บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

โยเกิร์ตเติมเชื้อโพรไบโอติคเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเหลืออยู่ระหว่างการหมัก ยกเว้นชนิดที่มีการพาสเจอไรซ์หรือสเตอริไรซ์เพื่อยืดอายุการเก็บ ในสภาวะที่เหมาะสมเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติคในโยเกิร์ตสามารถทำหน้าที่และก่อให้เกิดผลดีแก่ผู้บริโภคจึงจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพชนิดหนึ่ง ซึ่งข้อดีของเชื้อโพรไบโอติค คือ สามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ การย่อยสลายแลคโทส ลดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรง ปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ ต่อต้านมะเร็งบางชนิด เพิ่มภูมิคุ้มกัน และการลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด (Gilland, 1990; Fuller, 1991)

2.1 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตในปัจจุบันมีรูปแบบดังนี้ (Tamime and Robinson, 1985)

2.1.1 โยเกิร์ตชนิดเซ็ต (Set yoghurt)

โยเกิร์ตชนิดเซ็ต (set yoghurt) คือ ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตโดยนำน้ำนมมาผ่านกระบวนการปรับมาตรฐาน การโฮโมจิไนส์ การให้ความร้อน และเพาะเชื้อเริ่มต้นแล้วนำมาบรรจุในภาชนะที่จะใช้จำหน่าย แล้วนำไปหมักให้นมตกตะกอนในภาชนะนั้น แล้วนำไปแช่เย็นเพื่อเก็บรักษาโดยไม่มีการกวน เมื่อจะบริโภคผู้บริโภคต้องกวนหรือตักรับประทานทันทีก็ได้ สำหรับโยเกิร์ตผลไม้ (fruit yoghurt) ก็นำผลไม้ที่เตรียมไว้แล้ว ใส่ลงที่ก้นภาชนะก่อนแล้วจึงเติมนมที่เพาะเชื้อลงไปแล้วนำไปหมัก เมื่อจะบริโภคผู้บริโภคต้องกวนให้โยเกิร์ตและผลไม้ผสมกันก่อนบริโภค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 **โยเกิร์ตชนิดกวน** (Stirred yoghurt)

โยเกิร์ตชนิดกวน (stirred yoghurt) คือ ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีการหมักให้นมตกตะกอนในถังหมักใหญ่ก่อนแล้วจึงนำโยเกิร์ตมาบรรจุในภาชนะที่จะใช้จำหน่าย ถ้าเป็นโยเกิร์ตผลไม้แบบกวน (stirred fruit yoghurt) ผู้ผลิตจะใส่ผลไม้ลงในภาชนะก่อน แล้วจึงเติมโยเกิร์ตที่หมักแล้วลงไป ผู้บริโภคยังคงต้องคนโยเกิร์ตกับผลไม้ให้ผสมกันก่อนบริโภค

2.1.3 **โยเกิร์ตผลไม้ชนิดสวิสสไตล์** (Swiss style fruit yogurt)

โยเกิร์ตผลไม้ชนิดสวิสสไตล์ (swiss style fruit yogurt) คือ ผลิภัณฑ์โยเกิร์ตชนิดที่เมื่อหมักนมจนเป็นโยเกิร์ตในถังหมัก กวนและผสมผลไม้ลงไปในถังหมักกวนให้เข้ากันจากนั้นจึงนำโยเกิร์ตที่ผสมผลไม้กวนมาบรรจุใส่ภาชนะที่จะใช้จำหน่าย ผู้บริโภคไม่ต้องคนโยเกิร์ตผสมกับผลไม้กวนอีก

2.1.4 **นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม** (Drinking yoghurt or yoghurt drinking)

นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม (drinking yoghurt หรือ yoghurt drinking) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเอาโยเกิร์ตที่หมักในถังมาเจือจางด้วยน้ำเชื่อม หรือน้ำผลไม้ แล้วปรุงแต่โดยเติมสารเจือปนอาหาร เช่น สี กลิ่นผลไม้ และสารเสริมความคงตัว เป็นต้น ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหลว

2.2 **คุณประโยชน์ของโยเกิร์ต**

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่ได้รับการยกย่องให้มีชื่อว่า อาหารมหัศจรรย์ (miracle food) สำห รับเด็กวัยรุ่น ผู้สูงอายุ ผู้ที่ต้องการรักษาทรวดทรง ผู้รักษาสุขภาพหรือผู้ที่สนใจอาหารธรรมชาติ Fuller (1991) สรุปคุณประโยชน์ของโยเกิร์ตแบ่งออกเป็น 3 ข้อใหญ่ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1 คุณประโยชน์ทางโภชนาการ (Nutrition value)

โยเกิร์ตเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่มีพลังงานและไขมันต่ำ (จำแนกตามปริมาณไขมันนม) อุดมด้วยแคลเซียมและโปรตีนที่มีคุณภาพดี ซื่อเคซีน (casein) และโปรตีนเวย์ (whey protein) ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นและกรดอะมิโนอิสระหลายชนิด จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตกับนม พบว่า โยเกิร์ตมีปริมาณโปรตีนสูงกว่านม เนื่องจากส่วนประกอบที่เติมลงไปในนมหรือในโยเกิร์ตโดยตรงและผลอันเนื่องจากการหมักของจุลินทรีย์โยเกิร์ต

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ตและนม

องค์ประกอบ	นม		โยเกิร์ต		
(หน่วย /100 กรัม)	ครีมนม	หางนม	ไขมันเต็ม	โยเกิร์ตไขมันต่ำ	โยเกิร์ตผลไม้
แคลอรี่	67.5	36	72	64	98
โปรตีน(กรัม)	3.5	3.3	3.9	4.5	5.0
ไขมัน(กรัม)	4.25	0.13	3.4	1.6	1.25
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	4.75	5.1	4.9	6.5	18.6
แคลเซียม(มิลลิกรัม)	119	121	145	150	176
ฟอสฟอรัส(มิลลิกรัม)	94	95	114	118	153
โซเดียม(มิลลิกรัม)	50	52	47	51	-
โปแตสเซียม(มิลลิกรัม)	152	145	186	192	254

ที่มา : Tamime and Deeth Tamine, 1980

2.2.2 คุณสมบัติด้านการย่อย (Digestibility)

โยเกิร์ตย่อยได้ง่ายกว่านมทั้งในส่วนของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากปัจจัยดังนี้

โปรตีน : ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีความเป็นกรดสูง ลักษณะของลิ่มนมเคซีนมีลักษณะค่อนข้างนุ่มและมีขนาดเล็ก การเพิ่มการหลั่งเอนไซม์ในการย่อยของต่อมน้ำลายเมื่อถูกกระตุ้นด้วยอนุภาคของลิ่มนม และผลการให้ความร้อนและการย่อยของจุลินทรีย์แลคติคทำให้ปริมาณเปปไทด์และกรดอะมิโนอิสระเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คาร์โบไฮเดรต : ในระหว่างกระบวนการผลิตโยเกิร์ตจุลินทรีย์แลคติคในโยเกิร์ตได้ย่อยแลคโทสให้เป็นกรดแลคติค ไปก่อนแล้วเกือบครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมด แลคโทสส่วนที่เหลือจุลินทรีย์ก็ทำการย่อยต่อจนได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ กลูโคสและกาแลคโทส ซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสู่ลำไส้เล็กได้

2.2.3 การนำโยเกิร์ตมาใช้ในด้านโภชนาการบำบัด (Therapeutic use)

ชาวบุลกาเรีย ตุรกี และอามิเนียนเชื่อกันว่าการมีสุขภาพดีอายุยืนและ เนื่องจากรับประทานโยเกิร์ตเป็นประจำ ความเชื่อนี้มีความเป็นไปได้ แต่มิใช่เพียงการบริโภคโยเกิร์ตเพียงอย่างเดียวเท่านั้น อาจรวมไปถึงการบริโภคอาหารหมักพื้นเมืองซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์แลคติคเป็นกล้าเชื้อหมักอยู่ด้วย ทั้งนี้ Ei Metchnikoj เป็นผู้บุกเบิกการประเมินผลของโยเกิร์ตอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ในด้านการนำมารักษาโรค โดยเขียนไว้ในหนังสือ "The prolongation life" ว่าอาการไม่สบายต่างๆที่เกิดขึ้นสามารถบรรเทาได้ด้วยการบริโภคโยเกิร์ตเป็นประจำ (Feller, 1991) การนำโยเกิร์ตมาใช้ในด้านโภชนาการบำบัดมีหลายกรณี เช่น การปรับสมดุลย์ของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ การที่ระบบทางเดินอาหารมีอาการผิดปกติ โรคแพ้น้ำตาลนม โรคกระดูกพรุน การลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด การต่อโรคต้านมะเร็ง เป็นต้น (Scheinbach, 1998)

ผู้บริโภคโยเกิร์ตในปัจจุบันนี้ได้ให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เสริมจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติคเพื่อทำหน้าที่ป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์อื่นที่บุกรุก ช่วยเสริมสร้างหรือซ่อมแซมระบบทางเดินอาหารส่วนที่บกพร่องของผู้บริโภค สายพันธุ์ที่ใช้เป็นโพรไบโอติคส่วนใหญ่พบในลำไส้ใหญ่ของคนหรือสัตว์ ซึ่งมีความจำเพาะและยึดเกาะเยื่อบุผิวของเนื้อเยื่อและมีปฏิกิริยาออกฤทธิ์ได้เฉพาะที่ดีกว่าจุลินทรีย์ที่มาจากแหล่งอื่น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งดังกล่าวได้รับสมญาว่าเครื่องดื่มสำหรับคนรุ่นที่ 3 (Beverage of third generation) (Oberman and Libudzisz, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อโพรไบโอติค

การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อโพรไบโอติคซึ่งเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ต้องไม่เป็นจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และไม่สร้างสารพิษหรือสารก่อมะเร็ง (Kalantzopoulos, 1997) โดยมีคุณสมบัติและหน้าที่ของเชื้อโพรไบโอติคทั่วไปที่ใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารหมัก ที่ดีควรมีความสามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรดของน้ำย่อย ทนต่อน้ำดีที่ลำไส้เล็ก สามารถยึดเกาะกับเยื่อบุผิวภายในลำไส้ได้ มีความต้านทานต่อยาปฏิชีวนะ ซึ่งมีความต้านทานต่อผู้ป่วยที่ใช้ยาปฏิชีวนะ ส่งเสริมโภชนาการของผู้บริโภคได้ทางใดทางหนึ่ง ป้องกันการเจริญของพวกเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคโดยการผลิตกรดแลคติค กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลแลคโทสและยับยั้งการเกิดเอนไซม์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสารพิษหรือสารก่อมะเร็ง (Fuller, 1991; Alander et al., 1999; Gomes and Matcata, 1999)

2.3.1 เชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติคที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นมหมัก

เชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติคที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นมหมัก ได้แก่ เชื้อแบคทีเรียในจีนัส *Lactobacillus, Enterococcus* และ *Bifidobacterium*

เชื้อแบคทีเรียในจีนัส *Lactobacillus* ที่จัดเป็นเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติค ได้แก่ *L. Lacidophillus, L. crispatus, L. amylovorus, L. gallinarum, L. gasseri, L. johnsonii, L. casei, L. paracasei, L. ramnosus, L. reuteri* และ *L. fermentum* เชื้อแบคทีเรียในจีนัส *Enterococcus* ที่จัดเป็นเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติค ได้แก่ *Ec. Faecium* และ *Ec. Faecalis* ซึ่งเชื้อทั้งสองชนิดแต่เดิมจัดอยู่ในจีนัส *Streptococcus* เชื้อแบคทีเรียในจีนัส *Bifidobacterium* เกือบทุกชนิดจัดเป็นเชื้อโพรไบโอติค เชื้อสำคัญที่ใช้ในปศุสัตว์และคน คือ *B. longum, B. bifidum* และ *B. infantis* (Naidu et al., 1999)

Nakazawa and Hosono (1992) ได้รวบรวมชนิดเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นในผลิตภัณฑ์นมหมักที่ใช้ในปัจจุบัน ดังตารางที่ 2 ซึ่งเชื้อ *Bifidobacterium* spp. มีวัตถุประสงค์ในการเติมลงในผลิตภัณฑ์นมหมักเพื่อส่งเสริมสุขภาพ ส่วนเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* เพื่อช่วยในด้านการสร้างกลิ่นรสเฉพาะตัวในผลิตภัณฑ์นมหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นมหมัก

ชนิดของเชื้อ	หน้าที่หลัก	ชนิดของผลิตภัณฑ์
Lactobacilli		
L. bulgaricus	กลิ่นรส	โยเกิร์ต, คีเฟอร์, คูมิสส์
L. jugurti	กลิ่นรส	โยเกิร์ต
L. acidophilus	กลิ่นรสและสุขภาพ	โยเกิร์ต, นมอะซิโดฟิลัส
L. casei	กลิ่นรสและสุขภาพ	นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม
Bifidobacteria		
B. bifidum	สุขภาพ	โยเกิร์ต, นมบิฟิดัส
B. infantis	สุขภาพ	โยเกิร์ต, นมบิฟิดัส
B. breve	สุขภาพ	โยเกิร์ต, นมบิฟิดัส
B. longum	สุขภาพ	โยเกิร์ต, นมบิฟิดัส
Streptococci		
S. thermophilus	กลิ่นรส	โยเกิร์ต
S. lactic	กลิ่นรส	โยเกิร์ต
S. cremoris	กลิ่นรส	โยเกิร์ต

ที่มา : Nakazawa and Hosono , 1992

2.4 ข้าวกล้อง

ข้าวกล้อง (Cargo rice, Loozain rice, Brown rice, Husked rice) เป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการเทาะเปลือก (แกลบ) ออกเพียงเท่านั้น ไม่ได้ผ่านขบวนการขัดสี ซึ่งยังมี จมูกข้าว (embryo) และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหรือรำอยู่ ส่วนสีของข้าวกล้องจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มผล โดยจะมีสีต่างๆ กัน ตั้งแต่ น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงเกือบดำ ข้าวกล้อง ที่มีสีแดงและม่วง จะมีสารพวกเม็ดสีแอนโทไซยานินอยู่จึงทำให้ข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอยู่สูง (ทวีทอง, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1 **ส่วนประกอบของข้าวกล้อง**

ข้าวกล้องมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ (วีระศักดิ์, 2543)

- เยื่อหุ้มผล (pericarp หรือ fruit coat) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกันคือ epicarp, mesocarp และ endocarp เยื่อหุ้มผลมีลักษณะเป็นเส้นใยผนังเซลประกอบด้วย โปรตีน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส
- เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไปประกอบด้วย เนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถว ในส่วนของเนื้อเยื่อทั้งสองชั้นนี้ประกอบด้วยโปรตีน แร่ธาตุ มีเพนโทแซน เซลลูโลส และไขมัน (fatty material)
- เยื่ออาลูโรน (aleurone layer) อยู่ถัดมาจากเยื่อหุ้มเมล็ด ห่อหุ้มในส่วนของเนื้อเมล็ดของข้าวสาร และ คัพภะ (embryo) เยื่ออาลูโรนมีโปรตีนสูง นอกจากนี้ยังประกอบด้วยน้ำมัน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส
- ส่วนที่เป็นแป้ง (starchy endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสารอยู่ชั้นในสุดของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ และมีโปรตีนอยู่บ้าง แป้งในเมล็ดข้าวมี 2 ชนิดคือ อมัยโลเพคติน ซึ่งเป็น โพลีเมอร์ของ ดี-กลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นแขนง และอมัยโลส ซึ่งเป็น โพลีเมอร์ของ ดี-กลูโคส ที่ต่อกันแบบไม่มีแขนง ส่วนประกอบของแป้งทั้งสองชนิดนี้มีสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดของข้าว ในข้าวเหนียวจะมีอมัยโลส อยู่ประมาณร้อยละ 0-2 ส่วนที่เหลือเป็นอมัยโลเพคติน ส่วนในข้าวเจ้ามีปริมาณอมัยโลสมากกว่าข้าวเหนียว คือ ประมาณร้อยละ 7-33 ของน้ำหนักข้าวสาร
- คัพภะ (embryo) อยู่ติดกับเนื้อเมล็ดทางด้านเลมมาเป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นต่อไป คัพภะ ประกอบด้วยต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) คัพภะเป็นส่วนที่มีโปรตีนและไขมันสูง

เมื่อพิจารณาจากส่วนประกอบของข้าวกล้องทั้ง 5 ส่วนดังกล่าวแล้วจะพบว่าในชั้นของเยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มเมล็ด ในส่วนนี้จะอุดมไปด้วยโปรตีน ไขมันเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ส่วนชั้นเยื่ออาลูโรน จะมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสอยู่มาก ดังนั้นในการบริโภคข้าวกล้องจะสังเกตพบว่าเนื้อสัมผัสมักจะกระด้างกว่าข้าวสาร ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนในเมล็ดข้าวกล้องจากส่วนของเยื่ออาลูโรน นี้เป็นส่วนช่วยขัดขวางน้ำจากภายนอกไม่ให้ซึมผ่านเข้าไปภายในเมล็ดเวลาหุงข้าวกล้องจึงต้องใช้เวลาในการหุงต้มให้สุกนานกว่าการหุงต้มข้าวสารธรรดาเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง

เมล็ดข้าวกล้องนั้น มีองค์ประกอบคุณค่าทางด้านอาหารและโภชนาการอยู่มากมาย เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และเถ้า ส่วนวิตามินที่พบในข้าวกล้องได้แก่ วิตามินบี1 วิตามินบี 2 และวิตามินบี 5 แร่ธาตุต่างๆ เช่น แมกนีเซียม แมงกานีส สังกะสี โคบอลท์ ทองแดง ซิลิเนียม ไอโอดีน กรดแพนโธธินิค และกรดโฟลิค (อรอนงค์, 2534; เยาวภา และ วราพร, 2542)

2.4.2.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่พบในข้าวกล้องแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แป้ง เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และน้ำตาลอิสระ โดยที่แป้งมีปริมาณสูงสุดประมาณร้อยละ 77-87 เฮมิเซลลูโลส พบมากในรำละเอียด รำข้าวขาว และจมูกข้าว พบเล็กน้อยในข้าวขาว ข้าวกล้องมีเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 1.43-2.08 ข้าวขาวมีร้อยละ 0.61-1.09 รำละเอียดมีร้อยละ 8.59-10.90 และรำข้าวขาวมีร้อยละ 3.15-6.01 นอกจากนี้ยังพบแพนโตแซนในจมูกข้าวร้อยละ 4.80-7.40 เซลลูโลสส่วนใหญ่อยู่ในชั้นรำ ปริมาณที่พบในชั้นรำละเอียดร้อยละ 62 จมูกข้าวร้อยละ 4 รำข้าวขาวร้อยละ 7 และข้าวขาวร้อยละ 27 ส่วนน้ำตาลอิสระพบมากในจมูกข้าวและเนื้อแป้ง ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส ราฟิโนส กลูโคส มอลโทส และฟรุคโทสเล็กน้อย ข้าวกล้องมีน้ำตาลอิสระร้อยละ 0.83-1.36 และข้าวขาวมีร้อยละ 0.09-0.13

2.4.2.2 โปรตีน

โปรตีนส่วนของข้าวกล้องจะมีอยู่หนาแน่นบริเวณขอบนอกของเมล็ดและจะค่อยๆ เบาบางลงเมื่อลึกเข้าไปในกึ่งกลางเมล็ด โปรตีนในเมล็ดข้าวสามารถแยกตามคุณสมบัติการละลายออกเป็น 4 ชนิด คือ อัลบูมิน (albumins) มีคุณสมบัติละลายในน้ำ โกลบูลิน (globulins) ละลายในน้ำเกลือ โพรลามิน (prolamins) ละลายในแอลกอฮอล์ และกลูเตลิน (glutelins) ละลายในกรดหรือด่างเจือจาง ในเมล็ดข้าวกล้องมีปริมาณกลูเตลินในอัตราส่วนที่สูงกว่าโปรตีนชนิดอื่นๆ และในส่วนของกลูเตลินนี้ประกอบด้วยไนโตรเจนอยู่ร้อยละ16.8 ข้าวกล้องแม้จะมีโปรตีนน้อยกว่าธัญชาติอื่น แต่โปรตีนที่มีอยู่ก็มีคุณค่าทางชีวภาพ (biological value) และมีค่า net protein utilization สูงกว่าโปรตีนของธัญชาติอื่น รวมทั้งมีปริมาณไลซีนสูงกว่าธัญชาติอื่นอีกด้วยนอกจากนั้นยังสามารถย่อยโปรตีนได้สมบูรณ์ การที่โปรตีนของข้าวย่อยได้ดี อาจเนื่องจากข้าวมีแทนนินต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.3 **ไขมัน**

ไขมันของข้าวกล้องมีประมาณร้อยละ 1.6 – 2.8 และในส่วนของไขมันนี้ประมาณร้อยละ 80 อยู่ในรำ ไขมันจากทุกส่วนของเมล็ดจะมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน ไม่ว่าจะสกัดจากข้าวเหนียว หรือข้าวเจ้า กรดไขมันส่วนใหญ่เป็น กรดโอเลอิก (oleic) ลิโนเลอิก (linoleic) และพาลมิติก (palmitic) ไขมันของข้าว มีสาร antioxidant อยู่คือ โอรีซานอล (oryzanol) และประเภทวิตามินอี โทโคฟีรอล (tocopherol) สารนี้จะช่วยระงับปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน ทำให้น้ำมันที่สกัดได้คงอยู่ หรืออยู่ได้นานโดยไม่หืน นอกจากนี้ทั้งโอรีซานอลและโทโคฟีรอล ยังช่วยเร่งการเจริญเติบโต การไหลเวียนของโลหิตและการหลั่งฮอร์โมนของร่างกาย

2.4.2.4 **วิตามิน**

วิตามินอาหารที่จำเป็นในการบำรุงสมอง และระบบประสาทคือ น้ำตาลในเลือดหรือกลูโคส ซึ่งจะได้จากอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต และตัวสำคัญที่จะช่วยทำให้อาหารพวกคาร์โบไฮเดรต กลายเป็นกลูโคสคือ วิมามินบีต่างๆ คือ บี 1 บี 12 และวิตามินบีรวม (B complex) ในเมล็ดข้าว เกือบจะไม่มีหรือขาดวิตามินต่างเช่น วิตามินซี วิตามินดี และวิตามินบี12 เช่นเดียวกับธัญชาติอื่นๆ สำหรับวิตามินบี1 หรือไทอะมีน และวิตามินบี 2 หรือไรโบฟลาวิน นับว่ามีน้อย แต่มีวิตามินบี 5 หรือไนอะซินมากพอสมควร วิตามินเหล่านี้มีความหนาแน่นตามบริเวณผิวของเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าวเป็นข้าวสาร ซึ่งเหลือแต่เนื้อเมล็ดจึงทำให้สูญเสียวิตามินไป

2.5.5 **เกลือแร่**

เกลือแร่ของข้าวมีปริมาณไม่คงที่ แตกต่างกันไปตามลักษณะของดินที่ใช้ปลูกและวิธีวิเคราะห์เกลือแร่ เกลือแร่ร้อยละ 51 อยู่ในรำละเอียด ร้อยละ 10 อยู่ในรำข้าวขาว และร้อยละ 28 อยู่ในข้าวขาว แร่ธาตุที่พบมีฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม คลอรีน ซิลิคอน โซเดียม และเหล็ก แร่ธาตุที่พบมากที่สุดแมกนีเซียม โปแตสเซียม และซิลิคอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารอาหารในข้าวกล้องมีประโยชน์ต่อร่างกายดังนี้ (กองโภชนาการ, 2535)

- วิตามินบี 1 ในข้าวกล้องมีมากกว่าข้าวขาวประมาณ 4 เท่า ถ้ารับประทานข้าวกล้องเป็นประจำจะสามารถป้องกันโรคเหน็บชา (Beri-Beri) ได้
- วิตามินบี 2 ป้องกันโรคปากนกกระจอก (Angular Stomatitis)
- วิตามินบีรวม จะป้องกันและบรรเทาอาการอ่อนเพลียและขาไม่มีแรง อาการปวดแสบและเสียวในขา ปวดน่อง ปวดกล้ามเนื้อ โรคผิวหนังบางชนิด โรคปลายประสาทอักเสบ โรคเกี่ยวกับระบบทางเดินประสาทบางชนิด ยังช่วยบำรุงสมอง และเจริญอาหาร
- ธาตุเหล็ก ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง
- ฟอสฟอรัส ช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน
- ทองแดง ช่วยในการสร้างเม็ดโลหิต และฮีโมโกลบิน
- เกลือแร่และวิตามิน ต่างๆ ช่วยในการทำงานของอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย และเสริมสร้างร่างกายให้สมบูรณ์
- ไขมัน ให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย
- กากอาหาร ป้องกันโรคท้องผูกและมะเร็งลำไส้ใหญ่
- โปรตีน ช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ
- คาร์โบไฮเดรต ให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย

และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารของข้าวกล้องและข้าวขาวพบว่า ข้าวกล้องมีคุณค่าทางอาหารมากกว่าข้าวขาว ดังแสดงในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องและข้าวขาว

สารอาหาร	ข้าวกล้อง (100 กรัม)	ข้าวขาว(100กรัม)
โปรตีน(กรัม)	7.6	6.4
คาร์โบไฮเดรต(กรัม)	75.1	79.4
ไขมัน(กรัม)	2	0.8
ใยอาหาร(กรัม)	2.1	0.7
วิตามิน		
บี 2(มิลลิกรัม)	0.34	0.07
บี 3(มิลลิกรัม)	0.05	0.03
ไนอะซีน(มิลลิกรัม)	0.62	0.62
กรดเพนโธเธนิค(มิลลิกรัม)	1.5	0.22
กรดโฟลิค(มิลลิกรัม)	20	0.36
เกลือแร่		
เหล็ก(มิลลิกรัม)	1.6	0.8
แคลเซียม(มิลลิกรัม)	32	24
แมกนีเซียม(มิลลิกรัม)	52	14
แมงกานีส(มิลลิกรัม)	1.5	0.9
สังกะสี(ไมโครกรัม)	1.9	1.5
โคบอลท์(ไมโครกรัม)	4.2	0.9
ทองแดง(ไมโครกรัม)	360	230
ซิลิเนียม(ไมโครกรัม)	38.8	31.8
ไอโอดีน(ไมโครกรัม)	2.2	2

ที่มา : กองโภชนาการ, 2535

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้อง

ปัจจุบันได้มีการนำข้าวกล้องมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์และมีการวางจำหน่ายตามท้องตลาด เช่น น้ำข้าวกล้องผสมน้ำผึ้ง ข้าวกล้องผง และเส้นก๋วยเตี๋ยวจากข้าวกล้องเป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะช่วยในด้านการเพิ่มมูลค่าของข้าวและยังเป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์อาหาร ในต่างประเทศก็ได้ให้ความสนใจต่อการนำสินค้าเกษตรเช่น ถั่วเหลือง มอลท์ ข้าวโอต ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ และข้าว มาผลิตในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อผลิตเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) และสารประกอบในอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food ingredients) ซึ่งเป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่ให้ความสนใจในอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น เชื้อโพรไบโอติคที่เดิมมีการใช้เฉพาะกับอาหารประเภทผลิตภัณฑ์นมก็เริ่มมีการนำมาใช้ในการเพิ่มคุณประโยชน์ให้กับอาหารประเภทธัญชาติ เพื่อที่จะได้อาหารที่มีทั้งในส่วนของสารอาหารของเชื้อโพรไบโอติค (prebiotic) และเชื้อโพรไบโอติค ซึ่งจะช่วยให้มีการเจริญที่สมบูรณ์ของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ของผู้บริโภค โดยในปี 1992 Mork ได้ศึกษาการนำข้าวมาใช้ในการหมักโดยเชื้อแบคทีเรียแลคติค (lactic acid bacteria) 2 ชนิด คือ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* เชื้อทั้งสองชนิดนี้จะช่วยในด้านการเพิ่มกลิ่นรสและสารอาหารให้แก่ข้าวแต่จุลินทรีย์ทั้งสองไม่มีเอนไซม์อมัยเลสที่จำเป็นสำหรับการย่อยแป้งในข้าว ดังนั้นในการหมักข้าวควรจะเติมเอนไซม์อมัยเลสก่อนหรือระหว่างการหมัก

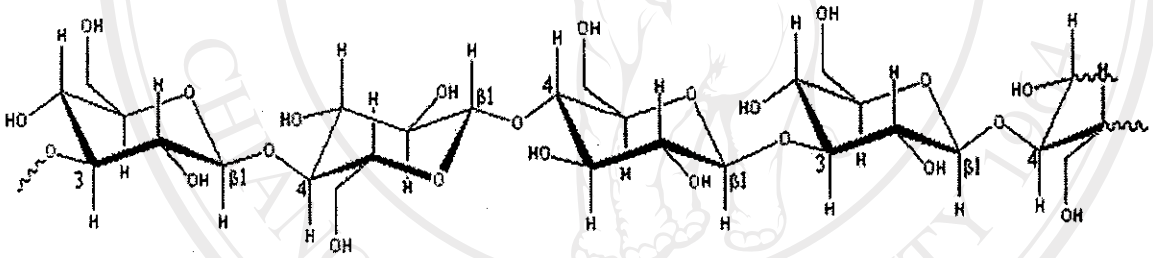
2.6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

โดยปกติการผลิตโยเกิร์ตจะเติมเชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrucckii bulgaricus* (Dave and Shah, 1997) ลงไปเพื่อทำให้เกิดกระบวนการหมักที่มีกลิ่นรสที่ดี แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคได้ในความสนใจในอาหารเพื่อสุขภาพ จึงได้มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มของโพรไบโอติคเติมลงไปในโยเกิร์ตเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ให้แก่ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติคซึ่งได้รับความสนใจสำหรับการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตคือ *Lactobacillus acidophilus* *Lactobacillus cascei* และ *Bifidobacterium* spp. (Gomes and Malcata, 1999)

ศึกษาการใช้ข้าวกล้องเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตโยเกิร์ตเพื่อเป็นอาหารสุขภาพ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของข้าวกล้อง (ตารางที่3) พบว่ามีคาร์โบไฮเดรต เป็นส่วนประกอบหลักซึ่งเหมือนกับธัญชาติทั่วไปที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และมีงานวิจัยของ Garro และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คณะ (2001) ศึกษาการเจริญของเชื้อแลคติคแบคทีเรียในนมถั่วเหลือง โดยเลือกศึกษาเชื้อ *Lactobacillus fermentum* CRL 251 และ *Bifidobacterium longum* CRL 849 พบว่าเชื้อ *Bifidobacterium longum* CRL 849 สามารถเจริญได้ดีกว่าเชื้อ *Lactobacillus fermentum* CRL 251 นอกจากนั้นยังมีรายงานถึงองค์ประกอบของ β -glucan (ภาพที่ 1) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเส้นใยอาหารที่ร่างกายย่อยไม่ได้ (dietary fiber) โดยมีลักษณะโครงสร้างเป็นโพลีเมอร์ของ (1→4) และ (1→3) เบต้า-ดี-กลูโคไพราฟิโนส ที่ต่อกันแบบไม่มีแขนง มีอยู่ในข้าวโอต ข้าวบาร์เลย์และข้าว โดยมีปริมาณ β -glucan อยู่ในช่วงร้อยละ 3 – 11 ของน้ำหนักแห้ง โดยที่เชื้อ *Bifidobacterium* spp. มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ α- และ β- galactosidase จึงทำให้สามารถใช้ β -glucan สำหรับในการเจริญได้ (Webb et al., 2002) จากการศึกษารายงานวิจัยต่างๆ จึงเลือกใช้เชื้อโพรไบโอติคในกลุ่ม *Bifidobacterium* spp. สำหรับเพิ่มคุณประโยชน์ในโยเกิร์ตข้าวกล้อง เชื้อ *Streptococcus thermophilus* และเชื้อ *Lactobacillus delbrucckii bulgaricus* สำหรับการสร้างกลิ่นรสเฉพาะของโยเกิร์ตข้าวกล้อง



ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของ β -glucan

ที่มา : http://www.lsbu.ac.uk/water/hygly.html

2.6.1 *Bifidobacterium* spp.

2.6.1.1 ลักษณะสัณฐานและคุณสมบัติทางชีวเคมี

พบ Bifidobacteria เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1899 โดย Henry Tissier แห่งสถาบันห้องปฏิบัติการปาสเตอร์ (Pasteur Laboratory) ในอุจจาระของเด็ก *Bifidobacterium* spp. เป็นแบคทีเรียแกรมบวก (gram-positive) ย้อมสี acid fast ไม่ติด เคลื่อนที่ด้วยตัวเองไม่ได้ (non-motile) และไม่สร้างสปอร์ (non-spore forming) ลักษณะเซลล์เป็นรูปแท่งที่มีหลายรูปแบบ เช่น แท่งสั้น แท่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปกติ เซลล์ผอมหรือมีปลายแหลม (pointed end) และยังจัดเป็นแบคทีเรียประเภทไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ไม่เจริญในสภาพที่มีออกซิเจน เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 37-41 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำที่สุดที่สามารถเจริญได้คือ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถเจริญได้คือ 45 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เหมาะสมในการเจริญคือ 6.5-7.0 ไม่เจริญที่ค่าความเป็นกรดด่าง 4.5-5.0 หรือ 8.0-8.5 สามารถหมักน้ำตาลกลูโคสให้เป็นกรดอะซิติค และกรดแลคติค ในอัตราส่วน 3:2 ไม่สังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ (Arunachalam, 1999)

สำหรับเชื้อ *Bifidobacterium* spp. ที่นำมาใช้ในการผลิตและโภชนาการบำบัดในผลิตภัณฑ์นมมีเพียง 5 สายพันธุ์ คือ *B. adolescentis B. bifidum B. breve B. infantis* และ *B. longum* การใช้เชื้อ *Bifidobacterium* spp ในผลิตภัณฑ์นมจะมีข้อได้เปรียบมากกว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์อื่นในผลิตภัณฑ์นมแทน *Bifidobacterium* spp. ทั้งนี้เนื่องจาก *Bifidobacterium* spp. สามารถสร้าง L- (+) – lactic acid ซึ่งร่างกายใช้ในระบบการเมแทบอลิซึมได้มากกว่า กรดแลคติคในรูป L- (-) - lactic acid ซึ่งเป็นกรดที่สร้างจากเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น เช่น *Lactobacillus acidophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* เป็นต้น และการที่ร่างกายมีการสะสมของ L- (-) - lactic acid มากเกินไปอาจทำให้ระบบร่างกายขาดสมดุลได้ นอกจากนั้น *Bifidobacterium* spp. ยังมีความแตกต่างจากเชื้อในกลุ่ม *Lactobacillus* spp. ในส่วนของกิจกรรมเปลี่ยนแปลง (metabolic activity) การใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรต โดยที่ *Bifidobacterium* spp. จะใช้ฟรุคโทส 6-ฟอสเฟต (fructose 6-phosephate pathway) สำหรับการหมักเฮกโซส (hexose fermentation)ในขณะที่ *Lactobacillus* spp. จะใช้กลูโคส 6-ฟอสเฟต (glucose 6-phosephate shunt) (Arunachalam, 1999)

Bifidobacterium spp. สามารถที่จะใช้น้ำตาลแลคโทสในกระบวนการหมักและเจริญได้ดีในนม โดย *B. adolescentis B. breve B. infantis* และ *B. longum* สามารถใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตได้อย่างหลากหลาย ส่วน *B. bifidum* สามารถใช้ประโยชน์จากฟรุคโทส กาแลคโทส และแลคโทส (Gomes and Malcata, 1999) ความสามารถในการหมักคาร์โบไฮเดรตและแอลกอฮอล์ของเชื้อ Bifidobacteria แสดงในตางรางที่ 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 การหมักคาร์โบไฮเดรตและแอลกอฮอล์ของเชื้อ Bifidobacteria

Species	D-Ribose	L-Arabinose	Lactose	Cellobiose	Melezitose	Raffinose	Sobitol	Gluconate
B. bifidum	-	-	+	-	-	-	-	-
B. longum	+	+	+	-	+	+	-	-
B. infantis	+	-	+	-	-	+	-	-
B. breve	+	-	+	d	d	+	d	-
B. adolescentis	+	+	+	+	+	+	d	+

ตารางที่ 4 (ต่อ) การหมักคาร์โบไฮเดรตและแอลกอฮอล์ของเชื้อ Bifidobacteria

Species	Xylose	Mannose	Fructose	Galactose	Sucrose	Maltose	Melibiose	Inulin
B. bifidum	-	-	+	+	d	-	d	-
B. longum	d	d	+	+	+	+	+	-
B. infantis	d	d	+	+	+	+	+	d
B. breve	-	+	+	+	+	+	+	d
B. adolescentis	+	d	+	+	+	+	+	d

สัญลักษณ์ + หมายถึง สายพันธุ์มากกว่าร้อยละ 90 เกิดปฏิกิริยาการหมัก

- หมายถึง สายพันธุ์มากกว่าร้อยละ 90 ไม่เกิดปฏิกิริยาการหมัก

d หมายถึง สายพันธุ์มากกว่าร้อยละ 15-89 เกิดปฏิกิริยาการหมัก

ที่มา : Scardovi, 1986

Bifidobacterium spp. เป็นจุลินทรีย์ที่แยกได้จากลำไส้ใหญ่ของมนุษย์ และ Bifidobacteria ต้องการวิตามินสำหรับในการเจริญ โดยเฉพาะวิตามิน B1 (thiamin) วิตามิน B6 (pyridoxine) วิตามิน B9 (folic acid) และวิตามิน B12 (cyanocobalamin) โดยการสังเคราะห์วิตามินนั้นจะขึ้นอยู่แต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 การสังเคราะห์วิตามินของ *Bifidobacterium* spp.

วิตามิน	จุลินทรีย์				
(µg/ml)	*B. adolescentis*	*B. bifidum*	*B. breve*	*B. infantis*	*B. longum*
Thiamin	0.02	0.23	0.09	0.2	0.09
Folic acid	0.01	0.058	0.008	0.040	0.02
Pyridoxine	0.043	0.046	0.2	0.059	0.42
Nicotine	0.17	1.04	0.39	1.23	0.61
Cyanocobalamin	0.35	0.65	0.49	0.39	0.46
Ascorbic acid	l.c.	n.s	l.c.	l.c.	l.c.
Biotin	l.c.	n.s	l.c.	l.c.	l.c.
Riboflavin	n.s.	n.s	n.s.	n.s.	n.s.

l.c. = ความเข้มข้นต่ำ n.s. = ไม่สังเคราะห์

ที่มา : Arunachalam, 1999

2.7.1.2 คุณประโยชน์ของเชื้อ *Bifidobacterium* spp.

เชื้อ *Bifidobacterium* spp. มีประโยชน์ต่อมนุษย์หลายประการได้แก่

- รักษาสมดุลของเชื้อจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหาร เช่นควบคุมการเจริญของเชื้อ Coliforms, Enterococci และ Clostridia ในทารกที่ได้รับน้ำนมจากแม่ เด็กที่มีปริมาณ Bifidobacteria สูงสามารถต้านทานต่อการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหารได้ดี (Huges and Hoover, 1991)

- การบรรเทาอาการแพ้น้ำตาลแลคโทส อันเนื่องมาจากร่างกายไม่ผลิตเอนไซม์ β-galactosidase ที่ย่อยน้ำตาลแลคโทส ซึ่งส่วนใหญ่เป็นในคนเชื้อชาติเอเชียและอาฟริกา การให้ผู้ทดสอบดื่มนมที่มีเชื้อ *Bifidobacterium* spp. อ ยู่พบว่า สามารถลดอาการแพ้น้ำตาลแลคโทสลงได้ (Salminen et al., 1998)

- การลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด โดยจากการศึกษาที่ให้หนูกิน Bifidobacteria แล้วพบว่าสามารถลดระดับของโคเลสเตอรอลในเลือดของหนูลงได้ (Huges and Hoover, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- การสังเคราะห์วิตามินบี โดย Bifidobacteria สามารถสังเคราะห์วิตามินบีได้หลายชนิด เช่น วิตามินบีหนึ่ง บีสอง และบีหก รวมทั้งวิตามินเค เมื่ออาศัยอยู่ในลำไส้วิตามินจะถูกดูดซึมอย่างช้าๆ เข้าสู่ร่างกาย (Huges and Hoover, 1991)
- การช่วยปรับปรุงการการดูดซึมโปรตีน โดยเชื้อ *Bifidobacterium* spp.มีกิจกรรมในส่วนของฟอสโฟโปรตีนฟอสเฟต (phosphoprotein phosphate activity) ที่ช่วยเพิ่มการดูดซึมโปรตีนโดยที่เกิดการย่อยเคซีนในนม (Arunachalam, 1999)
- ต่อต้านการเกิดเนื้องอก (Anti-tumerigenic activity) และต่อต้านการเกิดสารก่อมะเร็ง (Anti-carcinogenic activity) ซึ่ง Bifidobacteria มีทั้งการกำจัดสารก่อมะเร็งทั้งทางตรงและทางอ้อม การกำจัดสารก่อมะเร็งทางตรงเช่น การลดปริมาณสารไนโตรซามีน (nitrosamine) ของ *B. breve* ส่วนการกำจัดทางอ้อมได้แก่ การลดแหล่งของสารตั้งต้นการเกิดมะเร็ง (procarcinogenic) หรือลดปริมาณเอนไซม์ที่สร้างสารก่อมะเร็ง หรือควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์สารเหล่านี้ (Huges and Hoover, 1991)
- มีคุณสมบัติเป็นสารปฏิชีวนะ(antibiotic) โดยได้มีการศึกษาการทดลองถึงกิจกรรมในการต่อต้านพวกจุลินทรีย์ก่อโรค พบว่าเชื้อ *Bifidobacterium* spp.มีผลในการต่อต้านเชื้อโรค เช่น *E. Coli, Staphylococcus aureus, Shigella dysenteriae, Salmonella typhi, Proteus* spp. และ *Candida albicans*. (Ferrari et al., 1980)

2.6.1.3 ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เชื้อ Bifidabacteria เป็นส่วนประกอบ

มีผลิตภัณฑ์นมมากกว่า 70 ชนิดที่มีการใช้เชื้อ Bifidabacteriaเป็นส่วนประกอบ ผลิตภัณฑ์นมที่กล่าวถึงได้แก่ ครีมเปรี้ยว เนยเหลว โยเกิร์ต และไอศรีมโยเกิร์ต จากการสำรวจ Reuter (1990) ในประเทศเยอรมันนี ญี่ปุ่น และฝรั่งเศษ พบว่า มีการใช้ *Bifidobacterium longum* ในผลิตภัณฑ์นมหมักกันอย่างกว้างขวางในเยอรมันนีโดยส่วนมากมีการใช้ *Bifidobacterium longum* ร่วมกับ *Streptococcus thermophilus* เนื่องจากการใช้ *Streptococcus thermophilus* ร่วมกับ *Bifidobacterium longum* ทำให้อัตราการรอดของเชื้อ *Bifidobacterium longum* หลังกระบวนการหมักอยู่สูงและมีการผลิตกรดในผลิตภัณฑ์ได้ดี ส่วนในประเทศญี่ปุ่นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เชื้อ Bifidabacteria กำลังได้รับความนิยมและเป็นผลิตภัณฑ์ที่ครองตลาดของญี่ปุ่น โดยผลิตภัณฑ์นมที่มีเชื้อ Bifidabacteria มีส่วนแบ่งการตลาดถึง 1 ใน 3 ของผลิตภัณฑ์นมทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากการนั้นยังมีผลิตภัณฑ์ Bifidus Yoghurt ที่มีการใช้ Mixed starter culture ของ *Bifidobacterium longum* และหรือ *Bifidobacterium bifidum* ร่วมกับเชื้อโยเกิร์ต (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีการใช้เชื้อ Bifidabacteria

ผลิตภัณฑ์/ ประเทศ	ปีที่ออกจำหน่าย	เชื้อที่ใช้ในผลิตภัณฑ์
Biogarde/เยอรมันนีตะวันตก	1968	*Bifidobacterium, S. thermophilus, L. acidophillus*
Lunebest-Spezial Yoghurt/ เยอรมันนีตะวันตก	1969	*Bifidobacterium, S. thermophilus, L. acidophillus, L. bulgaricus*
Biokyss/เชโกสโลวะเกีย	1977	*Bifidobacterium, Pediococcus acidilacti, L. acidophillus*
Cultura/เดนมาร์ก	1983	*Bifidobacterium, L. acidophillus*
Bifighurt/เยอรมันนีตะวันตก	1983	*Bifidobacterium, S. thermophilus*

ที่มา : Nakazawa and Hosono, 1992

2.6.2 **เชื้อโยเกิร์ต**

2.6.2.1 **ลักษณะสัณฐานและคุณสมบัติทางชีวเคมี**

เชื้อโยเกิร์ตประกอบไปด้วย *Lactobacillus delbrucckii bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ลักษณะรูปร่าง *Lactobacillus delbrucckii bulgaricus* เซลล์มีลักษณะเป็นท่อน เซลล์อาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว เป็นคู่ หรือเป็นสายสั้นๆ เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่ชอบอุณหภูมิสูง ส่วน *Streptococcus thermophilus* เป็นแบคทีเรียรูปร่างกลม จัดเรียงตัวเป็นคู่หรือโซ่ เจริญที่อุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซียส (วราวุฒิ และ รุ่งนภา, 2532)

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีลักษณะข้นหนืดจากการตกตะกอนของเคซีน เนื่องจากกรดแลคติคและจากผลของเอนไซม์โปรตีเอส โดยกรดแลคติคได้จากการหมักน้ำตาลแลคโทสของเชื้อโยเกิร์ต โยเกิร์ตมีความเป็นกรดค่อนข้างสูงและมีจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตอยู่ในปริมาณสูง (Tamime และ Robinson, 1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หัวเชื้อเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตโยเกิร์ต ลักษณะที่ต้องการของหัวเชื้อโยเกิร์ต คือ ปลอดจากการปนเปื้อน เจริญได้ดีในส่วนผสมของนมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต ให้กลิ่นรสที่ต้องการ ให้ลักษณะเนื้อที่ดี และต้านทานต่อ phages และสารปฏิชีวนะ ในการสร้างกลิ่นรสและลักษณะของเนื้อสัมผัส ต้องใช้หัวเชื้อผสมของ *L. bulgaricus* และเชื้อ *S. thermophilus* ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้จำนวนหัวเชื้อทั้งสองชนิดนี้ในอัตราส่วนที่เท่ากัน โดยแบคทีเรียทั้งสองนี้จะมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพากันที่เรียกว่า symbiosis ดังนั้นในการผลิตโยเกิร์ตต้องควบคุมสภาวะเพื่อให้ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่สมดุลกัน

การพึ่งพาอาศัยกันของจุลินทรีย์ในหัวเชื้อโยเกิร์ตมีลักษณะการเจริญ คือที่อุณหภูมิการหมัก 40 องศาเซลเซียส เชื้อ *S. thermophilus* จะเจริญได้ดีและสร้าง diacetyl และสารประกอบที่คล้ายกันซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของโยเกิร์ตในผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นเชื้อ *S. thermophilus* นี้จะช่วยกำจัดออกซิเจนออกจากนมซึ่งถ้าหากเหลืออยู่อาจก่อให้เกิดไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ การเจริญของเชื้อ *S. thermophilus* จะดำเนินต่อไปจนกระทั่งความเป็นกรดถึง pH 5.5 จะมีสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเชื้อ *L. bulgaricus* จึงทำ *L. bulgaricus* เจริญต่อจาก *S. thermophilus* ในช่วงหลังของการผลิตโยเกิร์ต เชื้อ *L. bulgaricus* มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญที่ 45 องศาเซลเซียสและให้ปริมาณกรดแลคติคที่มากพอที่จะสร้าง acetaldehyde ซึ่งให้กลิ่นรสเฉพาะของโยเกิร์ตได้ โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสดีจะมีปริมาณ acetaldehyde อยู่ 23-41 พีพีเอ็ม คิดเป็นสัดส่วนของสารประกอบที่ให้กลิ่น(volatile flavour compound) ถึง 90% นอกจากนี้แล้วเชื้อ *L. bulgaricus* ยังสร้างกรดอะมิโนบางตัวที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อ *S. thermophilus* ในการสร้างสารให้กลิ่นรสของโยเกิร์ตโดยใช้หัวเชื้อสายพันธุ์ผสม พบว่าเชื้อ *S. thermophilus* จะสร้างกรดฟอร์มิคออกมา ซึ่งเชื้อ *L. bulgaricus* จะนำกรดฟอร์มิคนี้ไปใช้ในการสร้างสารที่ให้กลิ่นรส เช่น acetaldehyde ออกมาด้วยดังนั้นจะเห็นได้ว่าเชื้อ *L. bulgaricus* นี้เป็นตัวการสำคัญในการสร้างสารที่ให้กลิ่นรสในโยเกิร์ต แต่อย่างไรก็ตาม เชื้อ *S. thermophilus* ก็สามารถสร้างสารให้กลิ่นรสพวก acetaldehyde ได้ด้วย แต่ปริมาณของ acetaldehyde ที่ได้จากเชื้อ *S. thermophilus* จะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารดังกล่าวที่ได้จากเชื้อ *L. bulgaricus* เมื่อการเปลี่ยนแปลงของสารเกิดขึ้นที่อุณหภูมิการหมักปกติประมาณ 40 องศาเซลเซียส (วราวุฒิ และ รุ่งนภา, 2532)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2.2 บทบาทของเชื้อโยเกิร์ตต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

- **การผลิตกรดแลคติค**

กรดแลคติคเป็นผลจากการหมักน้ำตาลแลคโทสในสภาวะไม่มีออกซิเจนของแลคติคแบคทีเรีย ทำให้เคซีนไมเซลเปลี่ยนสภาพจากแขวนลอยในรูป calcium-caseinate-phosphate-complex แตกตัวเป็น casein complex calciumlactate และ calcium phosphate ซึ่งสามารถละลายเป็นส่วนประกอบของน้ำนม เมื่อปริมาณกรดแลคติคเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มเคซีนไมเซลจะค่อยๆ สูญเสียแคลเซียม เมื่อระดับความเป็นกรดด่างลดลงถึง 4.6-4.7 เคซีนจะเสียสมดุลและเกิดการตกตะกอนมีลักษณะกึ่งแข็งที่เรียกว่าเคิร์ด (curd) นอกจากนี้กรดแลคติคยังมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเฉพาะตัวของโยเกิร์ต คือ มีความสดและกลิ่นรสที่เป็นกรด (วราวุฒิ และ รุ่งนภา, 2532)

- **การย่อยสลายโปรตีนและกรดไขมัน**

การย่อยสลายโปรตีนและกรดไขมันให้เป็นสารโมเลกุลเล็กลงที่สามารถนำไปใช้ในการเจริญของเชื้อ *Bifidobacterium* spp. (Dave and Shah, 1997) และมีส่วนสร้างรสชาติและความหอมในโยเกิร์ต ได้แก่ กรดอะมิโนซีรีน โปรลีน วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน ไทโรซีน กรดกลูตทามิค และกรดไขมันที่ระเหยได้ เช่น กรดอะซีติค โพรพิโอนิค บิวทีริค คาพริลิก เป็นต้น การย่อยสลายโปรตีนมีผลในการเพิ่มความหนาแน่นเนื้อ ความคงตัว และความหนืดของโยเกิร์ต (Varnam and Sutherland, 1994)

- **ผลิตสารประกอบที่ให้กลิ่นรส**

สารประกอบหอมระเหยจากเมแทบอไลซิเตรตหรือกรดอะมิโนทรีโอนีนที่ให้กลิ่นรสโยเกิร์ต ได้แก่ ไดอะเซติล อะเซโตอิน และ อะเซตัลดีไฮด์ (Tamime and Robinson, 1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- **การผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่น**

สารที่เชื้อโยเกิร์ตสร้างและมีผลยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้แก่ กรดแลคติค แบคเทอริโอซิน และไฮโดรเจนเพอร์ไซด์ สารเหล่านี้จะช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคหรือการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ทำให้การหมักเกิดได้ดีและสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้นานขึ้น (Ferrari et al., 1980)

- **การผลิตสารที่ให้เนื้อสัมผัส**

ลักษณะทางกายภาพและเนื้อสัมผัสเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต การผลิตโพลีแซคคาไรด์แล้วขับออกนอกเซลล์ (expolysaccharide : EPS) หรือไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ซึ่งมีลักษณะเหมือนแคปซูลของแลคติคแบคทีเรีย จะช่วยเพิ่มความหนืด การอุ้มน้ำ หรือลดการเกิด syneresis ของโยเกิร์ต จึงสามารถทดแทนการใช้สารให้ความคงตัวในการผลิต นอกจากนี้แลคติคแบคทีเรีย ที่ผลิตโพลีแซคคาไรด์มีความต้านทานต่อ phage ได้ดีกว่าสายพันธุ์ที่ไม่มีแคปซูลห่อหุ้ม (Hassan et al., 1996) โพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตโดยแลคติคแบคทีเรีย ได้แก่ กลูแคน (glucan) เดกซ์แตรน (dextran) deacylated lipoteichoic acid อย่างไรก็ตามการการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของแลคติคแบคทีเรีย มีความแตกต่างกันตามประเภทของแลคติคแบคทีเรีย โดยการสร้างโพลีแซคคาไรด์ของกลุ่ม mesophilic ถูกควบคุมโดยยีนบนพลาสมิดแต่การสร้างของกลุ่ม themophilic ซึ่งควบคุมบนโดยยีนบนโครโมโซม (Cerning, 1990) ในปี 2001 Duboc and Mollet กล่าวถึงความแตกต่างของโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตซึ่งเกิดจากสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์แลคติคแบคทีเรียที่มีความสามารถสร้าง ESP และไม่สามารถสร้าง ESP และในการผลิต ESP ของเชื้อจุลินทรีย์แลคติคแบคทีเรียนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแหล่งอาหารของเชื้อจุลินทรีย์แลคติคแบคทีเรีย (เช่น แหล่งคาร์บอน ไนโตรเจน และน้ำตาล เป็นต้น) และนอกจากนั้นยังขึ้นกับสภาวะแวดล้อมของการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์แลคติคแบคทีเรีย (เช่น ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น) รวมทั้งมีรายงานปริมาณความเข้มข้นของ ESP ที่สร้างจากเชื้อ *S. thermophilus* สูงถึง 3000 มิลลิกรัม/ลิตร และ 2100 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับเชื้อ *L. bulgaricus* ซึ่งปริมาณ ESP ที่เกิดจากจุลินทรีย์แลคติคแบคทีเรียจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีและมีความข้นหนืดเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.2.3 คุณประโยชน์ของเชื้อโยเกิร์ต

- **การปรับปรุงการย่อยสลายแลคโทส**

การใช้จุลินทรีย์โยเกิร์ตซึ่งมีกิจกรรมของเอนไซม์ β-galactosidase เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาการย่อย การดูดซึมน้ำตาลแลคโทสบกพร่องเนื่องจากการบริโภคผลิตภัณฑ์นม โดยเชื้อโยเกิร์ตจะขับเอนไซม์ออกมาในลำไส้และย่อยสลายน้ำตาลแลคโทสเป็นกลูโคสและกาแลคโทสซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสู่ลำไส้เล็กได้ (Montes et al., 1995) นอกจากนั้นช่วยลดอาการท้องร่วงซึ่งเป็นผลมาจากการหมักน้ำตาลแลคโทสโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ (Colon) ผลของการหมักน้ำตาลแลคโทสได้ก๊าซไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกซ์ เอธิลีน กรดอินทรีย์ และกรดไขมันโมเลกุลเล็กลง ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการท้องร่วง (Alander et al., 1999) ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับเข้าสู่ปอดและขับออกจากร่างกายทางลมหายใจ Montes และคณะ (1995) พบว่า ผู้ที่บริโภคโยเกิร์ตที่มีน้ำตาลแลคโทส 18 กรัม มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนในลมหายใจออกประมาณ 1 ใน 3 ของคนที่บริโภคน้ำนมที่มีน้ำตาลแลคโทส 18 กรัม หรือสารละลายน้ำตาลแลคโทส 20 กรัม ซึ่งเห็นได้ชัดว่าการบริโภคโยเกิร์ตช่วยลดการหมักน้ำตาลแลคโทสในลำไส้ใหญ่

- **การปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้**

เชื้อโยเกิร์ตมีส่วนช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยช่วยลดแบคทีเรียที่ให้โทษโดยเชื้อโยเกิร์ตจะสร้างสารเมแทบอไลซ์ สารยับยั้งการเจริญเชื้อโรค และช่วยปรับปรุงการเคลื่อนที่ของลำไส้ (Alander et al., 1999) โดยกรดแลคติคจะลดและทำลายแบคทีเรียที่ไม่ทนกรดและแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Bacillus, Pseudomonas, Escherichia coli, Staphylococcus aureus* และ *Yersinia enterocolitica* ซึ่งจุลินทรีย์ก่อโรคเหล่านี้สามารถเจริญได้ดีที่ความเป็นกรดด่างที่เป็นกลาง นอกจากนั้นเชื้อโยเกิร์ตยังช่วยเสริมการแกร่งแย่งและยึดติดกับผนังลำไส้ได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น (Yukuchi et al., 1992) อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตต้องทนต่อกรดและเกลือจึงสามารถมีชีวิตรอดในขณะผ่านระบบทางเดินอาหารและมีกิจกรรมในลำไส้ได้ (Alander et al., 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- **การปรับปรุงการเคลื่อนที่ของลำไส้ใหญ่**

การเคลื่อนที่ของลำไส้ใหญ่ผิดปกติ เป็นผลจากอาการท้องผูกและท้องร่วง มักเกิดกับเพศหญิงและผู้สูงอายุ โดยอาการท้องผูกทำให้ความของการเคลื่อนที่ของลำไส้ใหญ่ในลดลงและจะเป็นปกติเมื่อมีการอุจจาระตามปกติแล้ว 3-4 วัน การดื่มนมที่มี *Streptococcus thermophilus* วันละ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 วัน ทำให้ผู้สูงอายุที่มีการเคลื่อนที่ของลำไส้ใหญ่ผิดมีการขับอุจจาระเป็นปกติและการเคลื่อนที่ของลำไส้ใหญ่เพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนได้รับเชื้อ 5-7 เท่า ในทางกลับกันเชื้อจุลินทรีย์ในโยเกิร์ต สามารถป้องกันอาการท้องร่วงและปัญหาของลำไส้ที่เกิดจากกลไกการควบคุมสารอาหารไม่มีประสิทธิภาพและสารอาหารไม่สมดุล นั่นคือการที่จุลินทรีย์โยเกิร์ตสามารถลดได้ทั้งอาการท้องผูกและท้องร่วงเป็นผลทำให้การเคลื่อนที่ของลำไส้ใหญ่ดำเนินไปด้วยปกติ (Yukuchi et al., 1992)

- **การปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของน้ำนม**

การปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเกี่ยวข้องกับโปรตีน ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการผลิตโยเกิร์ตและช่วยในการทำงานของระบบย่อยอาหาร โดยทำให้ร่างกายสามารถย่อยสลายและดูดซึมสารอาหารในน้ำนมไปใช้ได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้สูงอายุที่มีกรดในกระเพาะอาหารน้อย การรับประทานโยเกิร์ตเป็นการเพิ่มกรดแลคติคเพื่อแทนที่กรดในกระเพาะอาหารที่ขาดไป ทำให้ร่างกายย่อยอาหารได้ดีขึ้นและการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสของร่างกายสูงขึ้น เชื้อโยเกิร์ตบางชนิดจะช่วยเพิ่มปริมาณของวิตามินบี ไพรีดอกซอล ไรโบฟลาวิน ไทอะมิน กรดนิโคตินิค กรดโฟลิค กรดแพนโทธินิค และไบโอติน การที่ปริมาณวิตามินต่างๆ สูงขึ้นจะช่วยทำให้เมแทบอลิซึมและการได้รับสารอาหารของร่างกายเพิ่มขึ้น (Gilland, 1990) Kneifel และคณะ (1989) พบว่า การสังเคราะห์วิตามินระหว่างการหมักของเชื้อโยเกิร์ตนั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ นอกจากนี้การปรับปรุงคุณค่าทางอาหารยังเกิดจากผลของเอนไซม์ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์โยเกิร์ต ซึ่งขับออกมานอกเซลล์แล้วทำหน้าที่ย่อยสลายน้ำตาลแลคโทสที่เหลืออยู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตในแต่ละส่วนของโลกใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการทำโยเกิร์ตและนมเปรี้ยวแตกต่างกัน สรุปดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลิตภัณฑ์นมหมักในประเทศต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	ประเทศ	เชื้อจุลินทรีย์
โยเกิร์ต	สหรัฐอเมริกา	*Streptococcus thermophilus*
		Lactobacillus bulgaricus
เนยเหลว	สหรัฐอเมริกา	*Streptococcus cremoris*
		Streptococcus lactis
		Leuconostoc citrovorum
นมอะซิโดฟิลัส	สหรัฐอเมริกา	*Lactobacillus acidophilus*
ไบโอโยเกิร์ต	ยุโรป	*Streptococcus lactis*
		Lactobacillus acidophilus
นมบูการิกัส	ยุโรป	*Lactobacillus bulgaricus*
ยาคูลล์	ญี่ปุ่น	*Lactobacillus casei*
ดาฮิ	อินเดีย	*Streptococcus lactis*
เลเบน	อียิปซ์	*Streptococci*
		Lactobacilli
		Yeasts
คีเฟอร์	รัสเซีย	*Streptococci*
		L. caucasicus
		Leuconostoc spp.
		Yeasts
คูมิสส์	รัสเซีย	*Lactobacillus acidophilus*
		Lactobacillus bulgaricus
		Saccharomyces lactis

ที่มา : Vernam และ Sutheerland, 1994

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 การนำเชื้อโพรไบโอติคและเชื้อโยเกิร์ตมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์จากธัญชาติ

เรณู (2523) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากน้ำนมถั่วเหลืองโดยได้เปรียบเทียบทางด้านรสชาติ โดแบ่งการทดลองเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ใช้น้ำนมถั่วเหลืองที่หมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* กลุ่มที่ 2 ใช้น้ำนมถั่วเหลืองหมักด้วย *Streptococcus thermophilus* ร่วมกับ *Lactobacillus bulgaricus* ส่วนกลุ่มทดลองที่ 3 ใช้น้ำนมถั่วเหลืองหมักด้วย *Streptococcus thermophilus* เพียงอย่างเดียวและกลุ่มที่ 4 ใช้น้ำนมถั่วเหลืองไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์แต่ทำให้เป็นกรดโดยเติมกรดแลคติคลงไป จากผลการทดลองพบว่า การใช้เชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* เพียงเชื้อเดียวทำให้เกิดการผลิตกรดได้เพียงพอ และให้รสชาติเป็นที่ยอมรับทางด้านรสชาติดีที่สุด ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านสารระเหยพบว่า ถ้าใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการหมักคนละชนิด(*Streptococcus thermophilus* หรือ *Lactobacillus bulgaricus*) จะให้ผลที่แตกต่างกันซึ่งสะท้อนให้เห็นความแตกต่างของคุณสมบัติทางด้านกิจกรรมชีวเคมีของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิด เป็นเหตุผลที่ช่วยอธิบายถึงการที่จุลินทรีย์ทั้งสองผลิตกรดแลคติคได้ไม่เท่ากัน และความแตกต่างของรสชาติโยเกิร์ตที่ทำจากน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งผลิตขึ้นทั้ง 4 วิธีมีความสัมพันธ์กับปริมาณ n-pentanal และ n-hexanal ในผลิตภัณฑ์

Kamaly (1997) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำเชื้อ Bifidobacteria มาใช้ในกระบวนการหมักนมถั่วเหลือง โดยในการทดลองมีการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการเจริญและการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของ Bifidobacteria สองสายพันธุ์ คือ *B. longum* กับ *B. bifidum* ที่เจริญในนมผงขาดมันเนย (skimmed milk) นมถั่วเหลือง (soy milk) และ อาหารเลี้ยงเชื้อ modified MRS broth จากทดลองพบว่าอัตราการเจริญของ *B. longum* กับ *B. bifidum* นั้น สามารถเจริญได้ดีกว่าตามลำดับ คือ ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ในนมผงขาดมันเนยและในนมถั่วเหลือง ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในนมผงขาดมันเนย กับ นมถั่วเหลือง พบว่า สายพันธุ์ Bifidobacteria มี proteolytic activity ในนมถั่วเหลืองมากกว่านมผงขาดมันเนย โดยนมถั่วเหลืองนั้นจะมีการเสริมด้วยกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ แลคโทส กาแลคโทส และกลูโคส ส่วนกลุ่มของโปรตีนที่เสริมเข้าไปได้แก่ ยีสต์เอกส์แตรกท์ โปเตโอส เปปโตน เคซิโตน โพลีเปปโตน และไฟโตน ซึ่งกลุ่มที่เสริมโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเข้าไปในนมถั่วเหลืองจะช่วยให้ *B. bifidum* สามารถเจริญและผลิตกรดได้ดี และจากการทดลองพบว่า สายพันธุ์ Bifidobacteria มีการผลิตกรดและอัตราการเจริญได้ดีในกลุ่มทดลองที่มีการใช้นมผงขาดมันเนยที่มีการเสริมด้วยนม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถั่วเหลืองร้อยละ 20, K-carrageenan, กลุ่มอะมิโน: cysteine และthreonine รวมร้อยละ0.05 และทำการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

Lee และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาการหมักข้าวโดยใช้เชื้อ *Bifidobacterium* โดยได้ศึกษาถึงการเจริญของเชื้อ *Bifidobacterium* จำนวน 22 สายพันธุ์ที่มีการเจริญบนอาหาร BHI-starch เพื่อเป็นการคัดเลือกเชื้อในการนำมาหมักข้าว พบว่า เชื้อ *Bifidobacterium* สายพันธุ์ *Bifidobacterium adolescentis* Int57 และ *Bifidobacterium adolescentis* ZS8 มี การเจริญได้ดี จากนั้นจึงนำ *B. adolescentis* Int57, *B. adolescentis* ZS8 และสายพันธุ์ที่เป็น non-amylolytic *Bifidobacterium* มาเพาะในข้าวที่มีการเติม L-cysteine HCl และ yeast extract ร้อยละ 0.2 พบว่า สายพันธุ์ที่เป็น amylolytic *Bifidobacterium* มีการเจริญได้ดีกว่า non-amylolytic ซึ่งจากการทดลองอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่า *B. adolescentis* Int57 มีการเจริญดีที่สุด จึงเลือกมาใช้ศึกษาการหมักข้าว จากการศึกษาพบว่า เชื้อชนิดนี้จะให้ปริมาณกรด (Titratable acidity) 2.43 nmol และทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงเหลือ 4.4 หลังจากหมักไว้ 24 ชั่วโมง ส่วนความเข้มข้นของ reducing sugar และ amylase activity มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ที่ระดับ 14 mg maltose equivalent / ml และ 35 mU / ml mim ตามลำดับ และพบว่าการแยกตัวของพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ป้องกันได้โดยการเติมเจลาตินร้อยละ 1

Webb และคณะ (2000) รายงานว่าในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมอาหารได้ให้ความสำคัญโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณสมบัติเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) และ สารประกอบในอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food ingredients) เพื่อใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ โดยเล็งเห็นถึงความสำคัญของ เชื้อโพรไบโอติคในผลิตภัณฑ์นมที่มีการใช้เชื้อกลุ่ม *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* spp. และมีการนำกลุ่มเชื้อดังกล่าวมาใช้กับอาหารจำพวกธัญชาติ เช่น ข้าวโอต ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ และข้าวเป็นต้น เพื่อจะได้อาหารที่มีองค์ประกอบที่เป็นส่วนของพรีไบโอติค และเชื้อโพรไบโอติค เพื่อที่จะช่วยให้เชื้อโพรไบโอติคมีการเจริญที่ดีในลำไส้ใหญ่ของผู้บริโภค ซึ่งจะส่งผลให้สุขภาพของผู้บริโภคดีขึ้น จึงเป็นการป้องกันและรักษาโรคของระบบทางเดินอาหาร และยังเป็นการช่วยเพิ่มสารอาหารให้แก่ร่างกายได้อีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารประเภทธัญชาติถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่ง ที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากธัญชาติมีคุณค่าทางโภชนาการสูง นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ (dietary fiber) ซึ่งเส้นใยอาหารที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้สามารถใช้เป็นสารอาหารในการเจริญของเชื้อโพรไบโอติคได้ อาหารประเภทธัญชาติยังมีส่วนประกอบของสตาร์ชซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถช่วยห่อหุ้มเชื้อโพรไบโอติคให้มีความเสถียรในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นจึงมีผลให้เชื้อเหลือรอดอยู่จำนวนมาก (Webb et al., 2000) ซึ่งในปี 1999 Lee และคณะ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เชื้อ *Bifidobacterium* spp. สำหรับการหมักข้าว จากการทดลองพบว่า *Bifidobacterium* spp. นั้นสามารถเจริญได้ในข้าว ดังนั้นจึงเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดใหม่ที่ได้จากข้าวในอนาคต

ในปี 2001 Martensson และคณะ ได้รายงานการใช้เชื้อแลคติคแบคทีเรีย สำหรับใช้ในการหมักผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้ผลิตภัณฑ์นม (non-dairy product) โดยมีการใช้ข้าวโอตเป็นวัตถุดิบและใช้การผลิตแบบเดียวกับการผลิตโยเกิร์ต และในปี 2002 Martensson และคณะ ได้ทำการทดลองต่อโดยได้ใช้เชื้อโพรไบโอติคมาร่วมในการผลิตโยเกิร์ตจากข้าวโอต จากการทดลองพบว่าเชื้อโพรไบโอติค ที่ใช้ในการผลิตทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *L. reuteri*, *L. acidophillus* และ *B. bifidum* สามารถมีชีวิตอยู่รอดสูง 10^6 -10^8 CFU/ml หลังเก็บไว้นาน 30 วัน โดยเชื้อ *L. reuteri* จะมีปริมาณเชื้ออยู่รอดสูงที่สุด คือ 10^8 CFU/ml และพบว่าถ้ามีการใช้เชื้อโยเกิร์ตร่วมกับเชื้อพรไบโอติค จะทำให้มีปริมาณเชื้อเจริญได้ดีกว่าการใช้เชื้อบริสุทธิ์ในกระบวนการหมักโดยพิจารณาจากค่าของความเป็นกรดเป็นด่างในแต่ละผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นยังพบว่าองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ คือ คาร์โบไฮเดรตจะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะตรงข้ามกับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมัก โดยจะมีปริมาณของ β-glucan ลดลงในผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ *B. bifidum* จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบของข้าวโอตที่มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันในลักษณะของ monosaccharide และ disaccharide ช่วยสนับสนุนการเจริญและมีปริมาณการรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติคในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 ผลิตภัณฑ์นมหมักในประเทศไทย

ผลิตภัณฑ์นมหมักในท้องตลาดในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทั้งชนิดเซ็ต ชนิดกวน ชนิดกวนกับผลไม้ (swiss style) และนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม ดังแสดงในตารางที่ 8 และตารางที่ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

ชื่อการค้า	ผู้ผลิต	เชื้อเริ่มต้น
ดาน่อน (Danone)	บ. แดรี่ไทย จำกัด	*S. thermophilus* *L. bulgaricus*
ดัชชี่ (Dutchy)	บ. ดัชมิลล์ จำกัด	*S. thermophilus* *L. bulgaricus*
เนสท์เล่(Nestle)	บ. เนสท์เล่ แดรี่ (ประเทศไทย) จำกัด	*S. thermophilus* *L. bulgaricus*
เนสท์เล่ Lc.		*S. thermophilus* *L. bulgaricus,L. LC1*
โยโมสต์ (yomost)	บ. โฟร์โมสต์อาหารนม (กรุงเทพ) จำกัด	*S. thermophilus* *L. bulgaricus*

ที่มา : ภวัต (2544)

ตารางที่ 9 ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

ชื่อการค้า	ผู้ผลิต	เชื้อที่ใช้
ดาน่อน (Danone)	บ. ดาน่อน(ไทยแลนด์) จำกัด	*S. thermophilus* *L. bulgaricus*
ดัชมิลล์(Dutch Mill)	บ. ดัชมิลล์ จำกัด	*Lactobacillus*
ตราหมี เฟรชแอนด์ฟรุตตี้	บ. เนสท์เล่ แดรี่ (ประเทศไทย) จำกัด	ABY-2 *L. acidophilus,* *B. bifidum,* *S. thermophilus,* *L. bulgaricus*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 9 (ต่อ) ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

ชื่อการค้า	ผู้ผลิต	เชื้อที่ใช้
ยาคูลท์(Yakult)	บ. ยาคูลท์ (ประเทศไทย) จำกัด	Yakult culture
บีทาเก้น(Betagen)	บ. ไทยแอดวานซ์ฟู้ด(1991) จำกัด	*Lactobacillus*
ไพเกน(Paigen)	บ. ซีพี-เมจิ จำกัด	*S. thermophilus* *L. bulgaricus*
ภูพิงค์	บ. ภูพิงค์แดรี่โปรดักส์ จำกัด	*S. thermophilus* *L. bulgaricus*
เมจิ (Meiji)	บ. ซีพี-เมจิ จำกัด	*S. thermophilus* *L. bulgaricus*
ไอวี่ (Ivy)	บ. ไอ.พี. แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด	*S. thermophilus* *L. bulgaricus*

ที่มา : ภวัต (2544)

จากตารางที่ 2.6 และ2.7 พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตในตลาดส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้เชื้อโพรไบโอติคเป็นเชื้อเริ่มต้น ส่วนผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มนั้น มีสองชนิดที่ใช้เชื้อโพรไบโอติค ร่วมกับเชื้อโยเกิร์ตในการผลิตคือ นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม ตราหมี เฟรชแอนด์ฟรุตตี้ และโยเกิร์ต เนสท์เล่ LC1 นมเปรี้ยวพร้อมดื่มบีทาเก้นไม่ระบุแน่ชัดว่าเป็นแลคโตบาซิลลัสชนิดใด ส่วนยาคูลท์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีบริษัทแม่คือ Yakult Honsha แห่งประเทศญี่ปุ่น ยาคูลท์ใช้ *L.casei* (Shirota strain) ชนิดเดียวเป็นเชื้อเริ่มต้นในการผลิต (ภวัต, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved