

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

นํ้านมและองค์ประกอบ

นํ้านมเป็นอาหารที่อุดมสมบูรณ์มากที่สุดที่สร้างขึ้นในธรรมชาติ ประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ ซึ่งให้ทั้งพลังงาน สารจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย และสารให้ภูมิต้านทานเชื้อโรคแก่ทารก จึงเหมาะสมสำหรับเด็ก ผู้ใหญ่ และคนชรา นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติหลายประการที่สามารถนำไปประกอบหรือผสมกับอาหารอื่น ๆ ได้ จึงทำให้เป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย (นรินทร์, 2531 ; สมจิต และ นภาศรี, 2540) นํ้านมจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายชนิดใช้เป็นอาหารมนุษย์ แต่ที่ผลิตขายเป็นอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นมคือ นํ้านมวัว ซึ่งหมายถึงของเหลวสะอาดบริสุทธิ์ ถัดมาได้จากเต้านมวัวที่มีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง ปกติมีสีขาว แต่บางครั้งอาจจะมีสีเหลืองนวล มีรสหวานเล็กน้อย ปราศจากนํ้ามนํ้าเหลือง (colostrum) ประกอบด้วยไขมันไม่น้อยกว่า 3.25% และของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันนม (milk solid-non-fat) ไม่น้อยกว่า 8.25% ให้คุณค่าทางอาหารสูงต่อร่างกาย ส่วนประกอบของนํ้านมจะแตกต่างกันออกไปเนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง แต่จะประกอบด้วยสารอาหารหลักทางโภชนาการโดยประมาณ ดังนี้ (นิรัตน์, 2538 ; วรณา และ วิบูลย์ศักดิ์, 2531 ; สุมาลี, 2541)

นํ้า	87.5	%
น้ำตาลแลคโตส	5.0	%
ไขมันเนย (butter fat)	3.6	%
เคซีน (casein)	2.5	%
อัลบูมินและ โกลบูลิน	0.7	%
แร่ธาตุ	0.7	%
pH	6.7 - 6.9	

น้ำนมเป็นที่ยอมรับโรคกันอย่างแพร่หลาย และยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภคอีกมากมาย เช่น นมสเตพาสเจอไรซ์ และโยเกิร์ต ด้วยเหตุนี้ความต้องการน้ำนมดิบเพื่อผลิตนมพร้อมดื่มและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดอื่น จึงมีปริมาณสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ปัญหาการนำเข้าเลี้ยงก็สูงขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้ปริมาณน้ำนมดิบที่ผลิตได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ (ตาราง 1)

ตาราง 1 ปริมาณน้ำนมดิบที่ผลิตได้ ความต้องการน้ำนมดิบเพื่อผลิตนมพร้อมดื่ม และความต้องการทั้งหมด (หน่วย : ตัน)

ปี	น้ำนมดิบ	นมพร้อมดื่ม	ความต้องการทั้งหมด
2538	315,250	538,740	1,212,980
2539	375,160	607,550	1,322,150
2540	434,970	686,690	1,441,140
2541	571,180	777,690	1,570,850
2542	679,140	882,350	1,712,220
2543	796,950	1,002,700	1,866,320
2544	925,420	1,141,100	2,034,290

ที่มา : กองนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร (วิพิชญ์, 2541)

การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในน้ำนม

ตามปกติน้ำนมที่ได้จากวัวที่มีสุขภาพดีจะสะอาดปราศจากจุลินทรีย์ แต่เมื่อน้ำนมถูกขับผ่านท่อน้ำนมออกสู่ภายนอกร่างกาย จะมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียเกิดขึ้น เพราะท่อน้ำนมจะมีแบคทีเรียอยู่ด้วยเสมอ แต่จะไม่มีพิษและมีปริมาณไม่มากนัก แต่ถ้าเมื่อกว้าวเกิดเป็นโรคเต้านมอักเสบ (mastitis) จำนวนแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นอย่างมากจนไม่สามารถบริโภคได้ (นรินทร์, 2531) ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์จะแตกต่างกันไปตามวัวแต่ละตัว โดยจะมีจำนวนจุลินทรีย์มากที่สุดตอนเริ่มรีดนม อย่างไรก็ตามท่อน้ำนมมีในแหล่งสำคัญของจุลินทรีย์ในน้ำนม ทุกสิ่งที่มาสัมผัสน้ำนมอาจเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ได้ เช่น เครื่องมือรีดนม ภาชนะบรรจุนม คนรีดนม อากาศ ตลอดจนการสุขาภิบาลของคอกวัว เป็นต้น (นงลักษณ์ และ ปรีชา, 2539)

นมเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์หลายชนิด ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และรา เนื่องจากส่วนประกอบหลักของนมคือน้ำ และสารอาหารต่าง ๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุ จึงทำให้จุลินทรีย์ส่วนใหญ่นำไปใช้ประโยชน์ได้ แบคทีเรียในนมที่พบมากได้แก่ แบคทีเรียในแฟมิลี *Lactobacillaceae* และ *Micrococcaceae* สำหรับชนิดที่พบมากจะเป็นแบคทีเรียประจำถิ่น (normal flora) ได้แก่ *Lactobacillus casei*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. brevis*, *Streptococcus lactis* และ *S. cremoris* แบคทีเรียเหล่านี้ไม่ทำให้เกิดโรค แต่จะหมักน้ำตาลแลคโตส ในนมแล้วให้กรดแลคติกและกรดอื่น ๆ ทำให้ pH ในนมลดลง ถ้า pH ลดลงถึง 4.5 จะทำให้โปรตีน เติบโตในนมตกตะกอน นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียอื่น ๆ อีก เช่น *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ในนมจะพบแบคทีเรียได้ตั้งแต่หลายร้อย ถึงหลายหมื่นเซลล์ต่อมิลลิลิตร ถ้าแบคทีเรียนี้มีการเจริญอย่างรวดเร็วจะทำให้นมมีคุณภาพเปลี่ยนไป เช่น *S. cremoris* ทำให้นมเปรี้ยว *Pseudomonas synchyanea* ทำให้นมมีสีน้ำเงิน และ *Enterobacter aerogenes* ทำให้นมเป็นเมือก ดังนั้นจึงใช้จำนวนและชนิดของแบคทีเรียในการกำหนดมาตรฐาน ของนมที่ได้ เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค (บัญญัติ, 2534) ราที่มักพบในนมได้แก่ *Geotrichum*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Rhizopus* และ *Alternaria* ส่วนยีสต์ที่พบใน นมมักเป็นพวกที่ ferment น้ำตาลแลคโตส และยังมียีสต์ที่หมักที่อยู่ในนมครีม และ whey ด้วย ชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในนม สามารถจำแนกตามคุณลักษณะพื้นฐานได้ 3 ประการ คือ

1. ปฏิกริยาชีวเคมี (biochemical types)
2. อุณหภูมิ (temperature characteristics)
3. ความสามารถในการก่อโรค (pathogenic types)

การแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์ในนมตามปฏิกริยาชีวเคมี (Biochemical types)

เนื่องจากนมประกอบด้วยน้ำตาล โปรตีน และไขมัน สารอาหารเหล่านี้จะถูกย่อยสลายจาก จุลินทรีย์ได้เป็นผลผลิตต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลง ทางชีวเคมีในนมมีดังนี้

1. ผลผลิตที่เป็นกรด

1.1 *Streptococci* เช่น *S. lactis* และ *S. cremoris* จะหมักน้ำตาลแลคโตสให้ lactic acid เรียกว่าเป็นพวก homofermentative ส่วน *Leuconostoc citrovorum* จะหมักน้ำตาลแลคโตสให้ lactic acid และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่าเป็น พวก heterofermentative

1.2 *Lactobacilli* เช่น *L. plantarum*, *L. casei*, *L. acidophilus* และ *L. bulgaricus* จะหมักน้ำตาลแลคโตสให้ lactic acid ส่วน *L. brevis*, *L. buchneri* และ *L. fermenti* จะหมักน้ำตาลแลคโตสให้ lactic acid และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

1.3 *Microbacterium* เช่น *M. lacticum* จะหมักน้ำตาลแลคโตสให้ lactic acid และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ทนความร้อนได้ดี เช่น ที่อุณหภูมิ 80-85 °C นาน 10 นาที

1.4 *Micrococci* เช่น *M. luteus*, *M. varians* และ *M. freudenreichii* สามารถหมักน้ำตาลแลคโตสให้กรดได้ แต่น้อยกว่าพวก *Lactobacilli* และ *Streptococci* มี proteolytic enzyme ย่อยโปรตีนในนมได้ แต่มีประสิทธิภาพไม่คืบนัก ทนความร้อนได้พอสมควร บางสายพันธุ์ทนความร้อนที่อุณหภูมิ 63 °C นาน 30 นาที

1.5 Coliform bacteria เช่น *E. coli* และ *Enterobacter aerogenes* จะหมักน้ำตาลแลคโตสให้ผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น กรดต่าง ๆ ก๊าซ และสารอื่น ๆ แบคทีเรียพวกนี้ใช้เป็นดัชนีแสดงคุณภาพของนํ้านม กล่าวคือ ถ้าหากในนํ้านมมีโคลิฟอร์มแบคทีเรียปนเปื้อนอยู่ด้วย แสดงว่าการสุขาภิบาลในกรรมวิธีการผลิตยังไม่ดี

2. ผลผลิตที่เป็นก๊าซ

แบคทีเรียหลายชนิดที่หมักน้ำตาลแลคโตสแล้วให้ทั้งกรด และก๊าซ เช่น โคลิฟอร์มแบคทีเรียจะหมักน้ำตาลแลคโตส ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน *Clostridium butyricum* จะหมักน้ำตาลแลคโตสให้ butyric acid ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ส่วนยีสต์ *Candida pseudotropicalis* (*Torula cremoris*) และ *Torulopsis sphaerica* จะหมักน้ำตาลแลคโตสให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. แบคทีเรียที่ทำให้เกิดเมือก (ropy) ในนํ้านม

เมือกในนํ้านมเกิดจากการเจริญของแบคทีเรียในนํ้านมที่สามารถนํ้าตาลแลคโตสไปใช้สังเคราะห์ capsule หรือ slime layer ขึ้นมา ทำให้เกิดเป็นเมือกขึ้น เมือกที่พบมี 2 ลักษณะ คือ ลักษณะแรกเป็นเมือกเฉพาะบริเวณผิวหน้าของนํ้านมเกิดจาก *Alcaligenes viscolactis* ส่วนลักษณะที่สองเป็นเมือกทั่วทั้งนํ้านมเกิดจาก *Enterobacter aerogenes*, *E. cloacae*, *E. coli*, *Lactobacillus casei*, *L. bulgaricus*, *L. plantarum* และ *Streptococcus cremoris*

4. แบคทีเรียที่ย่อยสลายโปรตีนในนํ้านม (proteolysis)

การย่อยสลายโปรตีนในนํ้านมมักเกิดจากแบคทีเรียที่ไม่สามารถย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสได้ แบคทีเรียหลายชนิดสร้างเอนไซม์คุณสมบัติคล้ายเอนไซม์ rennin ย่อยสลายเคซีนให้ตกตะกอนเป็นอนุภาคที่ละเอียดเรียกว่า "sweet curd" แบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ *Bacillus subtilis*,

B. cereus, *B. caliolactis*, *Pseudomonas putrefaciens*, *P. viscosa*, *Proteus* spp., *Streptococcus liquefaciens* และ *Alcaligenes* spp.

5. แบคทีเรียที่ย่อยสลายลิปิดในน้ำมัน (lipolysis)

การย่อยสลายลิปิดในน้ำมันจะเกิดจากจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ lipase ย่อยลิปิดให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน กรดไขมันบางชนิดโดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้น้ำมันมีกลิ่นเหม็นหืนขึ้นได้ จุลินทรีย์เหล่านี้ได้แก่ *Pseudomonas fluorescens*, *P. fragi*, *Achromobacter lipolyticum*, *Candida lipolytica* และ *Penicillium* spp.

6. แบคทีเรียที่ทำให้กลิ่น รส และสีของน้ำมันเปลี่ยนไป

การเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิดในน้ำมันจะทำให้กลิ่น รส และสีผิดปกติไป เช่น มีกลิ่นเหม็นหืน มีรสเปรี้ยว ทำให้น้ำมันมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมจะนำมาใช้บริโภค การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้แก่

6.1 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรส เช่น *Streptococcus lactis* และ *S. cremoris* ทำให้เกิดกลิ่นและรสเปรี้ยว *S. lactis* var. *maltigenes* ทำให้เกิดกลิ่นไหม้ และ *Pseudomonas ichthyosmia* ทำให้เกิดกลิ่นคาวปลา

6.2 การเปลี่ยนแปลงสี เกิดจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ ผลิตรงควัตถุที่ละลายน้ำออกมาในขณะที่เจริญและรงควัตถุเหล่านี้จะปะปนในน้ำมัน ทำให้มีสีต่าง ๆ เช่น *Pseudomonas syncyanea* ผลิตรงควัตถุสีน้ำเงินทำให้น้ำมันมีสีเทาจนถึงน้ำเงิน *P. synxantha* ทำให้น้ำมันมีสีเหลือง *Serratia marcescens* และ *Torula glutinis* ทำให้น้ำมันมีสีแดง *Micrococcus roseus* ทำให้น้ำมันเกิดตะกอนสีแดง ส่วน *Brevibacterium erythrogenes* ทำให้เกิดสีแดงที่ผิวหน้าของน้ำมัน

การแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์ในน้ำมันตามอุณหภูมิ (Temperature characteristic)

แบคทีเรียที่เจริญในน้ำมันจะเจริญได้ในอุณหภูมิที่เหมาะสมแตกต่างกันไป ซึ่งจำแนกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่

1. Psychrophilic bacteria เป็นแบคทีเรียเจริญได้ที่อุณหภูมิ 0 °C หรือต่ำกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญประมาณ 15 °C เช่น อุณหภูมิของตู้เย็น ได้แก่ *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Alcaligenes* และ *Flavobacterium*

2. Mesophilic bacteria เป็นแบคทีเรียพวกที่เจริญที่อุณหภูมิปานกลาง 25-40 °C อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 37 °C ได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย *Lactobacillus*, *Streptococcus* และแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค

3. Thermophilic bacteria เป็นแบคทีเรียที่มีอุณหภูมิเหมาะสมกับการเจริญอยู่ในช่วงระหว่าง 50-55 °C เช่น *Bacillus* และ *Clostridium* ในบางชนิด เช่น *B. stearothermophilus* เจริญได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 65 °C

4. Thermotolerant bacteria ตามปกติเป็นแบคทีเรียพวก mesophilic bacteria แต่สามารถที่จะปรับตัวให้เจริญในอุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรซ์ได้ แบคทีเรียเหล่านี้จะคิดปะปนมากับน้ำนมดิบหรือปนเปื้อนในภายหลังการรีดนมแล้ว จึงทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นม แบคทีเรียในกลุ่มนี้ที่สำคัญมี 5 สกุล คือ *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, และ *Streptococcus*

การแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์ในน้ำนมตามความสามารถในการก่อโรค (Pathogenic types)

จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคซึ่งปนเปื้อนอยู่ในน้ำนมมีหลายชนิด จุลินทรีย์เหล่านี้อาจปนเปื้อนมาจากวัวที่เป็นโรค จากมนุษย์หรือจากกรรมวิธีการรีดนมก็ได้ จำแนกได้ 2 ประเภท คือ

1. เกิดจากวัวที่เป็นโรค จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถปนเปื้อนในน้ำนมและแพร่ระบาดเข้าสู่มนุษย์ได้ เช่น

- วัณโรคของวัว เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Mycobacterium tuberculosis*
- โรคแท้งติดต่อ เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Brucella abortus*
- โรคเต้านมอักเสบ เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Streptococcus agalactiae*

- โรค Q-fever เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Coxiella burnetii*

2. เกิดจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เป็นโรคที่เกิดจากมนุษย์ หรือกรรมวิธีการรีดนม เช่น

- โรคไข้ดำแดง (scarlet fever) เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Streptococcus pyogenes*
- โรคอาหารเป็นพิษ เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*
- ไข้ไทฟอยด์ เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella typhosa*
- โรคคอตีบ เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Corynebacterium diphtheriae*
- โรค Q-fever เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Coxiella burnetii*
- โรคบิด เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Shigella* spp. และ *Entamoeba histolytica*
- โรคโปลิโอ เกิดจากเชื้อไวรัส poliovirus

นมพาสเจอร์ไรซ์

นมพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurized milk) เป็นนมที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 °C ที่นิยมคือประมาณ 63 °C (145 °F) ไม่น้อยกว่า 30 นาที หรือที่อุณหภูมิ 72 °C (162 °F) ไม่น้อยกว่า 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงทันที ที่อุณหภูมิ 5 °C หรือต่ำกว่า ทั้งนี้จะผ่านกรรมวิธีทำนมสดให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่ก็ได้ สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นพิษหรือทำให้เกิดโรคได้ แต่ต้องไม่ทำให้กลิ่น รส และส่วนประกอบของน้ำนมเปลี่ยนแปลงไป ทำให้คุณค่าทางอาหารของนมพาสเจอร์ไรซ์ใกล้เคียงกับนมสด

คุณสมบัติของนมพาสเจอร์ไรซ์

1. ปราศจาก pathogenic bacteria ทุกชนิดที่ทำให้เกิดโรคคนและสัตว์
2. ลดปริมาณจุลินทรีย์ทั่ว ๆ ไป ที่ไม่เป็นสาเหตุของโรคให้น้อยลงได้ (มีไม่เกิน 50,000 CFU/ml)
3. เอนไซม์ต่าง ๆ ในน้ำนม เช่น lipase และ alkaline phosphatase ถูกทำลายหมด
4. อายุการเก็บรักษาของนมในตู้เย็นยาวนานขึ้น (ประมาณ 3 วัน ตามกฎหมาย)
5. รส กลิ่น และสี ของนมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเพียงเล็กน้อย
6. คุณค่าทางอาหารของนมใกล้เคียงกับนมสดตามธรรมชาติ

พาสเจอร์ไรเซชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการแปรรูปนม เป็นขั้นตอนที่ใช้ความร้อนในการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (pathogenic bacteria) ซึ่งอาจจะติดมากับน้ำนมดิบ ชื่อของกรรมวิธีพาสเจอร์ไรซ์นี้ตั้งขึ้นตามชื่อนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส Louis Pasteur ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การทำให้ไวน์ร้อนถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเดือด (122-140 °F) จะสามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการบูดเน่าได้

การพาสเจอร์ไรซ์ไม่เหมือนกับการสเตอริไรซ์ เนื่องจากการพาสเจอร์ไรซ์ จะทำลายจุลินทรีย์ได้เพียง 95 - 99 % เท่านั้น ส่วนการสเตอริไรซ์จะทำลายจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อนนี้ ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ อุณหภูมิและเวลาที่น้อยที่สุดสำหรับการพาสเจอร์ไรซ์น้ำนม ได้มาจากการทดลอง และศึกษาถึง thermal death time (TDT) ของจุลินทรีย์ *Coxiella burnetii* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่พบในน้ำนม มีคุณสมบัติคงทนต่อความร้อน และสามารถทำให้เกิดโรคได้ กรรมวิธีพาสเจอร์ไรซ์น้ำนมแบบ indirect heat exchange มีอยู่ 7 อย่างด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตาราง 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลา ในการพาสเจอร์ไรซ์

อุณหภูมิ		เวลา
องศาฟาเรนไฮต์	องศาเซลเซียส	
145	62.8	30 นาที
161	72.7	15 วินาที
191	88.13	1 วินาที
194	90.0	0.5 วินาที
201	93.9	0.1 วินาที
204	95.6	0.05 วินาที
212	100.0	0.01 วินาที

ระบบการพาสเจอร์ไรซ์

ระบบการพาสเจอร์ไรซ์ที่นิยมใช้กันมี 2 ระบบ ดังนี้

1. ระบบไม่ต่อเนื่อง (Batch process / Holding pasteurization)

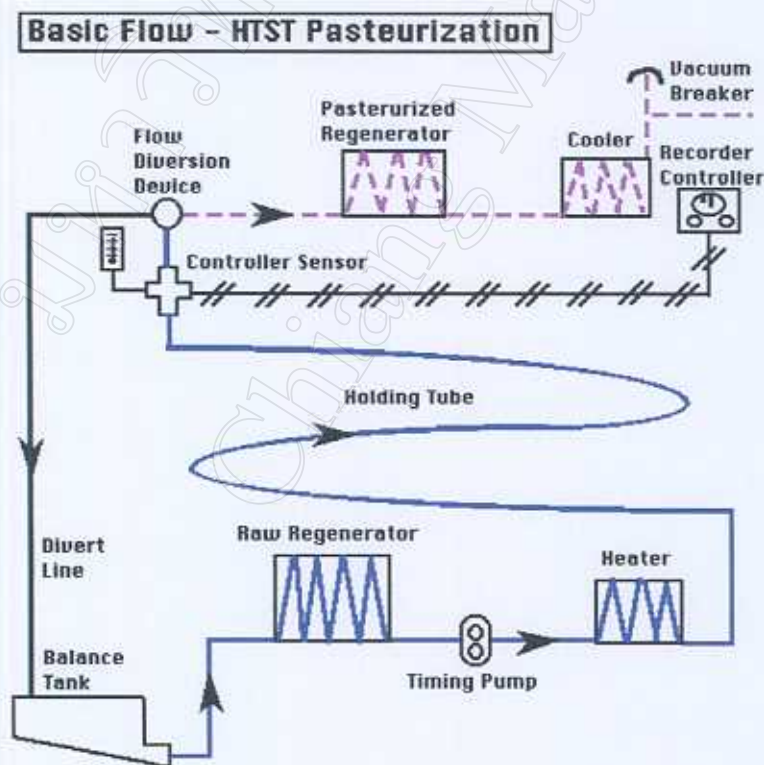
เป็นการพาสเจอร์ไร้น้ำนมที่ใช้กันมานาน ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้ในกรณีที่มีปริมาณน้ำมมน้อยๆ ประมาณ 1,500-2,000 ลิตร เครื่องมือพาสเจอร์ไรซ์ประกอบด้วยถังเหล็กปลอดสนิม 2 ชั้น สวมกันอยู่ ในช่องว่างระหว่างถัง 2 ใบ จะมีน้ำร้อน หรือไอน้ำไอลวนเวียนอยู่ ภายในตัวถังมีอุปกรณ์คนน้ำนมซึ่งทำงานด้วยมอเตอร์ การคนน้ำนมขณะพาสเจอร์ไรซ์ช่วยให้การถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนหรือไอน้ำให้แก่ น้ำนมได้สม่ำเสมอ การให้ความร้อนอาจกระทำโดยระบบอัดไอน์มิติ หรือใช้คน อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 62.8 - 65.6 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันที โดยการผ่านน้ำเย็นเข้าไปหล่อถึงด้านใน ข้อเสียของระบบนี้คือ ถ้าน้ำนมมีปริมาณมากจะต้องใช้ถังหลายใบ เพราะถ้ารอทำทีละถังจะเสียเวลามาก และระบบนี้ไม่สามารถนำพลังงานหมุนเวียนกลับมาใช้ได้

2. ระบบต่อเนื่อง (Continuous pasteurization หรือ High Temperature Shot Time)

เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบแรก โดยการทำให้กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์เป็นไปอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ น้ำนมดิบจนถึงการบรรจุ ระบบนี้ทำให้กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถทำการผลิตได้ในปริมาณมาก ๆ โรงงานบางแห่งจะผลิตได้ถึง 10,000 ลิตร / ชั่วโมง ระบบนี้เป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน

โดยน้ำนมดิบจะไหลผ่านแผ่นโลหะปิดสนิทที่เรียงซ้อนกันจำนวนมาก น้ำนมที่ไหลผ่านแผ่นเหล็กดังกล่าวจะถูกทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 161 °F นาน 15 วินาที จากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว แผ่นเหล็กที่ใช้ถ่ายเทความร้อน และความเย็นนี้ เรียกว่า แผ่นเหล็กเปลี่ยนความร้อน หรือ plate-heat exchanger

พื้นผิวของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนมีลักษณะแตกต่างกันไป บางชนิดมีลักษณะเป็นร่อง เป็นแนวถูกฟูก เส้นทแยงมุม รูปตัววี ตลอดจนเป็นลักษณะไม่เล็ก ๆ จุดประสงค์ของการทำให้ลักษณะของพื้นผิวของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนแตกต่างกัน ก็เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อน เพื่อควบคุมการไหลผ่านบนแผ่นเหล็กเหล่านี้เป็นแบบ turbulent flow ทุกอนุภาคของน้ำนมจะได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ นมทั้งสี่ของแผ่นโลหะจะเจาะเป็นรูไว้เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านไปได้ รูทั้งสี่บนแผ่นโลหะแบ่งออกเป็น 2 พวก คือส่วนหนึ่ง (สองรู) จะยอมให้ของเหลวชนิดหนึ่งไหลผ่าน และไหลไปตามพื้นผิวของแผ่นโลหะ อีกส่วนหนึ่งจะยอมให้ของเหลวชนิดที่สองไหลผ่านไปเลย และจะไหลไปตามพื้นผิวของแผ่นโลหะที่อยู่ถัดไปรอบแผ่นโลหะ จะเป็นร่อง และบุด้วยปะเก็นเพื่อควบคุมการไหลของของเหลวที่ต้องการให้ไหลบนแผ่นโลหะ หรือไหลผ่านรูไปเลย ของเหลวทั้งสองชนิดจะมีทิศทางการไหลสวนกัน ซึ่งขั้นตอนการพาสเจอร์ไรซ์แบบ HTST จะแสดงดังรูป 1



รูป 1 ระบบการพาสเจอร์ไรซ์แบบ HTST (ที่มา : Douglas Goff, No date)

โยเกิร์ต

โยเกิร์ต (yoghurt) เป็นผลิตภัณฑ์นมหมักเตรียมได้จากนม (whole milk) นมพร่องไขมัน นมคั้นรูปพร่องไขมัน นมข้น หรือผลิตภัณฑ์นมอื่น ๆ หรือส่วนผสมของนมเหล่านี้ผสมเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้สัดส่วนขององค์ประกอบที่ถูกต้องสำหรับโยเกิร์ตชนิดหนึ่ง ๆ โดยอาศัยการเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตส (lactose) เป็นกรดแลคติก (lactic acid) ของเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ซึ่งช่วยในการรักษาน้ำนมไปในตัว เพราะกรดที่เกิดขึ้นทำให้นมมีความเป็นกรดสูงขึ้น มีผลให้จุลินทรีย์ที่จะทำให้นมเสื่อมคุณภาพเจริญเติบโต ไม่ได้ จึงสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตไว้ได้นานขึ้น (วรารุณี และ รุ่งนภา, 2332)

โยเกิร์ตทุกชนิดจะต้องมี acidity level และ microbiological quality ดังนี้

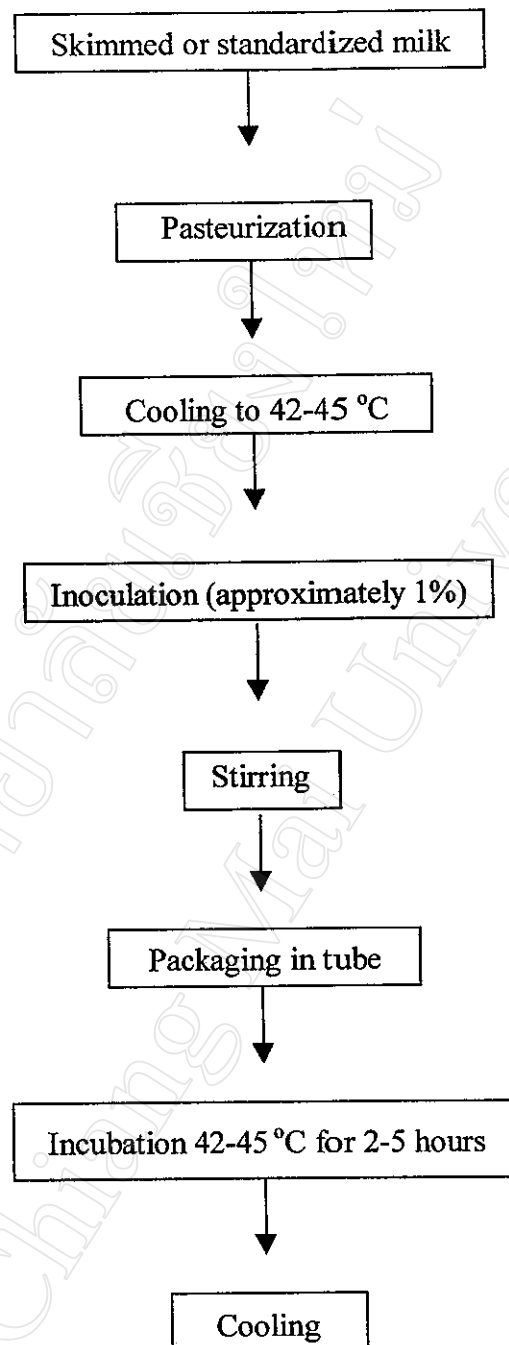
1. ต้องมี acidity level (pH) ต่ำกว่า 4.5
2. ไม่มีน้ำย่อย phosphatase เหลืออยู่เลย
3. ไม่มีเชื้อ Coliform bacteria ใน 0.1 ml
4. จำนวนของ yeasts, fungi และ bacteria ต้องต่ำกว่า 100 per ml

การผลิตโยเกิร์ต (นรินทร์, 2531)

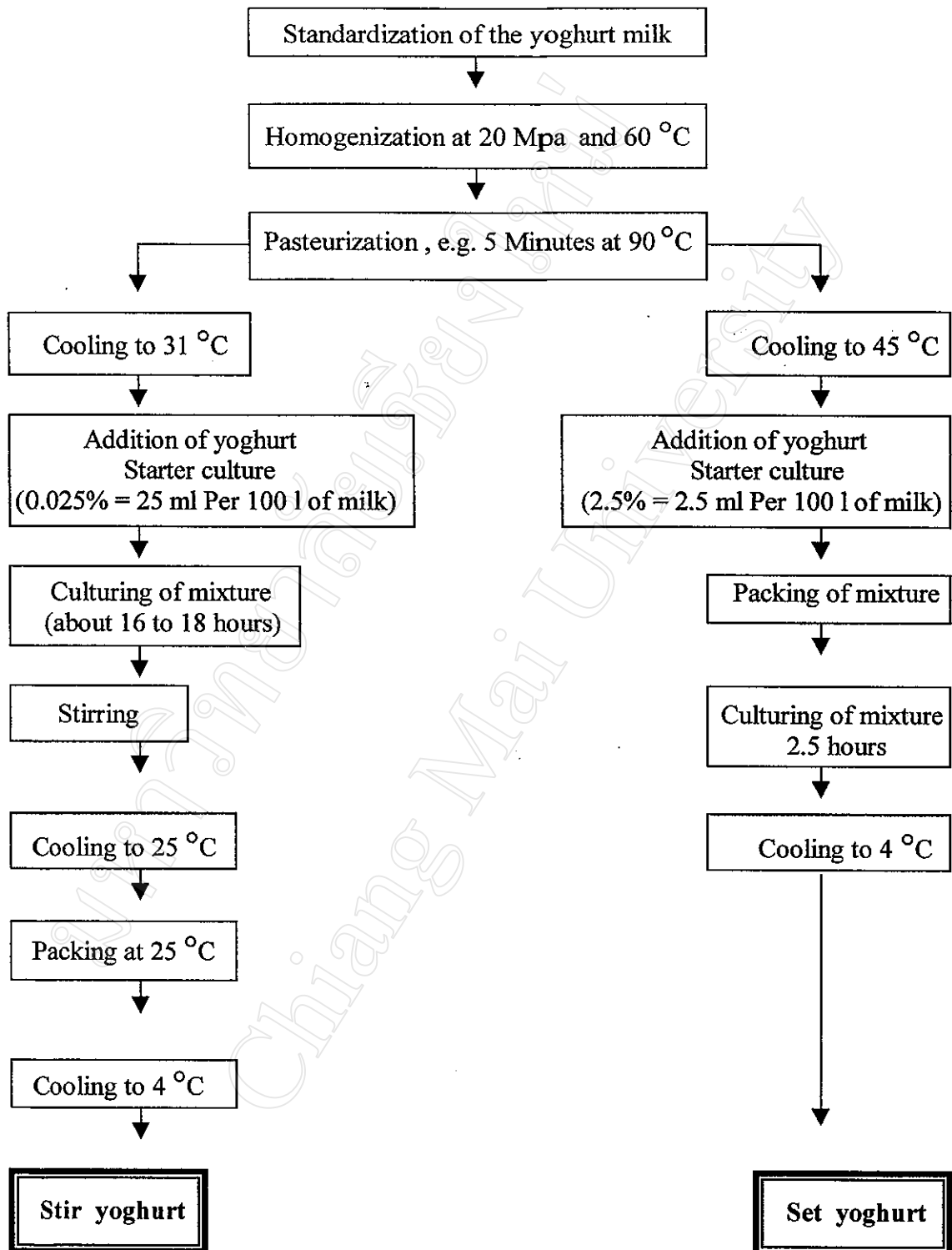
การผลิตโยเกิร์ตในอุตสาหกรรมมี 2 ลักษณะใหญ่ ๆ (รูป 2 และ 3) ขึ้นกับระบบการผลิต และโครงสร้างทางกายภาพของมวลที่ตกตะกอน (coagulum) คือ

1. เซทโยเกิร์ต (set yoghurt) เป็นผลิตภัณฑ์ที่บรรจุทันทีหลังจากการเติมจุลินทรีย์ จากนั้นปล่อยให้จุลินทรีย์ทำปฏิกิริยาการหมักในขณะที่อยู่ในภาชนะบรรจุสำหรับการจำหน่ายปลีก พอได้ที่แล้วทำให้เย็นพร้อมที่จะจัดจำหน่าย ลักษณะของมวลที่ตกตะกอนที่ได้เป็นมวลเนื้อเดียวกัน และมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งเหลว

2. สเตอร์โยเกิร์ต (stirred yoghurt) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการหมักเกิดขึ้นในถังหมักเรียบร้อยแล้ว จึงนำมวลที่ตกตะกอนที่ได้ มาควนให้แตกหรือแยกจากกันก่อนที่จะนำไปผ่านการให้ความเย็น หรือบรรจุ ตัวอย่างหนึ่งของโยเกิร์ตประเภทสเตอร์โยเกิร์ต ได้แก่ นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม (drinking yoghurt) ซึ่งมีปริมาณของแข็งเพียง 11% หรือน้อยกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนืดต่ำ (Tamine and Deeth, 1980)



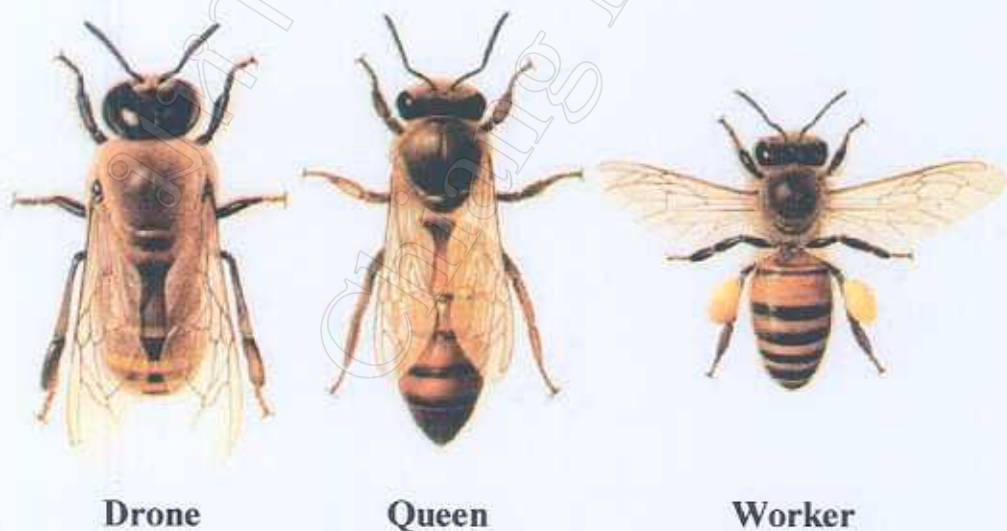
รูป 2 ขั้นตอนการทำโยเกิร์ต (วิพิชญ์, 2541)



รูป 3 ขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตแบบสเตอร์โยเกิร์ตและเซทโยเกิร์ต (วิพิชญ์, 2541)

รอยัลยेलลี่

รอยัลยेलลี่ (royal jelly) หรือนมผึ้ง (bee milk) เป็นอาหารที่ผึ้งงานผลิตขึ้นมาเพื่อใช้เลี้ยงผึ้งตัวอ่อนและผึ้งนางพญา โดยจะถูกผลิตจากต่อมไฮโปฟาริงซ์ (hypopharyngeal gland) ที่อยู่ติดกับต่อมน้ำลายในบริเวณส่วนหัวของผึ้งงานที่มีอายุประมาณ 5-15 วัน นับตั้งแต่ออกจากดักแด้ หรือที่เรียกว่าระยะผึ้งพยาบาล (nurse bee) รอยัลยेलลี่จะถูกผลิตขึ้นมาทุกวันในระยะนี้ โดยผึ้งงานจะคายออกจากปากใส่ลงในเซลล์ตัวอ่อน (brood cell) ของผึ้งทุกชนิดตั้งแต่ฟักออกจากไข่มาเป็นตัวอ่อนในระยะ 3 วันแรก หลังจากนั้นตัวอ่อนจะได้รับอาหารเป็นน้ำผึ้ง และน้ำหวานจากเกสรดอกไม้ และจะไม่ได้รับรอยัลยेलลี่อีกเลย ส่วนตัวอ่อนที่จะเจริญไปเป็นผึ้งนางพญาจะได้รับรอยัลยेलลี่จำนวนมาก และจะได้รับไปตลอดชีวิต โดยผึ้งงานจะป้อนรอยัลยेलลี่ให้กับผึ้งนางพญาในขณะที่รูมล้อมทำความสะอาดด้วยการเลียและป้อนอาหารด้วยปากต่ปาก (สิริวัฒน์, 2532) เมื่อผึ้งงานมีอายุมากกว่า 20 วัน ต่อมไฮโปฟาริงซ์นี้จะลดขนาดลง และเปลี่ยนไปทำหน้าที่อื่นต่อไป ดังนั้นรอยัลยेलลี่จึงน่าจะเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ผึ้งนางพญามีขนาด และรูปร่างโตกว่าผึ้งวรรณะอื่นๆ (รูป 4 และ 5) และมีลักษณะอีกหลายประการ เช่น อายุ และหน้าที่แตกต่างไปจากผึ้งงานทั่ว ๆ ไป ภายในรัง ดังแสดงในตารางที่ 3



รูป 4 แสดงลักษณะผึ้งตัวผู้ ผึ้งนางพญา และผึ้งงาน (ที่มา : Anonymous4, 2001)



รูป 5 แสดงลักษณะผ้้งงานและผ้้งนางพญาของผ้้งพันธุ์ (*Apis mellifera*)

(ที่มา : Gustafsson, No date)

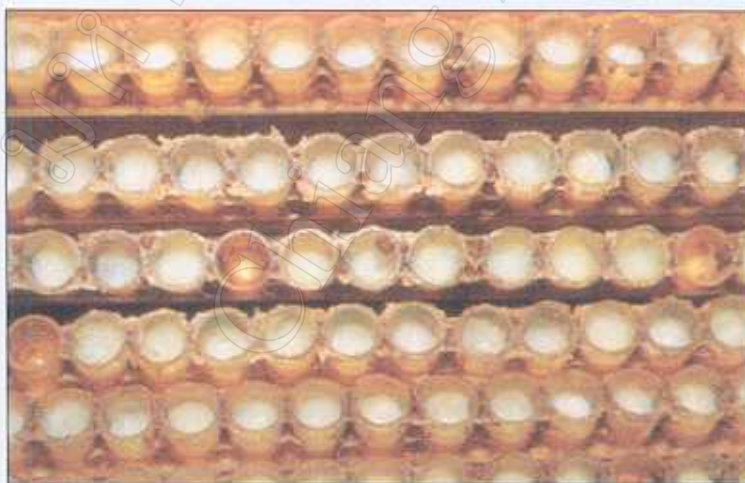
ตาราง 3 ลักษณะทางกายภาพและชีววิทยาของผ้้งงาน และผ้้งนางพญาของผ้้งพันธุ์ (*A. mellifera*)
(บุญมี, 2536)

	ผ้้งงาน (worker)	ผ้้งนางพญา (queen)
การได้รับรอยัลเซลล์	3 วัน	ตลอดชีวิต
น้ำหนัก	86.03 มก.	170.16 มก.
อายุ	10-12 สัปดาห์	2-3 ปี
ความสามารถในการสืบพันธุ์	เป็นหมัน	สืบพันธุ์ได้
การวางไข่	-	1,000-2,000 ฟอง/วัน
ต่อมเมนติบิวลาร์	สร้างรอยัลเซลล์ร่วมกับ ต่อมไคคทอย	สร้างเฟอโรโมนนางพญา (queen pheromone)

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของรอยัลเจลลี่

รอยัลเจลลี่มีลักษณะเป็นของเหลวข้น สีขาวนวลออกเหลือง คล้ายครีมหรือนมข้นหวาน (รูป 6) กลิ่นฉุน ออกเปรี้ยว รสค่อนข้างเผ็ดเล็กน้อย มีฤทธิ์เป็นกรด (pH ประมาณ 3.5-4.0) ละลายได้ค่อนข้างดีในสารละลายที่มีสภาพเป็นกลางและเป็นกรด คุณภาพของรอยัลเจลลี่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย โดยจะเสื่อมลงตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเปลี่ยนจากของเหลวสีขาวนวลเป็นสีเหลืองอ่อนและเข้มข้นอย่างช้า ๆ และถ้าเก็บไว้หลายสัปดาห์ค่าความเป็นกรด และความหนืดจะเพิ่มขึ้น (Takenaka *et al.*, 1986)

รอยัลเจลลี่จัดเป็นอาหารเสริมสุขภาพจากธรรมชาติชนิดหนึ่งที่อุดมไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย อาทิเช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน เกลือแร่ สอร์บอน และกรดอะมิโนที่สำคัญหลายชนิด (Justin and Stephen, 1992 ; Tangpraprutgul, 1993) นอกจากนี้ยังมีสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด (Murray *et al.*, 1959 ; Yatsunami and Echigo, 1985 ; Sanguandeekul and Nimachaikool, 1993) และยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง (Townsend *et al.*, 1959) ด้วยเหตุนี้รอยัลเจลลี่จึงเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อาหารเสริม (รูป 7) ทางด้านเภสัชกรรม และการแพทย์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางหลายชนิดอีกด้วย (Witherell, 1975 ; Inoue, 1985)



รูป 6 ลักษณะของรอยัลเจลลี่ในถ้วยเพาะ

ปัจจุบันมีการผลิตนมผงในหลายรูปแบบ เช่น แข็งแข็ง แคปซูล และผสมน้ำผึ้ง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสูตรเครื่องดื่มน้ำผัก-ผลไม้ผสมนมผง (วัลลีย์, 2537) และการผลิตนมเปรี้ยวพร้อมดื่มผสมน้ำผึ้งและรอยัลเซลล์ (ชานนท์, 2538)



รูป 7 ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมรอยัลเซลล์

องค์ประกอบของรอยัลเซลล์

รอยัลเซลล์ประกอบไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ โดยมีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือประมาณ 65-70 % ส่วนที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่จะเป็นพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน กรดอะมิโน วิตามิน แร่ธาตุ และฮอร์โมน (พิชญ, 2534) ในรอยัลเซลล์มีวิตามินบีอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะมีกรดแพนโทเทอิก (pantothenic acid) อินอซิทอล (inositol) และไนอาซิน (niacin) ในปริมาณ 200, 150 และ 100 ไมโครกรัมต่อกรัมของรอยัลเซลล์สด ตามลำดับ รองลงมาเป็นวิตามินซี ส่วนวิตามินเอ มีปริมาณเล็กน้อย (ชานนท์, 2538) นอกจากนี้ยังประกอบด้วย สารฮิสตามีน (histamine) สารที่มีฤทธิ์คล้ายอะซิติลโคลีน (acetylcholine) และสารที่ฤทธิ์คล้ายอินซูลิน (insulin) คลอดจอนฮอร์โมนและเอนไซม์บางชนิด แต่ไม่มีวิตามิน E และ K เป็นส่วนประกอบอยู่เลย (ศิริวัฒน์, 2532) องค์ประกอบของรอยัลเซลล์จะผันแปรตามฤดูกาล ภูมิอากาศ และชนิดของพืชอาหารของผึ้ง (Artemis *et al.*, 1988)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของรอยัลเจลลี่สดจากผึ้งพันธุ์ (*A. mellifera*) (สิริวัฒน์, 2536)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของรอยัลเจลลี่สด
ความชื้น	68.3 ± 1.4
โปรตีน	12.7 ± 0.8
คาร์โบไฮเดรต	11.9 ± 0.7
ฟรุกโทส	5.3 ± 0.4
กลูโคส	5.0 ± 0.5
อื่น ๆ	1.6 ± 0.4
ไขมัน	6.1 ± 0.4
10 - HDA *	2.4 ± 0.2
ความเป็นกรด **	42.2 ± 2.1
เถ้า	1.0 ± 0.2

หมายเหตุ

* 10 - HDA : 10 - ไฮดรอกซี - 2 - เดคซิโนอิก แอซิด (10-hydroxy-2-decenoic acid)

** ความเป็นกรด : มิลลิกรัม 1 N. NaOH/100 กรัม ของรอยัลเจลลี่สด

ตาราง 5 สอร์โมนในรอยัลเจลลี่จากผึ้งพันธุ์ (*A. mellifera* L.) (Tangpraprutgul, 1993)

ส่วนประกอบ	ฟิโกรัม / กรัมของรอยัลเจลลี่สด
Pregnandiol - 3 α - glucuronide	18,840.0
E ₁ - 3 - glucuronide	15,645.0
Testosterone	2,213.4
Estradiol - 17 β	381.6
Progesterone	310.7
Cortisol	181.2

ตาราง 6 วิตามินในรอยัลเจลลี่จากผึ้งพันธุ์ (*A. mellifera* L.) (Justin and Stephen, 1992)

ส่วนประกอบ	ไมโครกรัม / กรัมของรอยัลเจลลี่สด
วิตามิน (vitamins)	
กรดแพนโททินิก (pantothenic acid , B ₅)	100
อินอสิทอล (inositol , B ₇)	100
ไนอะซิน (niacin , B ₃)	50
กรดนิโคทีนิก (nicotinic acid)	18
ไรโบเฟลวิน (riboflavin , B ₂)	9
ไทอามีน (thiamine , B ₁)	6
ไพริดอกซีน (pyridoxine , B ₆)	3
ไบโอติน (biotin , B ₈)	1.5
กรดโฟลิก (folic acid , B ₉)	0.2
วิตามิน ซี (ascorbic acid)	4
วิตามิน เอ (retinol)	~ 0
วิตามิน ดี (calciferol)	0 (?)
วิตามิน อี (tocopherol)	~ 0
วิตามิน เค (α-phyloquinone)	~ 0

ตาราง 7 แร่ธาตุในรอยัลเจลลี่จากผึ้งพันธุ์ (*A. mellifera* L.) (Justin and Stephen, 1992)

ส่วนประกอบ	ไมโครกรัม / กรัมของรอยัลเจลลี่สด
แร่ธาตุ (minerals)	
โปตัสเซียม (K)	5500
แมกนีเซียม (Mg)	700
โซเดียม (Na)	600
แคลเซียม (Ca)	300
สังกะสี (Zn)	80
เหล็ก (Fe)	30
ทองแดง (Cu)	25
แมงกานีส (Mn)	7

ตาราง 8 ไขมันในรอยัลเซลล์จากผึ้งพันธุ์ (*A. mellifera* L.) (Justin and Stephen, 1992)

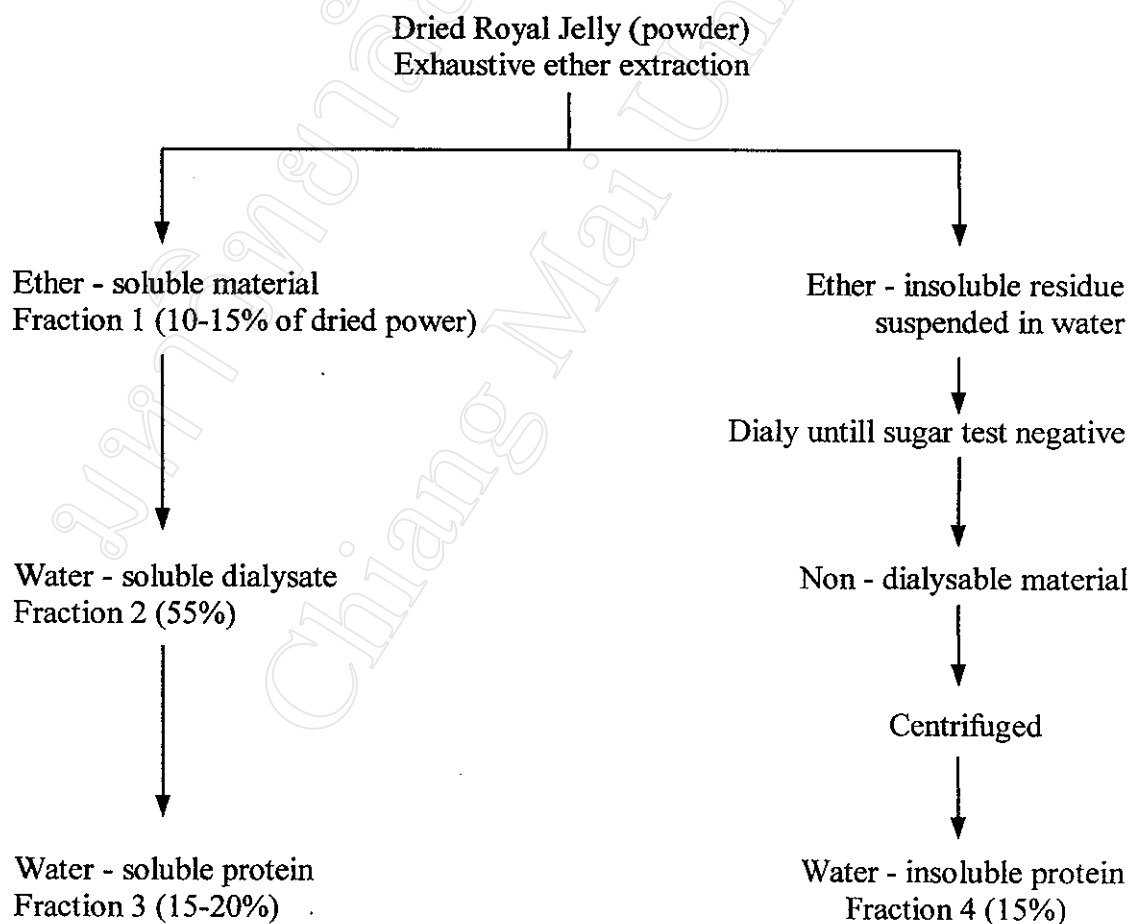
ส่วนประกอบ	ปริมาณ
Hydroxy fatty acids	
10-hydroxy-2-decenoic acid	31.8 %
10-hydroxydecanoic acid	21.6 %
8- hydroxyoctanoic acid	5.5 %
3- hydroxydecanoic acid	1.9 %
3 , 10-dihydroxydecanoic acid	1.8 %
3-hydroxyoctanoic acid	0.3 %
Dicarboxylic acids	
Dec-2-endioic acid	2.7 %
Decandioic acid	1.4 %
Octandioic acid	0.4 %
Simple fatty acids	
Octanic acid	0.1 %
Others	
Gluconic acid	24.0 %
Undetermined & others	8.4 %
p -Hydroxybenzoic acid	Trace
Sterols	
24-methylene cholesterol	50 µg / g
β - Stigmasterol	20 µg / g
Δ ⁵ -Avenasterol	15 µg / g
Cholesterol	10 µg / g
Stigmasterol	2 µg / g
Δ ⁷ -Avenasterol	0.8 µg / g

ตาราง 9 กรดอะมิโนในรอยัลเซลล์จากผึ้งพันธุ์ (*A. mellifera* L.) (Artemis *et al.*, 1988)

ส่วนประกอบ	มิลลิกรัม / 100 กรัม รอยัลเซลล์สด
กรดอะมิโน (amino acid)	
Aspartic acid	2304
Glutamic acid	1447
Arginine	1215
Leucine	1093
Lysine	951
Phenylalanine	820
Isoleucine	698
Serine	639
Histidine	613
Proline	610
Valine	597
Tyrosine	576
Alanine	489
Threonine	439
Glycine	414
Methionine	257
Cystine	82
Tryptophan	50

กรด 10 - hydroxy - 2 - decenoic

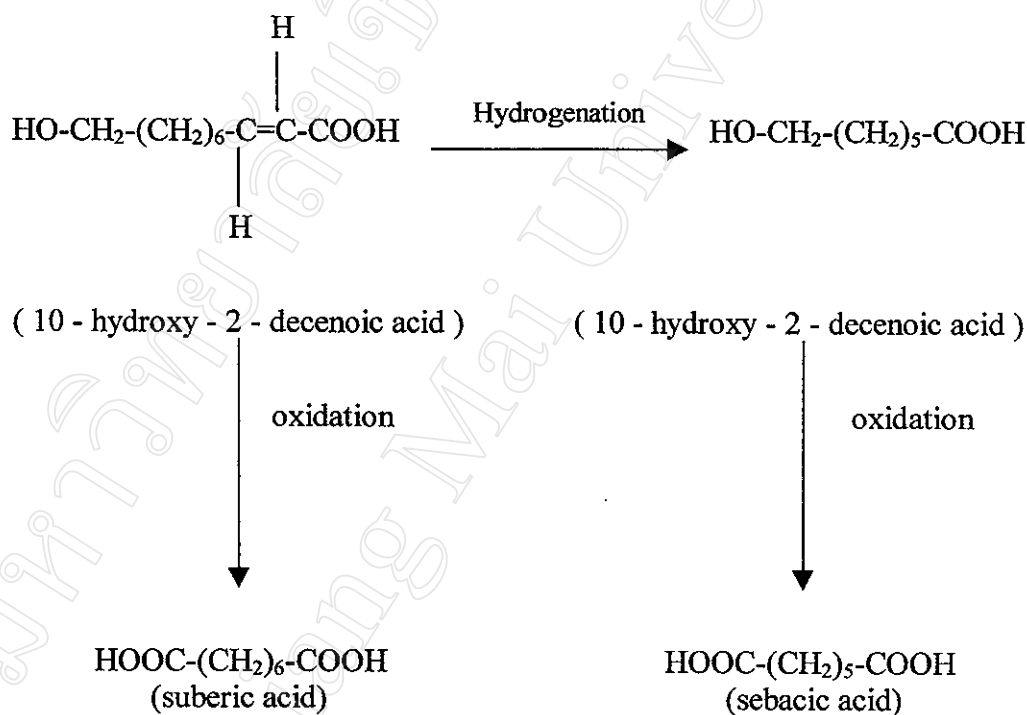
กรด 10-hydroxy-2-decenoic (10-HDA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ปัจจุบันไม่พบในแหล่งอื่น พบเฉพาะในรอยัลเซลล์เท่านั้น Townsend และ Lucas (1940) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรอยัลเซลล์แบ่งตามความสามารถในการละลายและการซึมผ่าน (dialysis) เป็น 4 ส่วน (รูป 8) และเป็นคณะแรกที่แยกกรดไขมันชนิดนี้ออกจากส่วนที่ละลายในอีเธอร์ (ether-soluble material, lipid fraction) ได้แต่ไม่ทราบชนิดของกรดไขมัน ทราบแต่เพียงว่ามีสูตร $C_{10}H_{18}O_3$ มีความเป็นกรดสูง และเป็นกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดในส่วนที่ละลายในอีเธอร์ ต่อมา Butenandt และ Rembold (1957) ยืนยันผลการค้นพบกรดไขมัน 10-HDA และสามารถเขียนเป็นสูตรโมเลกุลได้ดังนี้ $HO-CH_2-(CH_2)_6-CH=CH-COOH$ โดยพบครั้งแรกในอาหารของตัวอ่อนผึ้งงาน



รูป 8 การแยกองค์ประกอบของรอยัลเซลล์ (Townsend and Lucas, 1940)

ในปี ค.ศ. 1959 Callow และคณะ พิสูจน์ให้เห็นว่าสารที่อยู่ในต่อมน้ำลายของผึ้งงานเป็น สารชนิดเดียวกับกรดไขมัน 10-HDA และต่อมา Rembold และ Hanser (1964) พบว่านอกจาก ต่อมน้ำลายแล้ว 10-HDA ยังถูกสร้างจากต่อมไฮโปฟาริงซ์ ซึ่งเป็นต่อมที่อยู่ใกล้กับต่อมน้ำลายด้วย

Barker และคณะ (1959) ศึกษาโครงสร้างของ 10-HDA พบว่าเป็นแบบ transconfiguration มีจุดหลอมเหลวที่ 52 °C มีอยู่ประมาณ 70% ของส่วนที่ละลายในอีเธอร์หรือประมาณ 15% ของ รอยัลเจลลี่แห้ง หรือประมาณ 38.1% ของปริมาณกรดทั้งหมด (Echigo *et al.*, 1982) และยังพบอีกว่า 10 - HDA สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนรูปได้ (ชานนท์, 2538) ดังแสดงในรูป 9

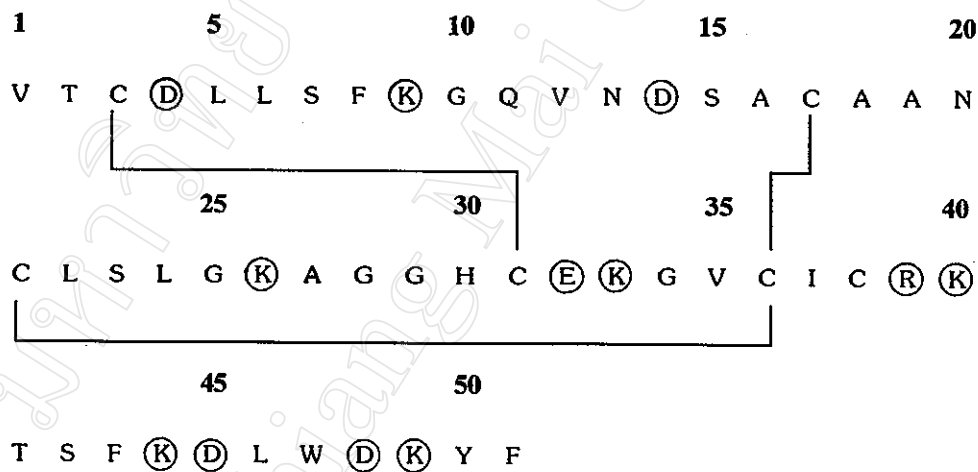


รูป 9 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปของ 10 - HDA (Barker *et al.*, 1959)

รอยัลไลซีน (Fujiwara *et al.*, 1990 ; ฐิตะวัน, 2538)

รอยัลไลซีน (royalisin) เป็นสารประเภทโปรตีน ประกอบด้วยกรดอะมิโน 51 โมเลกุล (รูป 10) ไม่มีกรดไขมัน มีน้ำหนักโมเลกุล 5523 ภายในโมเลกุลพบพันธะ disulfide ระหว่างโมเลกุลของ cysteine 3 แห่ง ณ ตำแหน่งที่ 3-31 , 21-38 และ 17-36 ทำให้โครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure) มีลักษณะชัดเจนเป็นแบบ compact globular structure มีความคงตัวที่ pH ต่ำ และอุณหภูมิสูง ดังเห็นได้ว่าฤทธิ์การต้านจุลชีพคงอยู่แม้ได้รับความร้อนสูงถึง 100 °C นาน 15 นาที

โมเลกุลของ royalisin มีคุณสมบัติเป็นแบบ amphipathic กล่าวคือ ปลายทางด้าน amino-terminal หรือ N-terminal (ตำแหน่ง 1-22) มีคุณสมบัติเป็น hydrophobic ส่วนปลายทางด้าน carboxy-terminal หรือ C-terminal (ตำแหน่ง 23-45) มีลักษณะ hydrophilic ทั้งนี้คุณสมบัติโดยรวมของโมเลกุลเป็นโปรตีนประจุบวก (cationic protein) ที่มีประจุลัพท์ +2



รูป 10 ลำดับของกรดอะมิโนใน royalisin (Fujiwara *et al.*, 1990)

- ตัวอักษรหมายถึงกรดอะมิโน
- ตัวเลขแสดงลำดับกรดอะมิโน
- เส้นที่ระหว่าง cystein (C) แสดงถึงพันธะ disulfide
- วงกลมรอบตัวอักษร แสดงลักษณะกรดอะมิโนที่มีประจุ (charged amino acid)

วิธีการผลิตรอยัลเซลล์ (พิษณุ, 2534 ; บุญมี, 2537)

1. เลือกรังผึ้งที่มีประชากรหนาแน่น แข็งแรง และมีตัวอ่อนของผึ้งอายุน้อย ๆ จำนวนมาก
2. จัดสภาพภายในหีบเลี้ยงผึ้งให้เหมาะสมที่จะใช้ผลิตโดย
 - 2.1 ผึ้งนางพญาต้องไขปากดี สม่าเสมอ
 - 2.2 ผึ้งในรังต้องแข็งแรง และมีผึ้งงานอยู่หนาแน่น
 - 2.3 แหล่งเกสรอุดมสมบูรณ์ รวมถึงน้ำหวานที่จะให้แก่ผึ้งในรัง
3. ใช้แผ่นกั้นนางพญาวางคั่น เพื่อแบ่งรังผึ้งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีผึ้งนางพญา และส่วนที่ไม่มีผึ้งนางพญา หรือทำให้รังผึ้งอยู่ในสภาพขาดนางพญา โดยการนำนางพญาผึ้งออกจากรังเป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง
4. นำคอนผลิตรอยัลเซลล์ ติดด้วยพะเพาะ (ถ้วยพลาสติกขนาดเล็กเท่าหลอดนางพญา) นิยมแบ่งเป็น 3 แถว แถวละ 25-30 ถ้วย แล้วนำไปใส่ลงในหีบ ส่วนที่ไม่มีนางพญาทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง เพื่อให้ผึ้งงานทำความสะอาด และยอมรับถ้วยพะเพาะนั้นก่อน
5. นำคอนผลิตรอยัลเซลล์ที่ใส่ไว้้อออกมาจากรังผึ้ง หยอครอยัลเซลล์ลงก้นถ้วยพะเพาะถ้วยละ 1 หยด ย้ายตัวอ่อนผึ้งงานที่มีอายุประมาณ 1 วัน ใส่ลงในถ้วยพะเพาะ ถ้วยละ 1 ตัว
6. จากนั้นนำคอนผลิตรอยัลเซลล์ที่ย้ายตัวอ่อนลงไปแล้วกลับไปใส่ในหีบเลี้ยงผึ้งตามเดิม เพื่อให้ผึ้งงานคาบรอยัลเซลล์ออกมาเลี้ยงตัวอ่อน
7. หลังจากนั้นประมาณ 3 วัน นำคอนผลิตรอยัลเซลล์ออกมาจากหีบเลี้ยงผึ้ง ใช้มีดปาดบริเวณปากถ้วย ซึ่งผึ้งได้ใช้ไขผึ้งก่อเป็นหลอดรวงยื่นออกมาทิ้งไป
8. ใช้ปากคีบ คีบตัวหนอนที่อยู่ภายในถ้วยพะเพาะออกไป
9. ใช้พายขนาดเล็กคีบรอยัลเซลล์ออกมาจากถ้วยพะเพาะ
10. นำรอยัลเซลล์ที่ได้กรองเอาไขผึ้งและเศษของตัวหนอนออกแล้ว บรรจุลงภาชนะที่มีฝาปิดสนิท ซึ่งอาจใช้ถุงพลาสติก high density polyethylene บรรจุ แล้วแช่ไว้ในตู้แช่แข็ง เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18°C ทันที

ประโยชน์ของรอยัลเยลลี่

เนื่องจากรอยัลเยลลี่ประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และวิตามิน จึงมีการนำเอารอยัลเยลลี่มาเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ทางอาหาร และรับประทานเป็นอาหารเสริม เพื่อเพิ่มสารอาหารให้กับร่างกาย ทำให้มีสุขภาพแข็งแรง ดังนั้นจึงนิยมใช้กับผู้สูงอายุที่มีอาการประสาทอ่อนเพลีย สุขภาพทรุดโทรม เบื่ออาหาร หรือเด็กที่อยู่ในภาวะขาดสารอาหาร (malnutrition) ซึ่งนอกจากจะใช้กับผู้สูงอายุและเด็กขาดสารอาหารแล้วยังใช้ได้กับคนทุกเพศทุกวัยได้ด้วย (Kushima, 1985)

ประโยชน์ของรอยัลเยลลี่ที่เกิดจากสารซึ่งเป็นองค์ประกอบ มีดังนี้

1. การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

สารที่เป็นองค์ประกอบในรอยัลเยลลี่ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียคือ กรด 10-hydroxy-2-decenoic และสารรอยัลไลซีน

- 1.1 กรด 10-hydroxy-2-decenoic (10-HDA) เป็นสารประเภทกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ปัจจุบันไม่พบในแหล่งอื่น พบเฉพาะในรอยัลเยลลี่เท่านั้น สารนี้มีฤทธิ์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้หลายชนิด เช่น *Escherichia coli*, *Micrococcus pyogenes* (Blum et al., 1959) *Streptococcus pyogenes* (Barker et al., 1959) *Staphylococcus aureus* FDA 209, *Bacillus subtilis* Marburg 168 (Yatsunami and Echigo, 1985) *Trypanosoma cruzi*, *Leishmania adleri* และ *L. tropica* (Linder, 1963) สำหรับในประเทศไทย มีรายงานว่ากรดไขมันที่พบในรอยัลเยลลี่มีฤทธิ์ด้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรียต่าง ๆ ทั้งชนิดกรัมบวก และกรัมลบ รวมทั้งเชื้อดื้อยาปฏิชีวนะ ได้แก่ *Proteus vulgaris* และ *Pseudomonas aeruginosa* (ศรีทิพย์, 2529) และใน พ.ศ. 2534 พิชญ ได้ศึกษาประสิทธิภาพของรอยัลเยลลี่ชนิดแห้งและแช่แข็ง ในการยับยั้งแบคทีเรีย 5 ชนิด พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *B. subtilis* TISTR 8, *S. aureus* TISTR 118 และ *E. coli* TISTR 371 ได้ แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* TISTR 451 และ *L. plantarum* TISTR 541 นอกจากนี้ 10-HDA ยังสามารถด้านการเจริญของเชื้อราบางชนิด เช่น *Tricophyton rubrum* (Barker et al., 1959) *Ascosphaera apis* (Kuang et al., 1992) *Epidermophyton floccosum*, *Microsporum canis* และ *M. gypseum* (Nassis et al., 1998) รอยัลเยลลี่

ที่เก็บมาใหม่ ๆ จะมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นและสูงสุดภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นฤทธิ์จะลดลงระดับหนึ่ง และคงที่ตลอดการศึกษานาน 60 วัน มีการทดลองพบว่าในหนูตะเภาที่ติดเชื้อ *Colibacillus* และ *Staphylococcus* เมื่อทาแผลด้วยสารละลายรอยัลเซลล์ 10% แผลจะหายเร็วเท่ากับการใช้สารละลาย penicillin หรือ gramicidin (ธิดา และ อรพรรณ, 2535)

- 1.2 รอยัลไลซีน (royalisin) เป็นสารประเภทโปรตีนที่พบในรอยัลเซลล์ มีฤทธิ์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมบวก (gram-positive bacteria) ได้ดีแม้ในความเข้มข้นต่ำ เช่น *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Leuconostoc cremoris* ATCC 19254, *Clostridium* (Fujiwara et al., 1990) และ *Corynebacterium* แต่รอยัลไลซีนจะมีฤทธิ์ต้านเชื้อได้ดีเฉพาะในแบคทีเรียแกรมบวกเท่านั้น ขณะที่รอยัลเซลล์ให้ฤทธิ์ต้านเชื้อกว้างกว่าเพราะสามารถต้านแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ (รุ่งตะวัน, 2537)
2. ยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง Townsend และคณะ (1959) ยังพบว่า กรด 10-HDA มีฤทธิ์ยับยั้งการขยายตัวของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว (transplantable, AKR) และมะเร็งต่อมน้ำเหลือง (ascites tumor cell, 6C3 HED lymphosarcoma cell) ในหนูทดลอง ได้อย่างสมบูรณ์ ที่ระดับ 1.5 และ 1.0 mg / ml และยังสามารถยับยั้งการขยายตัวของเซลล์มะเร็งเต้านม (TA3 mammary carcinoma cell) ได้อย่างสมบูรณ์ที่ระดับ 2.0 mg / ml ในประเทศไทยก็มีผู้ศึกษาและให้ผลในลักษณะเดียวกัน (สมพร, 2535) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า 10-HDA ยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน และ DNA ของเซลล์มะเร็งกลองเสียง (Hep - 2 cell line) ได้ (สิรินุช, 2536)
3. สารมีฤทธิ์คล้ายอินซูลิน (insulin-like protein) เป็นสารช่วยในการเผาผลาญพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต หรือ แป้ง และน้ำตาล ลดระดับน้ำตาลในเลือด (Dixit and Patel, 1964)
4. อะซิติลโคลีน (acetylcholine) เป็นสารสื่อประสาท ช่วยให้อารมณ์ดี ไม่หงุดหงิด มีฤทธิ์ขยายเส้นโลหิต และยังช่วยให้ลดความดันโลหิตได้ (Colhoun and Smith, 1960)
5. สอโรโมนเพศชาย (testosterone) เป็นสอโรโมนที่มีปริมาณเล็กน้อย จึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้หญิง แต่เป็นสารสำคัญที่ทำให้ผู้ชายดูหนุ่มกว่าวัย และเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ในขณะที่ผู้หญิงก็ดูกระฉับกระเฉง และเสริมสร้างสมรรถภาพทางเพศให้ทั้งชายและหญิง (Vittekk and Slomiany, 1984)
6. กรดแพนโทธีนิก (pantothenic acid) ช่วยลดความเครียดและบำรุงผิวพรรณ
7. วิตามินบี 1 (thiamine) ช่วยให้หัวใจแข็งแรง สร้างเนื้อเยื่อ ช่วยระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

8. วิตามินบี 2 (riboflavin) ช่วยให้มีสายตาดี สร้างเนื้อเยื่อผิว และฮอร์โมนให้กับร่างกาย และเปลี่ยนโปรตีนให้เป็นพลังงาน
9. วิตามินบี 6 (pyridoxin) ช่วยสร้างเม็ดโลหิตแดง และเม็ดโลหิตขาว ช่วยเสริมสร้างความสมบูรณ์ในการสืบพันธุ์ เสริมสร้างกระดูกและฟัน
10. วิตามินบี 3 (niacin) ช่วยในเรื่องของความจำเสื่อม ช่วยย่อยอาหาร ช่วยป้องกันโรคผิวหนัง เบื่ออาหารและหน้ามืด
11. ไบโอติน (biotin) ช่วยเสริมสร้างต่อมเหงื่อ เยื่อประสาท และช่วยลดโรคไขข้อในผู้สูงอายุ
12. อินอสิทอล (inositol) ช่วยป้องกันการสร้างไขมันในตับ ช่วยป้องกันรักษาไตและตับ
13. กรดโฟลิก (folic acid) ช่วยป้องกันโรคโลหิตจางและสร้างเม็ดเลือด