บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักมีแหล่งกำเนิดมาจากแถบตะวันออกกลาง และเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในแถบยุโรป จนถึงทางตอนเหนือของรัฐ ซาลาวัค และ สาธารณรัฐมองโกเลีย และทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศอินเดีย โดยกลุ่มคนเลี้ยงสัตว์ร่อนเร่ที่หาทุ่งหญ้า แหล่งน้ำ และผืนดินเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยเป็นผู้นำมาเผยแพร่ โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักนมด้วยเชื้อ Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus และเชื้อ Streptococcus salaivarius subsp. thermophilus (Minnie, 1987; Daly, 1991; Vedamuthu, 1991a) ผ่านกระบวนการหมักที่อุณหภูมิ 40 ถึง 45 °C จนได้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 0.7 ถึง 1.1 และมี pH ประมาณ 4.0 ถึง 4.2 (Bottazzi, 1983) มีลักษณะข้นกึ่งแข็งคล้าย Custard (Sellers and Babel, 1978; Vedamuthu, 1991a) มีกลิ่นรสเฉพาะตัวที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดอื่น ส่วนใหญ่ผลิตจากนมโค แต่บางพื้นที่เช่น แถบทะเล Baltic และตะวันออกกลางผลิตโยเกิร์ตจากนมแพะ สำหรับประเทศอินเดียใช้นมกระบือในการผลิตโยเกิร์ต (Vedamuthu, 1991a) โยเกิร์ตที่ผ่านการผลิตเรียบร้อยแล้วจะมีจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก และแบคทีเรียที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตจะมีความสัมพันธ์กันแบบมีผลประโยชน์ร่วมกันที่เรียกว่า Symbiosis (Tamime and Deeth, 1980)

โยเกิร์ต (Yoghurt, Yogurt) เป็นคำที่มาจาก ภาษาตุรกี ว่า "Jugurt" (Tamime and Deeth, 1980) ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวนอกจากเป็นที่รู้จักกันในชื่อของโยเกิร์ตแล้ว ยังมีผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่เรียกชื่อต่างกันในแต่ละประเทศดังตารางที่ 1 สำหรับความเป็นมาของโยเกิร์ตไม่เป็นที่ทราบกันแน่นอน ทราบเพียงว่าเป็นวิธีการถนอมอาหารที่เก่าแก่มากวิธีหนึ่ง (Anonymous, 1984) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีมานานกว่า 4500 ปีมาแล้ว (Steinberg, 1982) เชื่อกันว่าโยเกิร์ตเกิดขึ้นโดยความบังเอิญมีแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคปนลงในน้ำนมแล้วเกิดการหมักขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่เหมือนนม สามารถเก็บและบริโภคได้หลายวัน

ตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวในแต่ละประเทศ (Tamine and Deeth, 1980)

Traditional name	Country
Jugurt/Eyran	Turkey
Busa	Turkzstan
Kissel Mleka	Balkans
Urgotnic	Balkan Mountains
Leben/leban	Lebanon & Same Arab Countries
Zabady	Egypt & Sudan
Roba	Iraq
Dahi/Dadhi/Dahee	India
Mazun/Matzoo	Armenia
Katyk	Transcaucasia
Tiaourti	Greece
Ciedda	Italy
Mezzoradu	Sieily
Gioddu	Sardinia
Tarho	Hungary
Fiili	Finland
Filmjolk/Fillbunke/ Filbunk/Surmelk/ Taettemjolk/Tettemelk	Scandinavia
Skyr	Iceland
Yoghurt/Yogurt/Yaort/ Yourt/Yaourti/Yahourth/ Yogur/Yaghourt	Rest of the world ("Y" is replaced "J")

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นักวิทยาศาสตร์พึ่งมารู้จักโยเกิร์ตและแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1900 นี่เอง (Helferich and Westhoff, 1980) ในปี ค.ศ. 1939 ได้มีการนำโยเกิร์ตจากประเทศฝรั่งเศสเข้าไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา

โยเกิร์ตมีหลายชนิดที่บริโภคกัน ในช่วงต้นเป็นโยเกิร์ตชนิดธรรมดา (Plain Yoghurt) ต่อมาในช่วงปลายทศวรรษที่ 40 ได้มีการเติมแยมผลไม้ลงไปที่ก้นภาชนะ (Sundae Style) จากนั้นโยเกิร์ตก็ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ ขึ้นตามลำดับ เช่น ปี ค.ศ. 1951 เกิดผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเหลว (Fluid Yoghurt) และในปี ค.ศ. 1960 เกิดผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็ง (Frozen Yoghurt) เป็นต้น

ประเภทของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ชนิดของโยเกิร์ต แบ่งตามส่วนประกอบทางเคมี กรรมวิธีการผลิต สารแต่งกลิ่นรสที่ใช้ และการแปรรูปหลังการหมัก (Tamime and Deeth, 1980)

1. แบ่งตามส่วนประกอบทางเคมีได้ 4 ประเภทขึ้นกับ ปริมาณไขมัน ได้แก่
   - Full Fat Content Yoghurt (> 3.25 % fat)
   - Medium Fat Content Yoghurt (2.00-3.25 % fat)
   - Low Fat Content Yoghurt (0.50-2.00 % fat)
   - Non Fat Content Yoghurt (< 0.5 % fat)
2. แบ่งตามกรรมวิธีในการผลิตได้ 2 ประเภท คือ
   - Set Yoghurt
   - Stirred Yoghurt

โยเกิร์ตทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีโครงสร้างทางกายภาพของ Coagulum ต่างกัน โดย Set Yoghurt เป็นผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดการหมักและตกตะกอนของโปรตีนนมภายในภาชนะบรรจุโยเกิร์ตที่ได้จะมีลักษณะกึ่งแข็ง (Semi Solid Mass) มี Coagulum จับตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ในทางตรงข้าม Stirred Yoghurt จะเกิดการหมักและตกตะกอนภายในถังหมัก และภายในถังหมักมีการกวนอย่างช้า ๆ เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตชนิดนี้จึงไม่มีลักษณะเป็น Curd แล้วจึงทำการบรรจุ Stirred Yoghurt ที่มีความหนืดต่ำและมีปริมาณของแข็งไม่เกินร้อยละ 11 เรียกว่า Fluid Yoghurt

3. แบ่งตามสารแต่งกลิ่นรสได้ 3 ประเภท คือ

- Natural Yoghurt คือโยเกิร์ตที่ไม่ผ่านการปรุงแต่งกลิ่นรส กลิ่นรสที่ปรากฏเกิดจากการหมักของเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแลคติค สารประกอบที่ให้กลิ่นรสเฉพาะของโยเกิร์ตแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แหล่งกำเนิด และสารตั้งต้นของสารประกอบที่ให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (Tamime and Deeth, 1980)

Flavour components	Origin & precusors
Acetaldehyde, acetoin & diacetyl	Microbial fermentation of lactose-citrate cycle
Acetylpropionate 2-Hydroxy-3-pentanone 3-Hydroxy-2-pentanone	Threonin cycle or thermal degradation of fat
Acetone, butanine, 3-pentene-2-one, 2-Hexanone 2-Heptanone, 2-nonanone, 2-undecanone	Thermal degradation of fat from ketoacids

(ต่อ)

γ-Valerolactone, δ-caprolactone, ε-caprilactone, ζ-Tridecalactone Pentane, methylcyclopentane	Thermal degradation of fat from hydroxyacids
Benzaldehyde, benzyl alcohol, methyl benzoate	Thermal degradation of fat and/or lactose
Furfural, furfurylalcohol δ-Methylfurfural Furylmethylfurfural, 2,5-Dimethylketone, 2-Furyl-3-propional, Furylethylketone, 2-Pentylfurane	Thermal degradation of lactose
Dimethylsulfide Dimethylsulfone	Thermal degradation of protein from methionine
Isobutyraldehyde	Thermal degradation of protein from valine
Phenylacetaldehyde	Thermal degradation of protein from phenylalanine

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารประกอบหลักที่ให้กลิ่นรส คือ Acetaldehyde (Dumont and Adda, 1973; G'osheva, 1984; Kondratenko and G'osheva, 1984; Gaafar, 1992) โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสอ่อนจะมี Acetaldehyde น้อยกว่า 4.0 ppm. ในขณะที่โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสดีจะมี Acetaldehyde มากกว่า 8.0 ppm. (Pette and Lolkema, 1950; Bottazzi and Vescovo, 1969) Badings and Neeter(1980) พบว่าโยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสดีจะมี Acetaldehyde อยู่ในปริมาณ 13-16 ppm.

- Fruit Yoghurts เตรียมจากการเติมผลไม้ทั้งในรูป ผลไม้สด ผลไม้เข้มข้น หรือแยมผลไม้ลงใน Natural Yoghurt

- Flavoured Yoghurts เตรียมจากการเติมน้ำตาล หรือสารให้ความหวาน สารแต่งกลิ่นรสและสีสังเคราะห์ลงใน Natural Yoghurt

4. แบ่งตามการแปรรูปหลังการหมัก ได้แก่

- Pasteurized/UHT. Yoghurt คือ โยเกิร์ตที่ได้จากการให้ความร้อนภายหลังการหมัก เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในโยเกิร์ตบางส่วนหรือทั้งหมด ผลิตภัณฑ์จึงมีอายุการเก็บเพิ่มขึ้น

- Concentrated Yoghurt คือ โยเกิร์ตที่นำมาแยกน้ำบางส่วนออกจนมี Total Solid ร้อยละ 24

- Frozen Yoghurt เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะปรากฏคล้าย ไอศกรีม มีปริมาณน้ำตาลและสารให้ความคงตัวในส่วนประกอบค่อนข้างสูง ซึ่งจะช่วยรักษาการกักเก็บอากาศในระหว่างกระบวนการแช่แข็ง

- Dried Yoghurt เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธี Sun Drying, Spray Drying หรือ Freeze Drying การทำแห้งจะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปผง ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียจุลินทรีย์และกลิ่นรส

แบคทีเรียในโยเกิร์ต

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว ที่ได้จากการเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตส และโปรตีนในนม เป็น กรดแลคติค และสารให้กลิ่นรสเฉพาะตัวโดยกิจกรรมของเชื้อ L. bulgaricus ร่วมกับ เชื้อ S. thermophilus เชื้อแบคทีเรียทั้งสองจัดอยู่ในตระกูล Lactobacillaceae แบคทีเรียในตระกูลนี้มีลักษณะทั้งที่เป็นท่อนยาวท่อนสั้นหรือกลม ติดสีแกรมบวก ไม่สร้างสปอร์ การเจริญเติบโตส่วนใหญ่ต้องการอากาศเพียงเล็กน้อย (Microaerophile) บางชนิดไม่ต้องการอากาศเลย (Strictly Anaerobe) เนื่องจากเป็นแบคทีเรียที่ได้พลังงานจากการหมักน้ำตาลโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Frazier and Westhoff, 1979) ต้องการสารอาหารค่อนข้างสลับซับซ้อนและสมบูรณ์ (Prescott and Dunn, 1959) ใช้กรดอะมิโนเป็นแหล่งไนโตรเจน เชื้อจะเจริญได้ดีในอาหารที่มี Growth Factor และวิตามินหลายชนิด เช่น ไบโอติน (Biotin) ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) และส่วนใหญ่ต้องการสารอนินทรีย์ในปริมาณค่อนข้างสูง เช่น แมงกานีส (Mn) แมกนีเซี่ยม (Mg) ฟอสฟอรัส (P) (Tittsler et al.,1952) แบคทีเรียในตระกูลนี้สามารถแบ่งได้ 5 สกุล (Genus) (Buchanan and Gibbons, 1974) ได้แก่

1. Genus Streptococcus (Lactococcus) แบคทีเรียผลิตกรดแลคติคชนิดนี้มีลักษณะกลมแบบ Cocci หรือรูปรีแบบ Oval ขนาดประมาณ 0.5-1.0 μm จะพบเป็นคู่หรือเป็นสาย มีทั้งพวกที่ต้องการอากาศ (Aerobe) หรือพวกต้องการอากาศเล็กน้อย Streptococcus จัดอยู่ในกลุ่ม Homofermentative Lactic Acid Bacteria เป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมนม คือ ใช้ในการเตรียมเนย เนยแข็ง และ นมเปรี้ยว

2. Genus Leuconostoc แบคทีเรียผลิตกรดชนิดนี้มีรูปร่างกลม จะพบเป็นคู่ หรือเป็นสายมีทั้งพวกที่ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobe) หรือพวกที่ต้องการอากาศเล็กน้อย Leuconostoc จัดอยู่ในกลุ่ม Heterofermentative Lactic Acid Bacteria พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญต่อการเริ่มต้นกระบวนการหมักพวกผัก มีบางสายพันธุ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตนม เนื่องจากส่วนใหญ่ Leuconostoc จะเจริญในน้ำนมได้ช้าจึงไม่เหมาะสมในการใช้เป็นหัวเชื้อเพื่อผลิตกรด แต่มีสมบัติพิเศษที่สามารถเมตาโบไลซ์ได้เป็นสารพวกไดอะเซติล (Diacetyl) อะซิโตอิน (Acetoin) (นภา โล่ห์ทอง, 2522)

3. Genus Pediococcus แบคทีเรียผลิตกรดแลคติคชนิดนี้มีรูปร่างกลม อาจอยู่เป็นคู่ หรือกลุ่ม จัดเป็นพวกที่ต้องการอากาศเพียงเล็กน้อย และเป็น Homofermentative Lactic

Acid Bacteria ลักษณะพิเศษคือสามารถสร้าง Racemic (D และ L) Lactic Acid จากน้ำตาลกลูโคส แบคทีเรียพวกนี้มักพบในอาหารพวกผัก เนื้อ (ไส้กรอกเปรี้ยว) เป็นต้น

4. Genus Lactobacillus แบคทีเรียผลิตกรดชนิดนี้อาจพบรูปร่างหลายแบบเช่น Coccobacilli, Bent Rods, Coryneform หรือ Thread-like จะเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีอากาศ หรือต้องการอากาศเล็กน้อย มีทั้งพวกที่เป็น Homofermentative และ Heterofermentative Lactic Acid Bacteria

5. Genus Bifidobacterium แบคทีเรียผลิตกรดชนิดนี้มีการค้นพบในปี 1899 แยกจากอุจจาระเด็กทารกสุขภาพสมบูรณ์ที่ดื่มนมมารดา แต่เดิมเรียกว่า Bacillus bifidum ต่อมามีการศึกษาอย่างกว้างขวางจึงตั้งชื่อว่า Bifidobacterium สามารถพบได้หลายรูปร่าง เช่น รูปตัว Y, V, Bent, Club จะไม่พบในลักษณะที่เป็นสายยาว เจริญได้ใน Obligately Anaerobe จัดเป็นพวก Heterofermentative Lactic Acid Bacteria ลักษณะพิเศษของ Bifidobacterium คือสามารถให้กรดแลคติค 1 โมล และกรดอะซิตริก 1.5 โมล จากน้ำตาลกลูโคส 1 โมล แบคทีเรียผลิตกรดแลคติคสามารถแบ่งตามลักษณะการหมักได้เป็น 2 กลุ่ม

5.1 Homofermentative Lactic Acid Bacteria คือแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคที่สามารถหมักน้ำตาลกลูโคส หรือน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 ตัว ให้กรดแลคติคร้อยละ 86-95 ดังสมการ

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

กลูโคส กรดแลคติค

ส่วนที่เหลืออาจนำไปใช้เพื่อให้พลังงาน นอกจากกรดแลคติคยังอาจมีการผลิตสารตัวอื่นในปริมาณเล็กน้อยเช่น ฟอร์เมท อะซิเตท เอธานอล (Wood, 1985) Volatile Acid และคาร์บอนไดออกไซด์ (Salle, 1961) แบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ L. bulgaricus และ L. acidophilus เป็นต้น

5.2 Heterofermentative Lactic Acid Bacteria คือ แบคทีเรียที่สามารถหมักน้ำตาลกลูโคสหรือน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 ตัว ให้กรดแลคติคประมาณร้อยละ 50 ส่วนที่เหลือเป็นกรดอะซิตริก และเอธิลอัลกอฮอล์ร้อยละ 20-25 และสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20-25 เช่น Leuconostoc mensenteroides, L. casei, L. psuedoplantarum, L. rhammosus และ L. tolerans เป็นต้น

ลักษณะทั่วไปของเชื้อแบคทีเรียในโยเกิร์ต

1. ลักษณะของเชื้อ S. thermophilus

ในปี ค.ศ. 1916 Orla-Jensen อธิบายถึงเชื้อ S. thermophilus ไว้ว่าเป็นเชื้อที่พบได้ทั่วไปในผลิตภัณฑ์นม โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน โยเกิร์ต เนยแข็ง โดยปกติรู้จักกันในนาม Coccus จัดอยู่ในจีนัส Streptococcus เชื้อ S. thermophilus สามารถเจริญและทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูงถึง 49 °C (120 °F) จึงมีชื่อชนิดว่า thermophilus เชื้อชนิดนี้เมื่อเจริญในอาหารเหลว หรือในน้ำนมจะมีรูปร่างกลม มีการจัดเรียงตัวเป็นคู่หรือเป็นสายยาว เชื้อที่แก่หรือที่เจริญบนอาหารแข็ง จะมีรูปร่างเซลล์ที่ขยายออก อาจทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นแบคทีเรียรูปแท่งได้ (Vedamuthu,1991b) อาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของ S. thermophilus ได้แก่ Elliker's Lactic Broth หรือ Litmus Milk ส่วน Elliker's Lactic Agar เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ดีที่สุดที่ใช้ในการนับจำนวนเซลล์ (Gilliland, Sandine and Vedamuthu, 1984) เชื้อ S. thermophilus เมื่อเจริญในนมจะสามารถสร้างกรดได้มากพอที่จะทำให้นมเกิด Coagulate แต่ความเป็นกรดที่ได้จะน้อยกว่าเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่นที่ผลิตกรดแลคติคในนม อาหารที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมหัวเชื้อ (Starter) ปริมาณมาก ก็คือน้ำนมพร่องมันเนย หรือน้ำหางนม S. thermophilus จัดเป็นเชื้อที่ทนทานต่อความร้อน และสามารถอยู่รอดได้ที่อุณหภูมิ 60 °C (140 °F) นาน 30 นาที (Reinbold, 1989) เชื้อ S. thermophilus เมื่อเจริญในนมจะสามารถสลายยูเรียได้ กาซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย โดยใช้เอนไซม์ยูรีเอส (Urease) นอกจากนี้ยังสามารถสลายน้ำตาลแลคโตสในนมโดยใช้เอนไซม์แลคเตส (Lactase) หรือ เอนไซม์บีต้า-กาแลคโตซิเดส(β-galactosidase) ซึ่งมีคุณสมบัติที่คงตัวทนทานต่อความร้อน เอนไซม์บีต้า-กาแลคโตซิเดส จะไปย่อยน้ำตาลแลคโตสออกเป็นกลูโคส และกาแลคโตส เชื้อ S. thermophilus จะใช้น้ำตาลกลูโคสได้ง่ายแต่จะใช้น้ำตาลกาแลคโตสได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงทำให้น้ำตาลกาแลคโตสที่แตกตัวออกมาสะสมมากขึ้น มีเชื้อ S. thermophilus หลายสายพันธุ์ที่ไม่สามารถใช้น้ำตาลกาแลกโตสได้ (Gal-) ในขณะที่บางสายพันธุ์สามารถใช้น้ำตาลกาแลคโตสได้ (Gal+) แต่พบว่าเชื้อสายพันธุ์ที่ไม่สามารถใช้น้ำตาลกาแลคโตสได้ ถ้าเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำตาลกาแลคโตสอยู่ 2-3 ครั้ง ก็จะเกิดการกระตุ้นให้มีการใช้น้ำตาลกาแลคโตสได้

เป็นที่รู้กันว่าเชื้อ S. thermophilus สามารถสร้าง Capsules และ Extracellular Slime ซึ่งเป็นสารพวก Exopolysaccharide ดังนั้นจึงใช้เชื้อสายพันธุ์นี้ในการทำโยเกิร์ตให้มีเนื้อสัมผัสที่ Smooth มีความหนืด ทั้งยังช่วยในการกระจายตัวของชิ้นผลไม้ในโยเกิร์ตผลไม้อีกด้วย และ Exopolysaccharide ยังช่วยในการคงลักษณะของ Coagulum และเนื้อสัมผัสหลังการหมัก (Vedamuthu, 1991b)

2. ลักษณะของเชื้อ L. bulgaricus

เป็นเชื้อแบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส Lactobacillus ซึ่งหมายถึงว่า เป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นท่อน พบได้ทั่วไปในน้ำนมแต่ไม่จัดเป็นพวก Normal Flora ในน้ำนมจึงไม่พบในน้ำนมที่รีดออกมาจากเต้านมแต่จะปะปนมาจากอุปกรณ์หรือจากสภาพแวดล้อม ในปี ค.ศ. 1919 Orla-Jensen ได้ อธิบายถึงเชื้อ L. bulgaricus ไว้ว่าเป็นแบคทีเรียที่แยกได้จากโยเกิร์ตและเนยแข็งต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมจะรู้จักเชื้อนี้ในลักษณะเป็น Rods เชื้อ L. bulgaricus เป็นชื่อเชื้อแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นแท่งผอมยาว บางครั้งมีลักษณะโค้ง อยู่เป็นคู่ หรือเป็นสาย ทนความร้อนได้ต่ำ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ L. bulgaricus ประมาณ 45 °C (113 °F) และสร้างกรดได้ดีที่ 43-46 °C (110-115 °F) (Vedamuthu, 1991b) L. bulgaricus มีระบบเอนไซม์ที่ซับซ้อนกว่า S. thermophilus จึงสามารถสลายน้ำตาลแลคโตสได้ดีกว่า ระบบเอนไซม์ที่ย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสของ L. bulgaricus ประกอบด้วย บีต้า-กาแลคโตซิเดส กับ บีต้า-ดี-ฟอสโฟกาแลคโตซิเดส (β-D-phospho galactosidase) แบคทีเรียพวกนี้ใช้น้ำตาลกาแลคโตสไม่ได้จึงทำให้มีน้ำตาลชนิดนี้เกิดสะสมมากขึ้นในระหว่างการหมักนม แต่สามารถใช้น้ำตาลกลูโคสได้เป็นอย่างดี L. bulgaricus เป็นเชื้อที่ทนต่อออกซิเจนได้ในปริมาณเล็กน้อย ดังนั้นในช่วงต้นของการหมักโยเกิร์ตจะมีออกซิเจนอยู่สูง เชื้อนี้จึงเจริญได้ช้าจนกว่าออกซิเจนที่มีอยู่จะถูกใช้ไปในกระบวนการหมัก จากคุณลักษณะดังกล่าว จึงทำให้เชื้อเจริญได้ดีในช่วงหลังของการหมักโยเกิร์ต L. bulgaricus สามารถผลิต Exo-polysaccharide ได้เช่นเดียวกับ S. thermophilus จึงมีประโยชน์ต่อการทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะเนื้อที่แน่นและเนียน ถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิด Scanning Electron Microscrope ส่องดูเซลล์จะพบสายของ Exo-polysaccharide ที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียเชื่อมติดกับโครงสร้างตาข่ายโปรตีนใน Curd ของนม (Kalab, Allan-Wojtas

and Phipps-Todd, 1983)

ความสัมพันธ์แบบ Symbiosis ของ S. thermophilus และ L. bulgaricus

เมื่อ S. thermophilus และ L. bulgaricus เจริญร่วมกัน โดยที่เชื้อตัวหนึ่งไปกระตุ้นการทำงานของอีกตัวหนึ่ง Reinbold (1989) กล่าวว่าเชื้อเพียงชนิดเดียวไม่สามารถหมักโยเกิร์ตได้ดีเท่ากับเชื้อผสมระหว่าง S. thermophilus และ L. bulgaricus ที่มีลักษณะการเจริญแบบ Symbiosis คือการเจริญที่มีความสัมพันธ์แบบมีประโยชน์ร่วมกันของสิ่งมีชีวิตสองชนิด ผลของการเจริญร่วมกันนี้จะทำให้สร้างกรดได้รวดเร็วขึ้น มีผลช่วยทางด้านกลิ่นรส และมีจำนวนเซลล์ของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ใช้คาร์โบไฮเดรตได้มากขึ้น และได้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องการ

เชื้อ S. thermophilus จะทำหน้าที่ตกตะกอนนมแต่จะมีปริมาณกรดที่ได้ต่ำกว่าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดตัวอื่น ๆ เมื่อเป็นดังนี้เชื้อ L. bulgaricus จะทำหน้าที่หมักต่อให้ได้กรดในปริมาณสูงตามต้องการ อัตราการเจริญและการผลิตกรดในช่วงต้นของเชื้อ L. bulgaricus จะต่ำกว่าเชื้อ S. thermophilus เนื่องจากเชื้อ L. bulgaricus เป็นพวก Microaerophile และต้องการสารบางอย่างเพื่อกระตุ้นในการเจริญ การที่ L. bulgaricus เจริญได้ช้าและ S. thermophilus ผลิตกรดได้ปริมาณต่ำเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในอุตสาหกรรมการผลิตโยเกิร์ต โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูง (ปริมาณกรดที่ต้องการประมาณ 1.2-1.4 %) และในการผลิตต้องการการหมักที่รวดเร็วปกติ 3.5-4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 45°C (110-113 °F) ซึ่งเป็นตัวกำหนดถึงพฤติกรรมของความสัมพันธ์แบบ Symbiosis ของเชื้อ S. thermophilus และ L. bulgaricus ที่จะให้มีการเร่งการผลิตกรดและยังมีส่วนให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ดีเยี่ยม

จากที่กล่าวมาแล้วว่าเมื่อ S. thermophilus และ L. bulgaricus เจริญร่วมกันในนมในช่วงต้น S. thermophilus จะมีการเจริญดีเนื่องจากทนต่อออกซิเจนที่มีอยู่ในนมได้ดีกว่า ในขณะที่ L. bulgaricus จะเจริญได้ดีภายหลัง ระหว่างการหมัก S. thermophilus จะใช้ออกซิเจนในนม จนปริมาณต่ำลงพอที่จะทำให้เชื้อ L. bulgaricus เจริญได้ดีขึ้น เชื้อ L. bulgaricus จะเจริญเมื่อถูกกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่สร้างจากเชื้อ S. thermophilus โดยการสลายยูเรียซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติในนม เมื่อ L. bulgaricus เจริญจะผลิตเอนไซม์ Proteolytic ได้มากกว่าซึ่งจะไปสลายโปรตีนนมเป็นเปปไทด์

(Peptide) และกรดอะมิโนอันจะมีผลในการกระตุ้นการเจริญของเชื้อ S. thermophilus เชื้อ S. thermophilus จะมีบทบาทมากในช่วงต้น และกลางของการหมักโยเกิร์ตจนกระทั่ง pH ลดลงถึง 5.2 L. bulgaricus จึงเริ่มเจริญและทำงาน ส่วน S. thermophilus จะหยุดบทบาทลง การเจริญของ S. thermophilus จะลดลงและ L. bulgaricus จะมีบทบาทเด่นในการหมักเมื่อ pH อยู่ที่ 4.4 การหมักจะดำเนินต่อไปจนกว่าจะได้ Coagulum ของโยเกิร์ตที่เหมาะสมจึงหยุดการหมักซึ่งจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 3.9-4.4 ขึ้นกับความเปรี้ยวที่ต้องการ (Vedamuthu, 1991c)

อาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของ S. thermophilus และ L. bulgaricus

อาหารที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงเชื้อ S. thermophilus และ L. bulgaricus ได้แก่ Elliker's Lactic Broth, MRS. Broth หรือ Litmus Milk ส่วน Elliker's Lactic Agar หรือ MRS. Agar เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ดีที่สุดที่ใช้ในการนับจำนวนเซลล์ (Gilliland, Sandine and Vedamuthu, 1984) เนื่องจากเป็นอาหารที่ทำให้สภาพการเจริญมีออกซิเจนอยู่น้อย การเจริญบนอาหารแข็งจะเพิ่มขึ้นถ้าบ่มเชื้อในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์โดยการใช้ BBL GasPak System (BBL Microbiology Systems, Becton Dickinson & Co., Cockeysville, MD 21030) บ่มที่ 35-37 °C (95-99 °F) นาน 48-72 ชั่วโมง สำหรับการเตรียมหัวเชื้อปริมาณมากในการผลิตผลิตภัณฑ์นมจะใช้นมพร่องมันเนยหรือหางนมเป็นอาหารในการเจริญ นอกจากนี้อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อ L. bulgaricus ควรต้องมี Ca^{++} และ Mn^{++} เพื่อช่วยในการเสริมสร้างโครงสร้างของเซลล์ให้แข็งแรง มิฉะนั้นเซลล์อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสัณฐานและเสียความสามารถในการผลิตกรด (Vedamuthu, 1991b)

นอกจากเชื้อ L. bulgaricus และ S. thermophilus ที่นำมาใช้ในการผลิตโยเกิร์ตแล้ว ยังมีแบคทีเรียตัวอื่น ๆ ที่นำมาใช้ในการหมักนมเพื่อให้ได้กลิ่นรสที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 3

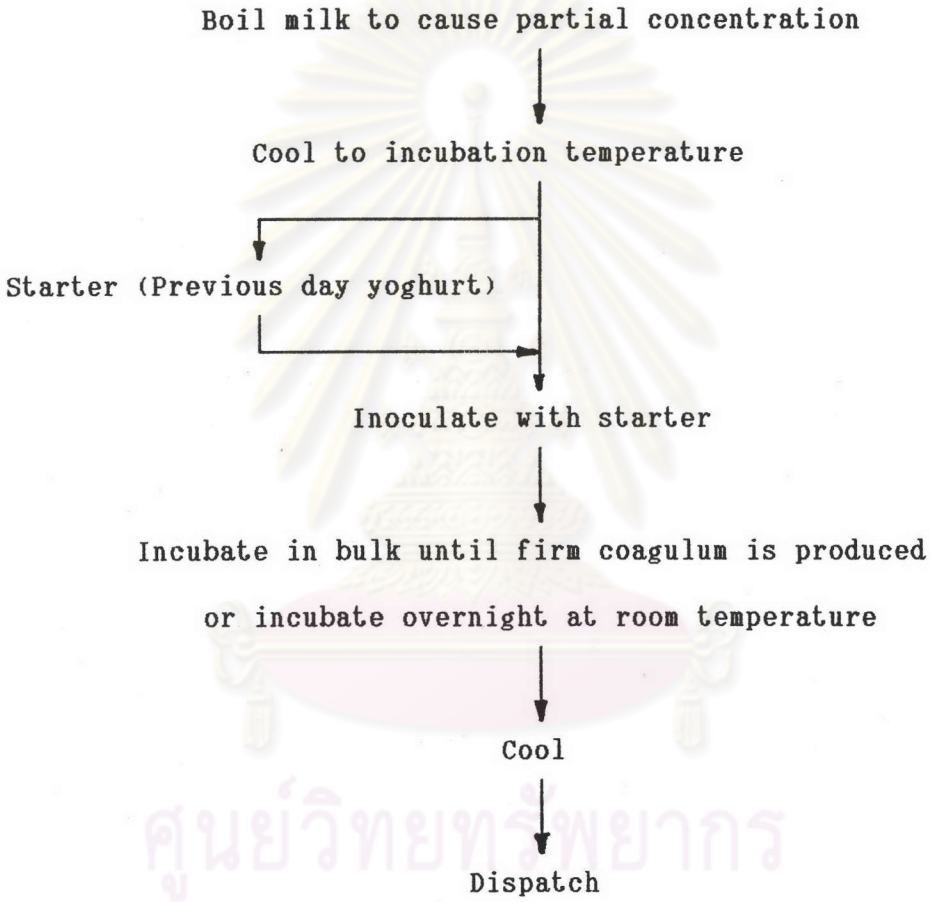
ตารางที่ 3 แบคทีเรียสำคัญที่สามารถสร้างกรดแลคติคในอุตสาหกรรมนม (Teknisk Dokumentation AB, 1988)

เชื้อแบคทีเรีย	อุณหภูมิการหมัก (°C)	ร้อยละกรดแลคติค	ผลิตภัณฑ์ที่ได้
S. thermophilus	40-45	0.7	Acidophilus Milk, Cheese
S. lactic	25-30	0.7	Acidophilus Milk
S. cremoris	25-30	0.7	Acidophilus Milk
S. diacetilactis	25-30	0.7	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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการผลิตโยเกิร์ต

แต่เดิมการผลิตโยเกิร์ตทำโดยการนำนมมาต้มระเหยน้ำออกบางส่วนจนมีปริมาตรลดลงเหลือ 2 ใน 3 เพื่อทำให้นมเข้มข้นขึ้น จากนั้นจึงนำมาผลิตตามขั้นตอนการผลิตแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การผลิตโยเกิร์ตแบบดั้งเดิมในแถบตะวันออกกลาง

(Tamime and Deeth, 1980)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับการผลิตโยเกิร์ตในปัจจุบันกรรมวิธีการผลิตเพื่อให้ได้โยเกิร์ตชนิดต่าง ๆ มีขั้นตอนหลักสำหรับการผลิตโยเกิร์ตประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลักดังนี้ (Vedamuthu, 1991d)

1. การเตรียมส่วนผสมของโยเกิร์ต

คุณภาพของส่วนผสมที่ใช้จะมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย ดังนั้นวัตถุดิบที่นำมาเป็นส่วนผสมจึงควรใช้ประเภทที่มีคุณภาพสูง การควบคุมคุณภาพในการผลิตตั้งแต่วัตถุดิบเป็นสิ่งสำคัญ ในการผลิตโยเกิร์ตโดยปกติจะใช้นมสด (Whole Milk) อาจมีการเติม น้ำหางนม (Skim Milk) นมข้น (Condensed Milk) และ หางนมผง (Dried Skim Milk) ผสมลงไปและโฮโมจีไนส์ให้เข้ากัน เพื่อปรับมาตรฐานของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต ถ้าต้องการลดปริมาณไขมันหรือเพิ่มปริมาณของแข็งในนมให้เติมนมผงลงไปร้อยละ 2-3 หรือระเหยน้ำออกจากนมจนได้ปริมาณของแข็งในนมร้อยละ 15-17 แล้วทำการกรองด้วยวิธี Ultrafiltration และ Reverse Osmosis (Kosikowski, 1982)

ส่วนผสมที่ใช้เป็นตัวให้ความหวานได้แก่น้ำตาลทราย หรือซูโครส ใช้ทั้งในรูปของผลึกหรือน้ำเชื่อม ในบางครั้งมีการใช้น้ำตาลเดกโตส น้ำผึ้ง น้ำตาลฟรุสโตสเข้มข้นเป็นสารให้ความหวาน สำหรับสารให้ความหวานสังเคราะห์ที่นิยมใช้กับโยเกิร์ตได้แก่ แซกคาริน แอสปาแตม สารสังเคราะห์พวกนี้อาจทำให้รสชาติของโยเกิร์ตผิดไป หรือเกิดรสขม ระดับของสารให้ความหวานที่ใช้จะขึ้นกับชนิดของโยเกิร์ต และความเข้มข้นของน้ำตาลที่มีอยู่ในแยมผลไม้

สารให้ความคงตัว (Stabilizers) นำมาใช้เป็นตัวเพิ่มความหนืด ช่วยเนื้อสัมผัสให้มีความเนียนสม่ำเสมอ และป้องกันการแยกชั้น (Whey Off) การใช้สารให้ความคงตัวทำเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสสม่ำเสมอในแต่ละครั้งของการผลิต การใช้สารให้ความคงตัวอาจก่อให้เกิดปัญหาทั้งกรณีให้ความคงตัวมากไป หรือน้อยไป และความไม่เหมาะสมของการใช้สารให้ความคงตัวสารให้ความคงตัวที่ให้ความคงตัวน้อยจะทำให้เนื้อโยเกิร์ตอ่อนและเกิดการแยกของ Whey ในทำนองกลับกันถ้าโยเกิร์ตมีความคงตัวมากไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเนื้อเนียนเหนียวคล้าย Jello และถ้าใช้ชนิดของสารให้ความคงตัวไม่เหมาะสม ละลายสารให้ความคงตัวไม่ดี เติมสารให้ความคงตัวเร็วเกินไปหรือเติมในขณะที่อุณหภูมิไม่เหมาะสมจะทำให้โยเกิร์ตจับตัวเป็นก้อน ๆ การเติมสารให้ความคงตัวในขณะที่อุณหภูมิร้อนมากเกินไปจะทำให้โยเกิร์ตมีเนื้อแข็งจับตัวเป็นก้อนหนา สารให้ความคงตัวที่เป็นเม็ดใหญ่ จะไม่ละลายอาจเป็นสาเหตุให้เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตเป็นเม็ดหยาบ สารให้ความคงตัวที่ใช้กันในโยเกิร์ตแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สารให้ความคงตัวที่ใช้กันในโยเกิร์ต (Vedamuthu, 1991d)

Stabilizer	Source	Advantages/Disadvantage
Gelatin	Hydrolysis of Meat Proteins Collagen and Ossein	Good Stabilizer for Yoghurt and Frozen Yoghurt. Gives a Smooth Product. Dissolves well Between 55°C and 65°C. Degrades at High Temperatures. Not Compatible for Kosher Status
Alginates	Sea Weeds	Gives a Smooth Product. Heat Stable. Complex with Calcium and Casein to Give a Good Gel. Dissolves at Room Temperature.
Carrageenan	Sea Weeds	Similar Gelling Mechanism as Alginates. Dissolves Between 50°C and 80°C.
Carbo Gum	Seeds of Legume	Effective at Low pH
Guar Gum	Seeds	Good Stabilizer. Stable at High Temperature. Soluble in the Cold
Starch	Cereals	Good in Combinations.
Carboxymethyl Cellulose	Cellulose	Effective for High Temperature Processing

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเตรียมส่วนผสม การผสม และการโฮโมจีไนส์ (ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน) มีขั้นตอนต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับการผลิตโยเกิร์ตแต่ละชนิด เช่น การปรับมาตรฐานของนมสดที่นำมาใช้ในการผลิต Regular Yoghurt, Low Fat Yoghurt และ Non-Fat Yoghurt จะปรับส่วนผสมโดยคำนึงถึงปริมาณไขมันนม การเติมนมผงปราศจากไขมันลงไปร้อยละ 1-2 จะช่วยเพิ่มเนื้อโยเกิร์ต ทำให้เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะคล้าย Custard การอุ่นนมที่ 100 °F และกวนส่วนผสมที่เติมหางนมผงหลังจากการปรับมาตรฐานจะช่วยให้หางนมผงละลายดีขึ้น ปริมาณน้ำตาลที่ใช้เป็นส่วนผสมขึ้นอยู่กับประเภทของโยเกิร์ตปกติจะใช้ในช่วงร้อยละ 4-10 สำหรับโยเกิร์ตชนิดธรรมดาอาจไม่จำเป็นต้องเติมน้ำตาล ในขั้นการโฮโมจีไนส์จะทำการอุ่นนมจนถึงอุณหภูมิ 145 °F และโฮโมจีไนส์ที่ความดัน 3000 Psi. การโฮโมจีไนส์เป็นขั้นตอนที่สำคัญ ในขั้นนี้ทำให้เม็ดไขมันแตกและกระจายออกเพื่อป้องกันไขมันรวมตัวแล้วเกิดการแยกชั้นของไขมัน นอกจากนี้ยังช่วยในการละลายส่วนผสมที่ยังจับกันเป็นเม็ดออกจากกันซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน

หลังจากการโฮโมจีไนส์ ส่วนผสมจะถูกส่งไปพาสเจอร์ไรซ์ในถังสแตนเลสที่อุณหภูมิ 180 °F นาน 30 นาที ส่วนผสมที่มีปริมาณ Milk Solid และน้ำตาลสูงจำเป็นต้องใช้การพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้การทำลายจุลินทรีย์ได้ผล การใช้อุณหภูมิสูงในการพาสเจอร์ไรซ์ส่วนผสมของโยเกิร์ตจะมีผลดังต่อไปนี้

1.1 ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย นอกจากนี้ยังช่วยในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในส่วนผสม การทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในนมนอกจากป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์อื่นเจริญแข่งกับหัวเชื้อโยเกิร์ต แล้วยังทำให้เกิดความปลอดภัยในการบริโภคด้วย

1.2 สร้างสภาวะ Low Oxidation-Reduction Potential และก่อให้เกิดสารประกอบที่ส่งเสริมการเจริญของหัวเชื้อโยเกิร์ต

1.3 การใช้อุณหภูมิที่ 180-190 °F นาน 30 นาที จะทำให้เกิดสารประกอบระหว่างโปรตีนหางนม กับ K-Casein ซึ่งเมื่อเคซีนตกตะกอนที่ความเป็นกรดด่าง 4.6 สารประกอบนี้จะจับตัวกันเป็นก้อน ได้โยเกิร์ตที่มีเนื้อแน่น และหนัก

ในขั้นตอนการพาสเจอร์ไรซ์ควรเพิ่มอุณหภูมิส่วนผสมให้ถึง 180-190°F อย่างรวดเร็ว และครบกำหนดเวลาพาสเจอร์ไรซ์ก็ควรที่จะให้ส่วนผสมเย็นอย่างรวดเร็วเช่นกัน การพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 190 °F จะทำให้ได้ก้อนโยเกิร์ตที่อ่อนนิ่ม เกิดการแยกชั้นของน้ำในโยเกิร์ต และไม่ควรคนส่วนผสมระหว่างการให้ความร้อน

2. การเตรียมการหมัก

ขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมผสมหัวเชื้อโยเกิร์ต โดยการเติมและผสมหัวเชื้อลงในส่วนผสม และปรับสภาพให้เหมาะสมต่อการหมัก การเตรียมการหมักทำดังต่อไปนี้

2.1 ปรับอุณหภูมิของส่วนผสมให้ถึงจุดที่ต้องการ ที่สามารถเติมหัวเชื้อลงไปได้ โดยปกติแล้วจะปรับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 95 °F จนถึง 115 °F ถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการบ่มจะทำให้หมักเร็วและถ้าใช้อุณหภูมิต่ำระยะเวลาในการหมักจะนานขึ้น การใช้อุณหภูมิต่ำจะได้โยเกิร์ตที่มีเนื้อหนัก ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 105-110 °F โดยปกติจะให้โยเกิร์ตที่มีเนื้อเรียบสม่ำเสมอ

2.2 หลังจากปรับอุณหภูมิการหมักได้ถึงจุดที่ต้องการดังข้อ 2.1 จึงเติมหัวเชื้อลงไปหัวเชื้อที่ใช้ตามปกติจะเติมลงไปประมาณร้อยละ 2.5-5 โดยปริมาตร ทำการหมักนาน 4 ชั่วโมง หัวเชื้อที่เติมลงไปควรทำให้กระจายในส่วนผสมอย่างสม่ำเสมอ ในระหว่างการหมักไม่ควรคนมากจนเกินไปเพื่อป้องกันการเติมอากาศลงไป

2.3 เมื่อเติมหัวเชื้อลงไปแล้วควรหยุดการคน และควบคุมอุณหภูมิการหมักให้อยู่ในระดับที่ต้องการ และไม่ควรรบกวนการหมักให้การหมักเป็นไปอย่างสงบ

3. การหมัก

การหมักโยเกิร์ต เริ่มตั้งแต่แบคทีเรียที่เติมลงไปในรูปหัวเชื้อลงในส่วนผสมจะเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตส และน้ำตาลอื่น ๆ ในส่วนผสมไปเป็นกรดแลคติค และสารอื่นอีกจำนวนเล็กน้อย เช่น อะซิตอลดีไฮด์ กรดอะซิตริก กรดโปรปิโอนิค กรดฟอร์มิค และ ไดอะซิติล เป็นต้น จากนั้นส่วนผสมจะเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนมีรสฝาดและเกิดกลิ่นเฉพาะตัวของอะซิตอลดีไฮด์ กระบวนการหมักถือได้ว่าเป็นหัวใจของการผลิต การควบคุมให้การหมักดำเนินไปอย่างที่ต้องการจำเป็นต้องพิจารณา ควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมติดตามความเป็นกรดด่างและการรบกวนการหมักอย่างระมัดระวัง

4. การยับยั้งการหมัก

เมื่อทำการหมักจนได้ pH ตามต้องการ ปกติอยู่ในช่วง 4.3-4.5 ควรหยุดการหมัก เพื่อไม่ให้เกิดกรดมากจนเกินไป ทำโดยการลดอุณหภูมิให้เย็นลง เพื่อให้การกระจายความร้อนเป็นไปอย่างทั่วถึงจำเป็นต้องทำการกวนโยเกิร์ตอย่างช้า ๆ และเปิดให้น้ำเย็นที่หล่อเย็นมีการหมุนเวียนอย่างรวดเร็วรอบถังหมัก ควบคุมความเร็วในการกวนอย่างระมัดระวัง เพื่อให้เกิดความเสียหายกับก้อนโยเกิร์ตน้อยที่สุด ระดับ pH ที่ใช้ในการหยุดการหมักจะขึ้นอยู่กับขนาดของถังหมัก และความเร็วของการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำกว่า 45 °F ถ้าใช้เวลานาน pH สุดท้ายจะต่ำเกินไป

ในอุตสาหกรรมมักใช้ Plate-Cooler หรือ Counter-Current Flow Tubes ช่วยในการลดอุณหภูมิลงมาที่ 80 °F และทำให้เย็นต่ำกว่า 45 °F ในถังหมัก

5. การเติมผลไม้ และ การบรรจุ

หลังจากการหมักและทำให้เย็นแล้ว ขั้นตอนการบรรจุก็นับเป็นจุดที่สำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ การบรรจุโยเกิร์ตลงในภาชนะจะทำให้เนื้อโยเกิร์ตที่จับเป็นก้อนแตกออกในขณะที่ถ่ายผลิตภัณฑ์จากถังหมักไปยังเครื่องบรรจุ ดังนั้นถ้าคงสภาพเนื้อที่จับเป็นก้อนไว้จะต้องใช้ Positive Pump ในการถ่ายผลิตภัณฑ์หรือเลือกใช้แรงดันอากาศดันผลิตภัณฑ์ออกจากถังหมัก การปั๊มโยเกิร์ตผ่านท่อยาว ๆ หรือผ่านท่อที่มีข้อต่อมาก ๆ หรือท่อที่มีการเปลี่ยนขนาด หรือการใช้ Centrifugal Pump แทนการใช้ Positive Pump ก็จะไปทำลายลักษณะเนื้อที่จับเป็นก้อนของโยเกิร์ตเช่นกัน ส่วนการเติมผลไม้ลงในเนื้อของโยเกิร์ตทำโดยเครื่องป้อนผลไม้ผสมกับโยเกิร์ตขณะบรรจุ หรืออาจผสมลงในถังผสมให้เข้ากันก่อน สำหรับการเติมผลไม้ลงในก้นภาชนะ หรือบนหน้าโยเกิร์ตชนิด Sundae ก็เติมผลไม้ก่อนหรือหลังเติมโยเกิร์ต

การปนเปื้อนที่พบในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงขั้นตอนหลังการหมัก และหยุดการหมักตรงช่วงท่อต่อระหว่างถังหมักกับเครื่องบรรจุ ปั๊ม เครื่องป้อนผลไม้ และเครื่องบรรจุดังนั้นจุดเหล่านี้ ควรได้รับการดูแลทำความสะอาดเป็นพิเศษ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแล้วจะถูกนำมาเก็บในห้องเย็น การเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในห้องเย็นจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อ เนื้อสัมผัส และความรู้สึกขณะรับประทานตามต้องการ

การทำโยเกิร์ตผง (Powdered Yoghurt)

โยเกิร์ตนับเป็นอาหารหมักชนิดหนึ่งที่มีแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบสูง ($1x10^8$ Cell / Ml.) ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาจำเป็นต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (2-5 °C) และอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ก็สั้น (2-3 สัปดาห์) เมื่อผลิตภัณฑ์นี้มีอายุการเก็บสั้นและต้องการอุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาจึงเป็นปัญหาต่อการส่งจำหน่าย การจัดสภาวะการเก็บ ที่ต้องควบคุมให้เหมาะสม เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงมีการแปลรูปโยเกิร์ต เป็นโยเกิร์ตผงซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี เมื่อคืนรูป ยังคงมีเชื้อแบคทีเรียที่มีชีวิต ในปริมาณสูง มีการใช้งานเหมือนโยเกิร์ตที่เตรียมเสร็จใหม่ ๆ สามารถยืดอายุการเก็บนานกว่า และยังคงมีการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูง โยเกิร์ตผงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการทางอาหารเช่นใช้เตรียม ไอสกรีมโยเกิร์ต (Frozen Yoghurt) โยเกิร์ตพร้อมดื่ม (Yoghurt Drings) ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (Confections) ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Bakery Goods) และอาหารเสริม (Dietary Supplement)

โยเกิร์ตผง เตรียมโดยนำโยเกิร์ตธรรมชาติ (Natural Yoghurt) มาผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธี Freeze Drying, Spray Drying, Roller Drying หรือวิธีทางการค้าอื่น ๆ เพื่อกำจัดความชื้นและสามารถยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า 1 ปี ในสภาพการเก็บที่เย็นและไม่มีแสง (Duxbury, 1988) วิธีการทำแห้งที่นิยมมากที่สุด คือ Spray Drying (Cajigas, 1981)

การทำแห้งโดยวิธี Spray Drying และ Freeze Drying

การทำแห้งเป็นการกำจัดน้ำส่วน Free Water และ Bound Water ออกจากผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลต่ออัตราการรอดชีวิตของเชื้อแบคทีเรีย Nei (1973) พบว่าการกำจัดเฉพาะน้ำส่วน Free water จะไม่มีผลต่ออัตราการรอดชีวิตของเชื้อแบคทีเรีย Kim และ Bhowmik (1990) ทำการศึกษาถึงอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติค (Lactic Acid Bacteria) ในโยเกิร์ตธรรมชาติระหว่างการทำแห้งพบว่าการทำแห้งด้วยวิธี Freeze Drying จะมีอัตราการรอดชีวิตของ S. thermophilus และ L. bulgaricus สูงกว่าการทำแห้งด้วยวิธี Spray Drying และปริมาณเชื้อ S. thermophilus ที่รอดชีวิตภายหลังการทำแห้งด้วยวิธี

Spray Drying มีเพียงครึ่งหนึ่งของการทำแห้งด้วยวิธี Freeze Drying เนื่องจาก Spray Drying ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงกว่า Freeze Drying ในขณะที่ปริมาณ L. bulgaricus ที่รอดชีวิตภายหลังการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเกิด Freeze Damage กับ L. bulgaricus deValdez และ คณะ (1985) ยังพบว่าปริมาณความชื้นที่เหลือในผลิตภัณฑ์จะมีผลต่อ ทั้งอัตราการรอดชีวิตของเชื้อแบคทีเรียภายหลังการทำแห้ง และในระหว่างการเก็บ Kim และ Bhowmik (1990) ศึกษาอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคภายหลังการทำแห้งด้วยวิธี Spray Drying พบว่าอัตราการรอดชีวิตของ S. thermophilus และ L. bulgaricus จะลดลงเมื่อเพิ่ม Outlet Air Temperature, Inlet Air Temperature และ Atomizing Air Pressure

เมื่อพิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรือความดันที่มีผลทำให้อัตราการรอดชีวิตของ S. thermophilus และ L. bulgaricus ลดลง 1 log Cycle ดังแสดงในตารางที่ 5 จะเห็นว่า Outlet Air Temperature มีผลต่ออัตราการรอดชีวิตของเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 มากกว่า Inlet Air Temperature และ Atomizing Air Pressure ตามลำดับและสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ Spray Drying คือ Inlet Air Temperature 160 °C, Outlet Air Temperature 60 °C, Atomizing Air Pressure 95 KPa., Hot Air Flow 0.28 M^3/Min. และ Feed Temperature 30 °C โดยใช้เครื่อง Laboratory Scale Spray Dryer (Kim and Bhowmik, 1990)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

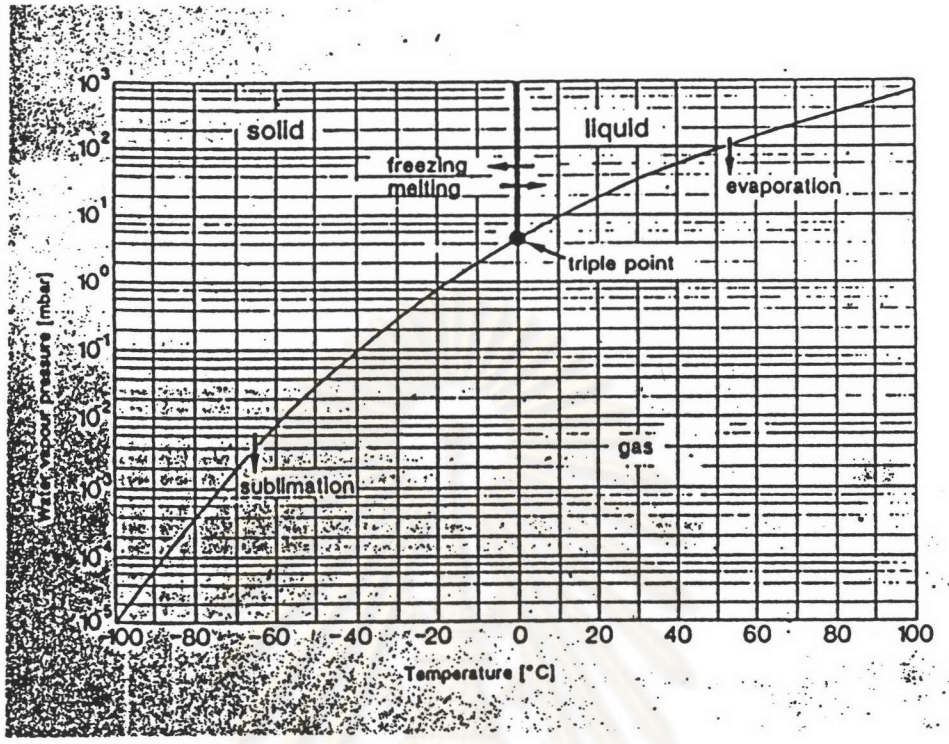
ตารางที่ 5 ช่วงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปริมาณแบคทีเรีย (Kim and Bhowmik, 1990)

ปัจจัย	ช่วงอุณหภูมิหรือความดันที่ทำให้แบคทีเรียลดลง 1 Log Cycle	
	S. thermophilus	L. bulgaricus
Outlet Air Temperature	12.0 °C	10.6 °C
Inlet Air Temperature	66.4 °C	43.9 °C
Atomizing Air Pressure	364 KPa.	188 KPa.

การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze Drying) เป็นกระบวนการดึงโมเลกุลของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ในสถานะที่เป็นของแข็ง โดยการระเหิดกลายเป็นไอโดยไม่ผ่านสถานะที่เป็นของเหลว กระบวนการนี้ประกอบด้วย (Hall and Hedrick, 1966)

- ผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง
- แหล่งให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้นโดยไม่ผ่านสถานะที่เป็นของเหลว
- ตู้ระเหยไอ ภายใต้สุญญากาศ

น้ำแข็งที่เกิดจากการแช่แข็งผลิตภัณฑ์จะถูกระเหิดด้วยความร้อนจากชั้นของหน่วยทำแห้ง ขณะที่ขดลวดความเย็นจะควบแน่นไอภายใต้สุญญากาศ การระเหิดจะทำในช่วงที่ความดันไอและอุณหภูมิในการทำแห้งอยู่ต่ำกว่าจุด Triple Point ของน้ำหรือสารละลายในผลิตภัณฑ์ (King, 1970) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 Phase Diagram ของน้ำ (Minnie, 1987)

ความร้อนจะให้กับผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะควบคุม ได้จากความร้อนของของเหลวที่ไหลผ่านถาดโลหะที่ผลิตภัณฑ์แช่แข็งวางอยู่ (Lingle, 1986) ในช่วงต้นของการทำแห้ง การระเหิดของน้ำแข็งจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้า จากนั้นน้ำแข็งที่อยู่ส่วนในของผลิตภัณฑ์จะค่อย ๆ กลายเป็นไอแล้วผ่านออกมายังผิวชั้นนอกที่ถูกทำให้แห้งแล้ว (Anonymous, 1984) การทำแห้งแบบเยือกแข็งมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ที่การเตรียมการแช่แข็ง (Pre-Freezing) การแช่แข็งจะมีอิทธิพลต่อโครงสร้างของผลึก การละลาย แอคติวิตี การมีชีวิตรอดของจุลินทรีย์ และสีของผลิตภัณฑ์ (Anonymous, 1984) โดยปกติแล้วการแช่แข็งอย่างรวดเร็วจะส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก อัตราเร็วการทำแห้งที่ต่ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพที่ดีกว่า (Mellor, 1978; Karel, 1975) น้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ที่กลายเป็นน้ำแข็งเป็นพวกน้ำอิสระ (Free Water) และ Bound water ระหว่างการเตรียมการแช่แข็ง Free Water จะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งได้ง่าย และจะเกิดการระเหิดออกในช่วงต้นของการทำแห้ง (Mellor, 1978) เมื่อการทำแห้งช่วงแรกยังดำเนิน ต่อน้ำแข็งที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ก็จะระเหิดออกมาเรื่อยๆ (Anonymous, 1984) ผลึกน้ำแข็งที่เกิดจากการแช่แข็ง จะระเหิดอย่างรวดเร็วเมื่อค่อยๆให้ความร้อนภายใต้สภาพสุญญากาศ ส่วน Bound

Water จะถูกระเหยในระหว่างช่วงที่ 2 ของการทำแห้ง ช่วงที่ 2 ของการทำแห้งเริ่มเมื่อผลิกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์หมดไป Bound Water เชื่อมต่อกันด้วย Electrostatic Forced ที่แข็งแรง จึงยังคงมี Bound Water หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ เป็นผลให้ยังคงมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่อย่างน้อยร้อยละ 1 หลังการ Freeze Drying (Minnie, 1987)

การถนอมอาหารด้วยวิธีทำแห้งแบบเยือกแข็ง นับว่าเป็นวิธีทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงสุดของวิธีการทำแห้ง (King, 1970) การทำแห้งแบบเยือกแข็งถูกใช้กับอาหารมากกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น (Minnie,1987) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำปฏิกิริยา เช่น Non-Enzymatic Browning (Millard Reaction), Protein Denaturation, Lipid Autoxidation และ ปฏิกิริยาจากเอนไซม์อื่น ๆ จะเกิดน้อย ผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยวิธีทำแห้งแบบเยือกแข็งจะถูกกระทบกระเทือนเพียงเล็กน้อย และไม่ได้รับความเสื่อมเสียจากความร้อน เพราะว่าการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำ (ต่ำกว่า 54.4 °C) เมื่อเปรียบเทียบการทำแห้งแบบเยือกแข็งกับการทำแห้งด้วยวิธีอื่น พบว่าจะให้การถนอม วิตามิน และสารอาหารที่ดีกว่า (King, 1970) ปกติแล้วผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งโดยวิธีเยือกแข็งจะมีลักษณะเด่นในด้านการเก็บ กลิ่นรส สี สารอาหาร กลิ่นเฉพาะตัว และ มีการดูดน้ำกลับที่รวดเร็ว (Lingle, 1986) ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์จำนวนจำกัดที่สามารถทำการผลิตทางการค้าด้วยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง เพราะถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพสูง แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงกว่าวิธีการทำแห้งอื่น ๆ กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง นั้นต้องการเครื่องมือที่พิเศษ ใช้พลังงานมากและใช้เวลาในการทำแห้งนานต้อง ใช้เวลา 12-30 ชั่วโมง ในการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เหลือร้อยละ 2

โยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็ง จะยังคงมีเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแลคติครอดชีวิตอยู่การเพิ่มอายุการเก็บของเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคในการทำแห้งแบบเยือกแข็งสามารถทำได้ มีรายงานว่าการเติมสารป้องกันแบคทีเรียจากการแช่แข็ง (Cryo-Protective Agent) ลงในอาหารเหลวในระหว่างการเตรียมเชื้อ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มอัตราการอยู่รอดของแบคทีเรียหลังจากการทำแห้งและยังลดอัตราการตายของเซลล์แห้งในระหว่างการเก็บ(Morichi , 1974) สารที่ช่วยในการป้องกันในอาหารเหลวจะช่วยลดอัตราการตายของเชื้อจุลินทรีย์ในการเก็บด้วยวิธีแช่แข็ง และจะเพิ่มอัตราการอยู่รอดของจุลินทรีย์ในระหว่างและหลังการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (deVadez et al.,1983) กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็งถูกนำมาใช้กันมาในการเก็บรักษาสารชีวภาพ ที่ไม่ต้องการให้คุณลักษณะประจำตัวของสารเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีความเหมาะสมอย่างสูงต่อการนำมาใช้เก็บรักษาหัวเชื้อแบคทีเรีย การเก็บรักษาหัวเชื้อแบคทีเรียด้วย

วิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็งนี้ควรเก็บที่อุณหภูมิ -18 °C (0 °F) หรือตู้เย็น เพื่อยังคงให้มีแอคติวีตีสูง ๆ และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องยังสามารถเก็บหัวเชื้อแบคทีเรียได้นานถึง 24 ชั่วโมง โดยสูญเสียแอคติวิตีเพียงเล็กน้อย และสามารถเก็บหัวเชื้อแบคทีเรียในตู้แช่แข็งได้นานกว่า 5 เดือน (Annonymous, 1984) Morichi (1974) แนะนำว่าหัวเชื้อแบคทีเรียที่ทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็งควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำ เพราะการตายของเซลล์จะเป็นทวีคูณในระหว่างการเก็บ ในระหว่างการทำแห้งหัวเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธีเยือกแข็ง จะมีเชื้อแบคทีเรียเพียงร้อยละ 50 ที่ยังคงมีชีวิตอยู่และหัวเชื้อที่ยังคงมีชีวิตอยู่ก็ยังสามารถผลิตกรดในนมได้ ปริมาณความเข้มข้นของเซลล์อัตราการรอดชีวิตสูงมากขึ้น Morichi (1974) แนะนำว่าความเข้มข้นของเชื้อที่มากกว่า $1x10^{11}$ Cell/Ml. จะทำให้มีการรอดชีวิตของเชื้อแบคทีเรียที่เพียงพอ Gilliland (1981) เสนอว่า การเก็บรักษาหัวเชื้อแบคทีเรียที่ทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการทำแห้งจะช่วยเพิ่มการรอดชีวิตของหัวเชื้อแบคทีเรียที่ทำแห้งที่ไวต่อออกซิเจนได้ Naghmoush และคณะ (1978) เห็นด้วยที่ให้เก็บหัวเชื้อแบคทีเรียที่ทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็งภายใต้สุญญากาศ และที่อุณหภูมิต่ำจะยืดอายุของแบคทีเรีย Robinson (1981) อธิบายว่าหัวเชื้อที่ทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็งเป็นภาวะที่พักตัวของเชื้อ แม้ว่าจุลินทรีย์จะมีชีวิตอยู่มากในหัวเชื้อแห้ง แต่ก็ต้องการระยะเวลาในการฟื้นตัวนานอาจใช้เวลา 14-16 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ความเป็นกรดที่เหมาะสมในการหมักนม การคืนรูปและการ Reactivation ของหัวเชื้อแห้งเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะให้ได้เซลล์ที่มีแอคติวิตีสูงสุด L. bulagaricus จะไวต่อการคืนรูปที่ 20-25 °C (68-77 °F) ภายใต้สภาวะการคืนรูปที่ไม่เหมาะสมเซลล์ที่รอดชีวิตจากการทำแห้ง อาจจะบาดเจ็บหรือสูญเสียชีวิต deValdez และคณะ (1985) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เหลืออยู่กับการรอดชีวิตของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคในหัวเชื้อแห้ง สรุปได้ดังนี้

- การระเหยน้ำมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อการรอดชีวิต
- การรอดชีวิตจะลดลงเมื่อการระเหยน้ำมากขึ้น
- ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่อย่างน้อยที่สุดต้องเพียงพอต่อการรอดชีวิต
- การเพิ่มอัตราการรอดชีวิต สามารถทำได้โดยรักษาปริมาณความชื้นให้เหมาะสม ในตัวอย่างที่ทำแห้งแบบเยือกแข็ง และการเติม Adonital (Polyhydric Alcohol, $C_5H_{12}O_5$) ซึ่งเป็นสาร Cryoprotective

สารที่จะช่วยในการมีชีวิตระหว่างการทำแห้งของเซลล์ควรจะมีกลุ่มอะมิโน หรือกลุ่มอัลกอฮอล์ลำดับที่สอง (Secondary Alcohol) ร่วมด้วย (deValdez et al., 1983) Morichi (1974) พบว่าปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ร้อยละ 1 ถึง 3 เป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการรอดชีวิตของหัวเชื้อแห้งระหว่างการเก็บ การเตรียมหัวเชื้อแห้งที่มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 3 ต้องเติม กลูตามิค อาจินีน หรือน้ำตาลแลคโตส เพื่อรักษาเสถียรภาพของเชื้อ Porubcan และ Sellers (1975) ได้พัฒนากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย สำหรับโยเกิร์ตและจุลินทรีย์ที่เกี่ยวเนื่องกับโยเกิร์ต หัวเชื้อผงที่ได้จะมีความเข้มข้นและแอคติวิตีเท่า ๆ กับการ Lyophilize และผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 5 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลัง 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 21 °C (70 °F) มีการศึกษาการใช้ Additives และ อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีบทบาทในการป้องกันเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแลคติคจากการทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็ง พบว่าการเติม Additives จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันเชื้อแบคทีเรียของน้ำนมพร่องมันเนยได้ และพบว่าเชื้อ L. bulgaricus จะอ่อนแอต่อการ Lyophilize การทำแห้งแบบพ่นฝอย และการเก็บแบบแช่เยือกแข็ง จึงต้องมีการเติมสารป้องกันก่อนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง deValdez และคณะ (1983) อธิบายถึงกลไกของการถูกทำลายของเชื้อจากการแช่แข็งหรือการทำแห้งว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้เซลล์ถูกทำลายเกิดจาก Osmotic Shock Morichi (1974) กล่าวว่าอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเป็นวิธีการที่สำคัญที่สุดในการเพิ่มอัตราการรอดชีวิตหลังผ่านการทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็งและลดอัตราการตายในระหว่างการเก็บ Cabrini และคณะ (1983) ศึกษาถึงเชื้อโยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็งโดยแปรชนิดของอาหาร และเก็บนาน 1 ถึง 2 ปี ที่อุณหภูมิ 4 °C (39.2 °F) พบว่าโยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็งที่มีสาร Cryoprotective จะรักษาเชื้อแบคทีเรียได้ในระยะเวลาการเก็บ 1 ปี สาร Cryoprotective ที่มีการนำมาใช้ในการรักษาเชื้อ เช่น แคลเซี่ยม (Wright and Klaenhammer, 1983) Adonital, Cystein, Glycerphosphate, Sodium Cryoprotective (deValdez et. al. 1983) สำหรับการเลือกชนิดของสารป้องกันนั้นมีข้อจำกัดซึ่งจะขึ้นกับกระบวนการ ชนิดของเชื้อแบคทีเรีย และสภาวะการเก็บ

การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายหลังการทำแห้ง

การทำแห้งผลิตภัณฑ์เป็นการถนอมอาหารชนิดหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ภายหลังการทำแห้งที่มีความชื้นต่ำกว่าจุดที่จุลินทรีย์เจริญ จะสามารถช่วยยับยั้งการเสื่อมเสียทาง เคมี ชีวเคมี และทางกายภาพ (McWeeny, 1980) โยเกิร์ตชนิดไขมันต่ำที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพต่าง ๆ ขึ้นได้ดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงด้านจุลินทรีย์ โยเกิร์ตผงที่มีความชื้นเท่ากับหรือต่ำกว่าร้อยละ 5 นั้นจุลินทรีย์จะใช้เป็นอาหารในการเจริญได้ไม่ดี ดังนั้นถ้ามีการเก็บที่สภาวะที่เหมาะสม และป้องกันความชื้นก็จะไม่พบปัญหาจากการเจริญของจุลินทรีย์ (Gravini, 1985)

2. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Non-Enzymatic Browning, Maillard Reaction) เป็นปัจจัยหลักในการเสื่อมเสียในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์นมแห้ง (Kim, Saltmarch and Labuza, 1981) ระยะเวลา อุณหภูมิในการเก็บ และปริมาณความชื้นจะมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยา Millard ในสภาวะการเก็บที่ส่งเสริมต่อการเกิดปฏิกิริยาสารอาหารในผลิตภัณฑ์จะเกิดสูญเสียอย่างมาก การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์นมแห้งอาจเกิดจาก 2 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ คือ การเกิด Caramelization ของน้ำตาลแลคโตส หรือ ปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มอะมิโนอิสระของโปรตีนในนมกับกลุ่ม Carbonyl ของน้ำตาลรีดิวส์ (แลคโตส) (King, 1970) น้ำตาลแลคโตสและเคซีนเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์นม ปฏิกิริยา Maillard ที่เกิดจากน้ำตาลกับกลุ่มอะมิโนเกิดได้ทั่วไปเพราะว่ามันต้องการพลังงานกระตุ้นต่ำ และ สามารถเร่งตัวเองได้ (Nickerson, 1974) ส่วน Caramelization ต้องใช้พลังงานกระตุ้นสูงจึงมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า และจะมีความสำคัญก็ต่อเมื่อมีการใช้ความร้อนสูง การเสื่อมเสียจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ สี กลิ่น รส ที่ไม่ต้องการ เกิดการสลายตัวของวิตามิน สูญเสียโปรตีน และในที่สุดจะมีผลต่อคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการเกิด Nonenzymatic Browning จะเกิดจากปฏิกิริยาในลำดับที่สอง ปฏิกิริยาลำดับแรกที่เกิดจากโปรตีนกับน้ำตาลรีดิวส์จะเป็นตัวตั้งต้นของการเปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยาลำดับที่สอง ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดสิ่งต่อไปนี้

- ความอร่อย และ ลักษณะปรากฏ ที่ด้อยลง
- ความสูญเสียของสารอาหาร เช่น วิตามิน และ กรดอะมิโนที่จำเป็น
- สูญเสียคุณค่าทางชีววิทยา และ ความสามารถในการย่อยของโปรตีน

- ความสามารถในการละลายลดลง

- เกิดกาซคาร์บอนไดออกไซด์

การเปลี่ยนแปลงของสีของผลิตภัณฑ์ ปกติจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในระหว่างการเก็บ อย่างไรก็ตามในสภาวะการเก็บที่ไม่เอื้ออำนวยจะเร่งปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลและอะมิโน และอัตราการเปลี่ยนแปลงของสีจะเพิ่มเป็น 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 3-4 °C (Mcweeny, 1980) นอกจากนี้ยังขึ้นกับปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ และสภาวะในการผลิตก็ยังมีส่วนทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาล จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปในการผลิต

3. กลิ่นหืน จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์นมแห้ง เอนไซม์ไลเปส เป็นตัวการที่เร่งการเกิด Hydrolysis ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ และกลีเซอร์ไรด์ Hydrolytic Rancidity เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียในนมและผลิตภัณฑ์นมอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งก่อนหรือหลังการผลิต (Deeth, 1983) เอนไซม์ไลเปสถูกกระตุ้นในระหว่างการโฮโมจีไนซ์ แต่การพาสเจอร์ไรซ์และการใช้อุณหภูมิสูงจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ปริมาณไขมันที่มีอยู่ต่ำในผลิตภัณฑ์นมจะเป็นส่วนหนึ่งในการลดการเกิด Hydrolytic Rancidity

4. การเกิดกลิ่นอับ เป็นความเสียหายอีกประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์นมแห้งซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ มีข้อเสนออยู่เป็นจำนวนมากว่าอะไรเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นอับ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของกลิ่นอับกับไขมันนม กลิ่นอับในไขมันนมเกิดจากปฏิกิริยาของโปรตีนกับน้ำตาลแลคโตส และยังเชื่อว่ากลิ่นอับเป็นกลุ่มของสารประกอบที่ให้กลิ่นรสที่ไม่ต้องการ เกิดขึ้นกับไขมันและสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนกับน้ำตาลแลคโตส (Hall and Hedrick, 1966) กลิ่นอับจะเกิดอย่างรวดเร็วในนมผงภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิการเก็บที่สูง (Parry Jr., 1974)

5. การเกิดออกซิเดชั่น เป็นประเภทของการเสื่อมเสียที่พบมากในอาหารแห้งที่มีไขมันในสภาวะที่มีออกซิเจน การเกิดออกซิเดชั่นของไขมันเป็นตัวหลักที่พบในอาหารที่ทำแห้งแบบเยือกแข็งเพราะว่ามีพื้นที่ผิวภายในมาก และมีปริมาณความชื้นต่ำ อาหารแห้งที่ทำแห้งแบบเยือกแข็งจะไวต่อออกซิเจน ออกซิเจนจะไปรวมตัวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยผ่านกลไกของ Free Radical Free Radical และ เปอร์ออกไซด์ เกิดจากปฏิกิริยาการสลายของ Volatile Aldehydes, Ketone และ กรดไขมัน (Warmbier and Wolf, 1976) ซึ่งจะได้กลิ่นรสที่ไม่ต้องการ สารประกอบ Carbonyl ที่ให้กลิ่นเป็นผลมากจากการเกิดออกซิเดชั่นของไขมัน ซึ่งจะตรวจจับได้ทางประสาทสัมผัสในระดับส่วนในล้านส่วน (Patton, 1962) จุดที่เกิดออกซิเดชั่น

ของไขมันในนม คือ ผนังของ Fat Globule (Richardson and Korycka-Dahl, 1983) ในผลิตภัณฑ์นมแห้ง ไตรกลีเซอร์ไรด์ จะไวต่อการเกิดออกซิเดชั่น ในขณะที่ฟอสฟอไลปิดจะเสถียรดีกว่าฟอสฟอไลปิดที่มีอยู่ในไตรกลีเซอร์ไรด์จะทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งการเกิดออกซิเดชั่นได้ในระดับหนึ่งแต่ถ้ามีน้ำอยู่ด้วยจะทำให้ไตรกลีเซอร์ไรด์มีเสถียรภาพมากขึ้นแต่ฟอสฟอไลปิดจะถูกออกซิเดชั่นง่ายขึ้น (Patton, 1962) ความเข้มของแสง ความชื้น และอุณหภูมิ มีผลต่อการเกิดออกซิเดชั่น แสงอาทิตย์และแสงอุลตร้าไวโอเลตจะเร่งการออกซิเดชั่นของไขมัน โดยมีโลหะเพียงเล็กน้อยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีวิตามิน รงค์วัตถุ กรดอะมิโนบางตัว และโปรตีนจะไวต่อออกซิเจน (Karel, 1974) ปริมาณออกซิเจนที่สูงกว่าร้อยละ 1 จะเป็นสาเหตุให้เกิดการเหม็นหืน ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาพที่มีอากาศจะเกิดกลิ่นผิดปกติภายใน 1 สัปดาห์ นมผงพร่องมันเนยจะมีเสถียรภาพดีกว่านมผงที่ไม่ขจัดไขมัน และสามารถเก็บได้เป็นปีในสภาพที่มีอากาศที่อุณหภูมิห้องเพราะไขมันที่มีอยู่ส่วนใหญ่ถูกขจัดออกในระหว่างกระบวนการผลิต (Labuza,1971)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย