บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไอศกรีม

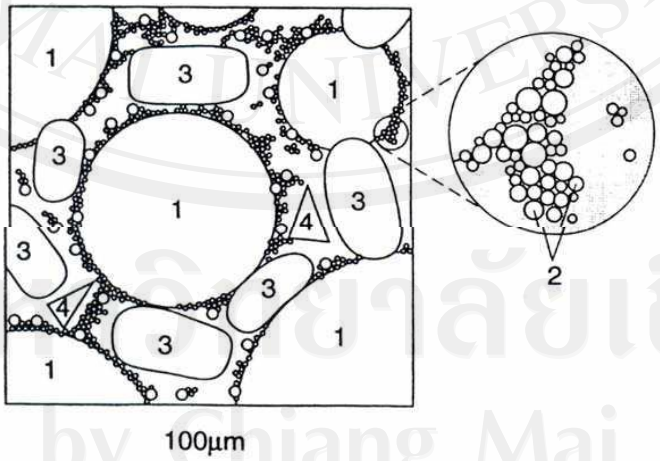
ไอศกรีม หมายถึง ผลิตภัณฑ์นมแช่เยือกแข็งที่ผลิตจากการแช่เยือกแข็งส่วนผสมที่นำไปปั่นเพื่อรวมตัวกับอากาศทำให้ได้ลักษณะที่คงตัว โดยทั่วไปส่วนผสมไอศกรีมประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์นม (ไขมันนม) น้ำตาล น้ำเชื่อม น้ำ สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ รวมถึงไข่ ผลิตภัณฑ์จากไข่ สี กลิ่นรสที่ปลอดภัย (Arbuckle, 1986; นันทินา, 2544) ไอศกรีมสามารถแบ่งตามคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ได้เป็นไอศกรีมพรีเมี่ยม และไอศกรีมสูตรมาตรฐาน โดยไอศกรีมพรีเมี่ยมจะผลิตจากวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูง และมีปริมาณของไขมันนมอยู่สูงประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอากาศน้อย ในขณะที่ไอศกรีมสูตรมาตรฐานจะผลิตจากวัตถุดิบที่มีราคาถูก เช่น ไขมันจากพืชมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณอากาศที่มากกว่า (Clarke, 2004) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 222) พ.ศ.2544 เรื่องไอศกรีม แบ่งไอศกรีมออกเป็น 5 ชนิด คือ (1) ไอศกรีมนม ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้นมหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม (2) ไอศกรีมดัดแปลง คือ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้ไขมันชนิดอื่นแทนมันเนยทั้งหมด หรือแต่บางส่วนหรืออาจทำจากวัตถุดิบอื่นที่ตามธรรมชาติมีไขมันอยู่แต่ไม่ใช่ นม เช่นไอศกรีมที่ผสมน้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันมะพร้าว ไอศกรีมกะทิ เป็นต้น (3)ไอศกรีมผสม คือ ไอศกรีมนมหรือไอศกรีมดัดแปลงที่มีการผสมน้ำผลไม้ เนื้อผลไม้ ถั่ว ช็อกโกแลต และส่วนผสมอื่นๆ (4)ไอศกรีมชนิดผงหรือเหลว เป็นส่วนผสมของสิ่งที่ต้องใช้ในการทำไอศกรีมชนิดต่างๆ ที่กล่าวมาโดยจำหน่ายในรูปของผง ซึ่งต้องนำไปเติมน้ำตามสัดส่วนที่กำหนด แล้วนำไปปั่นทำให้แข็งหรือแช่เย็นให้แข็งก่อนนำไปบริโภค หรืออาจจำหน่ายในรูปของเหลว ซึ่งนำไปปั่นหรือแช่แข็งได้เลยไอศกรีมชนิดนี้อาจเรียกว่า ไอศกรีมกึ่งสำเร็จรูป และ(5) ไอศกรีมหวานเย็น เป็นไอศกรีมที่ไม่มีส่วนผสมของนม ทำจากน้ำตาล แล้วเติมสี กลิ่น รส หรือน้ำผลไม้ ในขณะที่ The International Ice Cream Association ได้เสนอมาตรฐานไอศกรีมและผลิตภัณฑ์อื่นที่เกี่ยวข้องต่อองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration, FDA) ไว้ดังนี้คือ ผลิตภัณฑ์ลดไขมัน (reduced fat) ให้มีไขมันร้อยละ 2-7 ผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ (low fat) มีไขมันร้อยละ 0.5-2 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีไขมัน (fat free) ต้องมีไขมันน้อยกว่าร้อยละ 0.05 ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทุกเพศทุกวัยทั่วโลก ส่งผลให้ตลาดของไอศกรีมมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยแนวโน้มของการปรับตัวของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตลาดไอศกรีมโลกน่าจะไปยังทิศทางหลักที่สำคัญ เช่น การปรับยกคุณภาพหรือมูลค่าเพิ่มของไอศกรีม ด้วยการริเริ่มรสชาติไอศกรีมที่แปลกใหม่ไม่ซ้ำกับรสชาติแบบเดิมๆการปรับปรุงรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ที่ให้สะดวกในการรับประทาน นอกจากนี้แล้วความปลอดภัยและผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคก็มีความสำคัญเพื่อทำให้ผู้บริโภคมั่นใจว่าสิ่งที่ได้บริโภคจากส่วนประสมในไอศกรีมนั้นส่งผลดีและไม่มีผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค (ผู้จัดการรายสัปดาห์, 2550)

2.1.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของส่วนประกอบในไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีส่วนผสมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นนมและผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นม ครีม หางนมและนมระเหย เป็นต้น และส่วนที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ น้ำตาล สารเพิ่มความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารให้กลิ่นรส และสี เป็นต้น (Marshall และ Arbuckle, 1996) สัดส่วนขององค์ประกอบของไอศกรีมจะมีความผันแปรอย่างมากตามสูตรของไอศกรีม 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% (วรรณา และวิบูลศักดิ์, 2531) ไอศกรีมเป็นสารละลายแท้และสารละลายคอลลอยด์ผสมกัน โดยมีน้ำตาลละลายอยู่เป็นสารละลายแท้และโปรตีนเคซีนละลายอยู่เป็นสารละลายคอลลอยด์ นอกจากนี้ยังมีฟองอากาศเล็กๆและอนุภาคของไขมันกระจายตัวอยู่เป็น dispersed phase เมื่อนำไปแช่แข็งไอศกรีมจะมีสถานะเป็นdouble emulsion ของ air-in-water และ fat-in-water ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีม : (1) ฟองอากาศ (2) ไขมันจับอยู่รอบๆ ฟองอากาศ (3) ผลึกน้ำแข็ง และ (4) ผลึกน้ำตาลแลคโตส
ที่มา: Marshall และ Arbuckle, 1996

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนผสมแต่ละชนิดในไอศกรีมมีบทบาทและหน้าที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.1.1.1 ไขมัน

ไขมันในไอศกรีมได้มาจากน้ำนมสด ครีม เนย นมผง น้ำมันเนย หรือนมข้น ไอศกรีมบางชนิดใช้ไขมันจากน้ำมันพืช เช่น น้ำมันเมล็ดฝ้าย หรือน้ำมันปาล์ม ไขมันที่ใช้ควรมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอศกรีมอ่อนตัวเมื่ออยู่ในปาก ไขมันเป็นส่วนผสมที่ช่วยทำให้ไอศกรีมมีกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี (นิธิยา, 2541)

2.1.1.2 ของแข็งไม่รวมไขมัน

ปริมาณไขมันนมในไอศกรีมจะต้องสมดุลกับปริมาณของแข็งไม่รวมไขมัน (MSNF) ด้วย หากปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น ปริมาณของ MSNF จะต้องลดลง การมีปริมาณของ MSNF สูงเกินไปจะทำให้น้ำตาลแลคโตสเกิดการตกผลึก เนื้อไอศกรีมจะมีลักษณะหยาบคล้ายเม็ดทราย การใช้ครีมหรือน้ำนมสดเป็นส่วนผสมของไอศกรีมจะทำให้ MSNF ต่ำเกินไปดังนั้นจึงนิยมเติมนมผง นมข้นหรือ เวย์ผง ลงไปในส่วนผสมเพื่อช่วยทำให้ได้เนื้อของไอศกรีมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโปรตีนนมมีสมบัติช่วยอุ้มน้ำ ทำให้ลักษณะเนื้อไอศกรีมดีขึ้น MSNF จะช่วยเพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้มีค่าการขึ้นฟู (overrun) สูงขึ้นโดยไม่ทำให้ลักษณะเนื้อไอศกรีมเสีย และยังช่วยให้ไอศกรีมละลายช้าลงอีกด้วย (นิธิยา, 2541)

2.1.1.3 สารให้ความหวาน

สารให้ความหวาน (sweeteners) ที่นำมาใช้ในไอศกรีมมีหลายชนิด เช่นซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส น้ำผึ้ง และคอร์นไซรัป เป็นต้น สารให้ความหวานมีหน้าที่หลายประการในไอศกรีม นอกเหนือจากการเพิ่มความหวานให้ไอศกรีม และเสริมกลิ่นรสของไอศกรีมแล้ว ยังมีบทบาทในการทำให้จุดเยือกแข็งของไอศกรีมลดลง ช่วยควบคุมจำนวนของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม ดังนั้นจึงทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีนุ่มเนียนเพิ่มขึ้น และง่ายต่อการตักรับประทานที่อุณหภูมิเย็นจัด สารให้ความหวานยังช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับส่วนผสมไอศกรีมอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามหากใช้ในปริมาณมากเกินไปอาจทำให้ไอศกรีมมีรสหวานจัดเกินไป ลดอัตราการตีขึ้นฟู นอกจากนี้ทำให้ใช้เวลาในการปั่นไอศกรีมนาน และต้องใช้อุณหภูมิต่ำมาก ในขั้นตอนการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว (hardening) เนื่องจากจุดเยือกแข็งของส่วนผสมที่ลดต่ำลง ทำให้ไอศกรีมแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำมาก น้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงช่วยเพิ่มความข้นหนืดให้แก่ส่วนผสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอศกรีมทำให้ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะที่คล้ายครีม (Clarke, 2004) ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น ให้กลิ่นรสที่ดี เพิ่มการขึ้นฟู และยืดระยะเวลาในการปั่นไอศกรีม (Marshall และ Arbuckle,1996) เนื่องจากน้ำตาลช่วยลดจุดเยือกแข็งของไอศกรีมลง จึงช่วยลดจำนวนของผลึกน้ำแข็งได้ ยกตัวอย่างเช่น ไอศกรีมสูตรมาตรฐานจะมี ผลึกน้ำแข็งประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเปลี่ยนชนิดและจำนวนการใช้น้ำตาลแล้วทำให้มีผลึกน้ำแข็งเหลือเพียง 45 เปอร์เซ็นต์ จะได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า ซึ่งง่ายต่อการตักรับประทานมากขึ้น

2.1.1.4 อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เป็นสารช่วยลดแรงตึงผิว (surface tension) ระหว่างอนุภาคของไขมันนมให้น้อยลง ทำให้อนุภาคไขมันกระจายตัวอยู่ได้ทั่วส่วนผสมเกิดเป็นอิมัลชั่นที่คงตัว ป้องกันไม่ให้อนุภาคของไขมันจับตัวรวมกันและแยกออกจากส่วนผสม นอกจากนี้ยังช่วยให้เนื้อไอศกรีมขึ้นฟูดี เมื่อตีให้เกิดฟองอากาศจึงทำให้ได้ % overrun ตามต้องการ และยังช่วยให้เนื้อไอศกรีมแห้งและเกาะตัวกัน อิมัลซิไฟเออร์ในไอศกรีมโดยทั่วไปมีประมาณ 0.2-0.5 % ของส่วนผสมทั้งหมด (นิธิยา, 2541) ถ้าใช้อิมัลซิไฟเออร์มากเกินไปจะมีผลทำให้ไอศกรีมมีการละลายช้า เนื้อ (body) และเนื้อสัมผัส (texture) ของไอศกรีมมีลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ (Marshall และ Arbuckle, 1996)

2.1.1.5 สารเพิ่มความคงตัว

สารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) นิยมใช้ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ เป็นสารช่วยดูดน้ำและเพิ่มความหนืด ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นเจล และทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ (mobility) ของน้ำอิสระในส่วนผสมไอศกรีมลดน้อยลงทำให้ไม่เกิดผนึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้นในระหว่างการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว ไอศกรีมที่ได้จึงมีลักษณะแห้ง ไม่หยาบ มีความคงตัว มีอัตราการละลายที่เหมาะสม และทำให้ลักษณะของเนื้อไอศกรีมดีขึ้น (นิธิยา, 2541)

สารเพิ่มความคงตัวที่ใช้ทางด้านอาหาร สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ (Marshall และ Arbuckle, 1996)

(1) เจลาติน สารเพิ่มความคงตัวที่ได้จากสัตว์ เช่น หนังลูกวัว หนังหมู และกระดูก

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) กัม เช่น กัวร์กัม โลคัสบีนกัม ทรากาแคนท์ และคารายา เป็นต้น

สารเพิ่มความคงตัวจะเพิ่มความหนืดโดยไม่มีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีม ปริมาณที่ใช้ในไอศกรีมปกติอยู่ในช่วง 0-0.5% แต่โดยทั่วไปจะใช้ในปริมาณ 0.2-0.3% ถ้าใช้สารเพิ่มความคงตัวในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมละลายช้า มีลักษณะที่เปียกแฉะหรือมีเนื้อแน่นหนักไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.1.1.6 อากาศ

อากาศ (air cell) ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของไอศกรีมซึ่งจะมีผลทั้งต่อลักษณะทางกายภาพ โดยเฉพาะค่าความแข็ง (hardness) และความคงตัวของไอศกรีมในระหว่างการเก็บรักษา ไอศกรีมที่ไม่มีฟองอากาศจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง ไอศกรีมที่ค่า overrun สูงจึงมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าไอศกรีมที่มีค่า overrun ต่ำ (Clarke, 2004) ค่า overrun จะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรอากาศที่เพิ่มขึ้นของส่วนผสม การที่ปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากขณะปั่นไอศกรีมมีการผสมอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีม การผสมอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของส่วนผสม หากอากาศมากเกินไป ไอศกรีมจะเบา โปร่งไม่น่ารับประทาน แต่ถ้ามีอากาศน้อยเกินไปเนื้อจะแน่นหรือหนัก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการกำหนดค่า overrun เช่น ปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสม ราคาจำหน่ายของไอศกรีม และชนิดของไอศกรีม เป็นต้น การผลิตไอศกรีมที่มีค่า overrun ต่างกันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต และยังส่งผลต่อการยอมรับและความนิยมของผู้บริโภคด้วย (บุญช่วย, 2547) ค่า overrun ของผลิตภัณฑ์นมแช่แข็งชนิดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่า overrun ของผลิตภัณฑ์นมแช่แข็งชนิดต่าง ๆ

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

ที่มา: บุญช่วย, 2547

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การมีผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็ก และ serum phase ที่หนืดจะช่วยให้เซลล์อากาศมีความคงตัวเพิ่มมากขึ้น ช่วยลดอัตราการละลายของไอศกรีม ซึ่งในการผลิตไอศกรีมที่มีคุณภาพสูงจะต้องมีการควบคุมการตีอากาศทำให้ได้ระดับของ overrun ที่แตกต่างกัน ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญและส่งผลต่อคุณลักษณะของไอศกรีม ดังนั้นควรปรับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และต้องควบคุมการกระจายตัวของขนาดของเซลล์อากาศให้มีความสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ไอศกรีมที่มีคุณภาพที่ดี (Sofjan และ Hartel, 2004) ฟองอากาศมีผลต่อสีและลักษณะปรากฏของไอศกรีมเนื่องจากฟองอากาศจะสะท้อนแสงได้ ดังนั้นไอศกรีมที่มีฟองอากาศมากจะมีสีสว่างกว่าไอศกรีมที่มีฟองอากาศน้อยกว่านอกจากนี้ขนาดของฟองอากาศมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม ตัวอย่างเช่นไอศกรีมที่ฟองอากาศขนาดเล็กจะให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า (Clarke, 2004)

การลดปริมาณไขมันในไอศกรีมลงมีผลทำให้มีไขมันไม่เพียงพอที่จะคลุมผิวของฟองอากาศ ทำให้บางส่วนของฟองอากาศถูกปกคลุมด้วยอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งจะทำให้ฟองอากาศมีความคงตัว และเพิ่มความหนืดของ metrix ดังนั้นการเกิด partial coalescence ในไอศกรีมจะช่วยลดการแตกของฟองอากาศหรือช่วยให้โครง่ร่างขยายออกไปมากขึ้น ความดันมีผลต่อความคงตัวของฟองอากาศ เช่นเดียวกับอุณหภูมิมีผลกับผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม (Clarke, 2004)

Sofjan และ Hartel (2004) ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงผลของ ค่า overrun ต่อโครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีม พบว่า ขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการแช่แข็ง จากนั้นก็จะลดลงในช่วงแรก ๆ ของการเก็บรักษา และจะเพิ่มขนาดขึ้นอย่างมากเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 3 เดือน ซึ่งจะพบว่าไอศกรีมที่มีค่า overrun ต่ำกว่าจะมีค่าความแข็งมากกว่าไอศกรีมที่มีค่า overrun สูงกว่าแต่มีอัตราการละลายที่สูงกว่า ซึ่งการเพิ่มค่า overrun ให้สูงขึ้นจะเป็นการลดค่าความแข็งของไอศกรีม และในตัวอย่างที่มีค่า overrun สูงพบว่าในตอนเริ่มต้น เซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากในขณะที่ตีอากาศเข้าไปต้องใช้แรงมาก ซึ่งถ้าฟองอากาศได้รับแรงมากขึ้นฟองอากาศก็จะแตกตัวซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดปรากฏ (appearance viscosity) ของไอศกรีมที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อฟองอากาศเพิ่มมากขึ้นและยังส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลงซึ่งจะเป็นผลสัมพันธ์กับการส่งผ่านความร้อนเนื่องจากขณะที่เราใส่อากาศมาก เครื่องต้องทำงานหนักขึ้นทำให้เกิดความร้อนขึ้นและยังเกิดจากผลของ secondary effect ด้วย

ไอศกรีมที่มีค่า overrun เพิ่มขึ้นจะทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมมีความนุ่มขึ้นและมีอัตราการละลายได้ช้าลง เนื่องจากการการเกิด fat destabilization ที่มากกว่าและการมีอากาศมากจะเป็นฉนวนการส่งผ่านความร้อนเกิดได้ช้าลง ซึ่ง เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการปั่นแข็งไอศกรีมสามารถคงรูปอยู่ได้ด้วยการรวมกลุ่มของเม็ดไขมันที่เกิดขึ้นระหว่าง partial coalescence ในระบบ

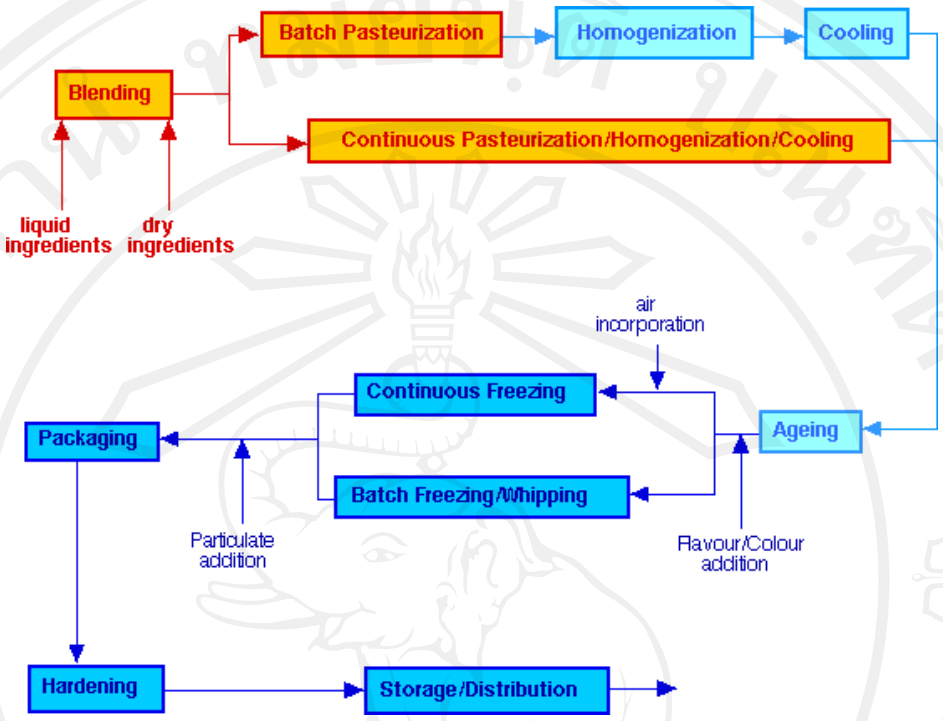
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อิมัลชันของไอศกรีมลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของไอศกรีมที่ดี แต่ก็พบว่ามีกลไกที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของเซลล์อากาศ คือ disproportionation คือกลไกที่ทำให้ ฟองอากาศ เกิดการแตกตัวและเกิดการรวมตัวกันของ ฟองอากาศ ซึ่งเกิดจาก Laplace pressure ซึ่งฟองอากาศ 2 อันที่มีขนาดแตกต่างกันจึงมีความดันที่ภายในแตกต่างกัน ทำให้เกิดการแพร่ของอากาศผ่านฟิล์มซึ่งฟองอากาศขนาดเล็กจะมีความดันมากกว่า ดังนั้นอากาศจะพยายามแพร่จากที่ที่มีความดันสูงไปที่ที่มีความดันต่ำกว่า ทำให้ฟองอากาศเกิดการรวมตัวกัน ซึ่งสามารถควบคุมการเกิด disproportionation ได้โดยการเพิ่มความหนืดของ serum phase การทำให้ฟิล์มที่อยู่บนพื้นผิวของเซลล์อากาศหนาขึ้นและพบว่าการลดอุณหภูมิจะช่วยลดการเกิด disproportionation ได้เช่นกัน แต่จะส่งผลให้ความดันเปลี่ยนแปลงและทำให้เกิด bimodial distribution ซึ่งจะส่งให้ขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศในช่วงแรกของการเกิด disproportionation มีขนาดเล็กลง แต่ก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ดังนั้นการเพิ่มความหนืดของ serum phase การทำให้ฟิล์มที่อยู่บนพื้นผิวของเซลล์อากาศให้มีความหนาขึ้น และการลดอุณหภูมิในการเก็บรักษาให้อยู่ในระดับต่ำ จะช่วยลดการเกิด disproportionation ได้ ซึ่งจะทำไอศกรีมมีคุณลักษณะที่ดี ลดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ได้ และสามารถเก็บรักษาไอศกรีมได้ยาวนานยิ่งขึ้น โดยยังคงคุณภาพที่ดีไว้ได้ ไอศกรีมที่มีค่า overrun 80 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการละลาย เร็วกว่าไอศกรีมที่มีค่า overrun เท่ากับ 100 และ 120 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากผลของการของการเกิด fat destabilization หรือการมีขนาดของผลึกน้ำแข็งและเซลล์อากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งในไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันสูง จะเกิดแรงมากในขณะที่ตีอากาศทำให้เกิด fat destabilization มากกว่าและการมีอากาศมากจะเป็นฉนวนการส่งผ่านความร้อนเกิดได้ช้าลง ซึ่งอากาศเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

2.2 ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม

กรรมวิธีการผลิตไอศกรีมชนิดแข็ง (hard ice-cream) แสดงดังภาพที่ 2.2 โดยมีวิธีการผลิตตามขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้ การคำนวณส่วนผสม(mix calculations) ผสมส่วนผสมไอศกรีม (blending) พาสเจอร์ไรเซชั่น (pasteurization) ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมเย็นลง(cooling) บ่มส่วนผสม (ageing) ปั่นไอศกรีม (aeration and freezing) แช่แข็ง (hardening) และเก็บรักษาไอศกรีม (storage)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตไอศกรีม

ที่มา : Goff, 2010

2.2.1 การคำนวณส่วนผสมไอศกรีม

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

2.2.2 การผสมส่วนผสมไอศกรีม

นำส่วนผสมที่ของแข็ง ผสมให้เข้ากันก่อนเติมลงในส่วนผสมที่เป็นของเหลวเช่น น้ำนม เนย ให้ความร้อนแล้วกวนส่วนผสมไปเรื่อย ๆ เติมส่วนผสมที่เป็นของแข็งเพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนผสมจับตัวกันเป็นก้อน ผสมให้เข้ากันโดยใช้ความร้อนช่วยวิธีป้องกันส่วนผสมที่เป็นของแข็งจับตัวเป็นก้อน ทำได้โดยผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งเข้ากับน้ำตาลก่อนนำไปผสมกับของเหลวอย่างช้า ๆ พร้อมกับการกวนไปเรื่อย เนยสด ครีมแช่แข็ง หรือผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่จะใช้ในส่วนผสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอศกรีมควรตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ การเติมสี และกลิ่นจะเติมในขั้นตอนการปั่นไอศกรีมให้แข็งตัว (Arbuckle, 1986)

2.2.3 การพาสเจอร์ไรส์

การพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมไอศกรีมเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค กระบวนการให้ความร้อนต้องเพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค และลดจำนวนแบคทีเรียลงได้มากที่สุด ทำให้ส่วนผสมที่เป็นของแห้งละลาย ช่วยให้ไขมันละลาย และลดความหนืด ปรับปรุงเรื่องกลิ่นรส ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา วิธีการพาสเจอร์ไรส์ที่เหมาะสมควรให้ความร้อนอย่างรวดเร็วเพื่อให้ถึงอุณหภูมิที่กำหนด และคงไว้ที่ ณ อุณหภูมิที่กำหนด ตามเวลาที่ต้องการแล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิธีการพาสเจอร์ไรส์สามารถเลือกใช้อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันตามวิธีการดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เวลาและอุณหภูมิสำหรับวิธีการพาสเจอร์ไรส์ไอศกรีมแบบต่าง ๆ

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

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

ที่มา : Marshall และ Arbuckle, 1996

ควรเลือกใช้วิธีการพาสเจอร์ไรส์แบบอุณหภูมิสูง (higher-heat short-time) และแบบระบบต่อเนื่องในการผลิตไอศกรีม เพราะแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคจะถูกทำลาย และลดจำนวนการใช้สารให้ความคงตัวปรับปรุง body และได้เนื้อสัมผัสที่ดีกว่า เนื่องจากโปรตีนสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น ต้านการเกิด oxidation

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.4 การโฮโมจิไนส์

ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ซึ่งจะป้องกันการแยกชั้นของครีมแล้วยังช่วยให้ไอศกรีมมีคุณภาพสม่ำเสมอ มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ปรับปรุงความสามารถในการขึ้นฟูให้ดีขึ้น ใช้เวลาในการบ่มสั้นลงเพื่อให้ได้อิมัลชันที่คงที่ เป็นขบวนการที่ทำให้เม็ดไขมันแตกตัวเป็นเม็ดไขมันขนาดเล็ก และกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วส่วนผสม และยังช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อนุ่ม และทำให้การปั่นส่วนผสมเป็นไปได้ง่ายและรวดเร็ว ใช้เวลาในการบ่มไม่นาน (Marshall และ Arbuckle, 1996)

2.2.5 การทำให้เย็น

หลังจากการพาสเจอไรส์ และโฮโมจีไนส์จะนำส่วนผสมไอศกรีมมาทำให้เย็นทันทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้ความความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น (Arbuckle, 1986)

2.2.6 การบ่ม (ageing) ส่วนผสมไอศกรีม

ทำการบ่มที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้ เชื้อจุลินทรีย์จะไม่เพิ่มปริมาณ ซึ่งขณะบ่มส่วนผสมไอศกรีมจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ เม็ดไขมันในส่วนผสมจะกลายเป็นไขมันแข็ง โปรตีนของส่วนผสมเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้น ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนละลายช้าและคุณสมบัติการขึ้นฟูดีขึ้น เวลาที่ใช้ในการบ่มโดยทั่วไปคือ 24 ชั่วโมง การใช้เวลาบ่มนานก็จะยิ่งให้ผลดีกับของผสมที่มีไขมันสูง (Arbuckle, 1986)

2.2.7 การปั่นไอศกรีม (aeration and freezing)

ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในกระบวนการผลิตไอศกรีมเพราะมีผลต่อคุณภาพและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ การปั่นไอศกรีมมีขั้นตอนดังนี้ ส่วนผสมของไอศกรีมผ่านการบ่ม เติมสีและกลิ่นรสตามต้องการแล้วจะถูกทำให้แข็งตัวอย่างรวดเร็ว พร้อมกับการกวนเติมอากาศตลอดเวลาเพื่อนทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งขนาดเล็ก จะได้เนื้อสัมผัสเรียบเนียน สามารถอุ้มอากาศได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.8 การทำให้ไอศกรีมแข็งตัว (hardening)

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

2.2.9 การเก็บรักษา

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

2.3 โพรไบโอติก (Probiotic)

โพรไบโอติกเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ซึ่งพบได้ในบริเวณลำไส้ที่เรียกว่า Gastrointestinal tract (GI) และยังรวมถึงจุลินทรีย์ที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารในรูปที่มีชีวิต (ปิ่นมณี, 2547) อาหารประเภทโพรไบโอติกโดยทั่วไปมีส่วนผสมของจุลินทรีย์หนึ่งชนิดหรือมากกว่าก็ได้ ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้ต้องได้รับการศึกษาและตรวจสอบอย่างแน่ชัดแล้วว่าไม่มีผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค จุลินทรีย์ที่เป็นโพรไบโอติกส่วนใหญ่ ได้แก่ แบคทีเรียหลายสายพันธุ์ เช่น แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) เมื่อมนุษย์บริโภคเข้าไปแล้วจะเป็นตัวช่วยควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ร่างกายไม่ต้องการให้อยู่ในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดโรค หรือก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ให้แก่ร่างกายได้ เชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกส่วนใหญ่ได้รับจากการบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของโพรไบโอติก เช่น ผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดต่างๆ แหนมสด แบคทีเรียที่เป็นโพรไบโอติกมีคุณสมบัติปกป้องร่างกายไม่ให้ได้รับอันตรายจากเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคและยังสามารถผลิตเอนไซม์มาย่อยสารอาหารบางประเภทที่ระบบการย่อยในร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ให้เป็นสารที่มีประโยชน์และร่างกายดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.1 แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*)

จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีรูปร่างเป็นท่อนค่อนข้างยาวมักเรียงต่อกันเป็นลูกโซ่ เป็นพวกต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญ (microaerophilic) แต่มีบางชนิดที่ไม่ต้องการอากาศเลย ไม่สร้างเอนไซม์คะตาเลส ย้อมติดสีแกรมบวก สลายน้ำตาลแล้วให้กรดแลคติกเป็นส่วนใหญ่ ถ้าเป็นโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (homofermentative) จะสลายน้ำตาลแล้วให้กรดแลคติกเกือบทั้งหมด มีกรดอะซิติกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอื่นๆ บ้างเล็กน้อย แต่ถ้าเป็นพวกเฮตเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ (heterofermentative) จะสลายน้ำตาลแล้วให้สารระเหยได้รวมทั้งแอลกอฮอล์ในปริมาณมากพอๆ กับกรดแลคติก (สุมาลี, 2541) ตัวอย่างของโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ และเฮตเทอโรเฟอร์เมนเททีฟได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งพวกของ 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*

ที่มา : สุมาลี, 2541

Lactobacillus acidophilus เป็นแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกเพียงอย่างเดียวเซลล์มีรูปแท่งปลายมน 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 และ แรฟฟิโนส ได้ (Tamime และ Robinson, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Lactobacillus casei เป็นแบคทีเรียรูปแท่ง เคลื่อนไหวไม่ได้ เซลล์มีขนาด 0.7-1.1 x 2.0-4.0 ไมโครเมตร ไม่สร้างสปอร์ สามารถทนความเป็นกรดได้ เจริญได้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส แต่ไม่เจริญที่ 45 องศาเซลเซียส ต้องการ ไรโบฟลาวิน (riboflavin) กรดโฟลิก (folic acid) แคลเซียมแพนโททิเนท (calcium pantothenate) และไนอะซิน (niacin) ในการเจริญเติบโต (Axelsson, 1998; Kandler และ Weiss, 1986)

2.3.2 กลไกการทำงานของโพรไบโอติกกลุ่มแลคโตบาซิลลัส

แลคโตบาซิลลัสในร่างกายมีความสามารถในการทำงานได้หลายอย่าง จะแตกต่างกันตามสายพันธ์ โดยกลไกการทำงานของแลคโตบาซิลลัสโดยภาพรวม จำแนกได้ดังนี้

1. การขัดขวางการยึดเกาะของแบคทีเรียที่เป็นโทษ (block of adhesion sites) Fuller (1989) กล่าวว่า เมื่อสัตว์กินแลคโตบาซิลลัสเข้าไป แลคโตบาซิลลัสจะแพร่พันธุ์ และก่อตัวที่ผิวทางเดินอาหาร เป็นผลให้แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคเมื่อสัตว์กินเข้าไปในภายหลังเจริญเติบโตและเกาะที่ผนังลำไส้ยากมากขึ้น โดยกลไกของแบคทีเรียที่คงอยู่ในลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ส่วนของ villi ปกคลุมไปด้วยเยื่อเมือกที่ใช้ป้องกันเซลล์ของลำไส้ และด้านล่างมีเซลล์เฉพาะที่ชื่อ paneth cell เซลล์นี้เป็นตัวหลั่งสารต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial molecules) ภายในลำไส้เล็ก ส่วนลำไส้ใหญ่มีแบคทีเรียทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นโทษเกาะอยู่ที่เยื่อเมือก เมื่อแลคโตบาซิลลัสมีจำนวนมากจะเป็นตัวเบียดบังพื้นที่ยึดเกาะ ทำให้แบคทีเรียที่เป็นโทษไม่สามารถเกาะได้ นอกจากนี้แลคโตบาซิลลัสยังมีกลไกในการยับยั้งการแพร่พันธุ์ของแบคทีเรียที่ให้โทษ โดยการหลั่งน้ำดี และกรดน้ำดีภายในระบบทางเดินอาหารอีกด้วย

2. การผลิตสารยับยั้ง (production inhibitory substances) โดยการสร้างกรดอินทรีย์ (organic acid) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน (Fenton reaction) โดยที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับเหล็กเฟอร์รัส (Fe^{++}) ซึ่งมีมากในเซลล์ทั่วไป การสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยเหล็กอิออนจะได้อนุมูลอิสระ ปฏิกิริยานี้เกิดมากในกระบวนการ phagocytosis อนุมูลไฮดรอกซีลช่วยในการทำลายเชื้อแบคทีเรีย

3. การสร้างเอนไซม์ โดยแลคโตบาซิลลัสจะสร้างแลคเตส (lactase) ทำให้ร่างกายได้รับเอนไซม์เพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้การย่อยอาหารดีขึ้น การทำงานเป็นแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (synbiosis) ของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร และกระบวนการย่อยกากอาหาร

4. การสร้างวิตามินบี ทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น เนื่องจากมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดอะมิโน การสร้างโปรตีน และยังเกี่ยวข้องกับการทำงนของระบบประสาทส่วนกลาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แลคโตบาซิลลัสหลายสายพันธ์สามารถสร้างเมตาโบไลต์ที่เรียกว่า bacteriocin ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีผลการทำงานอย่างเฉพาะเจาะจงโดยตรงต่อแบคทีเรียที่เป็นโทษ bacteriocin นี้มีชื่อแตกต่างกันแยกตามแลคโตบาซิลลัสที่ผลิตและสร้างแต่ละชนิดซึ่ง Kumar et al. (2005) ได้รวบรวมและจำแนกสาร bacteriocin ออกเป็น 4 กลุ่มคือ

1) กลุ่มที่เป็น lantibiotic
2) กลุ่มที่เป็นเปปไทด์ที่ทนร้อน เรียกว่า small hydrophobic (< 13kDa)
3) กลุ่มที่เป็นโปรตีนที่มีจำนวนมาก เมื่อถูกความร้อนจะเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (>30 kDa)
4) กลุ่มที่เป็นโปรตีนที่รวมกับไขมัน และ/หรือคาร์โบไฮเดรต เรียกว่า complex bacteriocin

นอกจากนี้แลคโตบาซิลลัสจะผลิตกรดแลคติก และ bacteriocin แล้วยังผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ไดอะเซทิล (diacetyl) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือแลคติกเปอร์ออกซิเดส (hydrogen peroxide or Lactic peroxidase) โดยมีกลไกการทำงานต่อจุลินทรีย์ให้โทษ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 กลไกการทำงานของแลคโตบาซิลลัสต่อจุลลินทรีย์ให้โทษ

ชนิดของผลิตผลจากแลคโตบาซิลลัส	กลไกการทำงานต่อจุลินทรีย์ให้โทษ
Bacteriocin	- มีผลกับ membrane - มีผลกับ DNA - synthesis - มีผลกับ protein - synthesis
Lactic acid	- ไม่ทำให้กรดแลคติกหลุดเข้าไปใน membrane - ลด pH ใน intercellular ให้ต่ำลง - ขัดขวางกระบวนการเมตาบอลิซึม เช่น oxidative phosphorylation
Carbon dioxide	- ยับยั้งกระบวนการ decarboxylation - ลดน้ำซึมเข้า membrane
Diacetyl	- ทำปฏิกิริยาในกระบวนการ arginine-binding protein
Hydrogen peroxide/Lactic peroxide	- ออกซิไดซ์โปรตีน

ที่มา : Kumar et al., 2005

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. การแข่งขันการดูดซึมโภชนะ (competition for nutrients) มีการแข่งขันดูดซึมสารอาหารกับแบคทีเรียที่ให้โทษ ปกติหากร่างกายมีแบคทีเรียที่ให้โทษสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้จะดูดซึมสารอาหารไป ทำให้ร่างกายไม่ได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอ

6. การกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (stimulation of immunity) เป็นตัวกระตุ้นภูมิคุ้มกันที่ไม่เฉพาะเจาะจง (non specific immunomodulators) โดยแลคโตบาซิลลัสอาจจะไปกระตุ้น T-lymphocytes ให้สร้าง lymphokine มีผลทำให้ phagocytosis หรือ phagocytic cell เช่น macrophage จะทำหน้าที่จับกินสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย (สุมณฑา, 2545)

7. การป้องกันการเกิดมะเร็ง (anticancer activity) แลคโตบาซิลลัสสามารถสร้างเอนไซม์ที่สามารถลดไนไตรท์ (nitrite reductase) ได้ จึงเชื่อว่าเป็นการลดความเสี่ยงจากไนโตรซามีนส์ (nitrosamines) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในอาหาร และยังพบว่าแบคทีเรียที่เป็นโทษในลำไส้ สามารถสร้างเอนไซม์อะโซรีดักเทส (azoreductase) เบต้า-กลูคูโรนิเดส (β-glucuronidase) และไนโตรรีดักเทส (nitroreductase) เอนไซม์เหล่านี้จะไปกระตุ้นการเปลี่ยน precarcinogens ไปเป็น carcinogens แล้วแลคโตบาซิลลัสจะจับและควบคุมการสร้างน้ำย่อยที่ใช้ในการหลั่ง carcinogens หรือ ไปทำลาย carcinogens เช่น สารไนโตรซามีนส์ (สุมณฑา, 2545)

8. การลดคลอเรสเตอรอล (cholesterol) แลคโตบาซิลลัสสามารถขัดขวางไม่ให้ตับขับกรดและเกลือน้ำดีออกมาทำปฏิกิริยากับอาหารประเภทไขมันให้แตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ (emulsification) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ hydroxymethyl–glutarate CoA reductase ทำให้ไม่สามารถสร้างคอเลสเตอรอลได้ (Kumar et al., 2005)

9. การเกิดเอธานอลจากการหมักแบบเฮเทอโรเฟอร์เมนทีฟ (heterofermentative) ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ ซึ่งเอธานอลสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (สุมณฑา, 2545)

2.4 พรีไบโอติก (Prebiotics)

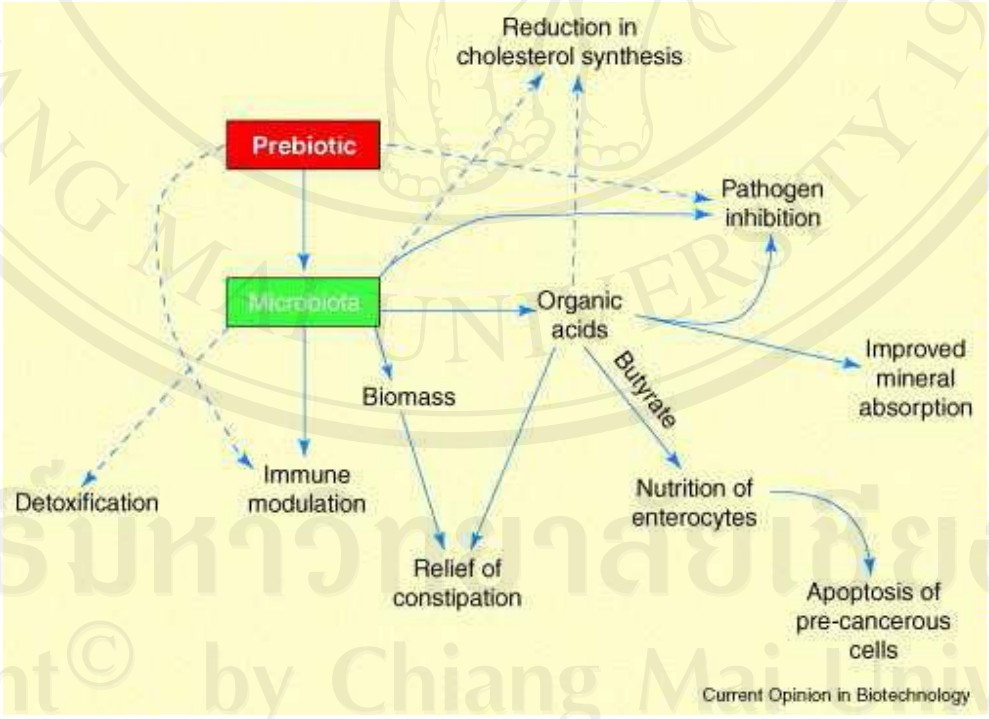
พรีไบโอติก คือ องค์ประกอบของอาหารที่ไม่ถูกย่อยซึ่งมีประโยชน์ต่อเจ้าบ้านโดยจะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือกิจกรรมของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในลำไส้ ที่มีประโยชน์อย่างจำเพาะและช่วยปรับปรุงสุขภาพของเจ้าบ้าน (Gibson และ Roberfroid,1995) สารอาหารที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ดีนั้นจะต้องไม่ถูกย่อยหรือถูกดูดซึม ในระบบทางเดินอาหารส่วนต้น (Fook et al., 1999) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Clostridium* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสารพิษได้ (Gibson และ Roberfroid, 1995) พรีไบโอติกที่ดีควรส่งเสริม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การ เจริญของจุลินทรีย์ที่ดีในลำไส้ เช่น *Bifidobacterium* และ Lactobacilli สารที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกสามารถพบได้ในพืชผักต่าง ๆ เช่น หอม กระเทียม กล้วย หน่อไม้ฝรั่ง ถั่ว กลุ่มธัญพืช

2.4.1 คุณสมบัติของพรีไบโอติก

สารที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ดีต้องสามารถทนต่อการย่อยของกรดในกระเพาะอาหาร และลงสู่ลำไส้ใหญ่ได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก เพื่อที่จุลินทรีย์ประจำถิ่น (microflora) ที่อาศัยในลำไส้สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน (Gibson, 2004) นอกจากนี้ต้องส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหาร เช่น Bifidobacteria และ Lactobacilli (Gibson และ Roberfroid, 1995; Holzapfel และ Schillinger, 2002) ไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Clostridium perfringens* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในลำไส้ (Gibson และ Roberfroid, 1995; Kolida et al., 2000) และนอกจากนี้จะต้องส่งผลให้สุขภาพของผู้บริโภคดีขึ้น เช่น ช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก (Lopez et al., 2000; Van et al., 1998) ช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ กลไกการทำงานของพรีไบโอ-ติก แสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กลไกการทำงานของพรีไบโอติก

ที่มา : Ouwehand et al., 2005

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

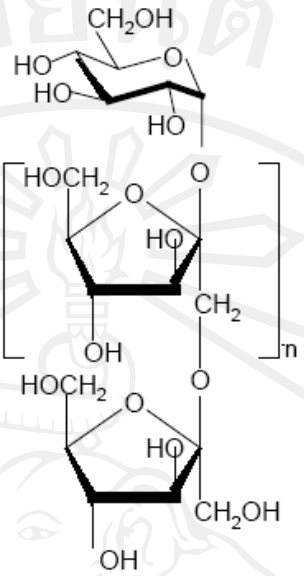
2.4.2 ชนิดของสารพรีไบโอติก

สารพรีไบโอติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมและมีขายทางการค้าส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ซึ่งเป็นน้ำตาลที่เป็นหน่วยย่อย 2-20 มาต่อกันด้วยพันธะโควาเลนท์ (covalent bond) พรีไบโอติกที่พบมีอยู่ 2 กลุ่ม คือ พรีไบโอติกที่มีในธรรมชาติจะพบได้ในผักและผลไม้ เช่น กล้วย หน่อไม้ฝรั่ง ถั่ว กลุ่มธัญพืช และพรีไบโอติกที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้เอนไซม์ย่อยโพลีแซคคาไรด์ เช่น แป้ง ในปัจจุบันพรีไบโอติกที่นำมาใช้ทางการค้าและในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่ได้มาจากการสังเคราะห์

2.4.2.1. ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructo-oligosacchrides, FOS) และ อินูลิน (Inulin)

อินูลินเป็นสารโพลิแซคคาไรด์ (polysaccharides) ที่พืชเก็บสะสมไว้ เป็นสารประกอบขนาดเล็กอยู่ในกลุ่มฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีฟรุคโตส (fructose) 3-60 โมเลกุล มีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.4 อินูลินพบทั่วไปในธรรมชาติทั้งในพืช แบคทีเรีย และราบางชนิด โดยเฉพาะผักและผลไม้มากกว่า 3,600 ชนิด โดยพบในผักตระกูล chicorium เช่น ชิคอรี (chicory) และพืชในตระกูลหอม เช่น หอมใหญ่ กระเทียม เป็นต้น อินูลิน และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ละลายน้ำได้ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำร้อน (Tanya, 2002) ที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส (Kim และ Wang, 2002) แต่ละลายได้เพียงเล็กน้อยในน้ำเย็น และแอลกอฮอล์ (Paul, 1997) และมีความคงตัวสูง ไม่มีผลข้างเคียงต่อประสาทสัมผัส รสชาติหวานเล็กน้อย มีการนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหาร เช่น นำไปปรับปรุงในรสชาติและเนื้อสัมผัส ช่วยรักษาความสดและความชื้นในเค้ก ช่วยให้เครื่องดื่มละลาย เข้ากันดีมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (functional property) (Vicki, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์

ที่มา : Gibson และ Angus, 2000

2.4.2.1.1 สมบัติทางด้านกายภาพของอินูลิน

(1) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับอินูลิน

Gennaro et al. (2000) ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารละลายอินูลินโดยสังเกตจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับสารละลาย เนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางสำคัญ ในการขนส่งรสชาติ น้ำจึงช่วยกระตุ้นต่อมรับรสและมีผลต่อการรับรู้รสหวานของสารละลาย ปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับสารละลายที่ทดสอบในการทดลองนี้ได้แก่ สมบัติที่สารนั้นมีความชอบต่อน้ำ (water affinity) โดยใช้เครื่อง Isentropic apparent specific compressibility เมื่อค่านี้มากขึ้น แสดงว่ามีการรับรสได้ดีขึ้น และสมบัติ hydrostatic packing โดยใช้เครื่อง apparent specific volumes (ASV) โดยค่าที่วัดได้จากเครื่อง ASV ที่ต่ำกว่าแสดงถึงลักษณะ hydrostatic packing ของตัวถูกละลายกับโมเลกุลของน้ำดีกว่า จากผลการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้น 2.5, 5, 10, 15, 17.5, 20 และ 25 กรัมในน้ำ 100 กรัม พบว่า ค่า water affinity จะเพิ่มขึ้นตามค่า Degree of polymerization และความเข้มข้นของอินูลิน ส่วนค่า hydrostatic packing ของอินูลินต่ำกว่าสารละลายซูโครส

(2) ความสามารถในการละลายของอินูลิน (Solubility)

Kim และ Wang (2001) ศึกษาความสามารถในการละลายของอินูลิน ในน้ำในช่วงอุณหภูมิ 25–90 องศาเซลเซียส โดยเติมอินูลินในน้ำทีละ 1 กรัม คนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวน (stirrer) กำหนดให้ความเข้มข้นอิ่มตัวของอินูลินคือเมื่อมีอนุภาคของอินูลินที่ไม่ละลายหลังจากคนอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อเนื่อง 2 นาที พบว่าความสามารถในการละลายของอินูลินที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์ (w/v) อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 24 เปอร์เซนต์ (w/v) และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 34 เปอร์เซ็นต์ (w/v)

(3) ความสามารถในการเกิดเจลของอินูลิน

Kim และ Wang (2001) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของอินูลินต่อการเกิดเจล (volumetric gel index; VGI) โดยการให้ความร้อนแก่อินูลินที่ความเข้มข้นต่างๆ 5 นาที แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงวัดค่า volumetric gel index ตามสูตร volumetric gel index = 100 x volume of gel / total volume จากผลการทดลอง พบว่าความสามารถในการเกิดเจลของอินูลินขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของอินูลิน โดยอินูลินละลายน้ำได้น้อยไม่เกิดเจล ที่อุณหภูมิต่ำ เช่น 20-30 องศาเซลเซียส และถ้าความเข้มข้นอินูลินต่ำเช่น 5 เปอร์เซนต์ไม่สามารถเกิดเจลได้ทุกอุณหภูมิทั้งนี้เพราะว่าโครงสร้างของอินูลินไม่หนาแน่นพอที่จะทำให้เกิดเจล ดังนั้นในการทดลองนี้ความเข้มข้นของอินูลินอยู่ระหว่าง 20-30 เปอร์เซ็นต์ (w/v) เมื่อให้ความร้อน 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 - 5 นาที คือสภาวะที่ดีที่สุดในการเกิดเจลของอินูลิน

(4) การไฮโดรไลซิสของอินูลิน

Shu (1998) ได้ศึกษาการไฮโดรลิซีสของอินูลินเป็นฟรุกโตสในสารละลาย ด้วยการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ OD 570 nm โดยมีฟรุกโทสเป็น standard curve พบว่า อินูลิน 1 กรัมในน้ำ 50 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส อินูลินูลินถูกไฮโดรไลซ์เป็นฟรุกโตสประมาณ 40 เปอร์เซนต์ของอินูลินเริ่มต้น และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ในเวลา 2 ชั่วโมง อินูลินไฮโดรไลซีสเป็นฟรุกโตสประมาณ 10 เปอร์เซนต์ของอินูลินเริ่มต้น แต่ถ้าให้ความร้อนสูงเกินอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สารละลายอินูลินจะถูกไฮโดรไล-ซีสและตามมาด้วยปฏิกิริยาคาราเมลไรเซชั่น (Silva, 1997)

Kim และ Wang (2001) ได้ศึกษาอิทธิพลของพีเอช 1-10 ต่อการเกิดเจลของสารละลายอินูลิน 25 เปอร์เซนต์ (w/v) เมื่อให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาทีพบว่าสารละลายอินูลินที่พีเอช 1-3 ไม่เกิดเจลเนื่องจากเกิดน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากซึ่งเป็นสารโมเลกุลต่ำที่ไม่ทำให้เกิดเจล แต่สารละลายอินูลินที่พีเอช 4 - 10 สามารถเกิดเจลได้ซึ่งจากการทดลองแสดงว่าสารละลายอินูลินไม่ถูกไฮโดรไลซ์ที่พีเอชสูงๆ

ดังนั้นสารละลายอินูลินจะถูกไฮโดรไลซ์เมื่อได้รับความร้อนสูงหรืออยู่ในสารละลายที่มีพีเอชต่ำกว่า 3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำอิสระในระบบด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.1.2 ประโยชน์ของอินนูลิน

จากองค์ประกอบที่กล่าวมาทั้งหมดของอินูลินจึงทำให้อินูลินมีสมบัติเด่น ที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางให้เป็นส่วนผสมอาหาร ในอุตสาหกรรมอาหาร ด้านใยอาหาร (Dietary fiber), พรีไบโอติก (Prebiotic) ดังนี้

อินูลินเป็นใยอาหาร ใยอาหาร คือเซลล์ของพืชส่วนที่เป็นโพลีแซ็คคาไรด์ซึ่งสามารถทนต่อการย่อยโดยเอนไซม์ในตับอ่อนของมนุษย์ แต่สามารถถูกย่อยได้โดยจุลลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ใยอาหารจึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพเมื่อผ่านกระบวนการทางสรีรวิทยา โดยมีสมบัติที่เกี่ยวกับทางชีววิทยา, ทางเคมีและทางกายภาพที่ส่งผลดีต่อสุขภาพของลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ เช่น ความสามารถกระจายตัวได้ในน้ำ จึงถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้มากกว่า เมื่อถูกย่อยจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยจะความหนืดจะเพิ่มขึ้น 9 ตามค่าการละลาย และความสามารถดูดซับจับสารประกอบตัวอื่น เช่น แคลเซียม เป็นต้น (Cherbut, 2002)

อินูลินเป็นคาร์โบไฮเดรตสะสม (storage carbohydrate) ในผัก ผลไม้ และเมล็ดที่สมบูรณ์ อินูลินสามารถทนทานต่อการย่อยและการถูกดูดซึมในท้องและลำไส้เล็กของมนุษย์เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารของมนุษย์ (เช่น α-glucosidase, maltase, isomaltase และ sucrase) มีความจำเพาะต่อ α -glucosidic bonds เท่านั้น เอนไซม์ที่ใช้ในระบบย่อยอาหารของมนุษย์จึงไม่สามารถย่อยพันธะ β (2-1) fructosyl-fructose linkage ใน fructose monomers ของอินูลินได้ จากการทดลองของ Ellegard et al. (1997) ได้ทำการศึกษาความสามารถของอินูลินต่อการทนทานต่อการย่อยและการถูกดูดซึมในท้องและลำไส้เล็กของมนุษย์ โดยใช้วิธีศัลยกรรมสร้างทางผ่านเข้าไปในลำไส้เล็กท่อนปลายโดยผ่านผนังช่องท้อง (ileostomy) ของอาสาสมัคร พบว่าอินูลิน (ความเข้มข้น 10, 17, 30 กรัม) ที่ถูกปล่อยออกมาจากลำไส้เล็กมีปริมาณ ถึง 86-88% แสดงให้เห็นว่าในทางปฏิบัติอินูลินไม่สามารถถูกย่อยได้ในลำไส้เล็กของมนุษย์ และมีการสูญเสียอินูลินเล็กน้อยระหว่างการเดินทางผ่านลำไส้เล็กอาจเนื่องมาจากการถูกหมักโดยแบคทีเรียที่ส่วนปลายสุดของลำไส้เล็ก (ileum) ซึ่งจำนวนแบคทีเรียในผู้ที่ผ่าตัดเปิดลำไส้เล็กส่วนปลายจะมากกว่าในคนปกติเป็น 100 เท่า

นอกจากนี้การบริโภคอินูลินช่วยให้อุจจาระมีความอ่อนนุ่มและถ่ายได้ง่ายขึ้นเนื่องจากเพิ่มมวลจุลินทรีย์และปริมาณน้ำในเซลล์ของแบคทีเรีย ดังนั้นอินูลินจึงช่วยปรับปรุงการระบายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ที่มีอาการท้องผูก มีรายงานว่าอินูลิน 1 กรัมที่บริโภคเข้าไปจะช่วยเพิ่มมวลอุจจาระ (Bulking capacity) 1.2 - 2.1 กรัม นอกจากนั้น คุณสมบัติของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ในการหมักอินูลินโดย จะช่วยเสริมการป้องกันเยื่อบุผิวของลำไส้และลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกี่ยวกับกระเพาะอาหารและลำไส้ เพราะจะทำให้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคจะมีจำนวนลดลง และลำไส้เคลื่อนไหวได้สะดวกขึ้น

เนื่องจากอินูลินไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็กแต่ถูกหมักได้ในลำไส้ใหญ่ ค่าพลังงานของอินูลินจึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการหมักในลำไส้ใหญ่ ค่าพลังงานของอินูลินจะสูญเสียไปกับการเป็นมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซมีเทน ความร้อนจากการหมัก กรดไขมันสายโซ่สั้นและกรดแลคติก จากการวัดค่าพลังงานของอินูลินที่ถูกเผาผลาญในร่างกายโดยตรงด้วยเครื่อง calorimeter พบว่าค่าพลังงานของอินูลิน มีค่าเฉลี่ย 12 kJ/g เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้จากคาร์โบไฮเดรตที่สามารถย่อยได้ ซึ่งมีค่า 17 kJ/g พบว่าพลังงานจากอินูลินมีค่าต่ำกว่า

ดังนั้นอินูลินจึงถูกจัดเป็นใยอาหารเพราะสามารถผ่านกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบนไปสู่ลำไส้ใหญ่ได้โดยไม่ถูกย่อยและสามารถถูกหมักได้โดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่

Wang และ Gibson (1993) ได้ทำการทดลองโดยให้อาสาสมัครรับประทานอินูลิน 15 กรัม/วัน ติดต่อกันเป็นเวลา 15 วัน พบว่า ระหว่างช่วงเวลานั้นปริมาณจุลินทรีย์ *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* ในลำไส้ใหญ่เพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ และจุลินทรีย์ก่อโรคมีปริมาณลดลง ซึ่งส่งผลให้สุขภาพ ผู้ที่รับประทานอาหารนั้นๆ ดีขึ้น พรีไบโอติกจึงมีความเกี่ยวพันกันอย่างใกล้ชิดกับมนุษย์ หากร่างกายได้รับจุลินทรีย์สุขภาพและเส้นใยอาหารพรีไบโอติกที่เหมาะสม จะเป็นประโยชน์ต่อร่างกายมาก เช่น ช่วยกระตุ้นให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกัน ป้องกันความรุนแรงของการเกิดโรคติดเชื้อในทางเดินอาหาร และ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Escherichia coli*, *Staphylococcus* spp., *Salmonella* spp. และ *Listeria* spp. เป็นต้น นอกจากนี้ยังช่วยลดสารพิษ ช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น ช่วยย่อยน้ำตาลแล็กโตสในน้ำนม ซึ่งแก้ปัญหาแน่นท้องหรือท้องเสียได้ และช่วยให้ร่างกายดูดซึมสารอาหารโดยเฉพาะแคลเซียมและเหล็กได้ดี

จากรายงานการศึกษาการให้ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ แก่หนูที่มีการชักนำให้เกิดภาวะโลหิตจาง (anemia) และภาวะกระดูกพรุน (osteopenia) ทดสอบกับหนูสามกลุ่ม คือ หนูที่ไม่มีการให้ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ร่วมในอาหาร หนูกลุ่มที่มีการให้ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ร่วมในอาหาร และหนูกลุ่มควบคุมที่ไม่ชักนำให้เกิดภาวะโลหิตจางและกระดูกพรุนและไม่ได้รับฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ร่วมในอาหาร จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเลือดทุกสัปดาห์เพื่อวัดปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงนำกระดูกส่วนโคนขา (femur) และกระดูกส่วนหน้าแข้ง (tibia) มาวัดความหนาแน่นของมวลกระดูก (Bone mineral density: BMD) พบว่า หนูกลุ่มที่มีการให้ฟรุคโตโอลิโอแซคคาไรด์ ปริมาณ 75 กรัม/กิโลกรัม อาหาร เป็นเวลา 6 สัปดาห์มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณของฮีโมลโกลบินเพิ่มขึ้น และความหนาแน่นของมวลกระดูกมากกว่ากลุ่มการทดลองทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ (Ohta et al., 1998)

2.4.2.1.3 การใช้อินูลินเป็นสารทดแทนไขมันในไอศกรีม

อินูลินจัดเป็นสารทดแทนไขมันในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate–based fat substitutes) เช่นเดียวกับพวกแซนแทนกัม กัวกัม คาราจีแนน เป็นต้น อินูลินสามารถละลายน้ำได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉพาะตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไปการละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่อินูลินสามารถละลายได้สมบูรณ์ที่ 85 องศาเซลเซียส เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปโดยโครงสร้างจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (disordered conformation) มากขึ้น (Doublier และ Cuvelier, 1996) อินูลินสามารถกระจายตัวในน้ำได้ (dispersible) สามารถรวมตัวได้ดีกับน้ำ แต่บางครั้งอาจจับตัวเป็นก้อน (clump) ได้เนื่องจากอินูลินมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดี (hygroscopic characteristic) ดังนั้นเมื่อใช้อินูลินควรผสมอินูลินกับน้ำตาลทรายหรือหางนมผงให้เข้ากันก่อนนำไปใช้เพื่อช่วยในการกระจายตัวของสารให้เข้ากันดี (Silva, 1996) อินูลินสามารถจับกับโมเลกุลน้ำและเกิดโครงสร้างเจล (gel–like network) จึงช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการไหล (rheology) ของไอศกรีมเหลวและปรับปรุงเนื้อสัมผัส (texture) ของ ไอศกรีม

Gel–Nagar et al. (2002) ผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตลดไขมันจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 5 (โดยน้ำหนัก) พบว่าไอศกรีมเหลวมีความหนืด (consistency index) ต่ำลง ไอศกรีมมีความเหนียว (stickiness) ลดลง และมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง (hardness) กว่าไอศกรีมที่มีไขมันสูง แต่การเติมอินูลินร้อยละ 5, 7 และ 9 (โดยน้ำหนัก) ในไอศกรีมลดไขมันทำให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดเพิ่มขึ้นและทำให้ไอศกรีมมี ความเหนียวขึ้น ช่วยเพิ่มความรู้สึกเวลาเคี้ยวเมื่อเทียบกับไอศกรีมโยเกิร์ตลดไขมันที่ไม่เติมอินูลิน การเติมอินูลินร้อยละ 7 และ 9 (โดยน้ำหนัก) ช่วยลดอัตราการละลายของไอศกรีมลงเมื่อเทียบกับไอศกรีมโยเกิร์ตลดไขมันที่ไม่ได้เติมอินูลิน นอกจากนี้การเติมอินูลินช่วยลดความหยาบ (coarse/icy) ทำให้ไอศกรีมลดไขมันมีเนื้อสัมผัสที่เนียนขึ้น ความแข็ง (hardness) และความรู้สึกสากเหมือนเม็ดทราย (sandy) ลดลงและให้ความรู้สึกลื่นมันในปาก (greasy) ใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันสูง

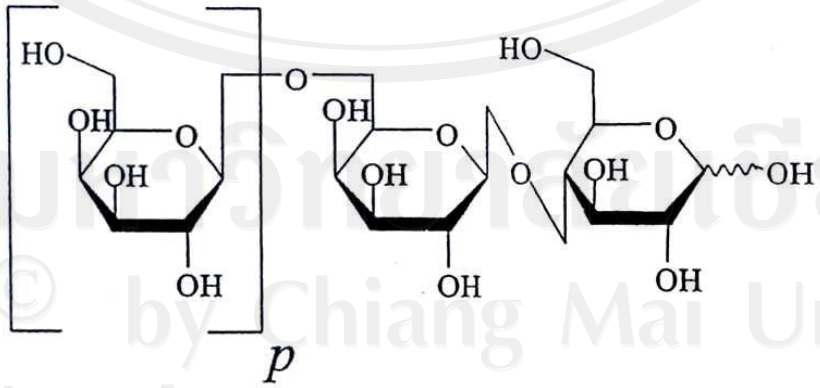
2.4.2.2. กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Galacto-oligosaccharides, GOS)

กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีกาแล็กโตสเป็นองค์ประกอบ (ภาพที่ 2.5) พบในน้ำนมมนุษย์ น้ำนมวัว โยเกิร์ต และสังเคราะห์มาจากแล็กโตส โดยเอนไซม์เบต้ากาแลคโตซิเดส (β-galactosidase) เป็นกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ที่ไม่สามารถย่อยได้ (non-digestible

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

oligosaccharides) จึงสามารถผ่านไปถึงลำไส้ได้โดยไม่ถูกย่อยและดูดซึม และถูกนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ ผลผลิตหลักที่ได้จากการหมักจะเป็นกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acid) เช่น อะซิเตท โพรพิโอเนท บิวไทเรท และมีก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ จากการศึกษาในระดับ *in vivo* ทั้งในคนและสัตว์ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน การให้กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์แก่อาสาสมัคร 12 คน ที่มีจำนวนของจุลินทรีย์ประจำถิ่นต่ำกว่าปกติ บริโภคในปริมาณ 10 กรัม/วัน พบว่าปริมาณของจุลินทรีย์ประจำถิ่นเพิ่มขึ้น เมื่ออาสาสมัครได้รับปริมาณกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Sofia et al., 2001)

จากการศึกษานมแม่หรือ Human milk oligosaccharides (HMOs) มีค่า dairy product (DP) อยู่ในช่วง 3-32 จัดเป็นสารพรีไบโอติกที่อยู่ในกลุ่มกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ มีรายงานว่าเมื่อทารกดื่มนมแม่ (HMOs) พบว่า HMOs ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารส่วนบนของทารก และเหลือไปถึงลำไส้ใหญ่มีผลไปเสริมการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกพวก Bifidobacteria ได้ (Coppa et al., 2001) และจากรายงานของ Ward et al. (2006) ทำการศึกษาโดยใช้ HMOs อินนูลินและกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนต่อการเจริญของ *Bifidobacterium infantis* ATCC 15697 และ *Lactobacillus gasseri* ATCC 33323 ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบเป็นส่วนใหญ่ในลำไส้ใหญ่ของทารก พบว่า *B. infantis* ATCC 15697 สามารถใช้ HMOs เป็นแหล่งคาร์บอนได้ ในขณะที่ *L. gasseri* ATCC 33323 ไม่สามารถใช้ HMOs ในการเจริญได้ และไม่พบการเจริญของแบคทีเรียทั้งสองชนิดในอาหารที่มีอินูลิน เป็นแหล่งคาร์บอน HMOs จึงจัดเป็นสารพรีไบติกที่ส่งเสริมการเจริญในโพรไบโอติกบางชนิดเท่านั้น โดยเฉพาะเสริมการเจริญของโพรไบโอติกซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่พบได้ในลำไส้ใหญ่ของทารก



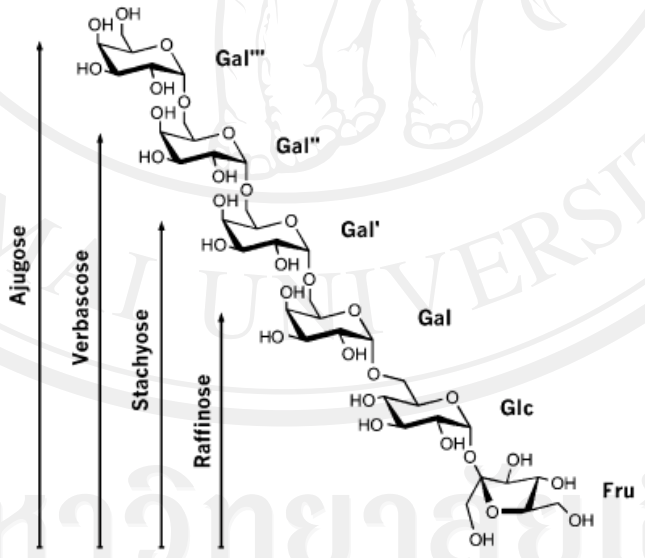
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์

ที่มา : Gibson และ Angus (2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.3. ซอยบีนโอลิโกแซคคาไรด์ (Soybean oligosaccharide, SOS)

เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่พบทั่วไปในพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเหลือง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Raffinose family oligosaccharides ซึ่งมีองค์ประกอบเป็น raffinose และ stachyose (Gibson, 2004) ซึ่งมีโมเลกุลโครงสร้างประกอบด้วย Galα1-6 Glu1-2βFru และ Galα1-6 Galα1-6 Gluα1-2βFru ตามลำดับ ดังแสดงใน ภาพที่ 2.6 สามารถทนต่อการย่อยโดยกรดในกระเพาะอาหารและเอนไซม์ในลำไส้เล็ก สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังลำไส้ใหญ่และเกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria ได้ จากการศึกษาการหมักซอยบีนโอลิโกแซคคาไรด์ โดยเชื้อจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ในอาสาสมัครเพศชาย 6 คนให้ซอยบีนโอลิโกแซคคาไรด์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่าสามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria ได้ โดยอาสาสมัครที่ได้รับแรฟฟีโนส ในปริมาณ 15 กรัม/วัน มีปริมาณของจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria เพิ่มขึ้นถึง 6 เท่า และสามารถลดจำนวนของจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacteroides* spp. ได้ 0.6 เท่า และ *Clostridium* spp. ได้ 1.6 เท่า และพบว่าการให้ soygerm powder ปริมาณ 4 กรัม/วัน จะช่วยให้ จะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อเกลือน้ำดีของ *L. reuteri* ได้ (Rastall และ Maitin, 2002)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของซอยบีนโอลิโกแซคคาไรด์ในพืชตระกูลถั่ว
ที่มา : Kotiguda et al. (2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

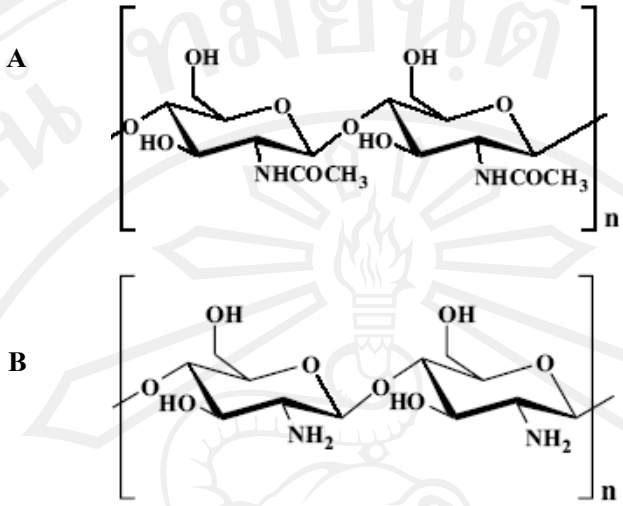
2.4.2.4. คาร์โบไฮเดรตอื่นๆและสารที่ไม่ใช่กลุ่มคาร์โบไฮเดรต (Non-starch polysaccharide; NPS) ที่มีอยู่ในธรรมชาติ

สารประเภทคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ และสารที่ไม่ใช่กลุ่มคาร์โบไฮเดรต ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เส้นใยอาหารซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพืชที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพรีไบโอติก ส่วนมากได้จากพืชหรือจุลินทรีย์ เช่น สารกลุ่มเพคติน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส กัมอารบิก ไซแลน ไคโตซาน และสารเมือกที่ได้จากแบคทีเรียโพรไบโอติก (exopolysaccharides) เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการหมักโดยแบคทีเรียโพรไบโอติก (Lee et al., 2002)

2.4.2.4.1 ไคโตซาน (Chitosan; CS)

ไคโตซานเป็นอนุพันธุ์ที่ไม่ละลายน้ำของไคติน (chitin) พบได้ในธรรมชาติโดยสกัดได้จากเปลือกของกุ้งขนาดกลางและเล็ก กุ้งกร้ามกราม หรือปู ซึ่งพบได้ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน สายโพลิเมอร์ประกอบด้วยหน่วยของ glucosamine เชื่อมต่อกันด้วย β-1,4 glucosidic bonds (ภาพที่ 2.7) ซึ่งไคโตซานมีผลทางชีวภาพคือ เป็นสารต้านมะเร็ง (antitumor) ป้องกันภาวะเลือดไหลไม่หยุด (hemostatic) ป้องกันภาวะไขมันในเลือดสูง (hypocholesterolemic) นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรียก่อโรค (antibacterial) เช่น *Salmonella* spp. โดยกลไกการต่อต้านแบคทีเรียก่อโรคของไคโตซานยังไม่ทราบแน่ชัด (Helander et al., 2001) คาดว่าไคโตซานมีประจุบวกของ NH_3^+ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ glucosamine ซึ่งอาจมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membranes) ของจุลินทรีย์ซึ่งมีประจุลบ มีการศึกษาถึงผลของไคโตซานต่อการเจริญของแบคทีเรียในลำไส้ของมนุษย์โดยศึกษาในแบคทีเรียก่อโรค 6 สายพันธุ์ ที่มักพบในลำไส้ของมนุษย์ โดยใช้ปริมาณของไคโตซาน เท่ากับ 0.025, 0.05 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งผลของไคโตซานในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแบคทีเรียก่อโรค โดยไคโตซานสามารถยับยั้งแบคทีเรียในกลุ่มของ *Bacteroides* และ *Clostridium* ได้ถึง 91-97 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ *Roseburia* sp., *Eubacterium* sp. และ *Faecalibacterium* sp. สามารถยับยั้งการเจริญได้ 63-83 เปอร์เซ็นต์ (Simunex et al., 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.7 โครางสร้างทางเคมีของ A)ไคติน B)ไคโตซาน

ที่มา : Barreteau et al. (2006)

2.4.2.4.2 เพคติน (Pectin)

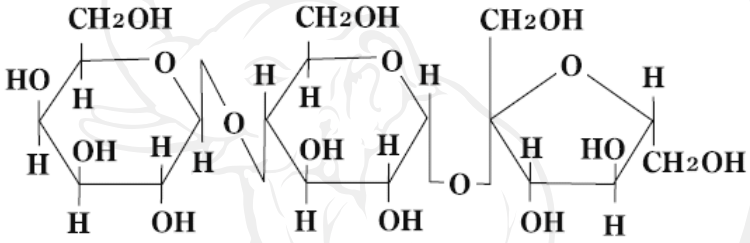
เพคตินเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อพืช ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลใหญ่และซับซ้อน สามารถละลายได้ในน้ำร้อน ประกอบด้วยหน่วยย่อยในสายหลักเป็นน้ำตาลแรมโนส พบได้ในผลไม้ทุกชนิดในส่วนของผนังเซลล์ และ intracellular tissues และยังมีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร (dietary fiber) พบประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไม่สามารถย่อยในระบบทางเดินอาหารได้ ทำให้เพคตินสามารถช่วยให้เกิดการขับถ่ายได้ดี ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ และยังช่วยทำหน้าที่ขัดขวางการดูดซึมของไขมันไม่ให้เข้ากระแสเลือดจึงป้องกันไม่ให้เกิดโรคหลอดเลือดหัวใจและหลอดเลือดในสมองตีบ ดังนั้นทางด้านเภสัชกรรมจึงได้มีการนำเพคตินมาใช้เพื่อช่วยเพิ่มการทำงานของยา ช่วยลดคอเลสเตอรอลและระดับน้ำตาลในเลือดใช้เป็นเส้นใยอาหารป้องกันโรคระบบทางเดินอาหาร และเนื่องจากเพคตินสามารถช่วยลดการระคายเคืองจึงมีการนำมาผลิตเป็นอาหารเด็ก เพคตินยังมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อละลายน้ำจะพองตัวเป็นเจล ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มจึงนิยมใช้เพคตินเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยใช้เป็นตัวทำให้เกิดความยืดหยุ่น (gelling agent) ในผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ และขนมหวาน หรือช่วยทำให้เกิดความหนืด (viscosity) ในซอสเครื่องปรุง น้ำเชื่อมเข้มข้น น้ำสลัด เครื่องดื่ม และใช้เป็นตัวรักษาสภาพ (stabilizer) ในผลิตภัณฑ์นม และโยเกิร์ต เป็นต้น (Gray, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.4.3 พรีไบโอติกที่ได้จากการสังเคราะห์

(1) แลคโตซูโครส (Lactosucrose, LS)

แลคโตซูโครสผลิตมาจากการสังเคราะห์จากสารตั้งต้นของน้ำตาลแล็กโตสและ ซูโครส (ภาพที่ 2.8) โดยใช้เอนไซม์ β-fructofuronosidase และมีคุณสมบัติไปเสริมการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria มีรายงานว่า การให้แลคโตซูโครส ปริมาณ 3 กรัม/วัน แก่อาสาสมัคร 3 คน พบว่าสามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria ได้ 0.7 เท่า และลดปริมาณจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacteroides* spp. ได้ 0.6 เท่า (Ohkusa et al., 1995)



ภาพที่ 2.8 โครางสร้างทางเคมีของแลคโตซูโครส

ที่มา : Ohkusa et al. (1995)

(2) แลคทูโลส (Lactulose)

แลคทูโลส เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disacchrides) ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกาแลคโตสและฟรุคโตสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-1,4 glycosidic linkage มีคุณสมบัติละลายในน้ำ ละลายในเมทานอลได้เล็กน้อยและไม่ละลายในอีเทอร์และแลคทูโลส แสดงคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก คือ สามารถเพิ่มจำนวนของ Bifidobacteria ได้ (Tuohy et al., 2005) Ballongue et al. (1997) ได้ศึกษาโดยการให้แลคทูโลส 10 กรัม/วันในอาสาสมัคร 2 คนเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณของแบคทีเรียกลุ่ม Lactobacilli เพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่โดยมีผลลดเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารก่อมะเร็ง (carcinogens) เช่น β-glucuronidase, nitroreductase และ azoreductase เป็นต้น (Tuohy et al., 2005) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Ballongue et al. (1997) ศึกษาโดยให้แลคทูโลสแก่อาสาสมัคร 36 คน ปริมาณ 20 กรัม/วัน พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณของ Lactobacilli อีกทั้งยังลดปริมาณของ *Bacteroides* spp., *Clostridium* spp. และ Coliforms bacteria เป็นผลให้สามารถลดเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับสารก่อมะเร็ง และสารเมทาบอไลท์ที่ผลิตโดยแบคทีเรียก่อโรคเหล่านี้ได้ด้วย ซึ่งโดยปกติแล้วแลคทูโลสไม่มีหรือมีน้อยมากในอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทั่ว ไปส่วนมากมีการนำแลคทูโลสไปใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหารชนิดต่าง ๆ เพื่อเสริมสุขภาพผู้บริโภค

(3) ไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Isomalto-oligosaccharide, IMO)

ไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อด้วยพันธะ α,1-6 glycosidic linkage ถูกเปลี่ยนมาจากแป้งโดยการใช้กระบวนการย่อยโดยใช้เอนไซม์ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ α-amylase และ pullulanase ร่วมกัน ในการศึกษาผลของไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อการเสริมการเจริญของโพรไบโอติก กลุ่ม Bifidobacteria โดยใช้ระบบ Human colonic-batch culture ซึ่งมีการเติม IMO ลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่เวลา 24 ชั่ว โมงไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์สามารถเพิ่มจำนวนของ Bifidobacteria ได้ทั้ง *in vitro* และ *in vivo* และพบว่าปริมาณของ Clostridia ลดจำนวนลงด้วย (Rycroft et al., 2001)

(4) กลูโคโอลิโกแซคคาไรด์ (Gluco-oligosaccharide, GOS)

โอลิโกแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันด้วยพันธะ β–1,6 glucosidic linkage เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่มาจากการสังเคราะห์ด้วยเอนไซม์ glucosyl-transferase ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ *Leuconostoc mesenteroides* หรืออาจสกัดมาจาก β-glucan จากต้นโอ๊กและได้มีการยอมรับว่าเป็นอาหารสุขภาพ (functional food) และกลูโคโอลิโกแซคคาไรด์ ถูกย่อยด้วยเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria ยกเว้น *B. bifidum* และถูกย่อยโดยจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacteroides* และ Clostridia แต่ไม่ถูกย่อยด้วยกลุ่ม Lactobacilli

(5) ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ (Xylo-oligosaccharides) (XOS)

ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลไซโลสที่ต่อกันด้วยพันธะ β-1,4 ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์จะถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria และ Lactobacilli ซึ่งมีผลให้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เพิ่มขึ้น และสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacteroides* ได้ จากการให้ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ ปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อน้ำหนักแก่หนูทดลอง พบว่า สามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria ได้ดีกว่าการให้ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Campbell et al., 1997) และจากผลการศึกษาของ Rycroft et al. (2001) ที่ศึกษาจุลินทรีย์ผสมของอุจจาระมนุษย์ พบว่า หลังจากมีการให้ β-1,4 ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์เป็นแหล่งคาร์บอนเพียงแหล่งเดียว สามารถเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria ภายหลัง 24 ชั่วโมง และยังสามารถลดจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม *Bacteroides* ได้อีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 ซินไบโอติก (Synbiotic)

ซินไบโอติก เป็นส่วนผสมของพรีไบโอติกและโพรไบโอติก ซึ่งนักวิจัยบางท่านยังให้ความหมายของซินไบโอติกว่าเป็นการผสมกันระหว่างโพรไบโอติกและพรีไบโอติกและส่วนผสมดังกล่าวต้องช่วยปรับปรุงการรอดชีวิตของแบคทีเรียซึ่งอยู่ในระบบกระเพาะลำไส้ส่วนบน (Roberfroid, 2000) และเป็นการส่งผ่านจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเข้าไปในรูปของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (dietary supplements) ในทางเดินอาหารและลำไส้ จากการศึกษาของ Bielecka et al. (2002) ซึ่งให้หนูรับประทานผลิตภัณฑ์ซินไบโอติกที่มีการผสมระหว่าง *Bifidobacterium* ที่มีจำนวนเซลล์มากกว่า หรือเท่ากับ 9 log CFU/ml และสารพรีไบโอติกชนิดโอลิโกฟรุคโตสความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก พบว่าหนูที่รับประทานผลิตภัณฑ์ซินไบโอติกเป็นเวลานาน 14 วัน จำนวน *Bifidobacterium* เพิ่มขึ้นประมาณ 1.4 log CFU/g ของอุจจาระ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูที่รับประทานแต่ *Bifidobacterium* เพียงอย่างเดียวมีการเพิ่มขึ้น 0.6 log CFU/g อุจจาระมีรายงานว่าผลิตภัณฑ์ซินไบโอติก มีผลต่อการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ โดยสามารถลดการพัฒนาของเซลล์ที่สามารถเกิดโรคมะเร็งลำไส้ได้ เมื่อให้อินนูลินหรือโอลิโกฟรุคโตสประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารที่บริโภค พร้อมกับการให้แบคทีเรียสุขภาพ โพรไบโอติก คือ *B. longum* สังเกตพบว่ามีการลดลงของเซลล์ก่อนที่จะเกิดเป็นเนื้องอก (preneoplastic lesion) เมื่อให้โพรไบโอติก *B. longum* พร้อมกับอินนูลินทางปากสามารถลดปัจจัยดังกล่าวได้มากกว่า การให้โพรไบโอติก *B. longum* หรือให้อินนูลินเพียงอย่างเดียว (Reddy, 1999) และจากผลการศึกษาซินไบโอติกในระดับ *in vivo* โดยทำการศึกษาในหนูทดลองจำนวน 16 ตัว โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุมที่มีการให้อาหารธรรมดาปริมาณ 20 กรัม/วัน กลุ่มที่สองให้ผลิตภัณฑ์ซินไบโอติกในปริมาณ low dose คือ 1.5 กรัม/ กิโลกรัมของน้ำหนักตัวหนู/วัน และกลุ่มที่สามให้ซินไบโอติกในปริมาณ high dose คือ 7.5 กรัม/ กิโลกรัมของน้ำหนักตัวหนู/วัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์โดยซินไบโอติกที่ใช้ คือ FloraGuard® (Viva Life Science, Costa Mesa, CA, USA) มีส่วนผสมระหว่างโพรไบโอติก คือ *L. acidophilus*, *L. bulgaricus*, *B. bifidum, B. longum* และ *S. thermophilus* ส่วนพรีไบโอติกที่ใช้ คือ อินนูลินที่สกัดจากชิคอรี เมื่อวัดการเจริญของแบคทีเรียพบว่า *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งกลุ่ม low dose และ high dose โดยที่กลุ่มแบคทีเรียโคลิฟอร์มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และพบว่ากิจกรรมของไลเพส (lipase), ซูเครส (sucrase) และ ไอโซมอลเตส (isomaltase) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนแล็กเตสพบกิจกรรมเพิ่มขึ้นอย่างนัยสำคัญในกลุ่ม low dose ในขณะที่พบกิจกรรมของไลเพส และน้ำตาลโมเลกุลคู่ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม high dose ,เมื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการที่ให้ซินไบโอติกในปริมาณที่เป็น low dose มีความเพียงพอต่อการส่งเสริมสุขภาพของร่างกายเจ้าบ้าน (Yang et al., 2005)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีศักยภาพที่ดีในการเป็นอาหารพาหะของโพรไบโอติก เนื่องจากในไอศครีมมีสารที่มีประโยชน์ เช่น โปรตีนนม วิตามิน และแร่ธาตุ จึงช่วยสนับสนุนการมีชีวิตของเชื้อโพรไบโอติก แต่การสูญเสียเชื้อโพรไบโอติกในไอศครีมยังคงหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยจะพบการสูญเสียได้ในระหว่างกระบวนการผลิต การเก็บรักษา และ การละลาย โดยในระหว่างสภาวะเหล่านี้เชื้อโพรไบโอติก จะได้รับความเครียดจาก pH การแช่เยือกแข็ง ออกซิเจน ความเข้มข้นของน้ำตาล ผลของแรงดันออสโมติก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งในกระบวนการแช่เยือกแข็งนั้นจะทำให้มีการสูญเสียเชื้อโพรไบโอติกมากกว่าช่วงการเก็บรักษา ทำให้มีการศึกษาเพื่อหาวิธีแก้ไขปัญหาการสูญเสียเชื้อโพรไบโอติก ได้แก่ การเลือกสายพันธุ์โพรไบโอติก ที่ทนต่อออกซิเจน การกำจัดออกซิเจนในระหว่างการผลิต การใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูล (microencapsulation) การปรับปรุงสูตรของผลิตภัณฑ์ (เช่น การเติมสารอาหารในนม การเติมพรีไบโอติก) วิธีการเหล่านี้จะช่วยให้เชื้อโพรไบโอติก มีชีวิตเหลือรอดในผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้มากยิ่งขึ้น การเติมเชื้อโพรไบโอติก ลงในไอศกรีมนั้นพบว่ามีผลเพียงเล็กน้อยต่อรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส หรือ ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านอื่นๆ ของไอศกรีม (Mohammadi et al., 2010)

สำหรับการศึกษาการเหลือรอดของเชื้อโพรไบโอติค Hekmat และ McMahon (1992) ศึกษาการเหลือรอดของ *L. acidophilus* และ *Bifidobacterium bifidum* ในไอศกรีมเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารโพรไบโอติก ไอศครีมโพรไบโอติกถูกเตรียมโดยการนำน้ำนมไปหมักด้วยเชื้อทั้งสองชนิด แล้วนำไปแช่เยือกแข็ง พบว่าจำนวนของ *L. acidophilus* และ *B. bifidum* ค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Turgut และ Cakmakci (2009) ที่ศึกษาความเป็นไปได้ในการเติมเชื้อโพรไบโอติก บางสายพันธุ์ในผลิตภัณฑ์ครีม โดยผันแปรระดับไขมัน (5% และ10%) ของส่วนผสมไอศกรีม พบว่าเมื่อนำตัวอย่างไอศกรีมมาตรวจสอบพบว่ายังมีปริมาณเชื้อโพรไบโอติกเหลืออยู่ในจำนวนที่ถือว่าให้ประโยชน์ต่อสุขภาพได้ หลังจากการเก็บนาน 90 วัน จำนวนเชื้อที่มีปริมาณมากที่สุดคือ *L. acidophilus, B. bifidum*, และเชื้อผสมระหว่าง *L. acidophilus* กับ *B. bifidum* ตามลำดับ ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน 5% เป็นไอศกรีมที่ได้รับความนิยมมากที่สุดจากผู้ทดสอบชิม ตัวอย่างไอศกรีมทั้งหมดสามารถรักษาปริมาณเชื้อโพรไบโอติกได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นอย่างดีหลังจากเก็บรักษาไว้เป็นเวลามากกว่า 3 เดือน แม้ว่าคะแนนทางประสาทสัมผัสจะลดลง แต่ก็ยังถูกจัดว่าเป็นไอศกรีมที่มีรสชาติดีอยู่

หลายงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียเชื้อโพรไบโอติกในไอศกรีมยังคงหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยจะพบการสูญเสียได้ในระหว่างกระบวนการผลิต การเก็บรักษา และ การละลาย ทำให้มีการศึกษาเพื่อหาวิธีแก้ไขปัญหาการสูญเสียเชื้อโพรไบโอติก เช่น การปรับปรุงสูตรของผลิตภัณฑ์ การเติมสารอาหารในนม และการเติมพรีไบโอติก Akin et al. (2007) ศึกษาไอศกรีมที่มีการเติมเชื้อโพรไบโอติกส่วนผสมไอศกรีมที่ศึกษามีความเข้มข้นของน้ำตาลแตกต่างกัน (15, 18, 21% (w/w)) โดยมีการเติม อินูลิน (1% และ 2%) และไม่เติมอินูลิน ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้นข้นของน้ำตาลส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไอศกรีม การเติมอินูลินจะช่วยปรับปรุงความหนืด และอัตราการละลายของไอศกรีม แต่อินูลินไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ส่วนจำนวนเชื้อโพรไบโอติก พบมากที่สุดที่ความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 18% เชื้อ *Streptococcus thermophilus* มีความคงทนมากในทุกตัวอย่างไอศกรีม และพบว่าการเติมอินูลินจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *L. acidophilus* และ *Bifidobacterium lactis,* ทำให้มีการเหลือรอดในปริมาณมากในผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Homayouni et al. (2008) ศึกษาการผลิตไอศครีมซินไบโอติก 2 ชนิด โดยมีการเติม 1% free resistance starch และ encapsulated ของ *L. casei* (Lc-01) และ *Bifidobacterium lactis* (Bb-12) พบว่า encapsulation สามารถช่วยเพิ่มอัตราการเหลือรอดของเชื้อโพรไบโอติกในไอศครีมตลอดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเติมเชื้อโพรไบโอติกที่มีการ encapsulated ไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่มีสารประกอบ resistance starch เป็นพรีไบโอติก นอกจากนี้ Iyer และ Kailasapathy (2005) ทำการเลือกพรีไบโอติกที่แตกต่างกัน 3 ชนิด และ ทำการ encapsulated เชื้อ *L. acidophilus* แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพของการรักษาจำนวนเชื้อโพรไบโอติกในโยเกิร์ต พบว่าการเติม Hi-maize starch ในส่วนผสมการเตรียมแคปซูล (capsules) สำหรับ *Lactobacillus* spp. มีส่วนในการปกป้องเชื้อโพรไบโอติกได้ดีกว่าหลังจากการบ่มที่ pH 2.0 เมื่อเทียบกับการผสมพรีไบโอติก อีก 2 ชนิด คือ Raftilinel และ Raftilosel ในแคปซูล และยังพบว่าการเติม Hi-maize starch (1.0% w/v) ในแคปซูลที่บรรจุ *Lactobacillus* spp. และคลุมด้วย chitosan อีกชั้นทำให้จำนวนของเชื้อเหลือรอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในสภาวะที่เป็นกรด และเกลือ (bile salt) เมื่อเทียบกับการ encapsulate ด้วย alginate ซึ่งสอดคล้องกับพรหทัย และ บวรศักดิ์ (2550) ทำการศึกษาการทำไอศกรีมเติมสารเสริมพรีไบโอติก 2 ชนิด คือ พรีไบโอติกชนิด Fructooligosacharide และสารป้□องกันอันตรายจากความเย็นชนิด Unipectin RS 150 พบว่□า ตัวอย่□างที่เติมสาร Unipectin RS

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

150 ให้□การเหลือรอดต่ำที่สุด คือ 8.4 log CFU/ml ส่□วนตัวอย่□างที่เติม Fructooligosacharide และตัวอย่างที่ไม่□เติมสารเสริม (ตัวอย่างควบคุม) มีปริมาณ□การเหลือรอดที่ไม่□แตกต่างกัน โดยมีจำนวนเชื้อประมาณ 8.8 log CFU/ml นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ จุฑามาศ และคณะ (2551) ทำการผลิตไอศกรีมไขมันต่ำที่มีการเติมเชื้อโพรไบโอติก และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด เติมเชื้อโพรไบโอติกลงไปในไอศกรีมที่มีระดับทดแทนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ระดับ 0 และ 3% โดยโพรไบโอติกสายพันธุ์ที่ใช้คือ *L. acidophilus* และ *L. casei* ทำการศึกษาการเหลือรอดของเชื้อโพรไบโอติกทั้งสองสายพันธุ์ในไอศกรีมที่เก็บในอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 สัปดาห์ พบว่า *L. casei* มีผลต่อ pH และลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมของไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และจำนวนเชื้อโพรไบโอติกทั้งสองสายพันธุ์สามารถรอดชีวิตได้มากกว่า 10^7 CFU/ml เมื่อทดแทนนมผงขาดมันเนยด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ที่ระดับ 0 และ 3%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved