) และซีเอ็มซี (sodium carboxymethylcellulose) เป็นต้น

(3) กัม เช่น กัวร์กัม โลคัสบีนกัม ทรากาแคนท์ และคารายา เป็นต้น

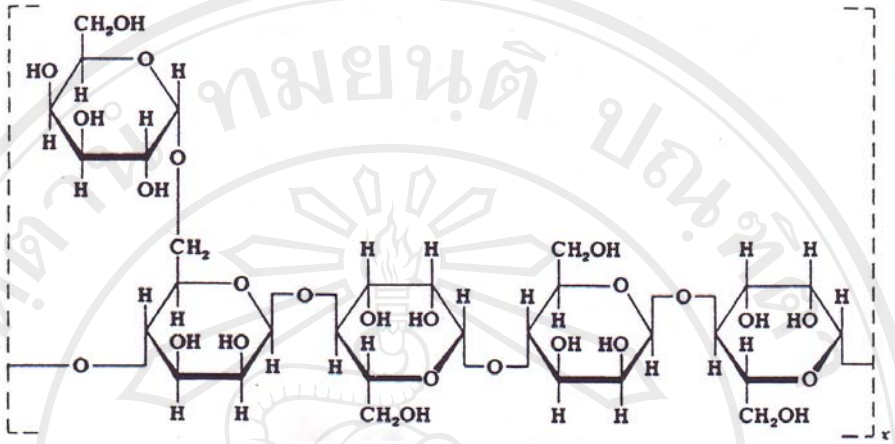
สารเพิ่มความคงตัวจะเพิ่มความหนืดโดยไม่มีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีม จำนวนที่ใช้ในไอศกรีมปกติอยู่ในช่วง 0-0.5% แต่โดยทั่วไปจะใช้ 0.2-0.3% ถ้าใช้สารเพิ่มความคงตัวมากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมละลายช้า มีลักษณะที่เปียกแฉะหรือเนื้อแน่นหนัก ชนิดที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์นมแช่แข็ง (frozen dairy foods) ได้แก่ กัวร์กัม โลคัสบีนกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส คาราจีแนน โซเดียมหรือโพรพิลีน ไกลคอล อัลจิเนต เจลาติน และเปกติน (Marshall and Arbuckle, 1996)

2.5.5.1 โลคัสบีนกัม (locust bean gum หรือ carob bean gum)

เป็นโพลีแซกคาไรด์ที่ได้จากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดถั่วที่มีชื่อสามัญว่า carob (Ceratonia siliqua L.) เป็นกาแลคโตแมนแนนเหมือนกัวร์กัม มีอัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อกาแลคโตสเป็น 4 : 1 (ภาพที่ 2.3) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 300,000 กัมชนิดนี้ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะละลายในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส ปกติไม่นิยมใช้ตามลำพัง นอกจากเป็นสารให้ความข้นหนืดซึ่งมีลักษณะเป็นเมือกลื่น เมื่อใช้ร่วมกับคาราจีแนนชนิดแคปปาในอัตราส่วน 1 ต่อ1 จะให้เจลที่มีความยืดหยุ่นสูงและเหนียว (สุวรรณา, 2543) ปริมาณที่ใช้ในไอศกรีมอยู่ช่วง 0.05-0.3% และ0.25-0.5% ในไอศกรีมชนิด sherbets และ ice (Marshall and Arbuckle, 1996) โดยช่วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ด้วยการจับโมเลกุลน้ำไว้ภายในกัม และป้องกันการถ่ายเทมวล (Nussinovitch, 1997)

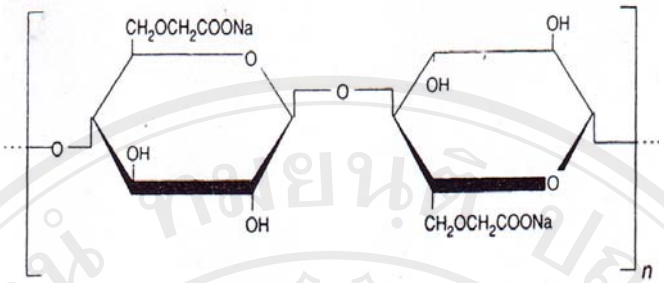


ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของโลคัสบีนกัม
ที่มา : Nussinovitch, 1997

2.5.5.2 โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose)

โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น มีประจุลบเป็นโพลีเมอร์แบบเส้นตรง รู้จักกันทั่วไปในชื่อ CMC เป็นสารสังเคราะห์ที่ผลิตโดยการย่อยเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามด้วยการทำปฏิกิริยากับโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท (sodium monochloroacetate) หรือกรดโมโนคลอโรอะซิติก (monochloroacetic acid) (Nussinovitch, 1997) โครงสร้างหลักทางเคมีของ CMC ประกอบด้วยกลุ่มแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose units) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1,4 กลูโคซิดิก (glucosidic linkages) ซึ่งทุกยูนิตของแอนไฮโดรกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซีจำนวน 3 หมู่ (ภาพที่ 2.4) ในอาหาร CMC จะไม่เกิดเจลด้วยตัวเองหรือกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น แต่สามารถจับกับโปรตีนชนิดละลายได้ เช่น เคซีนและโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งที่ค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 3.0 หรือสูงกว่า 6.0 CMC ซึ่งจับกับโปรตีนนมจะตกตะกอน ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3.0-5.5 จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว (Phillips and Williams, 2000) นอกจากนี้ CMC ยังมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้สูง และละลายได้ง่ายในส่วนผสม เมื่อใช้ร่วมกับกัมชนิดอื่น เช่น คาราจีแนน โลคัสบีนกัม หรือกัวร์กัม จะให้ body ที่ดี เนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนและปรับปรุงสมบัติในการขึ้นฟู ปริมาณการใช้ในไอศกรีมอยู่ในช่วง 0.15-0.20% (Arbuckle, 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



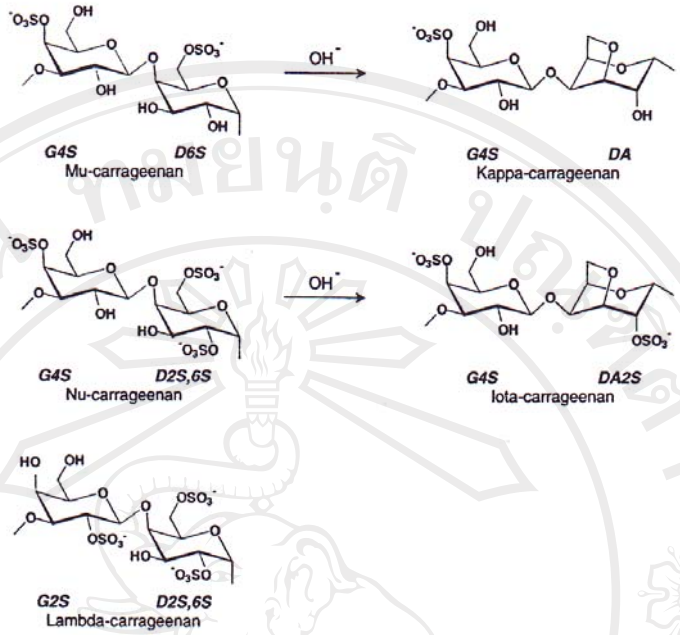
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ที่มา : Phillips and Williams, 1997

2.5.5.3 คาราจีแนน (carragenan)

เป็นโพลีแซกคาไรด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง เช่น Eucheuma cottonii, Chondrus crispus, Gigartina stellata และIradaea เป็นต้น มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไอริชมอส (irish moss) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แคปปา (kappa) ไอโอตา (iota) และแลมบ์ดา (lambda) โครงสร้างหลักทางเคมีประกอบด้วยน้ำตาลกาแลคโตสต่อสลับกันด้วยพันธะแอลฟา 1,3 และ เบต้า 1,4 เป็นโมเลกุลใหญ่ ส่วนที่แตกต่างกันระหว่างคาราจีแนนทั้ง 3 ชนิด คือ จำนวนและตำแหน่งของหมู่ซัลเฟต (ภาพที่ 2.5) คาราจีแนนชนิดแคปปาและไอโอตาเท่านั้นจะทำให้เกิดเจลได้ แคปปาคาราจีแนนละลายได้ดีในน้ำอุ่น อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนนมให้เจลที่หลอมได้เมื่อถูกความร้อน เจลที่ได้มีลักษณะเปราะและเกิดการแยกน้ำ (syneresis) ได้ง่าย ดังนั้นจึงมักจะใช้ร่วมกับตัวอื่นเพื่อแก้ปัญหานี้ ส่วนชนิดไอโอตาละลายได้ในน้ำอุ่น 55 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยากับโปรตีนในนมให้เจลที่มีความยืดหยุ่น (elastic gel) โดยไม่มีการแยกน้ำ สำหรับชนิดแลมบ์ดานั้นสามารถละลายได้ในน้ำเย็น และใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดเท่านั้น หากทำปฏิกิริยากับโปรตีนนมจะให้เจลที่เละ (สุวรรณา, 2543) คาราจีแนนจะให้ความหนืดต่ำในส่วนผสมที่ร้อนเพราะจะอยู่กันเป็นโมเลกุลเดี่ยวๆ แต่ถ้าส่วนผสมเย็นตัวลงความหนืดจะเพิ่มขึ้น ค่า gel strength จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมโพแทสเซียมอิออน เมื่อใช้แคปปาคาราจีแนนร่วมกับโลคัสบีนกัม จะให้เจลที่มีความยืดหยุ่น และมีการยึดเกาะกัน (cohesive) โดยไม่เกิดการแยกน้ำ ในไอศกรีมจะใช้อยู่ในช่วง 0.02-0.15 % (Marshall and Arbuckle, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของคาราจีแนนทั้งสามชนิด
ที่มา : Steinbüchel and Rhee, 2005

2.5.5.4 เจลาติน (gelatin)

เจลาตินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง ได้จากการไฮโดรไลซ์วัตถุดิบที่มีคอลลาเจน จะมีกรดอะมิโนเช่นเดียวกับที่พบจากการไฮโดรไลซ์โปรตีนทั่วๆ ไป ยกเว้นไม่มีทริปโตเฟน (tryptophane) และมีกรดอะมิโนบางตัวสูงเป็นพิเศษ ได้แก่ ไกลซีน (glycine) 27% โพรลีน (proline) และไฮดรอกซีโพรลีน รวมกัน 25% เจลาตินในท้องตลาดมี 2 ชนิดตามกรรมวิธีการผลิต คือ เจลาตินแบบเอ ใช้กรดอนินทรีย์เจือจางในการไฮโดรไลซ์และใช้หนังหมูเป็นวัตถุดิบ มีค่า pI ระหว่าง 7.5-9.5 หรือใช้กระดูกเป็นวัตถุดิบมีค่า pI ระหว่าง 6.5-8.5 แบบบีซึ่งใช้ด่างในการไฮโดไลซ์ และใช้หนังวัวเป็นวัตถุดิบจะมี pI ระหว่าง 4.8-5.2 ในกระบวนการไฮโดรไลซ์นั้นโมเลกุลของคอลลาเจนจะเกิดการแตกหักลงไปเรื่อยๆ ดังนั้นในแต่ละขั้นตอนการย่อยเจลาตินจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันไป ซึ่งส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของเจลาตินที่ได้ เช่น ความแข็งแรงของเจล และความหนืด ต่างกันไปด้วย หน่วยที่ใช้บอกความแข็งแรงของเจล เรียกว่า ค่าบลูม (bloom value) หมายถึงแรง (กรัม) ที่ต้องให้กับตัวกด (plunger) ที่มีขนาด และรูปร่างแน่นอน กดเนื้อเจล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่เตรียมจากเจลาตินความเข้มข้น 6.67% โดยน้ำหนัก ให้ย่นลงเป็นระยะทาง 4 มิลลิเมตร โดยแบ่งเจลาตินออกเป็น 3 ประเภท ตามค่าบลูม (สุวรรณา, 2543) คือ

พวกที่มีค่าบลูมต่ำ (< 150) จะให้เจลที่หนียวและมีความยืดหยุ่นสูง
พวกที่มีค่าบลูมปานกลาง (150-220) นิยมใช้มากที่สุด
และพวกที่มีค่าสูง (> 220) จะให้เจลที่ไม่ค่อยมีความยืดหยุ่น เนื้อแข็งและแน่น

เจลาตินจะป้องกันไม่ให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในไอศกรีม ทำให้เนื้อสัมผัสเรียบเนียน และแน่น (firmness) ปริมาณที่ใช้ขึ้นอยู่กับแหล่งของวัตถุดิบ ความแข็งแรงของเจล (gel strength) ที่วัดเป็นค่าบลูม ค่าความหนืดและองค์ประกอบของส่วนผสม ในไอศกรีมจะใช้ประมาณ 0.25-0.5% สำหรับเจลาตินที่มีค่าบลูม 250 ในไอศกรีมมิกซ์ที่มีการใช้เจลาตินเป็นสารเพิ่มความคงตัวต้องใช้เวลาในการบ่ม (aging period) ประมาณ 4 ชั่วโมง ในขณะที่สารเพิ่มความคงตัวอื่นๆ ไม่ต้องมีการบ่ม (Arbuckle, 1986)

2.5.6 อากาศ และโอเวอร์รัน

ไอศกรีมนอกจากประกอบด้วยส่วนผสมต่างๆ ดังกล่าวแล้ว ยังต้องมีอากาศผสมอยู่ด้วย น้ำหนักของไอศกรีมขึ้นอยู่กับน้ำหนักของส่วนผสมที่ใช้ แต่อากาศที่ผสมอยู่ในไอศกรีมขึ้นอยู่กับปริมาตรของส่วนผสม การผสมอากาศลงในเนื้อไอศกรีมเพื่อเพิ่มปริมาตรทำได้โดยการตีส่วนประกอบให้ขึ้นฟู อากาศจะต้องเป็นฟองเล็กๆ แทรกตัวกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อไอศกรีม ช่วยทำให้เนื้อไอศกรีมไม่แน่น ไม่แข็ง และไม่เย็นเกินไปขณะอยู่ในปาก

2.6 ข้อบกพร่องของไอศกรีม

2.6.1 ข้อบกพร่องทางด้านกลิ่นรส (flavor defects) เกิดจาก

(1) การใช้ผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งมีกลิ่นรสผิดปกติ เช่น กลิ่นหืน กลิ่นบูด กลิ่นรสเปรี้ยว หรืออาจเกิดจากการใช้ถังผสมที่ล้างไม่สะอาด มีกลิ่นติดมา

(2) การใช้สารให้ความหวานในไอศกรีมมากหรือน้อยเกินไป ทำให้รสชาติไม่ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) การใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสมากหรือน้อยเกินไป เช่น ใส่กลิ่นวานิลามากเกินไป หรือใช้ชนิดที่มีกลิ่นแตกต่างจากปกติ ไม่ตรงกับลักษณะไอศกรีมที่ผลิต ทำให้เกิดกลิ่นรสไม่เป็นธรรมชาติ

(4) Cooked flavor มีสาเหตุจากผลิตภัณฑ์ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลานานเกินไป โดยความร้อนจะทำให้ disulfide bonds ในเวย์โปรตีนเป็นsulfhydryl groups ซึ่งให้กลิ่น cooked flavor

(5) กลิ่นอับ สาเหตุจากการเก็บไอศกรีมนานเกินไป

2.6.2 ข้อบกพร่องทางด้านรูปทรง (body defects)

(1) Crumby body ไอศกรีมมีลักษณะโครงสร้างที่เปราะหรือร่วน ทำให้ลักษณะปรากฏของไอศกรีมแห้งและปริแยก ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำเกินไป การใช้สารให้ความคงตัวน้อยเกินไป และค่าโอเวอร์รันสูงเกินไป

(2) Gummy body ไอศกรีมที่มีลักษณะเปียกแฉะ หรือเหนียว เนื่องจากมีโอเวอร์รันน้อยเกินไป หรือการมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากเกินไป ปริมาณน้ำตาลมากเกินไป หรือการใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไป

(3) Weak body เป็นไอศกรีมที่มีลักษณะขาดความแน่น (firmness) เนื่องจากปริมาณส่วนที่เป็นของแข็งในไอศกรีมน้อยเกินไป ไอศกรีมจะทนต่อแรงกดได้น้อย ละลายเร็ว และของเหลวที่ละลายออกมามีความหนืดต่ำ

(4) Heavy body เนื้อไอศกรีมแน่นหนัก ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมแบบซุปเปอร์พรีเมี่ยม (superpremium products) โดยเกิดจากปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง ใช้สารเพิ่มความคงตัวมากเกินไป หรือมีค่าโอเวอร์รันต่ำเกินไป

(5) Shrinkage ไอศกรีมเกิดการหดตัวหรือยุบตัว เนื่องจากเซลล์อากาศแตกจะทำให้ไอศกรีมมีโครงสร้างเล็กลง ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุดังนี้ มีโอเวอร์รันมากเกินไป ปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำไป และเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องการเก็บรักษา (flactuation)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3 ข้อบกพร่องทางด้านเนื้อสัมผัส (texture defects)

(1) Coarse texture เป็นข้อบกพร่องที่เกิดบ่อยในไอศกรีม ไอศกรีมมีผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่หรือขนาดไม่เท่ากัน หรือมีเซลล์อากาศขนาดใหญ่ ปัจจัยที่มีผลได้แก่ ปริมาณของแข็งต่ำ

ปริมาณไขมันในส่วนผสม จุดเยือกแข็งของส่วนผสมต่ำ อุณหภูมิขณะออกจากเครื่องปั่นไอศกรีมสูง การใช้สารเพิ่มความคงตัวน้อยเกินไป การแช่แข็งช้า (slow hardening) ระยะเวลาการเก็บรักษานานเกินไป และอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงเกินไป

(2) Fluffy texture เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์อากาศมีขนาดใหญ่ในระหว่างการปั่น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าโอเวอร์รันสูงเกินไป และละลายช้า ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสนี้จะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งมีปริมาณน้อยกว่า 1 ใน 3 ของค่าโอเวอร์รัน เช่น ปริมาณของแข็งร้อยละ 33 และค่าโอเวอร์รัน ร้อยละ 100

(3) Sandy texture ไอศกรีมเนื้อสัมผัสหยาบคล้ายเม็ดทราย เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำตาลแลคโตสในส่วนผสมไอศกรีมมากเกินไป ทำให้เกิดการตกผลึกในระหว่างการแช่แข็ง ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิในห้องเก็บแช่แข็งไม่คงที่ ป้องกันโดยการลดปริมาณน้ำตาลแลคโตสในส่วนผสม ลดขนาดของเซลล์อากาศให้เล็กลง ลดระยะเวลาในการเก็บรักษา และควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาให้คงที่

(4) Buttery texture ทำให้เกิด greasy mouthfeel ข้อบกพร่องนี้เกิดจากการโฮโมจีไนส์ไม่เพียงพอ หรือการขึ้นฟูมากเกินไประหว่างการปั่นไอศกรีม ซึ่งส่วนผสมที่มีปริมาณไขมันนมและสารเพิ่มความคงตัวสูง หรือระยะเวลาในการปั่นมากเกินไปจะสนับสนุนให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ butterness มากขึ้น

2.7 การนำนมถั่วเหลืองมาใช้ทดแทนนมวัว

เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีจำนวนมาก ราคาถูก และมีปริมาณโปรตีนสูง จึงมีการพยายามนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารให้เป็นที่ยอมรับ และพอใจของผู้บริโภค ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการทำผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองจะเกี่ยวข้องกับกลิ่นถั่ว (beany flavor) และการเกิดอาการท้องอืด (flatulence) ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ โดยปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ได้ด้วยการใช้กระบวนการหมักเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เหมือนโยเกิร์ต (yoghurt-like product) (Tamime and Robinson, 1999) ดังงานวิจัยต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Chopra *et al.* (1984) พบว่าการเติมนมผง (skimmed milk) ลงในนมถั่วเหลืองด้วยอัตราส่วน 20 ต่อ 80 ร่วมกับน้ำตาลซูโครสจำนวน 1 กรัม ต่อ 100 กรัมนมถั่วเหลือง และทำการหมักด้วยเชื้อ *S. thermophilus* และ *L. acidophilus* จะได้โยเกิร์ตที่มีลักษณะแน่น (firm) และไม่มีกลิ่นถั่ว นอกจากนี้ Wang *et. al.* (1995) ยังพบว่าการหมักนมถั่วเหลืองที่เติมน้ำตาลซูโครส

แล้วหมักด้วยเชื้อเดียวกันจะได้โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสดี และเชื้อ *B. bifidum* จะกระตุ้นการเจริญเติบโตของเชื้อทั้ง 2 ชนิดนี้อีกด้วย (Tamime and Robinson, 1999)

ลินจง (2540) ได้ศึกษากรรมวิธีการทำโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง พบว่าโยเกิร์ตที่เตรียมจากถั่วเหลืองแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.5% ตีปั่นด้วยน้ำร้อน ให้โยเกิร์ตที่มีกลิ่นถั่วน้อย และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด ส่วนการศึกษาปริมาณหางนมผง และปริมาณกลูโคส แลคโตส และซูโครส ที่เหมาะสมร่วมกับเจลาติน 1% พบว่า การใช้หางนมผง 10 % ซูโครส 7% ร่วมกับเจลาติน 1% จะได้โยเกิร์ตที่มีเนื้อสัมผัสที่ดี เนียนละเอียด ไม่มีการแยกตัวของน้ำหางนม และมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด

วรรณี (2542) ศึกษาการผลิตโยเกิร์ตถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม โดยใช้เชื้อ *S. thermophilus* และ *L. delbrueckii bulgaricus* ในอัตราส่วน 1 : 1 จำนวน 10% พบว่าโยเกิร์ตถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ได้รับการยอมรับสูงที่สุด ประกอบด้วย นมถั่วเหลือง 69.4% แป้งถั่วเหลือง 12.0% แคลเซียมแลคเตท 1.0% น้ำตาล 13.0% และเพกติน 0.6% บ่มที่อุณหภูมิ 43 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีอายุการเก็บรักษา 14 วัน มีไขมัน 1.51% แคลเซียม 84.82 mg/100g และเส้นใยอาหาร 1.49%

Wang *et. al.* (2003) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาล กรดอินทรีย์ และค่าความเป็นกรดของนมถั่วเหลืองในระหว่างการหมัก โดยใช้เชื้อแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก 2 สายพันธุ์ คือ *L. acidophilus* CCRC 14079 และ *S. thermophilus* CCRC 14085 เป็นเชื้อเริ่มต้นเดี่ยว (single culture) และใช้ร่วมกับเชื้อ *B. infantis* CCRC 14633 หรือ *B. longum* B6 พบว่า *L. acidophilus* และ *S. thermophilus* สามารถใช้น้ำตาลสตาคีโอสและแรฟฟิโนสในนมถั่วเหลืองได้ โดย *S. thermophilus* ใช้ประโยชน์จากน้ำตาลเหล่านี้ได้ดีกว่า ในระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 37 ^{O}C เป็นเวลา 24-32 ชั่วโมง ด้วยเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกเพียงเชื้อเดียว พบว่า ปริมาณน้ำตาลแรฟฟิโนส สตาคีโอส ซูโครส และพีเอชลดลง ขณะที่น้ำตาลฟรักโทส และกลูโคสรวมกับกาแลคโตสเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้ร่วมกับเชื้อ Bifidobacteria จะทำให้ปริมาณน้ำตาลแรฟฟิโนส และสตาคีโอส ลดลงมากกว่าการหมักด้วยเชื้อที่ผลิตกรดแลคติกเพียงอย่างเดียว

Kumar and Mishra (2004) ได้ศึกษาผลของสารเพิ่มความคงตัว 3 ชนิด ได้แก่ เจลาติน เพกติน และโซเดียมอัลจิเนต ต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ ประสาทสัมผัส เนื้อสัมผัสและปริมาณเชื้อเริ่มต้น (starter culture) ของ mango soymilk fortified yoghurt (MSFY) ซึ่งเตรียมจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นมควาย 78.15% นมถั่วเหลือง 14.74 % เนื้อมะม่วง 7.11% และเติมสารเพิ่มความคงตัว 3 ระดับ คือ 0.2, 0.4, และ 0.6 %w/w บ่มด้วยเชื้อ *S. thermophilus* และ*L. delbrueckii bulgaricus* ในอัตราส่วน 1 : 1 จำนวน 2% v/v ที่อุณหภูมิ 45 ^{O}C พบว่าชนิดและระดับที่เติมมีผลต่อค่าความเป็นกรด ปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า syneresis และปริมาณอะเซทตัลดีไฮด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และที่ระดับ 0.4 %w/w เจลาตินจะให้ลักษณะปรากฏ สี รูปร่าง เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และการยอมรับโดยรวมดีกว่าสารเพิ่มความคงตัวชนิดอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าสารเพิ่มความคงตัวมีผลต่อปริมาณของเชื้อ *S. thermophilus* และ *L. delbrueckii bulgaricus* อย่างมีนัยสำคัญ

ซึ่งรายละเอียดวิธีการเตรียมโยเกิร์ตถั่วเหลืองเพื่อให้ได้โยเกิร์ตที่มีลักษณะดีมีดังนี้

(1) นมถั่วเหลืองควรมีโปรตีน 3.6 -4.5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้โยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสที่ดี

(2) ควรมีความรอบคอบในการเลือกชนิด และสายพันธุ์ของแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกเพื่อให้สามารถปรับปรุงโยเกิร์ตให้คุณภาพที่ดีได้ การใช้เชื้อเริ่มต้นมากเกินไปจะทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะโค้ง ควรใช้เชื้อเริ่มต้นประมาณ 2 ช้อนโต๊ะต่อ 1 ใน 4 ของถั่วเหลือง

(3) เพื่อป้องกันการแยกตัวของหางนม และให้โยเกิร์ตมีความคงตัวต้องเติมสารเพิ่มความคงตัว เช่น วุ้น คาราจีแนน หรือ เจลาติน

(4) Soy protein isolates สามารถใช้แทนสารเพิ่มความคงตัวได้ สารนี้จะเพิ่มความข้นหนืด gel strength และโปรตีน

(5) เชื้อเริ่มต้นควรเติมเมื่ออุณหภูมิของถั่วเหลืองลดลงประมาณ 47 องศาเซลเซียส

(6) เชื้อที่ใช้ส่วนใหญ่จะบ่มที่อุณหภูมิร่างกายหรือสูงกว่าเล็กน้อย คือ 37 - 41 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 – 16 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้บ่มสูงขึ้นจะใช้เวลาในการบ่มสั้นลง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้จะต้องสัมพันธ์กันเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น

2.8 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Glycine Max* (L.) Merrill เป็นพืชที่อยู่ในตระกูลของ Leguminosae Subfamily papilionoideae ภาษาอังกฤษมีการเรียกชื่อหลายแบบ คือ soya bean soja bean หรือ soybean (สุมาลีและวลัยทิพย์, 2541) มีแหล่งกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออก และตอนกลางของประเทศจีน ซึ่งมีการปลูกถั่วเหลืองเมื่อประมาณ 5000 ปีที่ผ่านมา หลังจากนั้นมีการแพร่เข้าสู่ส่วนอื่นๆ ของจีน และเขตอบอุ่น (temperature region) ของเอเชีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี และตะวันออกของประเทศโซเวียต และในราวศตวรรษที่ 18 ได้มีการนำถั่วเหลืองเข้าไปปลูกเพื่อเป็นอาหารในประเทศทางยุโรป หลังจากนั้นจึงมีการนำถั่วเหลืองจากยุโรปเข้าสู่อเมริกา ซึ่งปัจจุบันอเมริกาเป็นประเทศที่มีการผลิตถั่วเหลืองมากที่สุดในโลก รองลงมาได้แก่ จีน บราซิล และอาร์เจนตินา (ทรงเชาว์, 2545)

การปลูกถั่วเหลืองในประเทศไทยส่วนใหญ่มีการปลูกในแถบ 18 จังหวัด ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางตอนบน ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก ซึ่งภาคเหนือมีพื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตมากที่สุด รองลงมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ในปัจจุบันพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ พันธุ์ที่ทางราชการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก มีอยู่ 5 พันธุ์ด้วยกัน คือพันธุ์ ส.จ.1 พันธุ์ ส.จ.2 พันธุ์ ส.จ.4 พันธุ์ ส.จ.5 และพันธุ์เชียงใหม่ 60

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม.60) กรมวิชาการเกษตรประกาศรับรองพันธุ์ในปี 2530 ลำต้นไม่ทอดยอด ดอกสีขาว เมล็ดกลม สีเหลือง ลักษณะตาของเมล็ดมีสีน้ำตาล ให้ผลผลิตประมาณ 300 กิโลกรัมต่อไร่ ติดฝักดก มีความทนทานต่อโรคราสนิม โรคใบจุดนูน แต่ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรคเมล็ดสีม่วง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 95 วัน (อัจฉราและคณะ, 2547) เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก ซึ่งมีปริมาณโปรตีน (44 %) และไขมัน (20%) สูง (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

2.8.1 ส่วนประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีน และไขมันจากพืชที่สำคัญแหล่งหนึ่ง โดยทั่วไปถั่วเหลืองประกอบด้วย เปลือก 8 เปอร์เซ็นต์ ใบเลี้ยง 90 เปอร์เซ็นต์ และยอดอ่อน (ส่วนที่เจริญเติบโต) 2 เปอร์เซ็นต์ (Liu, 1997) แต่ละส่วนจะมีปริมาณสารอาหารแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบโดยประมาณของเมล็ดถั่วเหลือง และส่วนต่างๆ ของถั่วเหลือง

	ส่วนประกอบทางเคมี (% น้ำหนักแห้ง)			
	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
เปลือก	9	1	86	4.3
ยอดอ่อน	41	11	43	4.4
ใบเลี้ยง	43	23	29	5.0
ถั่วเหลืองทั้งเมล็ด	40	20	35	5.0

ที่มา : Liu, 1997

2.8.1.1 โปรตีน

โปรตีนจะถูกสะสมอยู่ในเซลล์ของเนื้อถั่วเหลือง โดยสะสมกันเป็น protein bodies ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2-20 ไมครอน และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 200,000 - 600,000 โปรตีนส่วนใหญ่เป็นโปรตีนโกลบูลิน (globulin) ประกอบด้วย 2S 7S 11S และ15S fraction ซึ่ง 7S fraction ประกอบด้วยโปรตีน 4 ชนิด คือ ฮีแมกกลูตินิน (hemagglutinins) ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenases) เบต้า- อะไมเลส (β-amylase) และ7S โกลบูลิน (หรือเบต้า-คอนไกลซินิน) และ11S fraction ประกอบด้วยโปรตีนชนิดเดียว คือ 11S โกลบูลิน หรือไกลซินิน (ประเสริฐ และคณะ, 2527) ซึ่ง11Sโกลบูลินทนความร้อนและมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7Sโกลบูลิน โดย denaturation temperatureลดลง 10 องศาเซลเซียส เมื่อค่าความเป็นกรด- ด่างเพิ่มจาก 6 เป็น 11 (Petruccelli and Añón, 1996) onset denaturation temperature (T_o) ของ 7S โกลบูลิน ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส และประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส สำหรับ 11S โกลบูลิน (Renkema et al., 2002) โดย Renkema and Vliet (2002) ได้ศึกษาการเสียสภาพของ soy protein isolate ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 พบว่า onset denaturation temperature (T_o) และ peak denaturation temperature (T_p) ของเบต้า- คอนไกลซินิน เท่ากับ 63 และ 68 องศาเซลเซียส และของไกลซินินเท่ากับ 80 และ 88 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

นอกจากนี้โปรตีนจากถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นครบทั้ง 8 ชนิด แต่มีปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีน (methionine) และซิสตีน (cystine) ค่อนข้างต่ำ จึงควรเสริมด้วยการบริโภคธัญพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าว ข้าวกล้อง งา และข้าวโพด เป็นต้น (สุมาลีและวลัยทิพย์, 2541) เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของเมล็ดธัญพืชอื่นๆ แล้วพบว่าโปรตีนจากถั่วเหลืองจะมีกรดอะมิโนไลซีน (lysine) และ ทริพโตเฟน (tryptophane) สูงกว่า ซึ่งกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของมนุษย์และสัตว์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.1.2 ไขมัน

โดยเฉลี่ยแล้วเมล็ดถั่วเหลืองจะมีไขมันประมาณ 18-20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ด น้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูงเพราะมีส่วนของไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง ถึง 80-85 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 2.5 จะพบว่ามีกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) มากที่สุด รองลงมาคือ กรดโอเลอิก

(oleic acid) กรดปาล์มิติก (palmitic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) และกรดสเตียริก (stearic acid) ตามลำดับ ซึ่งกรดลิโนเลอิกมีหน้าที่สำคัญคือให้ความสดชื่นสมบูรณ์แก่ผิวหนัง ช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด และช่วยในการเจริญเติบโตของเด็กและทารก

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระในน้ำมันถั่วเหลือง

ชนิดกรดไขมันอิสระ	ปริมาณ (%)
Myristic, $C_{14:0}$	0.1
Palmitic, $C_{16:0}$	11.0
Palmitoleic, $C_{16:1}$	0.1
Stearic, $C_{18:0}$	4.0
Oleic, $C_{18:1}$	23.4
Linoleic, $C_{18:2}$	53.2
Linolenic, $C_{18:3}$	7.8
Arachidic, $C_{20:0}$	0.3
Behenic, $C_{22:0}$	0.1

ที่มา : Liu, 1997

นอกจากนี้ ไขมันในถั่วเหลืองยังประกอบด้วยสารสำคัญ คือ ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ซึ่งเป็นสารที่คล้ายไขมัน โดยมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบ ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปกรดฟอสฟอริค และไนโตรเจนอยู่ในรูปของเลซิทิน (lecithin) ซึ่งเลซิทินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์ประสาท สมอง หัวใจ ไตและต่อมไร้ท่อ จึงมีความสำคัญมากต่อความสมบูรณ์ของร่างกายมนุษย์ โดยเลซิทินมีหน้าที่ดังนี้

(1) เสริมสร้างเส้นประสาท เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มสมอง
(2) บำรุงต่อมไร้ท่อต่างๆ
(3) ทำให้ไขมันและโคเลสเตอรอลที่เกาะอยู่ตามอวัยวะต่างๆ กระจายตัวออกไป
(4) ช่วยในการดูดซึม และขนส่งไขมันเข้าสู่กระแสเลือด
(5) ช่วยในการรักษาโรคผิวหนัง
(6) ช่วยรักษาโรคหลอดเลือดแข็ง
(7) ช่วยให้การทำงานของตับดีขึ้น
(8) ช่วยเสริมการสร้างภูมิคุ้มกันโรคในร่างกาย

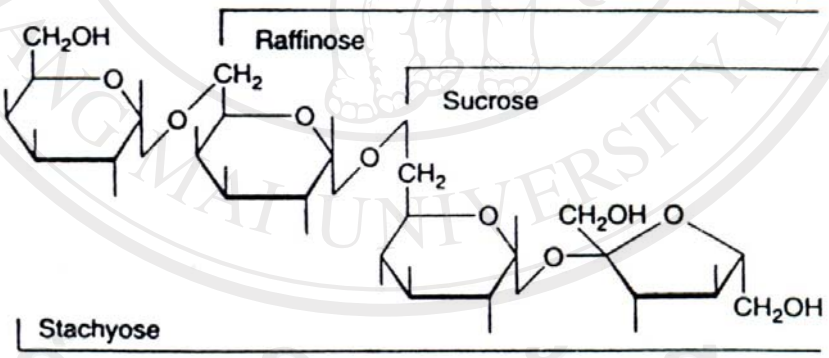
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.1.3 คาร์โบไฮเดรต

ในถั่วเหลืองมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ (วิเชียร, 2531) โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

(1) คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrates)

ถั่วเหลืองเมล็ดแก่จะมีน้ำตาลในรูปโมโนแซ็กคาไรด์ เช่น กลูโคส และอะราบิโนส เพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่อยู่ในรูปไดแซ็กคาไรด์ และโอลิโกแซ็กคาไรด์ โดยมีน้ำตาล ซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$) อยู่ในช่วง 2.5-8.2 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลแรฟฟิโนส ($C_{18}H_{32}O_{16}$) 0.1-0.9 เปอร์เซ็นต์ และน้ำตาลสตาคีโอส ($C_{24}H_{42}O_{21}$) 1.4-4.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโอลิโกแซ็กคาไรด์ จะเป็น nonreducing sugars ที่ประกอบด้วย ฟรักโทส (fructose) กลูโคสและกาแลคโตส จำนวนตั้งแต่ 2 โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-fructosidic และ α-galactosidic (ภาพที่ 2.6) นอกจากนี้ยังพบน้ำตาล verbascose ($C_{30}H_{52}O_{26}$) ในรูปของแป้ง (starch) แต่พบในปริมาณที่น้อยมาก



ภาพที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของน้ำตาลโอลิโกแซ็กคาไรด์บางชนิด
ที่มา : Liu, 1997

น้ำตาลแรฟฟิโนส และน้ำตาลสตาคีโอส ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ยากทำให้เกิดกระบวนการหมัก และมีก๊าซเกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่ และเกิดอาการท้องอืดได้ (flatulence) (นิธิยา, 2545) เนื่องจากมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ α-galactosidic ดังนั้นน้ำตาลทั้งสองชนิดนี้จะไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่จะถูกใช้โดยจุลินทรีย์ที่ส่วนปลายของลำไส้ และสร้างแก๊สต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และมีเทน เป็นต้น ถึงแม้น้ำตาลโอลิโกแซ็กคาไรด์จะทำให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ แต่จากการศึกษาในปัจจุบัน พบว่ามีประโยชน์หลายอย่าง เช่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) เพิ่มจำนวนประชากรของ bifidobacteria ในลำไส้ซึ่งช่วยกำจัดแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น

(2) ป้องกันการท้องผูกเพราะมีการผลิตกรดไขมันชนิดสายสั้น (short chain fatty acids) ปริมาณสูงโดย bifidobacteria

(3) ลดความดันโลหิต

(4) มีผลในการต้านการเกิดมะเร็ง

(5) ทำให้เกิดสารอาหาร เช่น วิตามิน เนื่องจากกิจกรรมที่เพิ่มขึ้นของ bifidobacteria

(2) คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble carbohydrates)

คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำในถั่วเหลือง ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เปกตินและสตาร์ช ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ เปลือกหุ้มเมล็ดมีประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ของถั่วเมล็ดแห้งและประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน 86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Kikuchi *et al.* (1971) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำตาลโพลีแซ็กคาไรด์ในผนังเซลล์ของถั่วเหลือง แล้วพบว่าผนังเซลล์ประกอบด้วยเปกติน 30 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 50 เปอร์เซ็นต์ และเซลลูโลส 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ในถั่วเหลืองจึงเป็น dietary fiber ที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้

2.8.1.4 เกลือแร่

ปริมาณเถ้าที่พบในถั่วเหลืองแห้งมีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยแร่ธาตุส่วนใหญ่ที่พบได้แก่ โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม คลอไรด์ และโซเดียม มีปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 2.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแร่ธาตุที่พบในปริมาณน้อยมาก ได้แก่ ซิลิกอน เหล็ก สังกะสี แมงกานีส ทองแดง โบลิบดีนัม ฟลูออรีน โครเมียม ซีลีเนียม โคบอล แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู ปรอท และไอโอดีน มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.01 ถึง140 พีพีเอ็ม ในถั่วเหลืองจะมีสารพวกไฟติน (phytin) เป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง สารนี้สามารถรวมตัวกับแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียม เหล็ก สังกะสี เป็นเกลือไฟเตท (phytate) ทำให้ร่างกายได้รับประโยชน์จากแร่ธาตุเหล่านี้ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.1.5 วิตามิน

ถั่วเหลืองประกอบด้วยวิตามินทั้งที่ละลายในน้ำและละลายในน้ำมัน วิตามินที่ละลายในน้ำที่พบมากได้แก่ วิตามินบี1 (thiamin) วิตามินบี2 (riboflavin) และไนอาซิน ส่วนวิตามินซีพบในปริมาณที่น้อยมาก สำหรับวิตามินที่ละลายในน้ำมัน คือ วิตามินเอ และวิตามินอี ซึ่งวิตามินเอจะพบในรูปของ เบต้าแคโรทีน ส่วนวิตามินอีหรือ โทโคฟีรอล (tocopherol) มี 4 ไอโซเมอร์ คือ แอลฟา เบต้า แกมม่า และเดียต้าโทโคฟีรอล เมื่อเทียบน้ำนมถั่วเหลือง น้ำนมวัว และน้ำนมคนในปริมาณ 100 กรัม พบว่าวิตามินบี1 และไนอาซินใกล้เคียงกับน้ำนมวัว แต่วิตามินเอ และวิตามินบี2 จะต่ำกว่ามาก

2.8.1.6 สารไลพอกซีจิเนส (lipoxygenase)

เป็นเอนไซม์ที่พบในถั่วเหลืองและทำให้ถั่วเหลืองมีกลิ่นหืน เนื่องจากเอนไซม์จะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวเมื่อมีน้ำ ทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ง่ายพวกแอลดีไฮด์และคีโตน ปัญหานี้จะเกิดในกรณีที่ต้องแช่ถั่วในน้ำเพื่อทำให้ถั่วนุ่มก่อนการหุงต้ม

2.8.1.7 สารประกอบพวกฟีนอล (phenolic compound)

สารประกอบฟีนอลที่สำคัญในถั่วเหลือง คือ แทนนิน (tannin) เป็นสารสีน้ำตาลที่ทำให้ถั่วมีสีคล้ำ และมีผลต่อการย่อยของโปรตีนมาก เนื่องจากสารนี้จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนแล้วเกิดเป็นสารประกอบที่ย่อยยาก สารนี้มีรสขมและฝาด จึงทำให้ถั่วมีกลิ่นและรสเฉพาะตัว นอกจากนี้สารนี้ยังทนความร้อนสูง ไม่ละลายในน้ำ และน้ำมัน ถั่วแดงหลวงจะมีสารชนิดนี้น้อยจึงย่อยได้ง่ายกว่าถั่วเหลือง ถั่วแดง และถั่วดำ นอกจากนี้ยังมี ไอโซฟลาโวน (isoflavones) โดยอยู่ในรูปสาร 3 ชนิด คือ genistein daidzein และ glycetein ช่วยป้องกันและรักษาโรคมะเร็งในเต้านม มดลูก ลำไส้ใหญ่ ต่อมลูกหมาก โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ และโรคกระดูกพรุน (คัคนางค์, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.1.8 สารยับยั้งทริปซินในลำไส้เล็ก (trypsin inhibitor)

เป็นตัวขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ ทริปซินที่มีบทบาทมากในการย่อยโปรตีน เนื่องจากเป็นน้ำย่อยตัวแรกในลำไส้เล็ก ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีน และทำให้น้ำย่อยตัวอื่นสามารถ

ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แต่ถั่วเหลืองจะมีสารชนิดนี้มากกว่าถั่วชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามสารชนิดนี้ถูกทำลายได้ง่ายโดยใช้ความร้อน

2.8.2 น้ำนมถั่วเหลือง

น้ำนมถั่วเหลืองเป็นส่วนที่สกัดได้จากเมล็ดถั่วเหลือง มีลักษณะปรากฏและองค์ประกอบใกล้เคียงกับน้ำนมวัว (ตารางที่ 2.6) โดยทั่วไปน้ำนมถั่วเหลืองจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 8-10% (ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเหลืองที่ใช้ในการแปรรูป) ประกอบด้วย โปรตีน 3.6% ไขมัน 2% คาร์โบไฮเดรต 2.9% และเถ้า 0.5% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมวัวและน้ำนมคนแล้วพบว่าน้ำนมถั่วเหลืองจะมีปริมาณโปรตีน ธาตุเหล็ก กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและไนอะซินสูงกว่า แต่มีปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรตและแคลเซียมต่ำกว่า นอกจากนี้ยังไม่พบน้ำตาลแลคโตส (lactose free)

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของน้ำนมถั่วเหลือง น้ำนมวัวและน้ำนมคน

ปริมาณต่อ100g	น้ำนมถั่วเหลือง	น้ำนมวัว	น้ำนมคน
พลังงาน (calorie)	44	59	62
น้ำ (g)	90.8	88.6	88.2
โปรตีน (%)	3.6	2.9	1.4
ไขมัน (%)	2.0	3.3	3.1
คาร์โบไฮเดรต (%)	2.9	4.5	7.1
เถ้า (%)	0.5	0.7	0.2
แร่ธาตุ (mg)			
แคลเซียม	15	100	35
ฟอสฟอรัส	49	90	25
โซเดียม	2	36	15
เหล็ก	1.2	0.1	0.2
วิตามิน (mg)			
ไทอะมีน (B1)	0.03	0.04	0.02
ไรโบฟลาวิน (B2)	0.02	0.15	0.03
ไนอะซิน	0.50	0.20	0.20
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (%)	40-48	60-70	55.3
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (%)	52-60	30-40	44.7
โคเลสเตอรอล (mg)	0	9.24-9.9	9.3-18.6

ที่มา : Liu, 1997

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Guven *et al.* (2003) ศึกษาหาอัตราส่วนของโลคัสบีนกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส กัวร์กัม และโซเดียมอัลจิเนต ในการผลิต Kahramanmaras –type ice creams (ไอศกรีมที่ผลิตในตุรกี) โดยเติมสารเพิ่มความคงตัวรวมกันเท่ากับ 1% เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งใช้ salep extract (สารสกัดจากต้น salep กล้วยไม้ป่าชนิดหนึ่ง) พบว่า ไอศกรีมที่ใช้ salep extract เพียงอย่างเดียวจะมีค่าความเป็นกรดสูงกว่า พีเอชและความหนืดต่ำกว่า และทนต่อการละลายน้อยกว่าไอศกรีมที่เติมสารเพิ่มความคงตัวทั้ง 4 ชนิดรวมกัน อย่างมีนัยสำคัญ

Kailasapathy and Sellepan (1998) ได้ศึกษาผลของสารเพิ่มความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ต่อ soy- ice confection โดยเติมสารเพิ่มความคงตัว ได้แก่ โลคัสบีนกัม (0.20%) กัวร์กัม (0.20%) โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (0.20%) และอัลจิเนต (0.25%) เพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง ร่วมกับใช้กลีเซอรอลโมโนสเตียเรตเป็นอิมัลซิไฟเออร์ นอกจากนี้ยังเตรียม soy- ice confection โดยเติม sherex (ส่วนผสมของโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โลคัสบีนกัม กัวร์กัม และคาราจีแนน) เป็นสารเพิ่มความคงตัว แต่ไม่เติมอิมัลซิไฟเออร์ ลงในส่วนผสมที่ประกอบด้วยไขมันพืช 8 % น้ำตาล 13 % กลูโคสไซรัป 10 % และ soy protein isolate 4 % พบว่าการเติม sherex จะทำให้ส่วนผสมมีความหนืดสูงที่สุด (8.88 Pa.s) โลคัสบีนกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและsherex ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติการเกิดโฟม (foaming property) ดีกว่าสารเพิ่มความคงตัวชนิดอื่น โดยโลคัสบีนกัมเก็บกักอากาศได้ดีที่สุด ส่วนคุณสมบัติการละลายของทุกตัวอย่างอยู่ในระดับที่ดี และการเติม sherex ยังมีผลต่อทำให้ค่า shape factor ค่า glass transition temperature และ ค่า melting temperature สูงที่สุด โดยมีค่า 125.3% -29.64 ^{o}C และ 2.59 ^{o}C ตามลำดับ นอกจากนี้ sherex โลคัสบีนกัม และ อัลจิเนต ยังให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดี

อรุณี (2547) ทำการศึกษาผลของสารเพิ่มความคงตัว 4 ชนิด ได้แก่ โลคัสบีนกัม (LBG) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส(CMC) อัลจิเนต (Alginate) และแซนแทนกัม (Xanthan gum) ต่อคุณภาพไอศกรีมถั่วเหลือง จากการศึกษาเบื้องต้นได้ส่วนผสมหลักคือ นมถั่วเหลือง 75 % ไขมันพืช 10 % และน้ำตาล 15 % โดยนมถั่วเหลืองมีผลต่อกลิ่นรสถั่วเหลือง ส่วนไขมันพืชและน้ำตาลมีผลต่อความเรียบเนียน ($P \leq 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่ากลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (GMS) 0.2% เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมกว่าเลซิทิน และโพลีซอร์เบท เพราะมีค่าโอเวอร์รัน และคะแนนสัดส่วนเฉลี่ยการยอมรับสูงกว่า ($P \leq 0.05$) แล้วพบว่าการใช้สารเพิ่มความคงตัว 3 ตัว ทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าโอเวอร์รันสูงกว่าใช้แบบเดี่ยว ($P \leq 0.05$) โดยการใช้โลคัสบีนกัม 0.071 % คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 0.096 % และอัลจิเนต 0.033 % เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด โดย CMC เพิ่มความเรียบเนียน ความเหนียวหนืด และโอเวอร์รัน แต่ลดความแข็ง ส่วนอัลจิเนตเพิ่มความแข็ง ($P \leq 0.05$) องค์ประกอบไอศกรีมถั่วเหลืองที่ได้มีความข้นหนืด 40.53 ± 0.96 centipoise ค่าโอเวอร์รัน 42.86 ± 2.43 % อัตราการละลาย (ต่อ 100 กรัม) 0.31± 0.05 กรัมต่อนาที แรงเจาะ 26.81 ± 1.44 นิวตัน และแรงกด 487.02 ± 32.81 นิวตัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved