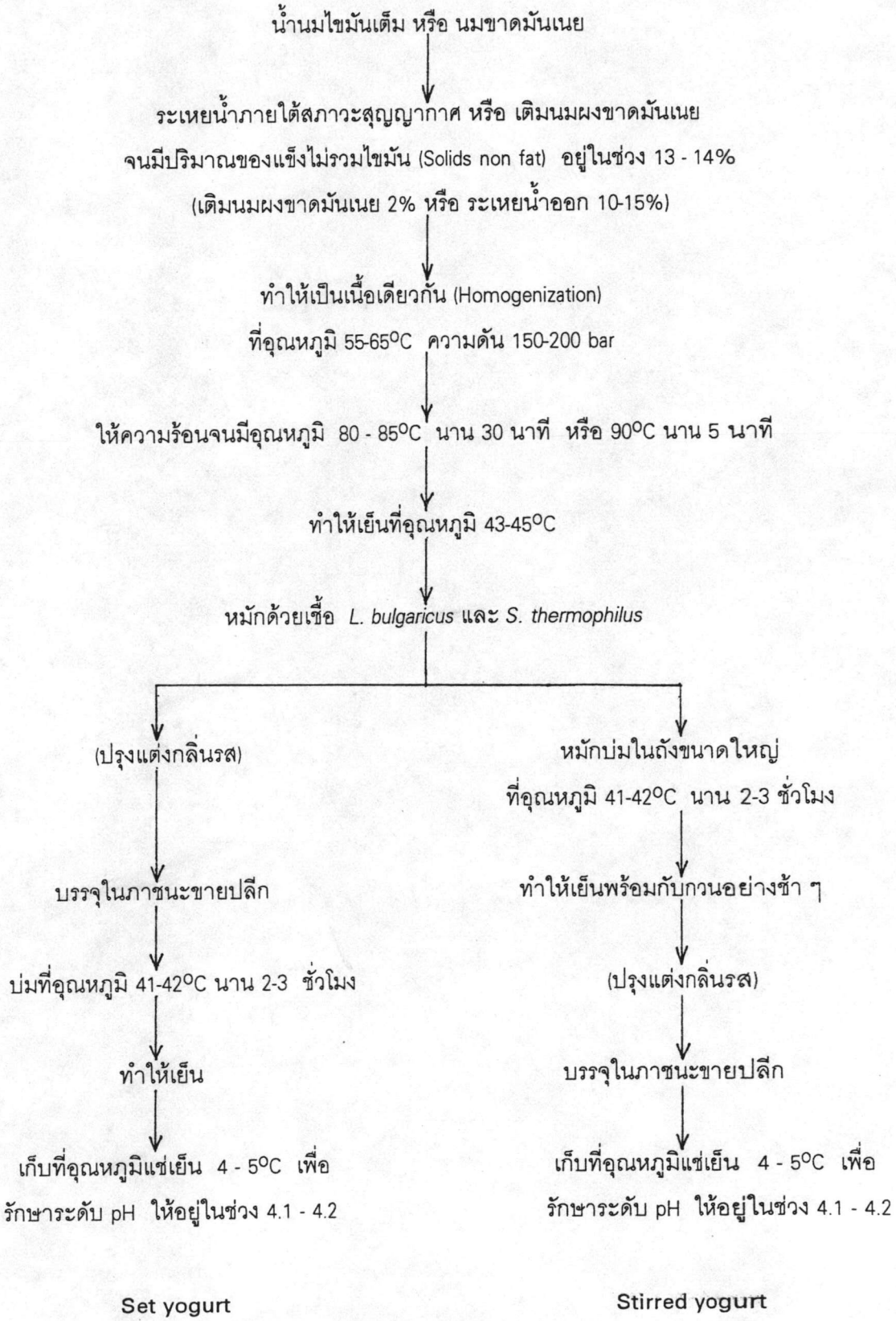
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

โยเกิร์ตจัดเป็นผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวชนิดหนึ่ง ซึ่งได้จากการหมักน้ำนมด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดโรคหรือสารพิษ และมีจุลินทรีย์ดังกล่าวที่มีชีวิตคงเหลืออยู่จากกรรมวิธีผลิตนั้น หรืออาจเติมวัตถุอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อกรรมวิธีการผลิต หรืออาจจะปรุงแต่ง สี กลิ่น รส ด้วยก็ได้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2523)

บางประเทศมีการใช้น้ำนมจากแพะ แกะ ม้า หรือวัวผลิตโยเกิร์ต ในสหรัฐอเมริกาใช้น้ำนมเต็มรูป หรือ น้ำนมไขมันต่ำที่ได้จากวัวในการผลิตโยเกิร์ต โดยขั้นแรกต้องมีการปรับปริมาณร้อยละของของแข็ง (% Solids) ให้อยู่ในช่วง 10.2 ถึง 12.5 ให้ความร้อนประมาณ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenization) ทำให้เย็นที่ 43 องศาเซลเซียส จึงเติมเชื้อเริ่มต้นที่เตรียมไว้ ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ในอัตราส่วน 1:1 เชื้อทั้งสองตัวนี้จะสร้างกรดและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ส่วนการจะทำเป็น Set Yogurt หรือ Stirred Yogurt นั้นขึ้นอยู่กับว่า มีการหมักก่อนหรือหลังการบรรจุ (Banwart, 1989) ROBINSON (1991) และ RASIC, KURMANN และ KROGER (1992) ได้สรุปถึงขั้นตอนหลักในการผลิตโยเกิร์ตไว้ ดังผังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนหลักในการผลิตโยเกิร์ต

(Robinson, 1991 ; Rasic, Kurmann และ Kroger, 1992)

โยเกิร์ตถูกดัดแปลงให้มีรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความหลากหลายในการเลือกบริโภค TAMINE และ DEETH (1980) ได้อธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ดัดแปลงมาจากโยเกิร์ต และมีจำหน่ายในสหรัฐอเมริกาดังนี้

- Fruit yogurt คือ โยเกิร์ตแบบสวิสส์ (Swiss style yogurt) แต่งกลิ่น สี และผสมเนื้อผลไม้ให้กระจายทั่วในโยเกิร์ต หรือเป็นแบบซันเดย์ (Sundae-style) ซึ่งมีผลไม้อยู่ก้นกระป๋องและมีโยเกิร์ตอยู่ด้านบน

- Pasteurized / UHT yogurt คือ โยเกิร์ตที่ผ่านการให้ความร้อนภายหลังจากการบ่มเชื้อสิ้นสุดลง เป็นการยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

- Concentrated (frozen) yogurt มีลักษณะคล้ายกับไอศกรีมทั้งชนิดเหลว (Soft serve) และชนิดแข็งซึ่งเป็นไอศกรีมที่ผ่านการ Hardening

- Dried yogurt คือ โยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งโดยอาศัยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ หรือทำแห้งด้วยวิธีการพ่นฝอย หรือทำแห้งด้วยวิธีการเยือกแข็ง (freeze-drying)

- Low-calorie yogurt เป็นโยเกิร์ตที่มีของแข็งไม่รวมไขมัน 9 % ไขมัน 0.1 % และ สารให้ความคงตัว 0.5 - 1.0 %

- Low-lactose yogurt ผลิตขึ้นโดยใช้ β-D-Galactosidase ทำให้เกิดการย่อยแลคโตส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหวานโดยไม่มีการเพิ่มน้ำตาล

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีกฎหมายควบคุมคุณภาพ และมาตรฐานของนมเปรี้ยว ซึ่งครอบคลุมผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวทุกชนิด ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 46 (พ.ศ.2523) เรื่อง นมเปรี้ยว ได้กำหนดให้นมเปรี้ยวเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ และต้องมีคุณภาพมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1. มีโปรตีนไม่น้อยกว่า ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก
2. ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด *E. coli* ในอาหาร 1 กรัม
3. ไม่ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาล
4. ไม่มีวัตถุกันเสีย
5. ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
6. ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

การเก็บรักษาต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการจำหน่ายต้องไม่เกิน 7 วัน นับตั้งแต่วันที่บรรจุในภาชนะบรรจุ (กระทรวงสาธารณสุข, 2523)

2.1 จุลินทรีย์ในโยเกิร์ต

จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญต่อการผลิตโยเกิร์ต ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่มีอยู่ในนม โดยเฉพาะทำให้เกิดการใช้น้ำตาลแลคโตสในกระบวนการหมัก เป็นผลให้โยเกิร์ตมีลักษณะกลิ่นรสเฉพาะตัว ทั้งยังเชื่อว่าจะทำให้ผู้บริโภคมีสุขภาพดี จิตใจแจ่มใส ระบบขับถ่ายเป็นปกติ และอาจมีผลในทางป้องกันและรักษาโรคต่าง ๆ (Tamine และ Deeth, 1980 ; Deeth และ Tamine, 1981 ; Deeth, 1984 ; Hitchins และ McDonough, 1989) เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ ได้แก่ *L. bulgaricus, S. thermophilus* และยังมีจุลินทรีย์ตัวอื่น ๆ ที่อาจใช้ในการหมักเพื่อให้ได้กลิ่นรสที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แบคทีเรียสำคัญที่สามารถสร้างกรดแลคติคในอุตสาหกรรมอาหารนม (Teknisk Dokumentation AB, 2531)

เชื้อจุลินทรีย์	อุณหภูมิการหมัก(°C)	หมักแลคโตสได้กรดแลคติค (%)	หมักกรดซิตริกได้	ผลิตภัณฑ์ที่ได้
S. thermophilus	40 - 45	0.7	-	Acidophilus milk, Cheese
S. lactis	25 - 30	0.7	-	Acidophilus milk
S. cremoris	25 - 30	0.7	-	Acidophilus milk
S. diacetilactis	25 - 30	0.7	CO_2,Volatiles ,Diacetyl	Acidophilus milk
L. casei	30	1.5	-	Cheese
L. lactis	40 - 45	1.5	-	Cheese
L. helveticus	40 - 45	2.0	-	Acidophilus milk, Cheese
L. bulgaricus	40 - 45	1.5	-	Acidophilus milk

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของเชื้อแบคทีเรียสร้างกรดแลคติค

2.1.1.1 Lactobacillus เซลมีลักษณะยาว (Rod shape) ขนาดค่อนข้างใหญ่ เคลื่อนที่ไม่ได้ แกรมบวก ปกติจะไม่สร้างสารให้สี แต่ในบางครั้งพบว่าเกิดสีเหลืองหรือส้ม บางครั้งเข้มมากจนมีสีคล้ายสีสนิม หรือสีอิฐแดง เชื้อชนิดนี้ไม่ทำลายโครงสร้างที่เป็นเจลของเจลาติน Lactobacillus ที่เป็น Homofermentative สามารถเปลี่ยนกลูโคส Similar aldehydic hexose คาร์โบไฮเดรตที่สามารถแตกตัวไปเป็นน้ำตาลได้ และ Polyhydroxy alcohol ให้กลายเป็นกรดแลคติคได้ ส่วน Lactobacillus ที่เป็น Heterofermentative จะหมักสารประกอบพวกนี้ไปเป็นกรดแลคติค กรดอะซิติก อัลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ เชื้อชนิดนี้ไม่ใช้ไนเตรตในการเจริญ หลายสายพันธุ์เจริญได้ดีในที่อุณหภูมิสูง เจริญได้ไม่ดีที่ผิวหน้าของอาหาร เพราะส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียพวก Anaerobe หรือ Microaerophile นอกจากนี้ยังไม่ผลิตเอนไซม์ Catalase ด้วย (Salle, 1961)

2.1.1.2 Streptococcus ลักษณะที่พบส่วนใหญ่เป็นทรงกลม (Spherical shape) ในบางครั้งอาจมีลักษณะกลมยาว จนดูเหมือนเป็นแท่ง อยู่กันเป็นคู่ ๆ สายสั้นจนถึงสายยาว แกรมบวกไม่เคลื่อนที่ ยกเว้นกลุ่ม Enterococcus บางสายพันธุ์ ซึ่งสามารถย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต หรือ Polyhydroxy alcohol เจริญในอาหารเหลว บางชนิดเจริญเป็นเม็ดเล็ก ๆ อย่างรวดเร็วทำให้มีลักษณะขรุขระ ส่วนของเหลวที่เหลืออยู่จะใส บางชนิดจะไม่เห็นเป็นเม็ด แต่ของเหลวจะขุ่น การเจริญเกิดอย่างช้า ๆ ลักษณะที่เกิดขึ้นทั้งสองอย่าง อาจเกิดจากสายพันธุ์เดียวกัน ไม่พบว่าเกิดฝ้าขุ่นที่ผิวหน้าของอาหาร มักไม่พบการเจริญในอาหารแข็ง โคโลนีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร แต่ละสายพันธุ์มีขนาดโคโลนีต่างกัน บางชนิดขรุขระ บางชนิดเรียบ บางชนิดเป็นเมือก มีการหมักคาร์โบไฮเดรตแบบ Homofermentative และให้ผลผลิตหลัก คือ D-Lactic acid ถ้าหมักน้ำตาลอาจได้ผลผลิต คือ คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณเล็กน้อยหรืออาจไม่มีเลย แต่ถ้าเลี้ยงใน Alkaline media เชื้อจะย่อยสลายน้ำตาลกลูโคสทำให้เกิดเอธานอล กรดอะซิติค และกรดฟอร์มิก ไม่มีระบบ Cytochrome ไม่มีเอนไซม์ Catalase ไม่เปลี่ยนไนเตรต เป็น ไนไตรต์ เป็นเชื้อที่ใช้ออกซิเจน Streptococci ทุกสายพันธุ์ มีความต้องการสารอาหารเฉพาะในการเจริญเติบโต ซึ่งได้แก่ วิตามินบี และกรดอะมิโน ปกติมักพบเชื้อเหล่านี้ได้ใน ปาก ลำไส้ของคน และ สัตว์อื่น ๆ

และ ในกระบวนการหมักนม น้ำผลไม้ และอาหารอื่น ๆ (Salle, 1961)

2.1.1.3 Bifidobacterium ในปัจจุบันมีการนำเชื้อพวก Bifidobacterium เข้ามาใช้ในกระบวนการหมักโยเกิร์ตอย่างแพร่หลาย เพราะจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสอ่อน ๆ เหมาะที่จะนำมาปรุงแต่งกลิ่นรส (Hughes และ Hoover, 1991 ; Rasic, Kurmann และ Kroger, 1992) มักพบ Bifidobacterium อยู่ในลำไส้เล็กของคน เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 37 - 41 องศาเซลเซียส สูงสุด คือ 43 - 45 องศาเซลเซียส และต่ำสุดที่ 25 - 28 องศาเซลเซียส pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเริ่มแรก คือ pH 6.5 - 7.0 และที่ 4.5 - 5.0 แต่ไม่พบการเจริญเมื่อ pH เท่ากับ 8.0 - 8.5 ทุกสายพันธุ์เจริญได้ในร่างกายคน สามารถใช้น้ำตาลกลูโคส กาแลคโตส แลคโตส และฟรุคโตส เป็นแหล่งของคาร์บอน และแอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจน หลายสายพันธุ์ต้องการไรโบฟลาวิน (ยกเว้นพวก *Bif. bifidum*) และ Pantothenate หรือ Pantethine ในการเจริญเติบโต แต่ละสายพันธุ์มีความต้องการวิตามินแตกต่างกันไป ในการผลิตนมเปรี้ยวนิยมใช้ *Bif. bifidum, Bif. longum* และ *Bif. brave* และมักใช้ร่วมกับเชื้อสร้างกรดแลคติคตัวอื่น ๆ เพราะเชื้อพวกนี้สามารถสร้างกรดได้ช้า (Buchanan และ Gibbons, 1974)

2.1.2 รูปแบบการหมักของเชื้อจุลินทรีย์สร้างกรดแลคติค

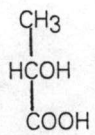
2.1.2.1 Homofermentative species แบคทีเรียในกลุ่มนี้สามารถหมักแลคโตส กลูโคส และ น้ำตาล Hexose ตัวอื่น ๆ ได้ โดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคสถูกใช้ได้มากถึง 95 % ผลผลิตที่ได้ คือ กรดแลคติค ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{bacteria}} 2CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH$$

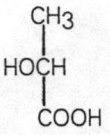
กลูโคส กรดแลคติค

นอกจากกรดแลคติค ยังอาจมีการผลิตสารตัวอื่นในปริมาณเล็กน้อย เช่น ฟอร์เมท อะซิเตท เอธานอล (Wood, 1985) Volatile acid และคาร์บอนไดออกไซด์ (Salle, 1961) แบคทีเรียชนิดนี้สามารถย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ได้ เมื่อมีการย่อยสลายน้ำตาลแลคโตส 1 โมล จะได้กรด

แลคติค 4 โมล กรดแลคติคที่เกิดขึ้นมี 2 แบบ คือ Dextrorotatory (D) - Lactic acid และ Levorotatory (L) - Lactic acid ซึ่งอาจเกิดขึ้นทั้งสองแบบในปริมาณเท่า ๆ กัน (Salle, 1961)



D-Lactic acid



L-Lactic acid

แบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ *L. delbrueckii* sub sp. *bulgaricus* ตัวที่มักจะกล่าวถึงก็คือ *L. bulgaricus* และ *L. acidophilus* ซึ่งเป็นเชื้อที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูง (Thermophilic species) (Robinson, 1991)

2.1.2.2 Heterofermentative species แบคทีเรียกลุ่มนี้ต่างจากพวก Homofermentative เพราะแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถสร้างสารประกอบหลักตัวอื่น ๆ อีก คือ เอธานอล กรดอะซิติค กรดฟอร์มิก และคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์โบไฮเดรตหลายชนิด กลูโคส ซูโครส และแลคโตส จะถูกหมักและทำให้เกิดกรดแลคติค ถ้าเป็นพวกแป้งอาจต้องนำมาไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลโดยใช้กรดเกลือ หรือ เอนไซม์ก่อน แล้วจึงหมักเป็นกรดแลคติค โมลาส และเวย์ (Whey) เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตราคาถูก ที่นำมาหมักเป็นกรดแลคติคได้ (Salle, 1961) เชื้อแบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ *L. casei, L. psuedoplantarum, L. rhammosus* และ *L. tolerans* เป็นเชื้อที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic species) (Robinson, 1991)

เชื้อแบคทีเรียสร้างกรดแลคติคหลายชนิด สามารถใช้น้ำตาลชนิดต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อได้ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การใช้น้ำตาลชนิดต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อโดยเชื้อจุลินทรีย์ สร้างกรดแลคติค (Carr, Cutting และ Whiting, 1975; Hull และ Roberts, 1984)

เชื้อจุลินทรีย์	น้ำตาลชนิดต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อ												
	Lactose	Glucose	Maltose	Sucrose	Trehalose	Aesculin	Salicin	Galactose	Levulose	Mannose	Cellobiose	Mellibiose	Raffinose
S. thermophilus	+	+	0	+	0	0	0	V	0	0	0	0	0
S. lactis	+	-	?	0	+	+	+	-	-	-	-	-	-
S. cremoris	+	-	?	0	0	V	0	-	-	-	-	-	-
S. diacetilactis	+	-	?	?	+	?	+	-	-	-	-	-	-
S. faecalis, etc.	+	-	+	V	+	+	+	-	-	-	-	-	-
L. bulgaricus	+	+	0	0	0	0	0	V	+	+	0	0	0
L. acidophilus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	V	+
L. casei	+	-	?	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
L. lactis	+	-	+	+	+	V	0	-	-	-	-	-	-
L. helveticus	+	-	+	0	V	-	V	+	+	+	-	-	-
L. helveticus var. jugarti	+	+	-	-	V	-	V	+	V	+	-	-	-

+ หมายถึง สามารถใช้น้ำตาลชนิดนี้ได้

0 หมายถึง ไม่สามารถใช้น้ำตาลชนิดนี้ได้

v หมายถึง อาจมีบางสายพันธุ์ที่ใช้น้ำตาลชนิดนี้

? หมายถึง ไม่ทราบแน่นอน

- หมายถึง ไม่มีผลการทดลอง

แบคทีเรียในกลุ่ม Streptococci มีการเจริญเร็วกว่าพวก Lactobacilli ดังนั้นเมื่อมีการใช้เชื้อทั้งสองชนิดนี้ร่วมกัน การหมักจึงเกิดจากกลุ่ม Streptococci ก่อน ผลผลิตที่ได้ คือ กรดแลคติค กรดอะซิติค อะเซทตัลดีไฮด์ ไดอะเซทธิล และ กรดฟอร์มิก สารประกอบฟอร์เมทจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยา Oxidation-Reduction ช่วยกระตุ้นให้อาหารมีความเหมาะสมต่อการเจริญของ *L. bulgaricus* (Wood, 1985) DRISSEN, KINGMA และ STADHOUDERS (1982) พบว่า กาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ *S. thermophilus* ผลิตขึ้น ถ้ามีปริมาณมากกว่า 30 มิลลิกรัม ต่อ นมสด 1 กิโลกรัม จะมีผลช่วยกระตุ้นการเจริญของ *L. bulgaricus*

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีในโยเกิร์ตอยู่ในช่วง 200 ถึง 1000 x 10^6 cfu / ml แต่จะลดลงเมื่อเก็บนานขึ้น (Wood, 1985) SALMINEN และ GORBACH (1991) ได้แนะนำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตชนิดใหม่ ซึ่งใช้เชื้อ Lactobacillus GG (Gefilac) และรายงานว่ามีเชื้อชนิดนี้อยู่ในโยเกิร์ตประมาณ 10^8 cfu / ml SPECK และ GEOFFRION (1980) ทำการศึกษาการทำงานของเอนไซม์แลคเตส โดยใช้ Ortho-nitrophenyl β—galacto-pyranoside (ONPG) เป็นสับสเตรท พบว่า ในโยเกิร์ตที่มีจำหน่ายทั่วไป มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 8.9 ถึง 9.2 ยูนิต ต่อกรัม ($\log_{10}$) และมี Lactase activity ประมาณ 2.9 ถึง 4.2 ยูนิต และเมื่อมีการให้ความร้อนสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส จะทำให้การทำงานของเอนไซม์ลดลง โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่มีค่า pH ต่ำกว่า การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์จะเกิดเร็วขึ้นเมื่อให้ความร้อนกับตัวอย่างเท่า ๆ กัน

2.2 <u>ผลของการหมักที่มีต่อองค์ประกอบในนม</u>

กระบวนการหมักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่าง ๆ ในนม เช่น น้ำตาลในนม โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ เอนไซม์บางชนิด สารประกอบให้กลิ่น และจำนวนแบคทีเรียที่มีชีวิตในผลิตภัณฑ์ สารอาหารและองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ของโยเกิร์ตและนม แสดงเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สารอาหารในโยเกิร์ตและนม (Posati และ Orr, 1976)

สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณที่ได้รับคิดจากส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม		
		นมเต็มรูป ไขมัน 3.3 % [a]	โยเกิร์ตชนิดธรรมดา โปรตีน 8 กรัม ต่อ 8 ออนซ์	โยเกิร์ตธรรมดา ไขมันต่ำ โปรตีน 12 กรัมต่อ 8 ออนซ์ [b]
Proximate :				
น้ำ	กรัม	87.99	87.90	85.07
พลังงาน	กิโลแคลอรี่	61	61	63
	กิโลจูล	257	257	265
โปรตีน (N x 6.38)	กรัม	3.29	3.47	5.25
ไขมันรวม	"	3.34 [c]	3.25	1.55
คาร์โบไฮเดรตรวม	"	4.66	4.66	5.25
ใยอาหาร	"	0	0	0
เถ้า	"	0.72	0.72	1.09
แร่ธาตุ :				
แคลเซียม	มิลลิกรัม	119	121	183
เหล็ก	"	0.05	0.05	0.08
แมกนีเซียม	"	13	12	17
ฟอสฟอรัส	"	93	95	144
โพแทสเซียม	"	152	155	234
โซเดียม	"	49	46	70
สังกะสี	"	0.38	0.59	0.89
วิตามิน :				
กรดแอสคอร์บิก	มิลลิกรัม	0.94	0.53	0.80
ไธอามีน	"	0.038	0.029	0.044
ไรโบฟลาวิน	"	0.162	0.142	0.214
ไนอาซีน	"	0.084	0.075	0.114
กรดแพนโธเทนิค	"	0.314	0.389	0.591
วิตามินบี 6	"	0.042	0.032	0.049
ฟอลาซิน	ไมโครกรัม	5	7	11
วิตามินบี 12	"	0.357	0.372	0.562
วิตามินเอ	RE [d]	31 [e]	30	16
	IU [d]	126 [e]	123	66

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณที่ได้รับคิดจากส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม		
		นมเต็มรูป ไขมัน 3.3 % [a]	โยเกิร์ตชนิดธรรมดา โปรตีน 8 กรัม ต่อ 8 ออนซ์	โยเกิร์ตธรรมดา ไขมันต่ำ โปรตีน 12 กรัมต่อ 8 ออนซ์ [b]
ไขมัน :				
กรดไขมัน				
ไขมันอิ่มตัวทั้งหมด	กรัม	2.08	2.1	1
บิวทีริค	"	0.11	0.10	0.05
คาโปรอิค	"	0.05	0.07	0.03
คาพริลิค	"	0.04	0.04	0.02
คาพริค	"	0.08	0.09	0.04
ลอริค	"	0.09	0.11	0.05
ไมริสติค	"	0.34	0.34	0.15
พาลมิติค	"	0.88	0.89	0.42
สเตียริค	"	0.40	0.32	0.15
Monounsat.,Total	"	0.96	0.89	0.43
พาลมิโทเลอิค	"	0.08	0.07	0.03
โอเลอิค	"	0.84	0.74	0.35
Polyunsat.,Total	"	0.12	0.09	0.04
ลิโนเลอิค.	"	0.08	0.06	0.03
ลิโนเลนิค	"	0.05	0.03	0.01
โคเลสเตอรอล	มิลลิกรัม	14	13	16
กรดอะมิโน :				
ทริปโตเฟน	กรัม	0.046	0.020	0.030
ทรีโอนีน	"	0.149	0.142	0.216
ไอโซลิวซีน	"	0.199	0.189	0.286
ลิวซีน	"	0.322	0.350	0.529
ไลซีน	"	0.251	0.311	0.471
เมไธโอนีน	"	0.083	0.102	0.155
ซิสตีน	"	0.030	- [f]	- [g]
ฟีนิลอะลานีน	"	0.159	0.189	0.286
ไทโรซีน	"	0.159	0.175	0.266

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณที่ได้รับคิดจากส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม		
		นมเต็มรูป ไขมัน 3.3 % [a]	โยเกิร์ตชนิดธรรมดา โปรตีน 8 กรัม ต่อ 8 ออนซ์	โยเกิร์ตธรรมดา ไขมันต่ำ โปรตีน 12 กรัมต่อ 8 ออนซ [b]
วาลีน	กรัม	0.220	0.287	0.404
อาร์จินีน	"	0.119	0.104	0.158
ฮิสติดีน	"	0.089	0.086	0.130
อะลานีน	"	0.113	0.148	0.225
กรดแอสปาติค	"	0.250	0.275	0.416
กรดกลูตามิค	"	0.689	0.679	1.028
ไกลซีน	"	0.070	0.084	0.127
โพรลีน	"	0.319	0.411	0.622
เซอรีน	"	0.179	0.215	0.325

a ถ้าเติมวิตามินดีลงไป ในแต่ละควอทจะมีวิตามินดี 400 IU (International unit)

b ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2 % ซึ่งมีผลต่อความแปรปรวนของวิตามิน เอ และ ไขมัน ดังนั้น ค่าที่จะใช้ในการคำนวณอาจจะต้องพิจารณาจากปริมาณไขมันที่มีอยู่

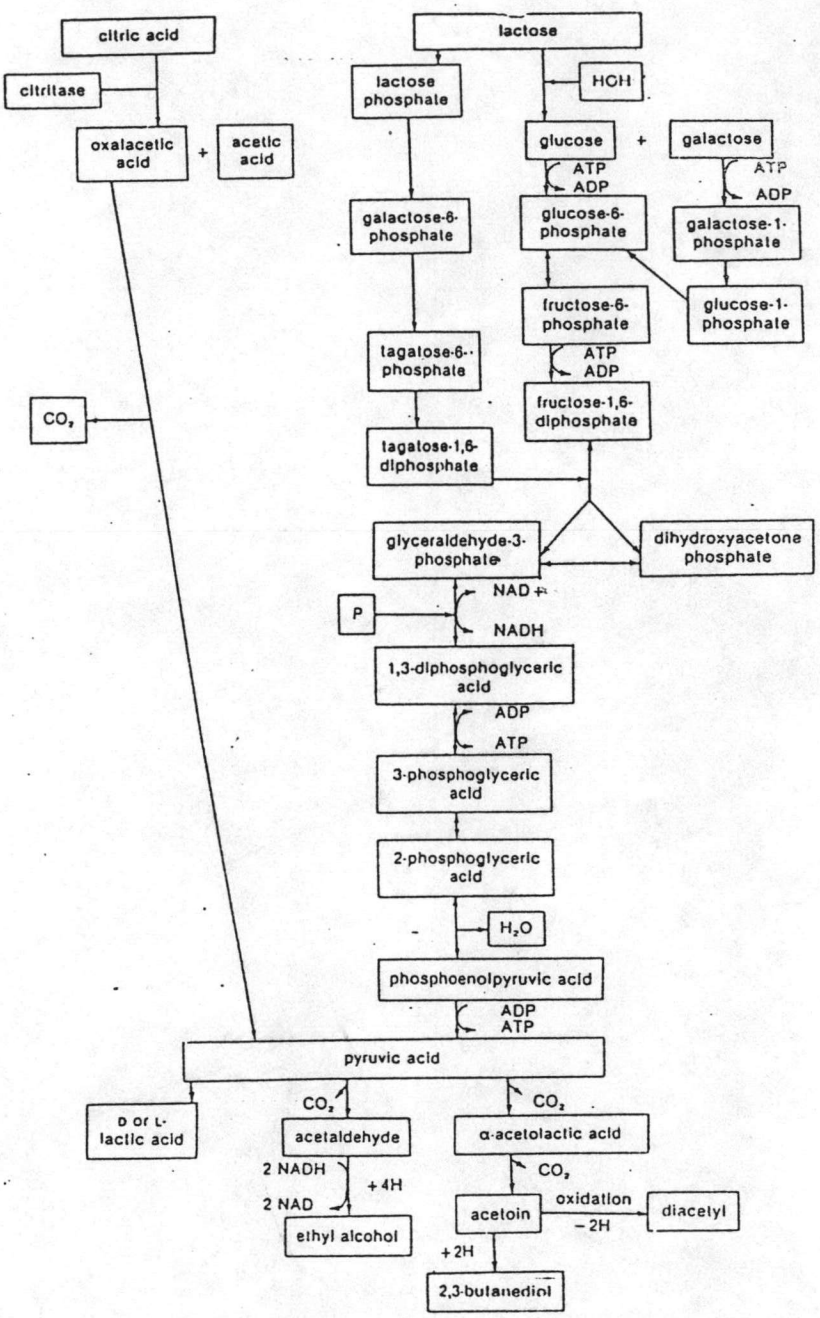
c ในแต่ละท้องถิ่นมีการกำหนดปริมาณไขมันต่ำสุดของนมในเกณฑ์ต่างกัน ดังนั้นในการคำนวณจะต้องอ้างอิงข้อมูลของระดับไขมันที่แต่ละท้องถิ่นกำหนดขึ้น

d RE, Retinol Equivarent; IU, International Units

e ค่าที่ได้มีพื้นฐานมาจากข้อมูลของเนย (butter)

f,g ไม่มีข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

แบคทีเรียที่ใช้หมักเป็นพวกที่สามารถย่อยน้ำตาลแลคโตส ซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในนมได้ เอนไซม์ที่แบคทีเรียเหล่านี้สร้างขึ้น คือ β-Galactosidase การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียสร้างกรดแลคติค แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการเมตาบอลิซึมของเชื้อจุลินทรีย์สร้างกรดแลคติค

(Chandan, 1982 อ้างถึงใน Banwart, 1989)

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่ากระบวนการหมักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ ในนม ทำให้มีการลดลงและเพิ่มขึ้นในองค์ประกอบบางอย่าง ซึ่งได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการหมักโดยแบคทีเรียสร้างกรดแลคติค (Okonkwo และ Kinsella, 1969; Deeth และ Tamine, 1981; Marsili, Ostapenko, Simmons และ Green, 1981; Haggerty, Luedecke, Nagel และ Massey, 1984; Lakshmi Durga, Sharada และ Mallaiah Sastry, 1986; Gaafar, 1992)

องค์ประกอบที่เกิดขึ้นภายหลังการหมัก	องค์ประกอบที่ลดลง
- กรดแลคติค - กาแลคโตส - กลูโคส - โพลีแซคคาไรด์	- แลคโตส
- เปปไทด์ - กรดอะมิโนอิสระ - แอมโมเนีย - นิวคลีโอไทด์ เช่น CMP, AMP, UMP, GMP, NAD	- โปรตีน - ยูเรีย
- กรดไขมันอิสระ	- ไขมัน
- วิตามิน เช่น กรดโฟลิค (Folic acid), ไรโบฟลาวิน (Riboflavin), ไนอะซิน (Niacin)	- วิตามิน เช่น วิตามินบี 12 วิตามินซี ไบโอติน (Biotin), คลอรีน (Chlorine)
- กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไพรูวิค (Pyruvic acid), กรดยูริค (Uric acid), กรดอะซิติค (Acetic acid)	- กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดโอโรติค (Orotic acid), กรดซิตริก (Citric acid), กรดฮิปปูริค (Hippuric acid)
- สารประกอบให้กลิ่น เช่น อะเซทตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde), ไดอะเซทธิล (Diacetyl), อะซิโตอิน (Acetoin), อะซิโตน (Acetone), บิวทาโนน (Butanone)	
- เอนไซม์ เช่น β-Galactosidase, LDH, โปรติเอส เปปติเดส	

2.2.1 <u>คาร์โบไฮเดรต</u> แลคโตสในนมถูกย่อยโดยเอนไซม์ β - Galactosidase ได้กลูโคส และ กาแลคโตส กลูโคสจะผ่านเข้าสู่กระบวนการเมตาบอลิซึมได้กรดแลคติค ในกรณีที่เป็นการหมักผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น คีเฟอร์ (Kefir) หรือ คูมิส (Koumiss) จะได้เอธานอล และคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย แลคโตส 3 % เมื่อถูกย่อย จะได้กาแลคโตส 1.5 % และกรดแลคติค 1 % (Deeth, 1984) ในส่วนผสมโยเกิร์ตก่อนหมักซึ่งมีแลคโตส 7.12 % เมื่อผ่านการหมัก 1 วัน ปริมาณน้ำตาลแลคโตสเหลืออยู่ 4.34 % และกาแลคโตสเพิ่มขึ้น 0.97 % จากเริ่มต้นไม่มีน้ำตาลกาแลคโตสอยู่เลย และเมื่อเก็บโยเกิร์ตไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น น้ำตาลกาแลคโตสจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และแลคโตสจะมีแนวโน้มลดลงเช่นเดิม แต่จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (Richmond, Harte, Gray และ Stine, 1987) โยเกิร์ตก่อนหมักด้วย *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* มีแลคโตส 6.53 % กาแลคโตส 0.04 % หลังการหมักแลคโตสเหลืออยู่ 4.22 % กาแลคโตสเพิ่มขึ้นเป็น 1.46 % และมีโอลิโกแซคคาไรด์เกิดขึ้น 0.08 % (Toba, Watanabe และ Adachi, 1983) ในโยเกิร์ตที่มีจำหน่ายสองตัวอย่างซึ่งวิเคราะห์น้ำตาลโดยวิธี High performance liquid chromatography พบว่า มีน้ำตาลแลคโตส 3.37 และ 4.04 กรัมต่อ 100 กรัม และกาแลคโตส 0.92 และ 1.25 กรัม ต่อ 100 กรัม (Vidal-Valverde, Martin-Villa และ Herranz, 1984) O'LEARY และ WOYCHIK (1976a) ได้ทดลองใช้เอนไซม์แลคเตสในการหมักน้ำนม พบว่ามีการใช้แลคเตสไป 70 ถึง 75 % ได้กลูโคสและกาแลคโตส 1.6 % และ 2.1% ตามลำดับ และในผลิตภัณฑ์มีแลคโตสเหลืออยู่ 1.5 % ซึ่งการหมักโดยเอนไซม์จะเกิดและสิ้นสุดเร็วเท่ากับการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ แต่ปริมาณกรดแลคติคจะเกิดขึ้นมากกว่าในการใช้ *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* หมักนมที่ผ่านกระบวนการย่อยโดยเอนไซม์มาแล้ว จะทำให้มีการใช้คาร์โบไฮเดรตได้มากขึ้น (O'Leary และ Woychik, 1976b)

การหมักแลคโตสโดยเชื้อจุลินทรีย์สร้างกรดแลคติค ทำให้โยเกิร์ตเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมี pH ลดลง นมตกตะกอนเป็นลิ่มเนื่องจากอิทธิพลของกรดแลคติค ในโยเกิร์ตรสธรรมชาติมีกรดแลคติคอยู่ 1.208 กรัมต่อ 100 กรัม (Ashoor และ Welty, 1984) กรดแลคติคที่ถูกสร้างขึ้นมีทั้งชนิด D(-) และ L(+) อัตราส่วนระหว่างทั้งสองไอโซเมอร์จะขึ้นกับชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก สำหรับ *L. bulgaricus* เมื่อย่อยสลายกลูโคสแล้วจะให้กรดแลคติคชนิด D(-) ในปริมาณ 50% ของกรดแลคติคที่ผลิตขึ้นทั้งหมด แต่ร่างกายสามารถใช้กรดแลคติคชนิด D(-) ในกระบวนการเมตาบอลิซึมได้น้อยมาก เมื่อเทียบกับ

กรดแลคติคชนิด L(+) (Deeth, 1984; Wood, 1985) ซึ่งได้จาก *S. thermophilus* (Waard และ Stadhouders, 1984) และ Bifidobacterium ซึ่งจะผลิตกรดชนิด L(+) เพียงอย่างเดียว (Hughes และ Hoover, 1991) ถึงแม้ว่ากรดแลคติคชนิด D(-) จะมีการสะสมในร่างกาย แต่ก็มีผลเพียงชั่วคราวเท่านั้น และ ไม่ทำให้เกิดอันตรายแต่อย่างไร (Anon,1986) สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างกรดแลคติคชนิด D(-) และ L(+) และอัตราส่วนของกรดแลคติคชนิด D(-) และ L(+) ซึ่งหมักโดยเชื้อต่างชนิดกัน ที่สภาวะการหมักต่าง ๆ ได้รวบรวมไว้โดย RENNER (1986)

มีการใช้ซูโครสเป็นส่วนผสมในโยเกิร์ต ซึ่งสามารถใช้ได้ถึงร้อยละ 12 หรือมากกว่านี้ การเติมซูโครสมักจะทำพร้อมกับการเติมผลไม้ หรือ ในขั้นตอนการปรุงแต่งกลิ่นรส ซึ่งเป็นขั้นตอนหลังการหมัก จึงไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อในช่วงแรก แต่ความเข้มข้นของซูโครสในผลิตภัณฑ์ อาจมีผลต่อการมีชีวิตของเชื้อในผลิตภัณฑ์ (Carr, Cutting และ Whiting, 1975)

2.2.2 <u>โปรตีน</u> ในระหว่างการหมักแบคทีเรียจะสร้างเอนไซม์โปรติเอส และเปปติเดสขึ้นเพื่อย่อยสลายโปรตีนที่มีอยู่ในนม ทำให้ได้เปปไทด์สายสั้น ๆ และกรดอะมิโน การให้ความร้อนแก่นม (85 - 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) ทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลง โดยโปรตีนหางนม (Whey Protiens) จะเสียสภาพธรรมชาติไป มีการสร้างเปปไทด์และกรดอะมิโนขึ้น (Tamine และ Deeth, 1980) โปรตีนในโยเกิร์ตเป็นโปรตีนที่ย่อยง่ายกว่าโปรตีนนม เพราะโยเกิร์ตมีลักษณะเป็นลิ่มนมอ่อน ๆ และลักษณะของอนุภาคของโปรตีนมีขนาดเล็ก ซึ่งส่วนหนึ่งอาจเกิดจากการที่จุลินทรีย์สร้างเอนไซม์โปรติเอส และเปปติเดส ซึ่งย่อยโปรตีนในนมไปเป็นเปปไทด์ และกรดอะมิโนอิสระ (Deeth,1984) กรดอะมิโนอิสระที่มีในโยเกิร์ตมีอยู่ประมาณร้อยละ 1 ของโปรตีนที่มีทั้งหมด ซึ่งมีมากกว่ากรดอะมิโนอิสระที่มีในนมอย่างมีนัยสำคัญ (Wood, 1985) เอนไซม์โปรติเอสที่ได้จากภายในเซล (Intracellular protease) ของ *L. bulgaricus, L. helveticus* หรือ *S. lactis* สามารถย่อย α_s-Casein ได้ง่ายกว่า Crude k-, β- และ Whole casein (Ohmiya และ Sato, 1969) การทำงานของเอนไซม์โปรติเนส (Proteinase) เกิดได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 45 - 50 องศาเซลเซียส pH 5.2 ถึง 5.8 และจะถูกยับยั้งถ้ามีสารจับโลหะ (Chelating agent) ปนอยู่ด้วย เอนไซม์ชนิดนี้มีอยู่ในผนังเซล แต่จะถูกปล่อยออกจากเซล

ภายใต้ภาวะการย่อยสลายตัวเอง หรือ เมื่อมีการใช้ Lysozyme กับเซล (Argyle, Mathison และ Chandan, 1976) การหมักโดย *L. bulgaricus* ที่ pH 5.0 37 องศาเซลเซียส ทำให้มีการสร้างเอมีนมากที่สุด เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า Histamine, Tyramine และ Tryptamine เพิ่มขึ้น 67.06, 12.33 และ 13.62 มิลลิกรัม ต่อ มิลลิลิตร ตามลำดับ (Chander, Batish, Babu และ Singh, 1989) ในโยเกิร์ตที่ผ่านการหมัก 3 ชั่วโมง พบว่า Non Protein Nitrogen (NPN) และกรดอะมิโนอิสระเพิ่มขึ้นประมาณสองเท่าตัว ทำให้โยเกิร์ตถูกย่อยได้ง่ายกว่านมที่ไม่ผ่านการหมัก โยเกิร์ตที่ไม่เติมผลไม้ และโยเกิร์ตที่เติมผลไม้สามารถย่อยได้ง่ายเท่า ๆ กัน ส่วนโยเกิร์ตที่มีและไม่มีสารให้ความคงตัวไม่มีความแตกต่างกันในด้านการย่อย (Breslaw และ Kleyn, 1973) SLOCUM, JASINSKI และ KILARA (1988) ทำการวัด α- Amino group เพื่อทดสอบการเกิด Proteolysis ในนมที่หมักด้วยจุลินทรีย์ พบว่า การเกิด Proteolysis ของเชื้อหลายสายพันธุ์ค่อนข้างคล้ายกัน แต่เมื่อใช้เชื้อร่วมกันจะมีผลทำให้การเกิด Proteolysis ลดลง นอกจากนี้การเกิด Proteolysis ยังขึ้นกับความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดในนมและระยะเวลาในการบ่ม ถ้าความเข้มข้นของของแข็งในนมเท่ากับร้อยละ 10 Proteolysis จะเกิดขึ้นน้อยที่สุด ถ้าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 14.5 Proteolysis จะเกิดมากที่สุด แต่ถ้าความเข้มข้นของของแข็งมากเกินไป (ร้อยละ 17.4) การทำงานของเอนไซม์จะลดลง เช่นเดียวกับจำนวนเชื้อที่ลดลง โดยปกติแล้ว *L. bulgaricus* จะมีความสามารถในการย่อยโปรตีนได้ดีกว่า *S. thermophilus* เมื่อ *L. bulgaricus* ย่อยสลายโปรตีนจนเกิดกรดอะมิโนแล้วจะช่วยกระตุ้นให้การเจริญของ *S. thermophilus* ดีขึ้น แต่เนื่องจากปริมาณกรดอะมิโนมีมากกว่าความต้องการของ *S. thermophilus* ดังนั้น จึงพบว่ามีกรดอะมิโนอิสระ กรดกลูตามิค และ โพรลีน ปริมาณมากในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (Wood, 1985)

2.2.3 <u>ไขมัน</u> การหมักมีผลต่อองค์ประกอบของไขมันเพียงเล็กน้อย เพราะแบคทีเรียที่ใช้ในกระบวนการหมัก สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้น้อยมาก (Deeth, 1984) แบคทีเรียบางสายพันธุ์อาจย่อยไขมัน ได้กรดไขมันอิสระและกรดไขมัน แต่ปริมาณของกรดไขมันที่ได้นี้จะแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของวัตถุดิบ (Wood, 1985) ร่างกายของคนสามารถใช้ไขมันในโยเกิร์ตได้ดีขึ้น เนื่องจากในขั้นตอนการผลิต จะต้องนำส่วนผสมมาผ่านกระบวนการโฮโมจิไนเซชั่น ซึ่งจะทำให้ขนาดอนุภาคของไขมันเล็กลง (Anon, 1986)

2.2.4 วิตามิน กระบวนการผลิตมีผลต่อปริมาณวิตามินในผลิตภัณฑ์ เช่น การให้ความร้อนอาจทำให้วิตามินบางชนิดเสื่อมสลายไป การเก็บรักษาก็มีผลทำให้ปริมาณวิตามินลดลง ILIC และ ASHOOR (1988) ได้ทดลองเติมวิตามินเอและซี ลงในผลิตภัณฑ์หลังขั้นตอนอื่น ๆ และเก็บไว้ที่ 3 องศาเซลเซียส พบว่า วิตามินซีลดลงมากกว่าวิตามินเอ นอกจากนี้เชื้อจุลินทรีย์ยังใช้วิตามินบี 12 ไทอามีน (Thiamine) ในการเจริญเติบโต ทำให้วิตามินบี 12 มีปริมาณลดลง (Alm, 1982; Deeth, 1984; Wood, 1985) แต่ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ยังสามารถสังเคราะห์วิตามินบางชนิดขึ้นได้ วิตามินที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา มักเป็นวิตามินที่สามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ ไรโบฟลาวิน หรือ วิตามินบี 2 ไนอาซีน กรดฟอลิค ไทอามีน หรือวิตามินบี 1 ไพริดอกซีนหรือวิตามินบี 6 (Alm, 1982; Lakshmi Durga, Sharada และ Mallaiah Sastry, 1986) สายพันธุ์ของเชื้อมีความเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์วิตามินด้วย

2.2.5 แร่ธาตุ โยเกิร์ตเป็นแหล่งแร่ธาตุที่สมบูรณ์ BRUHN และ FRANKE (1988) ทำการหาปริมาณแร่ธาตุบางชนิดในโยเกิร์ตที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไป พบว่า มีแคลเซียม 152.1 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม โพแทสเซียม 219 กรัม ต่อ 100 กรัม แมกนีเซียม 19.7 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และ โซเดียม 65.8 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าในตารางที่ 2.3 การระเหยน้ำ การทำ Reverse osmosis หรือการเติมนมผง มีอิทธิพลต่อปริมาณแร่ธาตุในโยเกิร์ต มีรายงานกล่าวว่า โยเกิร์ตมีแคลเซียมและโพแทสเซียมมากกว่าในนม และการดูดซึมแร่ธาตุเหล่านี้จะเกิดได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของกรดแลคติค เนื่องจากที่สภาวะกรด สารประกอบเกลือแคลเซียมมีความสามารถในการละลายดีขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดสารประกอบระหว่างแลคโตสและแคลเซียมได้ง่ายขึ้น และจะถูกดูดซึมผ่านลำไส้เล็กได้ดี ดังนั้นการบริโภคโยเกิร์ตจึงมีผลดีต่อผู้ที่ป่วยเป็นโรคเกี่ยวกับกระดูก หญิงวัยกลางคน และ คนที่มีอายุมาก (Deeth, 1984)

2.2.6 สารประกอบให้กลิ่น สารประกอบให้กลิ่นที่สำคัญในโยเกิร์ต คือ อะเซทตัลดีไฮด์ ซึ่งได้จากการย่อยสลาย Acetyl - CoA ด้วยเอนไซม์ที่สร้างจาก *S. thermophilus, L. bulgaricus* (Wood, 1985) *L. acidophilus, L. casei, L. helveticus subsp. jugarti, L. lactis* และ *L.plantarum* ซึ่งมีเอนไซม์ทรีโอนีน อัลโดเลส (Treonine aldolase enzyme) สามารถแตกทรีโอนีนได้ไกลซีนและอะเซทตัลดีไฮด์ (Hillier และ Jago, 1983) จากการทดลองใช้ *L. acidophilus* และ

L. bulgaricus ผลิตโยเกิร์ต SHARMA และ PRASAD (1986) พบว่า เชื้อจะเจริญมากที่สุดเมื่อผ่านการหมัก 90 นาที และ Proteolysis เริ่มคงที่ที่ 120 นาที ในขณะที่ pH, Volatile acid และ ปริมาณอะเซทตัลดีไฮด์หลังการหมัก มีอัตราการเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ไปจนถึงประมาณ 180 นาที และอะเซทตัลดีไฮด์มีปริมาณสูงสุดประมาณ 30 ถึง 35 ppm (Sharma และ Prasad, 1986) 22 ถึง 34 มิลลิกรัม ต่อ กรัม (Schmidt, Davidson และ Bates, 1983) 1 ถึง 3 ppm (Lindsay และ Day, 1965) LINDSAY, DAY และ SANDINE (1965) ทำการศึกษาปริมาณไดอะเซทติลซึ่งเป็นสารประกอบให้กลิ่นในโยเกิร์ต ต่อ ปริมาณอะเซทตัลดีไฮด์ พบว่า อัตราส่วนของไดอะเซทธิลต่ออะเซทตัลดีไฮด์ที่เหมาะสม ทำให้กลิ่นเป็นที่ยอมรับ คือ 4 ต่อ 1 ถ้าต่ำกว่า 3 ต่อ 1 ผลิตภัณฑ์จะเกิด Green flavor (Lindsay, Day และ Sandine, 1965)

2.3 คุณภาพของโยเกิร์ต

คุณภาพหลักของโยเกิร์ต คือ ต้องมีเนื้อเนียน ไม่เป็นเม็ด ไม่มีฟองอากาศ (Wood,1985) การที่มีเวย์แยกตัวออกมา (Whey off หรือ Syneresis) ในโยเกิร์ตถือเป็นลักษณะที่ไม่ดี การใช้สารให้ความคงตัวและแอดดิทีฟจะช่วยลดการแยกตัวของน้ำลงได้ (Shukla, Jain และ Sandhu,1986) การเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในส่วนผสมของโยเกิร์ตก่อนหมัก อาจทำให้โปรตีนบางส่วนเสียสภาพธรรมชาติ (Denature) และช่วยป้องกันการแยกตัวของน้ำได้ (Lakshmi Durga, Sharada และ Mallaiah Sastry, 1986) การปรับปรุงให้เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตมีความคงตัวมากขึ้น ทำได้โดยเติมนมผงไขมันต่ำ 4 ถึง 5 % ลงในส่วนผสมของโยเกิร์ตก่อนการหมัก GUIRGUIS, VERSTEEG และ HICKEY (1987) พบว่า การทำให้เข้มข้นโดยวิธี Reverse osmosis จะช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านความข้นหนืดและการแยกตัวของน้ำได้ดีขึ้น นอกจากการใช้นมผงไขมันต่ำ ยังอาจใช้กัมที่เป็นคาร์โบไฮเดรต เช่น คาราจีแนน (Carrageenan) อัลจิเนท (Algenate) หรือ วุ้น (Agar) เติมลงไปในปริมาณ 0.3 % (Carr, 1975) หรืออาจใช้กัวกัม (Guar gum) (Deeth, 1984) สารเหล่านี้ไม่มีผลต่อคุณค่าทางอาหาร แต่ก็ไม่ทำให้เกิดโทษ (Carr, 1975) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Deeth, 1984) แต่อย่างไรก็ตาม การเติมสารให้ความคงตัวและแอดดิทีฟ จะทำให้การสร้างไดอะเซทธิลและ Volatile fatty acid ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นลดลง เนื่องจากสารเหล่านี้มีผลยับยั้งการเจริญของ *L. bulgaricus* (Shukla, Jain และ Sandhu, 1986) นอกจากนี้การเกิด Proteolysis มากเกินไป

จะทำให้มีน้ำแยกออกมามาก และอาจเกิดรสขมได้ (Slocum, Jasinski และ Kilara, 1988)

กลิ่นของโยเกิร์ตเกิดจากสารประกอบหลายชนิด ที่ได้จากการหมักของจุลินทรีย์ ได้แก่ อะเซทตัลดีไฮด์ ไดอะเซทธิล อะซิโตอิน อะซิโตน บิวทาโนน (Gaafar, 1992) สารให้กลิ่นที่สำคัญ คือ อะเซทตัลดีไฮด์ (Lindsay และ Day, 1965; Lindsay, Day และ Sandine, 1965;Schmidt, Davidson และ Bates,1983; Deeth,1984; Gaafar,1992) รสชาติของโยเกิร์ตจะดีเมื่อมีไดอะเซทธิลต่ออะเซทตัลดีไฮด์ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ถึง 4 ต่อ 1 ถ้ามีอะเซทตัลดีไฮด์มากเกินไปจะเกิด Green flavor ถ้ามีน้อยรสชาติจะไม่ดี (Lindsay, Day และ Sandine, 1965) เมื่อเก็บโยเกิร์ตไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็นสารประกอบให้กลิ่นจะมีปริมาณลดลง และหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 8 ถึง 10 วัน ผู้บริโภคจะเริ่มไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ (Gaafar, 1992)

pH ของโยเกิร์ตจะอยู่ในช่วง 3.9 ถึง 4.5 (Salji และ Ismail, 1983) โยเกิร์ตที่ดีมีสีขาวครีมคล้ายสีของน้ำนม และไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บนานขึ้น (Barraquio, Publico และ Calisay,1981) ปริมาณกรดและสารประกอบให้กลิ่น ถือเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต (Robinson, 1991)

2.4 <u>โยเกิร์ตและผลต่อสุขภาพ</u>

โยเกิร์ตเป็นอาหารที่ประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ มากมาย ซึ่งได้จากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ นอกจากจะให้คุณค่าทางโภชนาการที่ดีแล้ว การหมักยังช่วยลดแลคโตสในนม ทำให้ผู้ที่ไม่สามารถดื่มนมเนื่องจากขาดเอนไซม์ย่อยแลคโตส สามารถบริโภคโยเกิร์ตแทนได้ จุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ในโยเกิร์ต จะทำหน้าที่เป็นแหล่งของเอนไซม์แลคเตสซึ่งจะช่วยย่อยน้ำตาลแลคโตสที่เหลืออยู่ในโยเกิร์ตได้อีก เมื่อโยเกิร์ตเข้าไปอยู่ในระบบการย่อยที่มีน้ำดีเป็นตัวย่อยสลาย จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ที่อยู่ภายในเซลออกมา ซึ่งตามปกติเชื้อจะไม่สามารถเจริญ หรือทำงานได้ในระบบย่อยของร่างกาย แต่สันนิษฐานว่า น้ำดีอาจเป็นตัวที่ทำให้ผนังเซลของจุลินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลง และจากการศึกษาตัวอย่างโยเกิร์ตที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่า โยเกิร์ตแต่ละชนิดที่ยังมีเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งยังมีชีวิตอยู่ สามารถย่อยแลคโตสได้ดีขึ้นเมื่อมีน้ำดีอยู่ด้วย แต่ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ในโยเกิร์ต

แต่ละชนิด มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (Gilliland และ Kim, 1984) การทำงานของเอนไซม์จะเกิดขึ้นมากที่สุด ภายหลังจากบริโภคโยเกิร์ตนาน 30 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยังมีจุลินทรีย์อยู่มาก และเมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที ปริมาณจุลินทรีย์จะลดลงมากจนการทำงานของเอนไซม์เกือบเป็นศูนย์ (Pochart, Dewit, Desjeux และ Bourlioux, 1989) ดังนั้น การบริโภคโยเกิร์ตจึงช่วยบรรเทาอาการของผู้ที่ไม่สามารถย่อยแลคโตสได้ เฉพาะในช่วงที่บริโภคเท่านั้น แต่ไม่สามารถรักษาหรือปรับสภาพร่างกายให้สร้างเอนไซม์ชนิดนี้ขึ้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่า โยเกิร์ตที่ผ่านการให้ความร้อนจนเชื้อจุลินทรีย์ตายหมด จะไม่ช่วยให้การย่อยและดูดซึมแลคโตสในร่างกายเกิดได้ดีขึ้น (Lerebours, Ndam, Lavoine, Hellot, Antoine และ Colin,1989) โยเกิร์ตแม้จะมีคุณค่าทางอาหารเทียบเท่ากับนม แต่เมื่อนำมาเลี้ยงหนูเปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยนม พบว่า โยเกิร์ตทำให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเลี้ยงด้วยนม (McDonough, Hitchins และ Wong, 1982) มีการศึกษาถึงผลของการบริโภคโยเกิร์ตต่อเซลเนื้องอกในช่องท้องของหนูพบว่า ส่วนที่เป็นสารสกัดของโยเกิร์ต ซึ่งสกัดด้วยอีเธอร์ และสารละลายประจุลบ ซึ่งได้จากการแยกสารสกัดโดยใช้ Ion exchange chromatography มีผลต่อการยับยั้งการเพิ่มเซลเนื้องอกได้ (Ayebo, Shahani และ Dam, 1981; Ayebo, Shahani, Dam และ Friend, 1982) แต่การยับยั้งจะเกิดได้ดีเมื่อบริโภคโยเกิร์ตหลังจากเซลเนื้องอกเริ่มก่อตัวไม่เกิน 1 วัน และบริโภคติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน (Reddy, Friend, Shahani และ Farmer, 1983) โยเกิร์ตสามารถทำให้สารอะฟลาท้อกซิน (Aflatoxin) เปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบตัวใหม่ ซึ่งไม่ทำให้เกิดเนื้องอกในตับของลูกไก่ได้ (Megalla และ Hafez, 1982) นอกจากนั้นได้มีการทดลองใช้นมที่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษปนเปื้อนอยู่ด้วย มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตโยเกิร์ต พบว่า เชื้อที่ปนเปื้อนส่วนใหญ่ จะมีชีวิตอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้เพียงช่วงสั้น (Mantis, Koidis และ Karaioannoglou,1982; Slavchev และ Gogov, 1983; Bielecka, 1985) และเมื่อเพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคบางชนิด เช่น แบคทีเรียพวกโคลิฟอร์ม *Campylobacter jejuni, Listeria monocytogenese* เป็นต้น ลงในโยเกิร์ตจะพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เพาะลงไปนี้มีชีวิตอยู่ได้ไม่นาน ซึ่งระยะเวลาที่มีชีวิตจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับว่าเป็นเชื้อชนิดใด (Cuk, Annan-Prah, Janc และ Zajc-Satler, 1987; Preixens และ Sancho, 1987; Michelle และ Marth, 1988; Choi, Schaack และ Marth, 1988 ; Reinheimer, Demkow และ Candioti, 1990) ส่วนประโยชน์ในเรื่องอื่น ๆ เช่น การช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในเส้นเลือดและการช่วยให้มีอายุยืนนั้น แม้จะมีการศึกษา แต่ผลในเรื่องนี้ยังไม่มีการยืนยันแน่นอน