

ผลของแป้งข้าวโพดและสตาร์ชดัดแปรต่อคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมสด

โดย

นางสาวนภาพร พันธุ์สุข

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร

มหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-464-519-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFECT OF CORN FLOUR AND MODIFIED STARCHES ON
QUALITY ATTRIBUTES OF FRESH MILK YOGURT

By

Napaporn Phantusuk

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

A Master's Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2004

ISBN 974-464-519-9

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้สารนิพนธ์เรื่อง “ผลของแป้งข้าวโพด และ สตาร์ชตัดแปรต่อคุณภาพของโยเกิร์ตนมสด “เสนอโดย นางสาวนภาพร พันธุ์สุข เป็นส่วน หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิราวรรณ คงคล้าย)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ผู้ควบคุมสารนิพนธ์

อาจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

คณะกรรมการตรวจสอบสารนิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุขเชษฐ์ สมุหเสนีโต)

...../...../.....

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ)

...../...../.....

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

...../...../.....

K 44403353: สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ: โยเกิร์ต/ นมสด/ แป้ง/ สตาร์ชดัดแปร

นภาพร พันธุ์สุข: ผลของแป้งข้าวโพดและสตาร์ชดัดแปรต่อคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมสด (EFFECT OF CORN FLOUR AND MODIFIED STARCHES ON QUALITY ATTRIBUTES OF FRESH MILK YOGURT) ผู้ควบคุมสารนิพนธ์: อาจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศิริไลซาดิ. 97 หน้า. ISBN 974-464-519-9

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลของแป้งข้าวโพด สตาร์ชดัดแปรแป้งข้าวโพด สตาร์ชดัดแปรแป้งมันสำปะหลัง และสตาร์ชดัดแปรแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง ต่อคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมสด เพื่อนำไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของโยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษา โดยประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ (viscosity และ syneresis) เคมี (total solids, total soluble solids, pH, titratable acidity) จุลินทรีย์ (lactic acid bacteria) และการยอมรับทางประสาทสัมผัส (hedonic scoring) ผลการทดลองพบว่าแป้งและสตาร์ชดัดแปรที่ทดลองมีผลต่อคุณลักษณะของโยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าการใช้สตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ลักษณะที่ดีที่สุดและใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้นมผงเป็นส่วนผสมแทนนมสดและไม่มีการเติมแป้งหรือสตาร์ช จึงนำไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโยเกิร์ตระหว่างการเก็บ พบว่าที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส และ 10 ± 1 องศาเซลเซียส โยเกิร์ตมีค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด และค่าการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนค่าของแข็งที่ละลายได้และจำนวนจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลคติกลดลง และคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความหวาน และความชอบโดยรวมลดลงระหว่างการเก็บรักษาซึ่งสามารถคงคุณภาพการบริโภคของโยเกิร์ตที่ยอมรับได้ 14 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส และ 7 วันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียส

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ผู้ควบคุมสารนิพนธ์.....

K 44403353: MAJOR: FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: YOGURT/ FRESH MILK/ FLOUR/ MODIFIED STARCHES

NAPAPORN PHANTUSUK: EFFECT OF CORN FLOUR AND MODIFIED STARCHES ON QUALITY ATTRIBUTES OF FRESH MILK YOGURT. MASTER'S REPORT
ADVISOR: PRASONG SHIRIWONGWILICHART, Ph.D. 97 pp. ISBN 974-464-519-9

The aim of this study was to examine the effect of corn flour, tapioca starch and the mixture of modified corn and tapioca starch on the quality of stirred fresh milk yogurt. The suitable flour or starch was selected to study the changes in product attributes during storage. Physical properties (viscosity and syneresis), chemical properties (total solids, total soluble solids, pH, titratable acidity), microbiological properties (lactic acid bacteria) and product acceptability (hedonic scoring) were evaluated. The results indicated the significant affect of experimental flour and starches on the quality attributes of yogurt ($p \leq 0.05$). It was found that the mixture of modified corn and tapioca starch of 0.5 % gave the highest product satisfaction which was closed to that of control sample in which fresh milk was replaced by skim milk powder without flour or starches added. Yogurt of this combination was then kept at 4 ± 1 °C and 10 ± 1 °C to examine the changes in product quality. It appeared that viscosity, acidity and syneresis of product increased. On the other hand, total soluble solids and lactic acid bacteria decreased. Product acceptability of color, flavor. Taste, sweetness, texture and overall liking decreased over the storage period. The eating quality of yogurt could be preserved at 4 ± 1 °C for 14 days and at 10 ± 1 °C for 7 days

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2004

Student' s signature.....

Master's Report Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้รับแนวคิดริเริ่มในงานวิจัย และแนวทางการเขียนสารนิพนธ์ ตลอดจนความช่วยเหลือสนับสนุน เอาใจใส่อย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ และได้รับความช่วยเหลือกลั่นกรองให้งานวิจัยมีคุณค่ายิ่งขึ้นจากอาจารย์ อาจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัยและอาจารย์ ดร.สุเชษฐุ์ สมุหเสนาโต งานวิจัยจึงสำเร็จลงด้วยดี ผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่กรุณาประสิทธิประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ซึ่งเป็นรากฐานอย่างดียิ่งในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ซึ่งอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณพนักงานองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย สำนักงาน อ.ส.ค. ภาคใต้ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านอย่างดียิ่ง

ขอขอบใจเพื่อน ๆ และน้องปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร ซึ่งเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในทุกด้านอย่างดียิ่ง และสำหรับผู้มีส่วนช่วยเหลือซึ่งผู้วิจัยมิได้กล่าวนาม ก็ขอได้รับความขอบคุณจากผู้วิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ ซึ่งกรุณาให้ความเมตตาความช่วยเหลือสนับสนุน ทั้งยังเป็นแรงใจให้ผู้วิจัยตลอดมา และระลึกถึงพระคุณของคุณพ่อที่ได้ล่วงลับไปแล้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่ออังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1.	
บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
2.	
ตรวจเอกสาร.....	4
ประวัติและความสำคัญของโยเกิร์ต.....	4
มาตรฐานกฎหมายของโยเกิร์ต (legal standard).....	5
ชนิดโยเกิร์ต (types of yogurt)	5
แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต	5
แบ่งตามลักษณะกลิ่นรส	6
กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ต (production of yogurt).....	7
การเตรียมส่วนผสมเบื้องต้น	9
การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenization).....	13
การให้ความร้อน (heat treatment).....	14
กระบวนการหมัก (fermentation process).....	16
การทำให้เย็น	17
การเติมองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสและสี.....	18
จุลินทรีย์ในโยเกิร์ต	18

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของการหมักโยเกิร์ต	21
แนวทางการเปลี่ยนแปลง (metabolic pathways).....	21
การสร้างกรดแลคติก (production of lactic acid).....	23
การเกิดสารให้กลิ่นรส	24
การเก็บรักษาคุณภาพของโยเกิร์ต	26
ส่วนผสมผลิตภัณฑ์นม.....	26
โปรตีนนม.....	29
เคซีน	30
โปรตีนเวย์	34
เอนไซม์.....	35
แลคโตส.....	35
วิตามิน.....	36
แป้งและสตาร์ช.....	38
แป้งข้าวโพด.....	42
สตาร์ชดัดแปร	43
การใช้สตาร์ชดัดแปรในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต.....	47
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	48
3. ศึกษาการใช้แป้งข้าวโพดและสตาร์ชดัดแปรชนิดต่าง ๆ ในโยเกิร์ตนมสด.....	49
วัสดุและอุปกรณ์.....	49
วัตถุประสงค์.....	49
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง.....	50
สารเคมี.....	51
วิธีการทดลอง.....	51
การวางแผนการทดลอง.....	53
ประเมินผลการทดลอง.....	54
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	54
ผลการทดลอง.....	55

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนลิขสิทธิ์

	ผลของแป้งข้าวโพด (corn flour) และสตาร์ชดัดแปร (modified starches) ต่อลักษณะทางกายภาพและเคมีของโยเกิร์ตนมสด.....	55
	ผลของแป้งข้าวโพด (corn flour) และสตาร์ชดัดแปร (modified starches) ต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมสด.....	57
4.	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมสด	
	ระหว่างการเก็บรักษา.....	59
	วัสดุและอุปกรณ์.....	59
	วัตถุดิบ.....	59
	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง.....	60
	สารเคมี.....	61
	วิธีการทดลอง.....	61
	การเตรียมตัวอย่างและการวางแผนการทดลอง.....	61
	การวิเคราะห์ผล.....	62
	ผลการทดลอง.....	62
	การเปลี่ยนแปลงความหนืด (viscosity).....	62
	การเปลี่ยนแปลงค่าการแยกตัวของน้ำ (syneresis).....	63
	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	64
	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด.....	65
	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้.....	66
	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียสร้างกรดแลคติก.....	67
	การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส.....	68
5.	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	72
	ข้อเสนอแนะ.....	72
	บรรณานุกรม.....	73

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก.....	79
ภาคผนวก ข.....	80
ภาคผนวก ค.....	82
ภาคผนวก ง.....	84
ภาคผนวก จ.....	85
ภาคผนวก ฉ.....	89
ภาคผนวก ช.....	91
ภาคผนวก ซ.....	92
ภาคผนวก ฌ.....	93
ประวัติผู้วิจัย.....	97

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดของสารคงตัวต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตโยเกิร์ต.....	12
2.2	เวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่นมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต.....	15
2.3	จำนวนจุลินทรีย์ของหัวเชื้อโยเกิร์ตที่ใช้ในการผลิต.....	21
2.4	องค์ประกอบต่าง ๆ ของโปรตีนในนม.....	30
2.5	สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลแลคโตส 2 ไอโซเมอร์.....	36
2.6	สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน.....	39
2.7	คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส.....	40
2.8	องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวโพด.....	42
2.9	คุณสมบัติภายในเมล็ดข้าวโพด.....	43
2.10	ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของแป้งตัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร.....	44
3.1	ตารางองค์ประกอบการผลิตโยเกิร์ต.....	53
3.2	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโยเกิร์ตที่เตรียมจากแป้งข้าวโพด (corn flour) และสตาร์ชตัดแปร.....	56
3.3	ผลของแป้งข้าวโพดและสตาร์ชตัดแปรต่อลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมสด.....	58
4.1	ความหนืดของโยเกิร์ต ที่เก็บที่อุณหภูมิและเวลา.....	62
4.2	ค่าการแยกตัวของน้ำของโยเกิร์ตนมสดที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกัน.....	63
4.3	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของโยเกิร์ตที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ	64
4.4	ค่าความเป็นกรดในรูปของกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมสดที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกัน.....	65
4.5	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของโยเกิร์ตที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกัน.....	66

ตารางที่

หน้า

4.6	จำนวนแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกในโยเกิร์ตที่อุณหภูมิและระยะเวลา การเก็บต่างกัน67
4.7	คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมสดระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส.....69
4.8	คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมสดระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียส.....70

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ผังกรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัวและ/หรือชนิดคน.....	7
2.2	ขั้นตอนการเตรียมโยเกิร์ตชนิดคน.....	8
2.3	เครื่องโฮโมจีไนส์แบบ 2 stage.....	14
2.4	หัวเชื้อโยเกิร์ต (<i>Streptococcus thermophilus</i>).....	19
2.5	หัวเชื้อโยเกิร์ต (<i>Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus</i>).....	20
2.6	แนวทางการเปลี่ยนแปลงการใช้น้ำตาลแลคโตสของหัวเชื้อ <i>streptococcus thermophilus</i> และ <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	22
2.7	โครงสร้างโมเดลของกรดแลคติก.....	23
2.8	องค์ประกอบของน้ำนม.....	29
2.9	แสดงลักษณะโครงสร้างของเคชีอื่นไม่เซลล์.....	32
2.10	แสดงลักษณะโครงสร้างของเคชีอื่นไม่เซลล์.....	33
2.11	แบบจำลองการจับตัวของอะมิโลสกับสารอินทรีย์.....	41
2.12	แบบจำลองโครงสร้างของอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพกทินและไขมัน.....	41
3.1	ขั้นตอนการเตรียมโยเกิร์ตชนิดคน (stirred yogurt).....	52
ก. 1	โยเกิร์ต.....	79
ก. 2	โยเกิร์ต.....	79
ข. 1	เครื่องมือวัดความหนืด (brookfield).....	80
ข. 2	เครื่องมือวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter).....	80
ข. 3	เครื่องวัดองค์ประกอบของน้ำนม (milk analyzer).....	81
ข. 4	เครื่องมือวัดค่าของแข็งที่ละลายได้ (hand refractometer).....	81
ค. 1	ขบวนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคน (stirred yogurt).....	82
ค. 2	ขบวนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัว (set yogurt).....	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักสามารถเตรียมได้จากนมอุตุมไขมันหรือนมพร่องไขมัน นมเข้มข้น นมคั้นรูปจากนมผงที่ขาดไขมันหรือพร่องไขมัน หรือส่วนผสมของนมดังกล่าวข้างต้นเข้าด้วยกัน องค์การอาหารและเกษตรแห่งโลก/องค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) ได้แบ่งชนิดของนมตามปริมาณไขมันเป็น โยเกิร์ตไขมันเต็มมีปริมาณไขมันสูงกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ โยเกิร์ตไขมันปานกลางมีปริมาณไขมัน 3.0 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์ และโยเกิร์ตไขมันต่ำมีปริมาณไขมันน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโยเกิร์ตไขมันต่ำและไขมันปานกลางจะมีการเติมนมผงเป็นส่วนผสมในโยเกิร์ตจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ และกลิ่นรสของโยเกิร์ต ส่วนในโยเกิร์ตไขมันเต็มมีองค์ประกอบของไขมันในนมปริมาณสูง เมื่อนำไปผ่านการหมักจะทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีปริมาณครีมสูงตามไปด้วย นอกจากนี้ น้ำตาลแลคโตสที่มีอยู่ในนมจะถูกใช้เป็นแหล่งอาหารของหัวเชื้อโยเกิร์ต ส่วนโปรตีนองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการตกตะกอนเป็นมวลตะกอน (coagulum) ซึ่งมีผลต่อความหนืด (consistency/viscosity) ของผลิตภัณฑ์

องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.) เป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงโคนมเพื่อผลิตนํ้านมโคเพื่อให้เพียงพอต่อการบริโภคภายในประเทศ พร้อมทั้งมีโรงงานผลิตนมเพื่อรองรับนํ้านมจากเกษตรกรดังกล่าว นโยบายของ อ.ส.ค. คือผลิตภัณฑ์ทุกชนิดต้องผลิตจากนํ้านมสดเท่านั้น โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ อ.ส.ค. ทำการผลิต ซึ่งเดิมผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผลิตจากนมผง เมื่อมีการกำหนดให้ใช้นมสดเป็นวัตถุดิบในการผลิตโดยไม่ใช้นมผงเป็นส่วนผสม จึงเกิดปัญหาต่อผลิตภัณฑ์ตามมาในเรื่องของความคงตัวและเนื้อสัมผัส

สัดส่วนของของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันได้แก่ น้ำตาลแลคโตส โปรตีนและเกลือแร่ มีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกายภาพและกลิ่นรสของโยเกิร์ต โดยเฉพาะความหนืดของมวลตะกอน ซึ่งโดยทั่วไปของแข็งในส่วนผสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ตยิ่งสูงผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะมีความหนืดมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีคุณภาพจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันในนม

ดังนั้นในการผสมโยเกิร์ตจะต้องหาวิธีการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยอาศัยกรรมวิธีการต่าง ๆ เช่นการให้ความร้อน เพื่อเพิ่มความเข้มข้น หรือการใช้สารให้ความคงตัว เช่นการเติมนมผง การเติมบัทเตอร์มิลล์ การเติมแป้ง หรือสตาร์ชดัดแปร เป็นต้น

เนื่องจากแป้งและสตาร์ชดัดแปร มีคุณสมบัติเฉพาะ ได้มีการนำแป้งข้าวโพด สตาร์ชแป้งข้าวโพด และสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัส ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารไม่ให้เสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูป (freeze - thaw) สภาวะกรด และการทำพาสเจอร์ไรเซชัน (pasteurization) เป็นต้น

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ได้จึงได้ทดลองนำแป้งข้าวโพด สตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตโยเกิร์ตจากนมสดไขมันเต็มชนิดคน (stirred yogurt) เพื่อเพิ่มความคงตัวของโยเกิร์ต นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นสารให้ความคงตัว (stabilizer) ให้ลักษณะเฉพาะตัวในโยเกิร์ตให้คงอยู่หรือเพิ่มขึ้น เช่นลักษณะเนื้อสัมผัส (body and texture) ความหนืด ลักษณะปรากฏด้านโครงสร้างของเจล โดยช่วยลดปัญหาการแยกชั้นของหางนม (whey) ที่เรียกว่า syneresis นอกจากนี้สารคงตัวยังช่วยยืดอายุการเก็บ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ โดยทำให้เจลในน้ำมีปริมาณน้ำอิสระสำหรับการเกิดการแยกตัวของน้ำลดลง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของแป้งและสตาร์ชดัดแปรต่อคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมสด
- 1.2.2 คัดเลือกแป้งที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตนมสด
- 1.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของโยเกิร์ตที่ผสมแป้งที่เหมาะสมระหว่างการเก็บรักษา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ประวัติและความสำคัญของโยเกิร์ต

โยเกิร์ต เป็นภาษาตุรกี มีหลักฐานปรากฏว่าโยเกิร์ตมีต้นกำเนิดในราชสำนักของกษัตริย์ฟรานซิสแห่งฝรั่งเศส ตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 16 จนเมื่อ ค.ศ. 1907 นักวิทยาศาสตร์ชื่อดังของโลกเขียนถึงโยเกิร์ตคืออายุวัฒนะสำหรับมนุษย์ คนยุโรปจึงหันมารับประทานโยเกิร์ตกันมากขึ้นเรื่อย ๆ จนมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ในปี ค.ศ. 1919 ในกรุงบาร์เซโลนา ประเทศสเปน ปัจจุบันมีประชาชนทั่วโลกรับประทานโยเกิร์ตกันเป็นประจำกว่าร้อยละ 30 (คัคนางค์, 2543)

โยเกิร์ตที่ผลิตจากนมสดจะมีคุณค่าทางโภชนาการเทียบเท่านมสด โปรตีนที่ได้จากโยเกิร์ตคือ เคซีน (casein) เป็นโปรตีนคุณภาพสูง เพราะมีสารที่จำเป็นที่ร่างกายเราไม่สามารถสร้างเองได้มากมาย ได้แก่ กรดอะมิโนที่จำเป็น อันมีส่วนสำคัญต่อระบบต่าง ๆ ในร่างกายของเรา มีสารอาหารที่มีคุณค่ามากมายทั้ง คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินเอ วิตามินบี แร่ธาตุสำคัญ ๆ เช่น แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และเชื้อจุลินทรีย์ แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) ช่วยให้ระบบทางเดินอาหารทำงานเป็นปกติ ดังงานวิจัยในหลายประเทศพบว่าโยเกิร์ตสามารถป้องกันอาการท้องอืด อาหารไม่ย่อยหรือท้องเดินเมื่อดื่ม ซึ่งเกิดจากการขาดน้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยน้ำตาลแลคโตสที่อยู่ในนมสด ในโยเกิร์ตมีจุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัส ช่วยย่อยน้ำตาลให้เปลี่ยนเป็นกรดจึงช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้สำหรับผู้ที่ยุคดื่มเป็นระยะเวลานาน (โครงการสวนพระองค์ฯ, 2543)

มีการศึกษาทั้งในญี่ปุ่น อิตาลี และสวีเดนพบว่าการรับประทานโยเกิร์ตหรือนมเปรี้ยวเป็นประจำ จะช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันโรคในร่างกาย เนื่องจากช่วยเพิ่มการสร้างสารอินเตอร์เฟอรอนถึง 3 เท่า ซึ่งปกติสารตัวนี้ เป็นสารเคมีที่ร่างกายสร้างขึ้นเองได้โดยธรรมชาติเพื่อช่วยต่อสู้กับเชื้อโรคหลายชนิด ไม่ทำให้เซลล์เตอรอลในเลือดสูงขึ้น และยังอุดมไปด้วยไขมันธรรมชาติ มีฤทธิ์คล้ายฮอร์โมน ซึ่งทำหน้าที่ปกป้องผนังกระเพาะอาหารของเราจากสารกระตุ้นต่าง ๆ เช่น แอลกอฮอล์ บุหรี่ ช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคมะเร็งและเนื้องอกในลำไส้ใหญ่ (จารุวรรณ, 2543)

แต่เดิมโยเกิร์ตมักเสื่อมเสียได้ง่ายเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จึงได้มีการเติมเกลือ แบงซาลี หรือให้ความร้อนต่อไปอีกเพื่อให้มีอายุการเก็บยาวนานขึ้น ต่อมาระบบทำความเย็นเข้ามามีบทบาทในการผลิต และระหว่างการผลิต และระหว่างการรอจำหน่าย จึงทำให้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ยาวนานขึ้น

2.2 มาตรฐานกฎหมายของโยเกิร์ต (legal standard)

ในระยะแรกยังไม่มีการมาตรฐานสำหรับโยเกิร์ต ต่อมา มีการแบ่งชนิดโยเกิร์ตเป็น โยเกิร์ตชนิดคงตัว (set yogurt) และ โยเกิร์ตชนิดคน (stirred yogurt) ขึ้น หรืออาจแบ่งออกตามลักษณะของปริมาณไขมัน เช่น ไขมันเต็ม, ไขมันปานกลางและไขมันต่ำ โยเกิร์ตทุกชนิดจะต้องมีปริมาณกรดและจุลินทรีย์ ดังนี้คือค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต้องต่ำกว่า 4.5 ไม่มีน้ำย่อยฟอสฟาเทสเหลืออยู่เลย ไม่มีเชื้อแบคทีเรีย *E.Coli* ใน 0.1 มิลลิลิตร และจำนวนของยีสต์ รา แบคทีเรียต้องต่ำกว่า 100 ต่อ มิลลิลิตร

มาตรฐานกฎหมายของโยเกิร์ต ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ เช่น คาร์บอนของไขมัน ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (solid-not-fat หรือ SNF) หรือปริมาณของแข็งทั้งหมด ตามมาตรฐานของ FAO/WHO กำหนดให้แบ่งชนิดของโยเกิร์ตตามปริมาณไขมันดังนี้ โยเกิร์ตไขมันเต็มมีปริมาณไขมันสูงกว่าร้อยละ 3.0 โยเกิร์ตไขมันปานกลางมีปริมาณไขมันร้อยละ 3.0-0.5 และโยเกิร์ตไขมันต่ำมีปริมาณไขมันต่ำกว่าร้อยละ 0.5

2.3 ชนิดโยเกิร์ต (types of yogurt) แบ่งได้ดังนี้

2.3.1 แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต (methods of production)

การผลิตโยเกิร์ตในอุตสาหกรรมมี 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ โยเกิร์ตชนิดคงตัว และโยเกิร์ตชนิดคน

2.3.1.1 การผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัว (set yogurt) เป็นการผลิตโดยเพาะเชื้อในน้ำนม แล้วบรรจุลงในภาชนะบ่มจนมีลักษณะแข็งเป็นก้อน ถ้าคนจะกลายเป็นของเหลวไประยะหนึ่งและในที่สุดจะแข็งตัวตามเดิม เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหมักขึ้นในภาชนะบรรจุ (สำหรับจำหน่ายปลีก) ลักษณะของมวลตะกอน ที่ได้เป็นมวลเนื้อเดียวกันที่ต่อเนื่องและมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งเหลว

ขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัว (set yogurt) เริ่มจากการพาสเจอร์ไรส์นมแล้วทำให้เย็นลงที่ 45 องศาเซลเซียสโดยไม่มีฟองอากาศ ให้เติมหัวเชื้อลงไปทันที (2.5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 2.5 ลิตรต่อ 100 ของนม) คนให้เข้ากันแล้วจึงบรรจุในถ้วยพลาสติกขนาด 110 มิลลิลิตรถึง 250 มิลลิลิตร เก็บไว้ 2.5 ชั่วโมงถึง 3 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรดที่ 4.6 แล้วทำให้เย็นที่ 4 องศาเซลเซียสตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวออกจากโครงสร้างของโปรตีน และเพื่อให้ได้ค่าความหนืดสูงสุด ภายหลังจากที่ผลิตแล้วควรจะมีเก็บไว้ 24 ชั่วโมงก่อนนำออกจำหน่าย เพื่อให้โยเกิร์ตที่ได้มีความแน่นเนื้อ (Firmness) ที่ดี

2.3.1.2 การผลิตโยเกิร์ตชนิดคน (stirred yogurt) เป็นการผลิตโดยเติมเชื้อในนมแล้วบ่มในถังหมักเมื่อนมแข็งตัวเป็นก้อนแล้วทำการปั่นเพื่อทำลายในโครงสร้างตะกอนนม แล้วจึงบรรจุลงในภาชนะทำให้โยเกิร์ตที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลว ถ้าคนมากความหนืดจะลดลง เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิต่ำ ความหนืดจะกลับคืนมา โยเกิร์ตชนิดคนนี้เทได้ง่าย ลักษณะของมวลตะกอนที่ได้จะแตกหรือแยกกันก่อนที่จะนำไปทำความเย็นหรือบรรจุตัวอย่างเช่น นมเปรี้ยวหรือโยเกิร์ตชนิดเหลว ซึ่งมีปริมาณของแข็งเพียงร้อยละ 11 หรือน้อยกว่า เป็นต้น

โยเกิร์ตชนิดคนจะใช้เชื้อในการหมักน้อยกว่าโยเกิร์ตชนิดคงตัว (0.025 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 25 มิลลิลิตรต่อ 100 ลิตรของนํานม) โดยทำการหมักที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส หลังจากเติมเชื้อในการหมักแล้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 16-18 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรดที่ระดับ 4.6 จะได้มวลตะกอน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเวย์ ไขมัน แลคโตสและอื่น ๆ ในระหว่างการทำเย็น หรือทำให้เย็นควรคนเบา ๆ ไปเรื่อย ๆ พวกโพลีแซคคาไรด์จะเกิดขึ้นในระหว่างที่เติมเชื้อในการหมัก และจะรวมกับโครงสร้างของโปรตีนทำให้ได้โครงสร้างของโยเกิร์ตที่มีความหนืดและเนื้อเนียนเรียบ

ในระหว่างการบรรจุควรควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส และเก็บไปไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส ถ้าสูงกว่านี้จะมีรสเปรี้ยว โยเกิร์ตควรผลิตภายใน 48 ชั่วโมงก่อนที่จะนำออกไปจำหน่าย เพื่อให้ได้ความหนืดที่พอเหมาะ

2.3.2 แบ่งตามลักษณะกลิ่นรส ได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.3.2.1 โยเกิร์ตชนิดธรรมดา (plain yogurt)

2.3.2.2 โยเกิร์ตที่ปรุงด้วยผลไม้ (fruit yogurt)

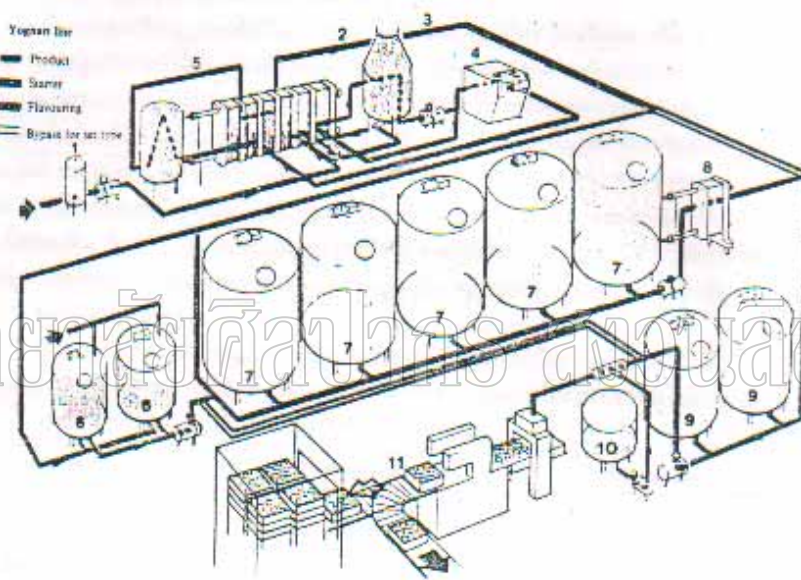
2.3.2.3 โยเกิร์ตปรุงด้วยสารสังเคราะห์ (flavored yogurt)

โดยโยเกิร์ตทั้ง 3 กลุ่มนี้อาจผลิตเป็นโยเกิร์ตชนิดคงตัวหรือโยเกิร์ตชนิดคนก็ได้ (คัคนางค์, 2543)

อายุการเก็บของโยเกิร์ตจะยาวนานกว่านมพาสเจอร์ไรส์ เพราะมีความเป็นกรดสูง โยเกิร์ตควรเก็บและขนส่งด้วยรถห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อให้รสชาติคงที่ ถ้าเก็บตาม อุณหภูมิที่กำหนดจะเก็บได้นานถึง 7 – 10 วัน

2.3.1 กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ต (production of yogurt)

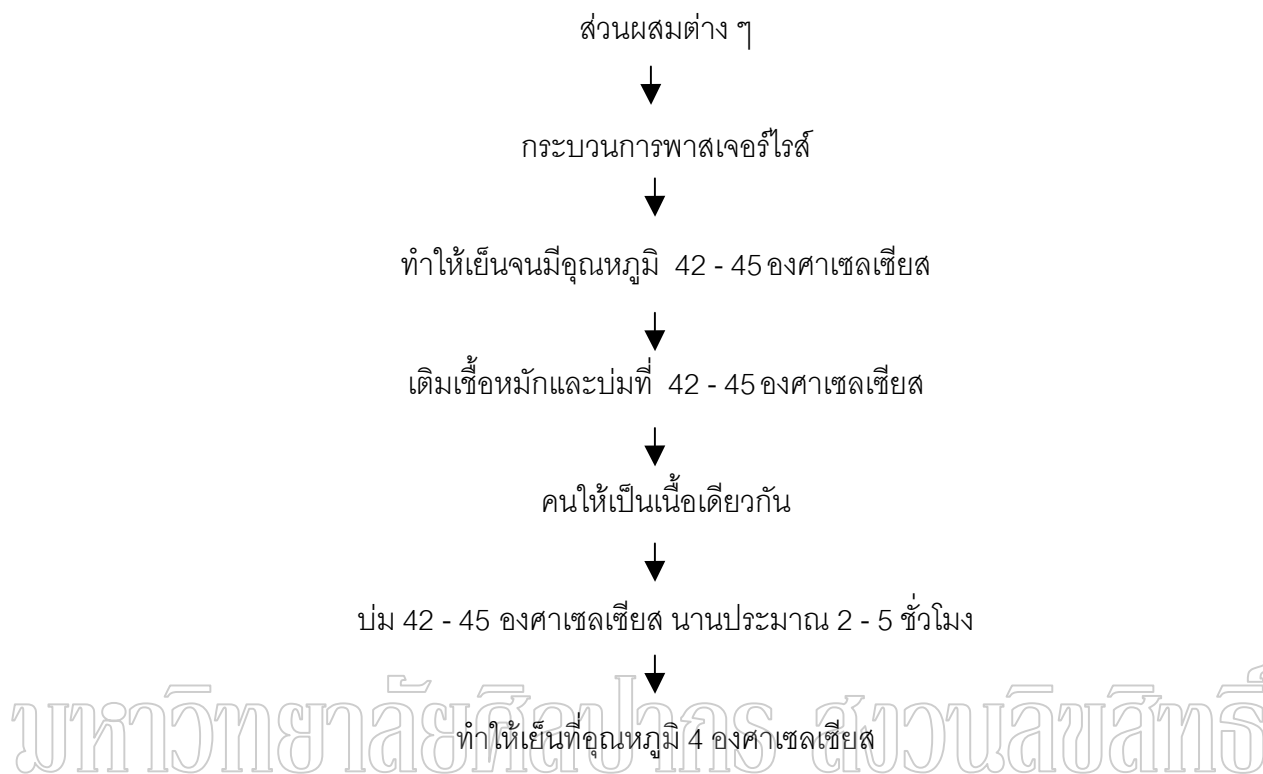
กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ตจากแผนภาพที่ 2.1 ในโรงงานไม่ว่าจะเป็นโยเกิร์ตชนิดคงตัวหรือโยเกิร์ตชนิดคนสามารถสรุปกระบวนการและเครื่องมือที่ใช้ได้ดังนี้



ภาพที่ 2.1 ผังกรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัวและ/หรือชนิดคน

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| (1) balance tank | (7) incubation tanks |
| (2) plate heat exchanger | (8) plate cooler |
| (3) vacuum chamber | (9) intermediate tanks |
| (4) homogenizer | (10) fruit addition |
| (5) holding tube | (11) packing machine |
| (6) bulk starter tanks | |

ที่มา : Robinson และ Tamine (1985)



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการเตรียมโยเกิร์ตชนิดคน (stirred yogurt)

จากแผนภาพที่ 2.2 แสดงไว้ในขั้นตอนของการเตรียมโยเกิร์ต ในขั้นต้นน้ำนมดิบจะต้องทำการปรับมาตรฐานเสียก่อน เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์ของไขมันและของแข็งไม่รวมไขมันได้ตามต้องการ ถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของไขมันสูงจะทำให้กลิ่นและรสชาติดีขึ้น ตามกฎหมายค่าร้อยละของของแข็งไม่รวมไขมัน จะต้องไม่น้อยกว่า 8.1 เปอร์เซ็นต์เพื่อให้มีความหนืดพอเหมาะจะต้องเพิ่มของแข็งไม่รวมไขมันของน้ำนมประมาณ 12- 16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้จากการระเหยเอาน้ำออกจากน้ำนม หรือเติมนมผง 3-4 เปอร์เซ็นต์ หรือผงเวย์ 1-2 เปอร์เซ็นต์ หรือ ผงเคซีน 1-2 เปอร์เซ็นต์ นมผงเหล่านี้จะต้องเป็นนมผงที่มีคุณภาพดี และละลายในน้ำนมได้ดี

ขบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ให้นำน้ำนมไปไฮโดรไมซิไนส์ที่ 20 MPa (200 บาร์) ที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ไขมันเม็ดใหญ่จะถูกทำลายให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ และจะละลายเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด

ขบวนการพาสเจอร์ไรส์ เมื่อผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ แล้วให้นำนํ้านมไปพาสเจอร์ไรส์ ทันที เพื่อป้องกันไม่ให้นํ้าย่อย (enzyme) ไปทำลายไขมัน จะทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีรสชาติไม่ดี ความร้อนจะฆ่าเชื้อโรคอื่น ๆ ความร้อนจะทำให้โปรตีนเวย์เกิดเสียสภาพไปจะทำให้ได้โครงสร้างโปรตีนที่ไม่ดี เมื่อเติมเชื้อในการหมักลงไปจะทำให้ค่าความหนืดของโยเกิร์ตเพิ่มขึ้น ถ้าจะให้ได้ดี ขบวนการพาสเจอร์ไรส์จะต้องต้มนํ้านมให้ร้อน 85 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที และต้มนํ้าให้ร้อน 90 องศาเซลเซียสนาน 5 นาทีในขบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบต่อเนื่อง

การทำให้เย็นเมื่อนํ้านมถูกพาสเจอร์ไรส์แล้วทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิที่กำหนด ก่อนที่จะเติมเชื้อในการหมักลงไป ถ้าเป็นโยเกิร์ตชนิดคงตัวจะต้องทำให้เย็นลงที่ 45 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นโยเกิร์ตชนิดคน จะต้องเย็นลงที่ 31 องศาเซลเซียส การทำให้นํ้านมเย็นลงต้องป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปในนํ้านมเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศ

เชื้อที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต ประกอบด้วยแลคติกแอซิคแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ

Streptococcus salivarius sub sp. thermophilus (cocci) และ *Lactobacillus delbruckii sub sp. Bulgaricus (bacilli)* ซึ่งแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดนี้จะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 30 องศาเซลเซียส ถึง 45 องศาเซลเซียส แบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้จะอาศัยซึ่งกันและกัน (symbiosis) อัตราส่วนของ cocci ต่อ bacilli ควรจะเป็น 1:1 เมื่อเติมเชื้อในการหมักลงไป พวกแลคติกแอซิคแบคทีเรีย จะเจริญเติบโตขึ้นมาก่อนนํ้าตาลแลคโตสจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดแลคติก ดังนั้นค่าความเป็นกรดต่างของนํ้านมจะลดลงเพราะเป็นกรดและเกิดเป็นมวลตะกอนขึ้นในระยะแรก cocci จะเจริญได้ดีกว่า bacilli ส่วน bacilli จะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะนมเปรี้ยว

2.4.1 การเตรียมส่วนผสมเบื้องต้น

เนื่องจากองค์ประกอบของนํ้านมแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อนํ้านมมาผ่านการหมักจะทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีคุณภาพแตกต่างกัน เช่น เมื่อไขมันในนมมีปริมาณสูงกว่า จะให้โยเกิร์ตที่มีความเป็นครีมสูงตามไปด้วย เป็นต้น นอกจากนี้แล้วนํ้าตาลแลคโตสที่มีอยู่ในนมจะถูกใช้เป็นแหล่งอาหารของหัวเชื้อโยเกิร์ต ส่วนโปรตีนก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการตกตะกอนเป็นมวลตะกอน ซึ่งมีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีคุณภาพจึงจำเป็นต้องปรับคุณภาพนํ้านมก่อนหมักดังนี้

2.4.1.1 การปรับปริมาณไขมันในนม

ในประเทศอังกฤษ ปริมาณไขมันเนยโดยเฉลี่ยในนมจะอยู่ระหว่าง 3.7- 4.2 เปอร์เซ็นต์แต่ปริมาณไขมันในโยเกิร์ตเฉลี่ย 1.5 เปอร์เซ็นต์สำหรับโยเกิร์ตไขมันปานกลาง หรือ 0.5 เปอร์เซ็นต์สำหรับโยเกิร์ตไขมันต่ำ ในการปรับปริมาณไขมันในนมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ตจะใช้หลักการของเปียสัน สแควร์ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ตัวอย่างเช่น ต้องการหาปริมาณครีม (50 เปอร์เซ็นต์ไขมัน) และนมขาดมันเนย (0.1 เปอร์เซ็นต์ไขมัน) เมื่อต้องการนมโยเกิร์ตที่มีไขมัน 1.5 เปอร์เซ็นต์ปริมาณ 1,000 ลิตร

ครีม	50	1.5 - 0.1	= 1.4	
	↙ ↘	↙ ↘		
	1.5			
	↙ ↘	↙ ↘		
นมขาดมันเนย	0.1	50 - 1.5	= 48.5	
ดังนั้น ต้องใช้ครีม		$1.4 \times 1000/49.9$	= 28.1	ลิตร
ต้องใช้มันขาดมันเนย		$48.5 \times 1000/49.9$	= 971.9	ลิตร
ปริมาณนมที่ปรับแล้วทั้งหมด			= 1,000	ลิตร

2.4.1.2 การปรับปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) ในนม

สัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน ได้แก่ น้ำตาลแลคโตส โปรตีน และเกลือแร่ในนมที่ใช้ในกระบวนการผลิตโยเกิร์ต จะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกายภาพและกลิ่นรสของโยเกิร์ตโดยเฉพาะความหนืดของมวลตะกอน โดยทั่วไปปริมาณของแข็งในของผสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ตยิ่งสูงในผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะมีความหนืดสูงตามไปด้วย โยเกิร์ตที่มีคุณภาพดีได้จากนมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid หรือ TS) เท่ากับ 15-16 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 14-15 เปอร์เซ็นต์

ถ้าปริมาณของแข็งทั้งหมดในของผสมที่เตรียมโยเกิร์ตสูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จะทำให้ความชื้นลดลงและมีผลต่อกิจกรรมของเชื้อลดลงด้วย การเพิ่มปริมาณของแข็งอาจจะกระทำ ได้โดยอาศัยวิธีการต่าง ๆ เช่น การให้ความร้อนเพื่อเพิ่มความเข้มข้น การเติมนมผง เคซีนอื่น ผงเวย์ หรือ ผงเนยจากนม เป็นต้น

2.4.1.3 การเติมสารคงตัว

วัตถุประสงค์หลักในการเติมสารคงตัว (stabilizers) ในส่วนผสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ตคือ เพื่อรักษาให้ลักษณะเฉพาะตัวที่ต้องการในโยเกิร์ตให้คงอยู่หรือเพิ่มขึ้น เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนืด (viscosity/consistency) ลักษณะปรากฏด้านโครงสร้างของเจล และช่วยลดปัญหา การแยกชั้นของหางนม หรือที่เรียกว่า syneresis เป็นต้น นอกจากนี้สารคงตัวยังช่วยเพิ่มอายุการเก็บ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ โดยทำให้เจลในน้ำมีปริมาณน้ำอิสระสำหรับการเกิด การแยก ชั้นของหางนมลดลง คุณสมบัติที่ดีของสารคงตัวคือ ไม่มีกลิ่น มีประสิทธิภาพสูงในช่วงความเป็นกรด ต่ำ และกระจายตัวได้ดีในอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักนม สำหรับสารเคมีที่นิยมใช้เป็นสารคงตัว เช่น เจลาติน กัมจากธรรมชาติ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โลคัสปีนกัน กัวร์กัม และซีวีดกัม (seaweed gums) ได้แก่ แอลจีเนสและคาราจีแนน เป็นต้น

สารคงตัวเหล่านี้อาจใช้เพียงสารประกอบชนิดเดียว หรือสารประกอบผสมหลายตัว ซึ่งสารประกอบแบบหลังจะเป็นที่นิยมในการค้ามาก เนื่องจากสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต หลายชนิดนั่นเอง

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารคงตัวต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตโยเกิร์ต

Natural gums	Modified gums	Synthetic gums
Plant	Cellulose derivatives(1)	Polymers*
Exudates	Carboxymethylcellulose	Polyvinyl derivative
Arabic (1,3)	Methylcellulose	Polyethylene derivative
Tragacanth (1)	Hydroxypropylcellulose	
Karaya	Hydroxypropylcellulose	
Extracts	Hydroxypropylmethylcellulose	
Pectins (2,3)	Microcrystallinecellulose	
Seed Flour		
Locust (Carob)(1)	Microbial fermentation	
Guar (1)	Dextrane	
	Xanthan (1,B)	
Seaweed		
Extracts	Miscellaneous derivatives	
Agar (2,3)		
Alginates (1,2,3)	Low-methoxy pectin	
Carrageenan (2,3)	Propylene glycole alginate	
Furecllaran (1,2,3)	Pre-gelatinised starches	
	Modified starches	
Cereal starches(1,2,3)	Carboxymethyl starch	
Wheat	Hydroxyethyl starch	
Corn	Hydroxypropyl starch	
Animal		
Gelatin		
Casein		
Vegetable		
Soy protein		

* Limited in its application in yogurt, since it is not listed in the Food and Drugs Act (1975, 1980) or FAO/WHO (1976).

The permitted level of these stabilising compounds in yogurt is 5,000 mg/kg with the exception of pectins, gelatin and starches, i.e. 10 g/kg.

Figures in parenthese indicate the function the hydrocolloid, i.e. (1) thickener agent and (3) stabiliser.

ที่มา: Tamime และ Robinson (1985)

2.4.1.4 การเติมสารให้ความหวาน

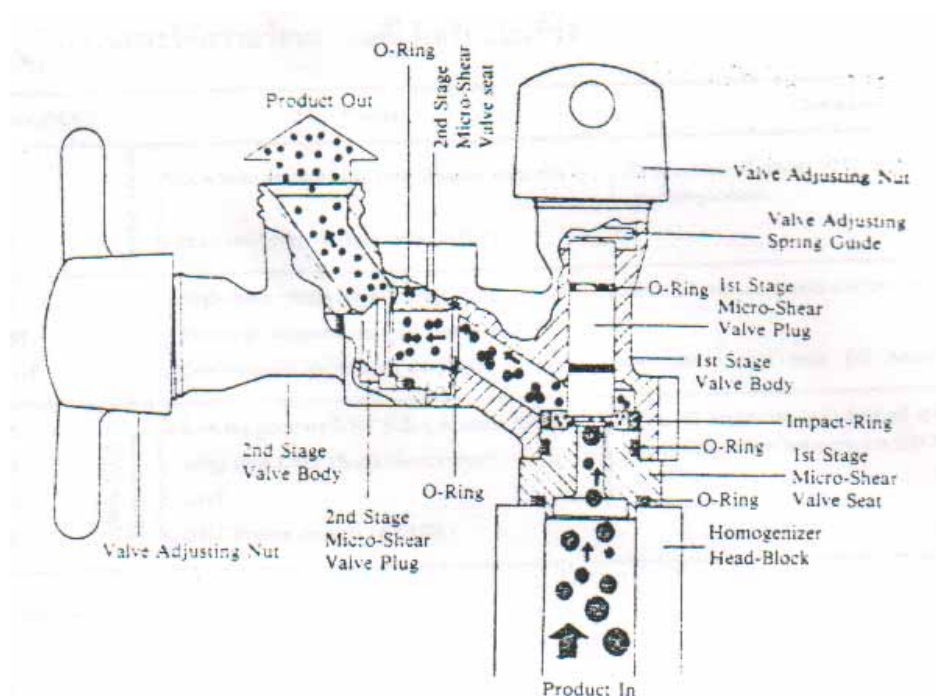
สารให้ความหวานหรือเรียกว่าสวิตเทนเนอร์ (sweetener) มักเติมในการผลิตโยเกิร์ตชนิดปรุงแต่งด้วยผลไม้และสารปรุงแต่งกลิ่นรสโดยการเติมสารให้ความหวานลงไปผสมในของผสมโยเกิร์ต หรือเติมผลไม้ที่มีความหวานลงไป ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดความเปรี้ยวในโยเกิร์ต อย่างไรก็ตามควรคำนึงปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของสารให้ความหวานที่ใช้ ความชอบของผู้บริโภค ชนิดของผลไม้ที่ใช้ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการยับยั้งหิวเชื้อในการหมัก ข้อกำหนดตามกฎหมายอาหาร และอื่น ๆ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วผลไม้และสารปรุงแต่งกลิ่นรสโยเกิร์ต อาจมีคาร์โบไฮเดรตจากน้ำตาลสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจมีผลยับยั้งการเจริญของหิวเชื้อในการหมักได้ เนื่องจากผลของแรงดันออสโมติกของสารที่ถูกละลายในน้ำในโยเกิร์ต โดยทั่วไปปริมาณน้ำตาลที่เติมลงในโยเกิร์ตไม่ควรเกิน 10 เปอร์เซ็นต์

สารให้ความหวานที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ น้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส, น้ำตาลข้าวโพด, กลูโคส/กลูโคสไซรัปหรือซอพิทอล และแซคคาริน เป็นต้น

2.4.2 การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenization)

หลังการปรับส่วนผสมของนมที่ใช้ในการเตรียมโยเกิร์ตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการแล้ว จะต้องนำมาผ่านกระบวนการที่ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยให้เกิดระบบอิมัลชัน ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการให้นมผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ด้วยความเร็วสูงโดยผ่านช่องเปิดเล็ก ๆ ภายใต้ความดันสูง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของนมด้านเคมีและกายภาพที่จะนำไปเตรียมโยเกิร์ต

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมีผลทำให้เนื้อสัมผัสที่ได้หลังการหมักมีเนื้อเนียนมากขึ้น มีกลิ่นรสที่เป็นครีม และช่วยลดการเกิดครีมที่ผิวหน้า หรือการแยกชั้นของน้ำหางนมสำหรับการเลือกใช้เครื่องโฮโมจีไนซ์แบบ 1 หรือ 2 สเตจ จะขึ้นกับปริมาณไขมันที่มีอยู่ในนมที่ปรับองค์ประกอบแล้ว ภาพที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องโฮโมจีไนซ์ที่เป็น 2 สเตจ แต่โดยทั่วไปนมโยเกิร์ตจะใช้เครื่องโฮโมจีไนซ์มีเพียง 1 สเตจ ที่มีอุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส และมีความดันระหว่าง 1,500-2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)



ภาพที่ 2.3 เครื่องโฮโมจีไนส์แบบ 2-stage

ที่มา: Lampert (1975)

2.4.3 การให้ความร้อน (Heat treatment)

การให้ความร้อนเป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่ง นอกจากเพิ่มความเข้มข้นของนมแล้วยังมีผลต่อส่วนผสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ตดังต่อไปนี้

1) ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคหรือจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ สำหรับตารางที่ 2.2 แสดงเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่นมและของผสมที่ใช้ในการเตรียมโยเกิร์ต ต่าง ๆ กัน ซึ่งความร้อนที่เข้มข้นเพียงพอต่อการทำลายเซลล์จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่อยู่ในนมดิบเท่านั้น แต่สปอร์หรือเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ยังคงมีเหลืออยู่ในนม อย่างไรก็ตาม นมที่ผ่านความร้อนจะเป็นแหล่งเจริญเติบโตที่ดีของหัวเชื้อโยเกิร์ต

2) กำจัดอากาศที่มีอยู่ในนม เพื่อให้สภาวะแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อแลคติกมากยิ่งขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดนี้ต้องการอากาศในปริมาณน้อย

3) เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของนม โดยทำให้โปรตีนของน้ำหางนม ที่มีอยู่ในนมซึ่งได้แก่ พวกลูบูลิน และโกลบูลินที่เสียดสภาพธรรมชาติแล้วตกตะกอน นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการรวมตัวของโมเลกุลเคซีนอื่นเกิดเป็นร่างแหในลักษณะสามมิติขึ้นมาโดยร่างแหนี้จะจับโปรตีนของน้ำหางนมแล้วทำให้โยเกิร์ตที่ได้มีความหนืดมากกว่าเดิม

4) มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญของหัวเชื้อแลคติก ที่มีกิจกรรมหมักที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง (40-50 องศาเซลเซียส)

5) ทำให้โปรตีนในนมถูกทำลายให้สลายย่อย ๆ ที่เป็นโมเลกุลเล็กลง ซึ่งอาจเป็นสารที่เร่งกิจกรรมของหัวเชื้อแลคติก

ตารางที่ 2.2 เวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่นมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต

Time	Temp.(°C)	Process	Comment
30 minutes	65	Low temperature long time(Holder method)	Destruction of about 99 % of vegetative
15 seconds	72	High temperature short time (HTST)	cells of microorganisms
*30 minutes	85	High temperature long time (HTLT)	Kills all vegetative cells and possibly some
5 minutes	90-95	Very high temperature short time (VHTST)	spores
20 minutes(+)	110-115	Conventional sterilisation (in-bottle)	As above, but may kill nearly all spore
*3 seconds	115	Low temperature UHT (GEA Ahlborn Gmbh)	Kills all organisms including all spores with
*16 seconds	135	Long time UHT (Stork-Amsterdam)	the exception of low temperature UHT
1-2 seconds	140	UHT	
0.8 seconds	150	UHT French process (ATAD)	

* Heat treatments which are widely used in the yogurt industry.

(+) Indicate longer holding time.

ที่มา: Tamime และ Robinson (1985)

การให้ความร้อนแก่นมสามารถเร่ง หรือยับยั้งกิจกรรมของหัวเชื้อแลคติกได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงของอุณหภูมิและเวลาดังนี้

1) นมที่ผ่านการให้ความร้อนในช่วงระหว่างอุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีและ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที จะช่วยเร่งการเจริญของหัวเชื้อแลคติก

2) นมที่ผ่านการให้ความร้อนในช่วงระหว่างอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาทีและ 82 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-120 นาที และที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-45 นาที ด้วย จะส่งผลยับยั้งการเจริญของหัวเชื้อแลคติก

3) นมที่ผ่านการให้ความร้อนถึง 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60-180 นาที หรือภายใต้ความดันที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-30 นาที จะช่วยเร่งการเจริญของหัวเชื้อแลคติก

4) นมที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 30 นาที จะส่งผลยับยั้งการเจริญของหัวเชื้อแลคติก

ตามปกติอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่นมโยเกิร์ต อาจใช้ตั้งแต่ระดับอุณหภูมิพาสเจอร์ไรส์ (72 องศาเซลเซียส 15 วินาที) จนถึงอุณหภูมิยูเอชที (133 องศาเซลเซียส 1 วินาที) โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมนมนิยมให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส 30 วินาที สำหรับกระบวนการไม่ต่อเนื่องหรือทำเป็นแบบกะหรือ 90-95 องศาเซลเซียส 5-10 วินาที สำหรับกระบวนการต่อเนื่อง

2.4.4 กระบวนการหมัก (fermentation process)

นมที่ผ่านการให้ความร้อน จะต้องทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วจึงส่งไปยังถังหมักเพื่อทำการหมักด้วยหัวเชื้อที่เตรียมขั้นต่อไป หัวเชื้อโยเกิร์ตจะประกอบด้วยหัวเชื้อสายพันธุ์ผสมของ *Lactobacillus bulgaricus* และเชื้อ *Streptococcus thermophilus* ในอัตราส่วนที่เท่ากัน โดยทั่วไปหัวเชื้อจะใช้ประมาณ 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ หลังการถ่ายเชื้อแล้วจะทำการบ่ม ที่อุณหภูมิ 37-44 องศาเซลเซียส 4-6 ชั่วโมง หรือที่ 32 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตาม สภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของหัวเชื้อสายพันธุ์ผสมคือการหมักที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนของการหมักจะเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ ในกรณีที่ผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัวจะเกิดการหมักในภาชนะบรรจุที่จะจำหน่ายปลีกหรือในกรณีของโยเกิร์ตชนิดคนจะเกิดการหมักขึ้นในถังหมักใหญ่ จนกระทั่งการหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว จึงนำไปบรรจุเพื่อวางจำหน่ายต่อไป อย่างไรก็ตามไม่ว่าลักษณะการผลิตโยเกิร์ตจะเป็นลักษณะใดก็ตาม การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของการเกิด

เจลของมวลตะกอนจะมีลักษณะเหมือนกัน จะแตกต่างกันเพียงคุณสมบัติของการไหลของมวลตะกอนซึ่งลักษณะเนื้อของโยเกิร์ตที่ได้จากโยเกิร์ตชนิดคงตัวจะไม่ถูกรบกวน เจลที่ได้จึงเป็นมวลของแข็งกึ่งเหลวตลอดทั้งภาชนะบรรจุ ในขณะที่โยเกิร์ตชนิดคนจะเป็นเจลที่มีลักษณะแตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดการหมักก่อนที่จะทำให้เย็น

การเกิดเจลของโยเกิร์ต เป็นผลจากปฏิกิริยาทางชีวภาพและกายภาพในนมดังมีขั้นตอนตามลำดับดังนี้

- 1) หัวเชื้อโยเกิร์ตใช้น้ำตาลแลคโตสในนมเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโตและทำการหมักให้กรดแลคติกและสารประกอบอื่น ๆ ออกมา
- 2) กรดแลคติกที่สร้างขึ้นเรื่อย ๆ นี้ จะสลายสภาพความคงตัวของอนุภาคเคซีนและทำให้สารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนในน้ำหางนมสูญเสียสภาพธรรมชาติไปด้วย
- 3) เกิดการรวมตัวของอนุภาคเคซีนและ/หรือกลุ่มของเคซีนย่อย ๆ เข้าด้วยกัน และเกิดการตกตะกอนบางส่วนออกมา ในขณะที่ความเป็นกรดต่างอยู่ที่ระหว่าง 4.6-4.7
- 4) เกิดปฏิกิริยาระหว่าง แอลฟา-แลคตอลบูมิน/บีตา-แลคโตโกลบูลินซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในหางน้ำนมกับเคซีน ทำให้เกิดอนุภาคเคซีนที่มีความคงตัวมากขึ้น ดังนั้นร่างแหของเจลที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่แน่นอนนี้ สามารถจับกับองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในส่วนผลสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต รวมทั้งน้ำให้อยู่ในโครงสร้างดังกล่าวด้วย

2.4.5 การทำให้เย็น

เนื่องจากการผลิตโยเกิร์ตเป็นกระบวนการทางชีวภาพ การทำให้เย็นจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการควบคุมกิจกรรมของหัวเชื้อและเอนไซม์ การให้ความเย็นแก่มวลตะกอน จะเริ่มตั้งแต่ผลิตภัณฑ์มีระดับความเป็นกรดตามต้องการประมาณ 4.6 หรือความเข้มข้นกรดแลคติกประมาณ 0.9 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของโยเกิร์ตที่ผลิต วิธีให้ความเย็น และประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนประกอบด้วย

จุดประสงค์หลักของการทำให้มวลตะกอนเย็นลงทันทีจากอุณหภูมิ 30 – 45 องศาเซลเซียส ให้เหลือต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส (ดีที่สุดประมาณ 5 องศาเซลเซียส) เพื่อควบคุมระดับความเป็นกรดสุดท้ายในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากที่อุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียสสามารถยับยั้งกิจกรรมของหัวเชื้อโยเกิร์ตได้

2.4.6 การเติมองค์ประกอบที่ให้อินทรินและสี

การเติมองค์ประกอบที่ให้อินทรินและสี เพื่อเพิ่มความนิยมให้แก่ผู้บริโภคขึ้นกับชนิดของโยเกิร์ตที่ต้องการ สารที่ใช้เติมเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวในอุตสาหกรรมการผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ ผลไม้ สารให้กลิ่น สี และสารประกอบอื่นๆ เช่น น้ำผึ้ง ถั่วต่างๆ มะเขือเทศ กาแฟ เป็นต้น

ในทางอุตสาหกรรมนิยมทำให้โยเกิร์ตเย็นลงที่อุณหภูมิ 15 – 20 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำไปผสมกับผลไม้หรือกลิ่นรส จากนั้นจึงบรรจุเก็บไว้ห้องเย็นเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ตจะมีผลต่อคุณภาพของโยเกิร์ต

แต่ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกันคือ จุลินทรีย์ที่ใช้ในโยเกิร์ต

2.5 จุลินทรีย์ในโยเกิร์ต

หัวเชื้อเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตโยเกิร์ต ลักษณะที่ต้องการของหัวเชื้อโยเกิร์ตคือปลอดจากการปนเปื้อน เจริญได้ดีในส่วนผสมของนมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต ให้อินทรินที่ต้องการ โครงสร้างลักษณะเนื้อดี โดยทั่วไปนิยมใช้หัวเชื้อผสมของ *Lactobacillus bulgaricus* และเชื้อ *Streptococcus thermophilus* ดังแสดงในภาพที่ 2.4 และ ภาพที่ 2.5 ในอัตราส่วนจำนวนเซลล์ที่เท่ากัน

เมื่อใช้หัวเชื้อที่แช่แข็งในการผลิตโยเกิร์ต จำเป็นต้องบ่มหัวเชื้อเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่ 45 องศาเซลเซียส หรือ 11 ชั่วโมงที่ 22 องศาเซลเซียส หรือ 14-15 องศาเซลเซียสเสียก่อน *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* เมื่อใช้ร่วมกันจะมีการเจริญสัมพันธ์กันแบบพึ่งพากันเมื่อใช้ร่วมกัน โดยปกติจะให้เชื้อทั้งสองเจริญร่วมกันภายใต้สภาวะที่ควบคุมเพื่อให้ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีสมดุลที่ถูกต้องลักษณะการพึ่งพาอาศัยกันของจุลินทรีย์เหล่านี้ในหัวเชื้อโยเกิร์ต คือเริ่มแรกเชื้อ *Streptococci* มีอุณหภูมิการหมักที่เหมาะสมที่ 40 องศาเซลเซียสทำให้เชื้อเจริญขึ้นอย่างเด่นชัด ระหว่างการหมักช่วงแรกนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างโดยเชื้อ *Streptococci* เป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดไดอะซิทิลและสารประกอบที่คล้ายกันซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของครีมเนยในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

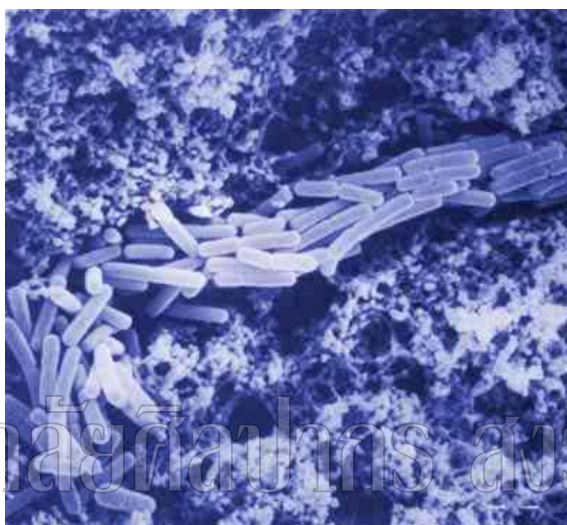


ภาพที่ 2.4 หัวเชื้อโยเกิร์ต (*Streptococcus thermophilus*)

ที่มา : Hayes (1981)

เชื้อ *Streptococci* นี้จะช่วยกำจัดออกซิเจนออกจากนมซึ่งถ้าหากเหลืออยู่อาจก่อให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การเจริญจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งความเป็นกรดถึง 5.5 จะมีสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเชื้อ *Lactobacillus* ต่อไป

เชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเจริญที่ 45 องศาเซลเซียส และยังให้ปรับปริมาณกรดแลคติกที่มากพอที่จะสร้างอะซิทิลดีไฮด์ ซึ่งให้กลิ่นรสเฉพาะของโยเกิร์ตในกรณีของโยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสดีมากจะมีปริมาณ อะซิทิลดีไฮด์ อยู่ 23-24 พีพีเอ็ม คิดเป็นสัดส่วนของสารประกอบที่ให้กลิ่นถึง 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เชื้อ *Lactobacillus* จะปล่อยกรดอะมิโนบางตัวที่มีผลต่อการเจริญของเชื้ออะซิทิลดีไฮด์ อีกด้วย



มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสัตว์

ภาพที่ 2.5 หัวเชื้อโยเกิร์ต (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*)
ที่มา : Hayes (1981)

หลังการหมักเสร็จแล้วโยเกิร์ตที่ได้จะมีลักษณะเนื้อที่แน่นขึ้นซึ่งจะถูกทำให้เย็นลงเป็น 4.5 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ตลอดระยะเวลาการจำหน่าย ณ อุณหภูมินี้แบคทีเรียยังคงมีชีวิตอยู่ แต่กิจกรรมค่อนข้างจำกัด ทำให้การแบ่งตัวและสร้างกรดจะช้าลงมาก

ดังกล่าวมาแล้วว่าจุลินทรีย์นิยมใช้ในการผลิตโยเกิร์ต *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* แต่ในบางประเทศเช่น นิวซีแลนด์ และสวีเดนอาจยอมให้เชื้อแลคติกอื่นร่วมอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามจะต้องมีจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดดังกล่าวเสมอ ซึ่งทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะที่เด่น

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดสภาวะของหัวเชื้อที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตที่เป็นมาตรฐาน แต่ปริมาณที่ใช้อาจพิจารณาได้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 จำนวนจุลินทรีย์ของหัวเชื้อโยเกิร์ตที่ใช้ในการผลิต

Types	Satisfactory	Doubtful	Unsatisfactory
<i>Streptococcus thermophilus</i>	$10^8/g$	$10^7-10^8/g$	$10^7/g$
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	$10^8/g$	$10^7-10^8/g$	$10^7/g$

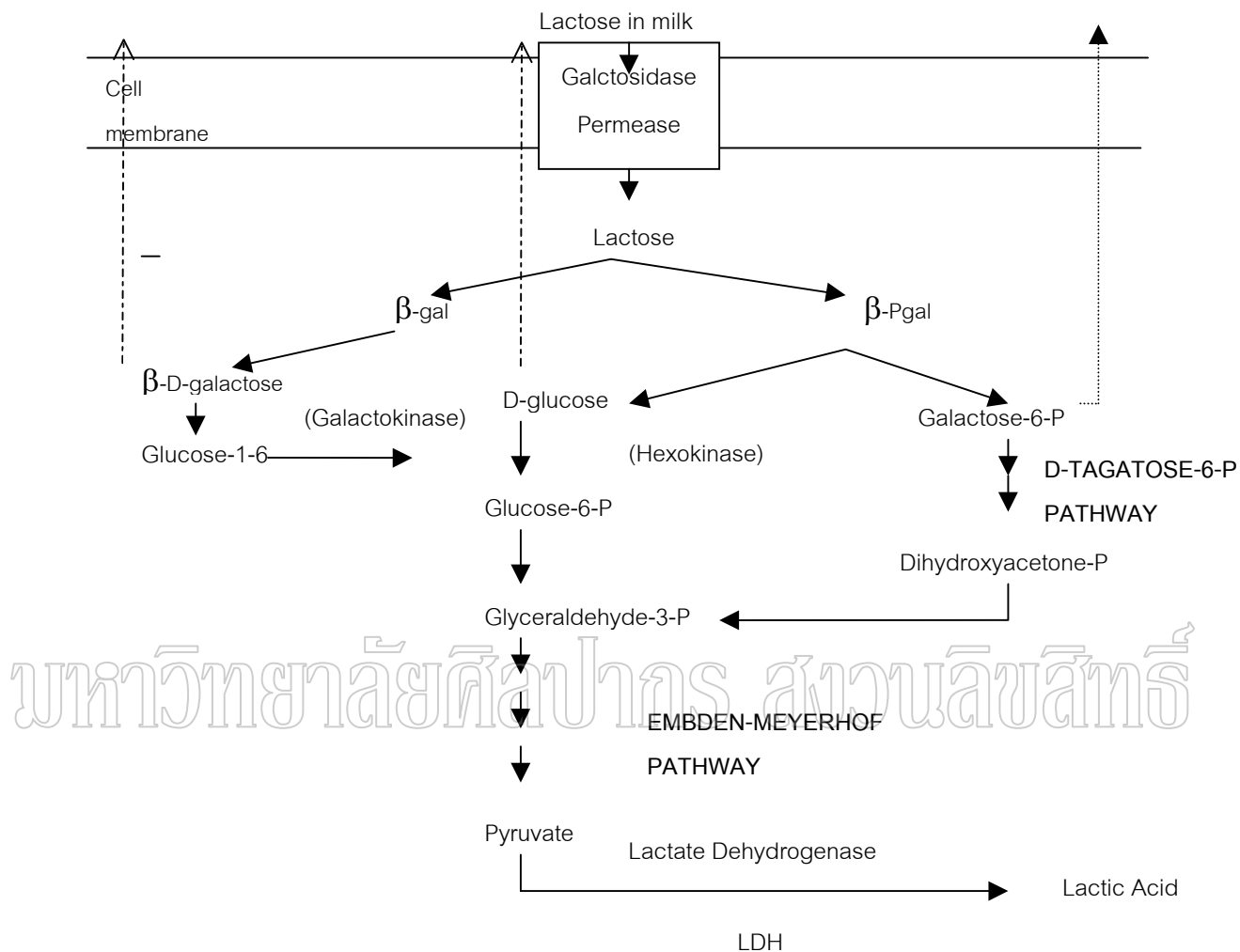
ที่มา: Hayers (1981)

2.6 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของการหมักโยเกิร์ต

แนวทางการเปลี่ยนแปลง (metabolic pathway) ที่เกิดขึ้นในจุลินทรีย์ ประกอบด้วยปฏิกิริยาหลายชนิด ซึ่งควบคุมโดยเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ การย่อยสลายสารอาหารที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และสารอื่น ๆ ให้มีโมเลกุลเล็กลง ก็จัดว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว องค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อจึงมีส่วนสำคัญต่อการเจริญและการแบ่งตัวของหัวเชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* รวมทั้งกลิ่นรสและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นโดยหัวเชื้อทั้งสองนี้ย่อมนำไปสู่การผลิตโยเกิร์ตที่มีคุณภาพสูง ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นเท่านั้น

2.6.1 แนวทางการเปลี่ยนแปลง (metabolic pathways)

เชื้อแลคติกได้รับพลังงานจากการหมักคาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้แก่ น้ำตาลแลคโตสที่มีอยู่ในนม ซึ่งการย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสจะเกิดขึ้นภายในเซลล์ของหัวเชื้อทั้งสอง ในกรณีนี้สันนิษฐานว่าจะอาศัยเอนไซม์กาแลคโตไซด์ เปอร์มีเอส (galactoside permease) จากนั้นเอนไซม์บีตา-ดี-กาแลคโตซิเดส (β -D-galactosidase) จะย่อยน้ำตาลแลคโตสภายในเซลล์นี้ให้เป็นน้ำตาลดี-กลูโคส (D-glucose) และบีตา-ดี-กาแลคโตส (β -D-galactose) น้ำตาลดี-กลูโคสจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติกภายในเซลล์ของหัวเชื้อทั้งสอง นอกจากนี้ เอนไซม์อีกชนิดหนึ่งคือ บีตา-ดี-ฟอสโฟกาแลคโตซิเดส (β -D-phosphogalactosidase) ก็ย่อยน้ำตาลแลคโตสให้น้ำตาลดี-กลูโคสด้วยเช่นกัน ซึ่งแสดงแนวทางการเปลี่ยนแปลงหลัก ๆ ที่เป็นไปได้ ในภาพที่ 2.6

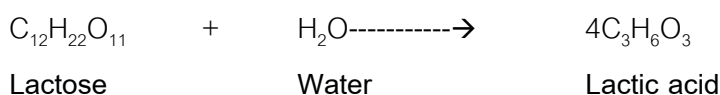


ภาพที่ 2.6 แนวทางการเปลี่ยนแปลงการใช้น้ำตาลแลคโตสของหัวเชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus*

ที่มา : Tamime และ Robinson (1985)

2.6.2 การสร้างกรดแลคติก (production of lactic acid)

หัวเชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* จะย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสให้เป็นกรดแลคติก ได้ดังนี้



กรดแลคติกที่ได้มีความสำคัญต่อโยเกิร์ตคือ

- ย่อยสลายอนุภาคเคชีอื่นและตกตะกอนเคชีอื่นที่ พีเอช 4.6-4.7 รวมทั้ง

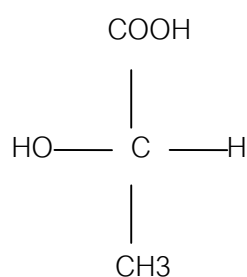
ทำให้เกิดเจลของโยเกิร์ต

- กรดแลคติกจะให้รสชาติที่เฉพาะคือรสเปรี้ยวและแหลม

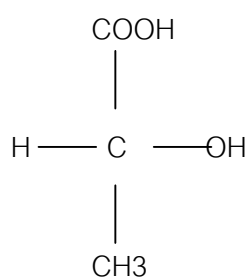
(sharp and acidic taste) ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ทำให้ได้กลิ่นรสที่หอม เชื้อแลคติกจะมีเอนไซม์

แลคเตท ดีไฮโดรจีเนส (lactate dehydrogenase: LDH) สำหรับสร้างกรดแลคติกจากกรดไพรูวิกที่ได้ในระหว่างการหมักนม กรดแลคติกที่ได้จะมีรูป (isomers) ที่แตกต่างกันคือเป็น L(+) หรือ D(-) ซึ่งมี

โครงสร้างของอะตอมแตกต่างกันเฉพาะอะตอมคาร์บอนที่สองดังภาพที่ 2.7



L (+) lactic acid



D(-) lactic acid

ภาพที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของกรดแลคติก

ที่มา : Tamime และ Robinson (1985)

โดยทั่วไปในการหมักโยเกิร์ต *Streptococcus thermophilus* จะให้กรดแลคติกในรูป L(+) ซึ่งจะเจริญได้เร็วกว่าเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* ดังนั้นกรดแลคติกในรูปของ L(+) จะเกิดขึ้นก่อน แล้วจึงเกิดกรดแลคติกในรูป D(-) ภายหลัง

ถ้าโยเกิร์ตที่มีกรดแลคติกในรูป L(+) มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตส่วนใหญ่เป็นพวก *Streptococcus thermophilus* หรืออุณหภูมิการหมักเกิดขึ้นที่ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส (ซึ่งเป็นอุณหภูมิการหมักที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *Streptococcus thermophilus*) หรือโยเกิร์ตจะถูกทำให้เย็นในขณะที่ความเป็นกรดต่ำประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่า

ถ้าโยเกิร์ตที่ได้มีกรดแลคติกในรูป D(-) มากกว่ากรดแลคติกในรูป L(+) แสดงว่าการบ่มหัวเชื้อกระทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า หรือหมักเป็นเวลานานเกินไปทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีความเป็นกรดสูง หรือมีหัวเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* มากกว่าเชื้อ *Streptococcus thermophilus*

โดยทั่วไปโยเกิร์ตมักจะมีกรดแลคติกในรูป L(+) ประมาณ 45-60 เปอร์เซ็นต์ และกรดแลคติกในรูป D(-) ประมาณ 40-55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราส่วนของ L(+):D(-) จะใช้ในการประเมินคุณภาพของโยเกิร์ต ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่จำหน่ายในท้องตลาด พบว่ามีค่าตั้งแต่ 0.35 (เปรี้ยวมาก) ถึง 8.28 (กรดแลคติกในรูป L(+) เด่น) แต่โยเกิร์ตที่ดีควรมีอัตราส่วนดังกล่าวประมาณ 2.0 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภคแต่ละท้องถิ่นด้วย

2.6.3 การเกิดสารให้กลิ่นรส

หัวเชื้อจะสร้างสารประกอบที่ให้กลิ่นรสต่าง ๆ ในโยเกิร์ตได้แก่ กรดแลคติกและสารประกอบคาร์บอนิล พวกอะซีทัลดีไฮด์, อะซิโตน หรือไดอะซีทิล จากการศึกษเกี่ยวกับการสร้างกลิ่นรสของหัวเชื้อ พบว่ากลิ่นรสของโยเกิร์ตเกิดจากอะซีทัลดีไฮด์ และสารประกอบอื่น ๆ ที่ยังแยกไม่ได้ และยังพบอีกว่าระดับของอะซีทัลดีไฮด์ในโยเกิร์ตจะสูงขึ้นเมื่อใช้หัวเชื้อผสมของเชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus*

โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสที่ดีต้องมีปริมาณ อะซิทิลดีไฮด์และไดอะซิทิลรวมอยู่ ด้วยซึ่งพบว่าโยเกิร์ตที่มีอะซิทิลดีไฮด์เพียง 7 พีพีเอ็ม ไม่เพียงพอต่อการให้กลิ่นรสของโยเกิร์ตที่ต้องการและระดับของไดอะซิทิล ในนมหมักจะสูงขึ้นได้เมื่อมีเชื้อ *Streptococcus lactis* var. *diacetylactis* ผสมอยู่

ปริมาณอะซิทิลดีไฮด์ ที่มีในโยเกิร์ตจะขึ้นกับชนิดของนมที่ใช้ เช่น นมอูตมไขมัน หรือนมขาดไขมัน การให้ความร้อน และชนิดของนมที่ได้จากสัตว์ต่าง ๆ กัน โดยนมวัวจะให้ปริมาณของอะซิทิลดีไฮด์มากที่สุด

หัวเชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* จะสร้างสารให้กลิ่นรสในระหว่างการหมัก และระดับของสารต่าง ๆ ที่ได้ จะขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ใช้ สังเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิลจากองค์ประกอบที่มีอยู่ในนม ซึ่งองค์ประกอบของนมที่สำคัญในการสร้างอะซิทิลดีไฮด์คือน้ำตาลแลคโตส (โดยเฉพาะในส่วนของน้ำตาลกลูโคส) กรดอะมิโนพวก threonine และ methionine จะแสดงปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในการผลิตอะซิทิลดีไฮด์ โดยที่หัวเชื้อทั้งสองจะสร้างสารอะซิทิลดีไฮด์และเอทานอลจากกลูโคส ด้วยเอนไซม์อัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนส และแอลกอฮอล์ ดีไฮโดรจีเนสตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของทรีโอนีนเกิดจากเอนไซม์ ทรีโอนีน อัลโลส ซึ่งจะเกิดใน *Lactobacilli* มากกว่า *Streptococci* และการเปลี่ยนแปลงของ เมไทโอนีนไปเป็นอะซิทิลดีไฮด์และจะเกิดขึ้นในเชื้อ *Streptococcus thermophilus* เท่านั้น

การเกิดเจลของโยเกิร์ต

เชื้อโยเกิร์ตจะใช้น้ำตาลแลคโตสในนม เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต และเกิดการหมักได้กรดแลคติก และสารประกอบอื่น ๆ กรดแลคติกจำนวนเพิ่มขึ้นนี้จะทำลายความคงตัวของเคซีนไมเซลล์ และทำให้สารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนในน้ำหางนมสูญเสียสภาพธรรมชาติไปด้วย ส่งผลให้เกิดการรวมตัวของเคซีนไมเซลล์ และ/หรือ กลุ่มของไมเซลล์ย่อย ๆ เข้าด้วยกัน และเกิดการตกตะกอนบางส่วนออกมา (pH ใกล้ Isoelectric point; pH 4.6-4.7) อัลฟาแลคตาบูมิน และเบต้าแลคโกลบูลิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในน้ำหางนม จะทำปฏิกิริยากับเคซีน ทำให้เคซีนไม

เซลล์คงตัวมากขึ้น ดังนั้นร่างแหของเจลที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่แน่นอนนี้ สามารถจับกับองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในส่วนผสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต รวมทั้งน้ำให้อยู่ในโครงสร้างนั้นด้วย

2.7 การเก็บรักษาคุณภาพของโยเกิร์ต

ปกติโยเกิร์ตจะมีอายุการเก็บประมาณ 10 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปริมาณกรดในโยเกิร์ตจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของหัวเชื้อที่มีอยู่ในโยเกิร์ตนั่นเอง แม้ว่ากิจกรรมดังกล่าวจะต่ำมากก็ตาม ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้กลิ่นรสของโยเกิร์ตเปลี่ยนแปลงไปและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สุดท้ายหัวเชื้อแบคทีเรียจะถูกทำลายและโยเกิร์ตจะเกิดการแยกชั้นของไขมันและเวย์ซึ่งมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์อื่น ๆ เช่น ยีสต์และราเจริญได้ ดังนั้นในการผลิตจึงควรระมัดระวังในเรื่องการปนเปื้อนของเชื้อราและยีสต์ในหัวเชื้อโยเกิร์ต รวมทั้งในระหว่างการบรรจุด้วย

ในปัจจุบันโยเกิร์ตที่ผลิตขึ้นล้วนมีการพัฒนาปรับปรุงรสชาติ และเนื้อสัมผัส เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น ดังนั้นในการใช้วัตถุดิบต่าง ๆ ที่มีคุณภาพ การควบคุมกรรมวิธีการผลิตให้เป็นไปตามที่กำหนด รวมทั้งการใช้หัวเชื้อที่มีคุณภาพ ล้วนมีผลให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับและเพิ่มความนิยมในโยเกิร์ตด้วย

2.8 ส่วนผสมผลิตภัณฑ์นม

การเลือกส่วนผสมผลิตภัณฑ์นม ต้องคำนึงถึง ส่วนผสมที่จัดหาได้ ต้นทุน ประโยชน์การใช้งานจากส่วนผสมของเปอร์เซ็นต์ไขมันและเนื้อมักรวมไขมัน และการเก็บรักษา ผลกระทบต่อการหมัก และข้อจำกัดด้านกฎระเบียบ

จากงานวิจัยของ Young (2003) ได้กล่าวไว้ว่าน้ำนมที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตโยเกิร์ตเป็นแหล่งของที่มาของเนื้อมักรวมไขมัน (SNF) ได้มาจากแหล่งดังนี้

- 1) น้ำนมพร่องมันเนยและน้ำนมสดเต็มรูปจากโรงงาน
- 2) นมข้นพร่องมันเนยและนมข้นเต็มรูป
- 3) โพรตีนนมชนิดเข้มข้น

- 4) นมผงขาดมันเนยและนมผงเต็มรูป
- 5) เวย์หวาน, โปรตีนเวย์ชนิดเข้มข้น และเวย์ไอโซเลท

Young (2003) ได้เลือกใช้ส่วนผสมอาหารโปรตีนเวย์ มี 3 รูปแบบคือ เวย์หวาน โปรตีนเวย์เข้มข้น และเวย์ไอโซเลท ประโยชน์ในการใช้ส่วนผสมอาหารเวย์ คือช่วยให้กลีโคเจนเพิ่มขึ้น ปรับแต่งเนื้อผลิตภัณฑ์ขึ้น (เกาะตัวกับน้ำและสร้างเจล) เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ด้านโภชนาการ ลดการหดตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มอายุผลิตภัณฑ์ ให้ประโยชน์ด้านโภชนาการบำบัด และลดต้นทุนการผลิต

Young (2003) ได้กล่าวไว้ว่าแหล่งของที่มาของไขมันนม มีดังนี้

- 1) น้านมสดเต็มรูปและครีม
- 2) เนยจืด
- 3) น้ำมันเนย
- 4) นมผงขาดไขมัน
- 5) เวย์หวาน; ส่วนผสมโปรตีนเวย์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้น้านมสดเป็นส่วนผสมในการผลิตโยเกิร์ต เนื่องจากข้อจำกัดกฎระเบียบของ อ.ส.ค. ที่ต้องใช้น้านมสดในขบวนการผลิตเท่านั้นโดยไม่ให้มันเนยเป็นส่วนผสมในการผลิต

นมสดเป็นอาหารธรรมชาติที่มีความสมบูรณ์ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วยแร่ธาตุอาหารครบทุกหมู่ คือโปรตีน วิตามิน เกลือแร่ คาร์โบไฮเดรต และไขมันนมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการพัฒนาร่างกายและสมองของเด็กและเยาวชน ดังนั้นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตจากนมสดจึงมีทั้งแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส ทองแดง สังกะสี เหล็ก กำมะถัน ไอโอดีน คลอรีน และวิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการย่อยอาหารหลายชนิด

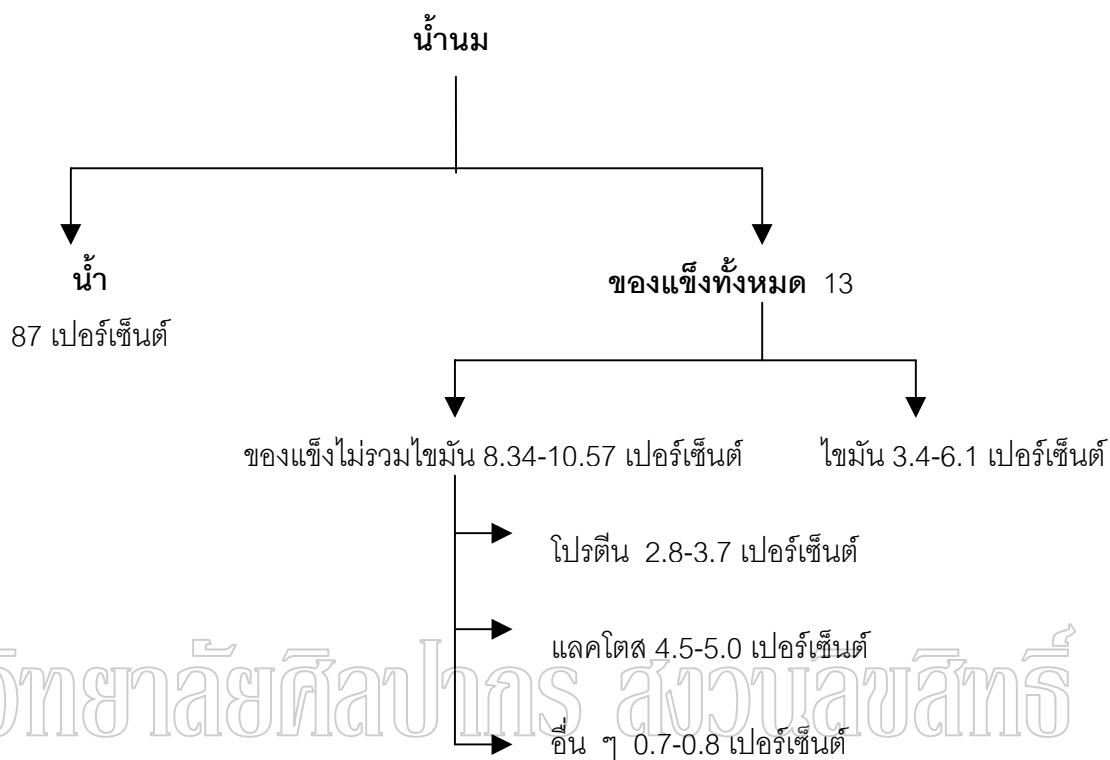
วัตถุประสงค์ของส่วนผสมผลิตภัณฑ์นม จากงานวิจัยของ Young (2003)

กล่าวไว้ว่า

- 1) เป็นสารอาหารเพื่อเพาะเชื้อจุลินทรีย์
- 2) ให้สารอาหาร ได้แก่ สารอาหารหลัก (โปรตีน ไขมัน และพลังงาน) และสารอาหารย่อย (วิตามิน เกลือแร่ สารโคชนบำบัดแบบโปรไบโอติกและพรีไบโอติก)
- 3) ปรุงองค์รวมกลืนรสที่ต้องการ
- 4) ให้ได้รูปและเนื้อที่ต้องการ ได้แก่ เคซีน (ส่งเสริมให้จับตัวเป็นกลุ่มก้อน) และโปรตีนเวย์ (เกาะตัวกับน้ำให้ความหนืดและสร้างเจล)
- 5) ให้สี
- 6) ควบคุมอัตราการหมักและคุณภาพการหมัก

นมที่มีคุณภาพดี จะต้องมียุณลักษณะ ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค มีจำนวนแบคทีเรียต่ำ ไม่มีฝุ่นผงหรือสิ่งเจือปน มีรสหวานเล็กน้อย มีกลิ่นอ่อน ๆ แต่ไม่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีปริมาณไขมันเนย ของแข็งไม่รวมไขมัน และปริมาณของแข็งทั้งหมดตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐาน

ลักษณะทั่วไปของนํ้านม มีสีขาวออกนํ้าเงินจนถึงเหลืองทอง องค์ประกอบที่ทำให้เกิดสีในนํ้านมได้แก่ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) จะทำให้สีเหลือง และ เวย์ (whey) ให้สีนํ้าเงิน นํ้านมมีรสหวานเล็กน้อยมีค่าความเป็นกรดประมาณ 0.12-0.18 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบของนํ้านมโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย นํ้า ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแลคโตส แร่ธาตุ สารอาหาร สารอินทรีย์อื่น ๆ และเกลือของนํ้ามนั้นเป็นระดับที่มีความซับซ้อนมาก หรืออาจแบ่งนํ้านมออกเป็น 2 ส่วนคือ นํ้า และปริมาณของแข็งทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 องค์ประกอบของน้ำนม

ที่มา: อ.ส.ค. (2543)

2.9 โปรตีนนม

โครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure) ของโปรตีนประกอบด้วย สายโพลีเปปไทด์ของกรดอะมิโนเชื่อมด้วยพันธะเปปไทด์ และอาจมีการเชื่อมข้ามด้วยพันธะ disulfide การเรียงตัวของโปรตีน หรือโครงสร้างสามมิติของโปรตีน มีดังนี้ secondary, tertiary และ quaternary structures

โปรตีนนมประกอบด้วย เคซีน 76 เปอร์เซ็นต์ เวย์ 18 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen เช่น เอนไซม์) 6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโปรตีนในน้ำนมประกอบด้วย ส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบต่าง ๆ ของโปรตีนในน้ำนม

โปรตีน	กรัมต่อลิตร	ร้อยละของโปรตีนทั้งหมด
โปรตีนทั้งหมด	33	100
เคซีนทั้งหมด	26	79.5
- อัลฟาเอสวัน (alpha s1)	10	30.6
- อัลฟาเอสทู (alpha s2)	2.6	8.0
- เบต้า (beta)	9.3	28.4
- เคปป่า (keppa)	3.3	10.1
โปรตีนเวย์ทั้งหมด	6.3	19.3
- อัลฟาแลคตาบูมิน (alpha lactalbumin)	1.2	3.7
- เบต้าแลคโกลบูลิน (beta lactoglobulin)	3.2	9.8
- บีเอสเอ (BSA)	0.4	1.2
- อิมมูโนโกลบูลิน (Immunoglobulin)	0.7	2.1
- โปรติโอส เปปโตน (Proteose peptone)	0.8	2.4

ที่มา: Herrington (1974)

2.10 เคซีน (caseins)

เคซีนเป็นโปรตีนที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำนม มีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เป็นตัวที่ทำให้น้ำนมมีลักษณะเป็นสีขาว มีความสามารถในการละลายได้ดีที่สุดที่ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) 4.6 ประกอบด้วย อัลฟาเอสวัน (α_{s1}) อัลฟาเอสทู (α_{s2} -casein) เบต้า (β -casein) และ เคปป่า (κ -casein) ของเหลวในเคซีนไมเซลล์ประกอบด้วย โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส ซิทราท เอนไซม์ ไลเปส และเอนไซม์พลาสมิน (plasmin)

เคซีนมีลักษณะเป็นเม็ดกลม ส่วนมากจะเป็นอนุภาคแขวนลอยในรูปคอลลอยด์ หรือที่รู้จักว่า casein micells และมักพบอยู่กับแคลเซียม (Ca) เรียกว่า แคลเซียมแคลซิเนท (calcium caseinate) หรือ Ca Casenate – Ca Phosphate complex เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 85.3 มิลลิไมครอน องค์ประกอบทั้งหมดของเคซีนคือ อัลฟาเอส เบต้า และเคปป์ โดยจะอยู่รวมกันกับแคลเซียมฟอสเฟต อัตราส่วนแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นไมเซลล์จะแตกต่างกันไป พบว่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของไมเซลล์ประกอบด้วย $3\alpha:1\beta:1\kappa$

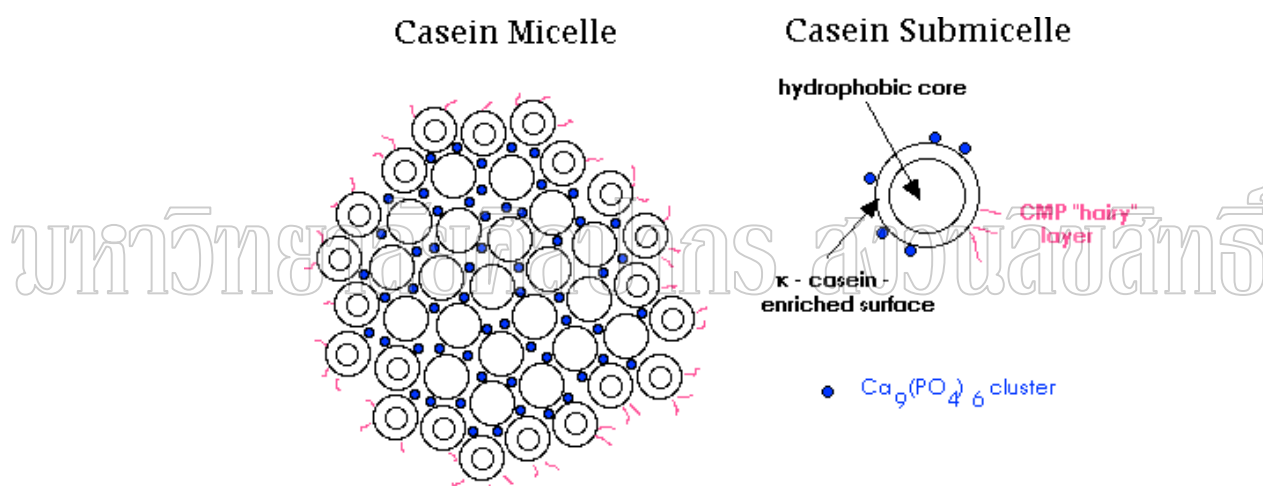
κ -casein มีคุณสมบัติในการเป็นสตาบิไลเซอร์ (stabilizer) ไมเซลล์ของเคซีนโดยเกาะติดอยู่กับ α -casein โดยทำหน้าที่เหมือน protective colloid ป้องกันมิให้แคลเซียมเข้าทำปฏิกิริยาจนเกิดการจับตัวเป็นก้อนขึ้น

α -casein มีประจุลบ หาก κ -casein หลุดออกไป α -casein จะจับตัวกับ Ca^{++} ทันทีและเกิดเป็นก้อนของแคลเซียมแคลซิเนท เรียกว่า ก้อนนม (curd)

β -casein อยู่รวมกันกับ Ca^{++} ทำให้มีลักษณะเป็นเจล และกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในเม็ดเคซีน แล้วจะไม่หลุดออกไป นอกจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

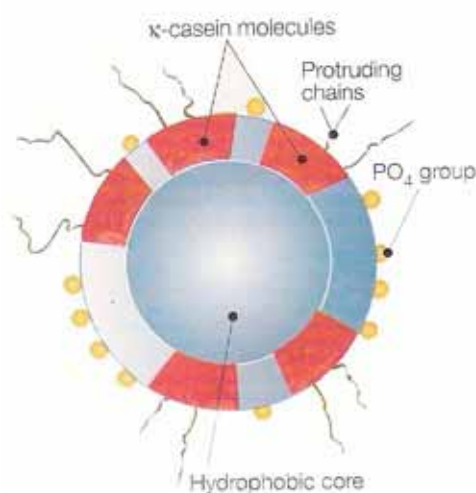
กลุ่มก้อนของเคซีนประกอบด้วยโมเลกุลเคซีน 10-100 หน่วย หรือที่เรียกว่า ซับไมเซลล์ ซึ่งมี 2 ประเภท คือ ซับไมเซลล์ที่มีและไม่มี κ -casein ส่วนตรงกลางของเคซีนซับไมเซลล์ทั้งสองชนิดจะเป็นพวก hydrophobic และ ในซับไมเซลล์ ที่มี κ -casein บริเวณผิวของซับไมเซลล์ จะคลุมด้วยส่วน hydrophilic ซึ่งอย่างน้อยจะมีส่วนที่มีขั้วของ κ -casein นอกจากนี้ยังอาจมี hydrophilic CMP (caseinonacropetide) ซึ่งมีลักษณะคล้ายขนที่ยืดหยุ่น (flexible hair) ด้วย ซึ่งเป็นสารประกอบหนึ่งของ κ -casein และช่วยในการป้องกันการรวมตัวของเคซีนไมเซลล์

colloidal calcium phosphate จะทำหน้าที่คล้ายสารเชื่อมระหว่างซัปไมเซลล์ ซึ่งรวมตัวกันเป็น casein micelles โดยซัปไมเซลล์ ที่มี κ -casein มากจะอยู่บริเวณผิวของเคซีนไมเซลล์ และซัปไมเซลล์ ที่มีปริมาณ κ -casein น้อยกว่า จะฝังตัวอยู่ด้านใน ไมเซลล์ชั้นที่มีลักษณะเป็นขน (CMP หรือ caseinmacropeptide) ซึ่งมีความหนาน้อยกว่า 7 นาโนเมตร จะช่วยป้องกันการจับตัวกันของซัปไมเซลล์ เนื่องจากเกิดแรงผลักระหว่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.9 และภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะโครงสร้างของเคซีนไมเซลล์

ที่มา: Goff (1997)



ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะโครงสร้างของเคซีนไมเซลล์

ที่มา: Goff (1997)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การจับรวมตัวของเคซีนไมเซลล์

เคซีนสามารถจะเกิดการรวมตัวเป็นก้อนได้ เนื่องจาก

- 1) เอนไซม์ไคลโมซิน (crymosin) เรนเนท (rennet) หรือ โปรติโอไลติกเอนไซม์ (proteolytic enzyme) ต่าง ๆ ในการผลิตชีส
- 2) กรด
- 3) ความร้อน
- 4) การบ่ม (age gelation)

เอนไซม์ (enzyme coagulation)

เอนไซม์ไคลโมซิน (crymosin) เรนเนท (rennet) มักนิยมใช้ในการตกตะกอนด้วยเอนไซม์ ในช่วงแรกเรนเนทจะทำลายพันธะที่เชื่อมระหว่าง Phe (105) - Met (106) ของ κ -casein ทำให้เกิด สารละลาย CMP ซึ่งจะกระจายตัวห่างไมเซลล์ และ para - κ -casein ซึ่งเป็นสายโพลีเปปไทด์ที่ไม่มีขั้วเด่นชัดบนไมเซลล์ (distinctly hydrophobic peptide) ทำให้ไมเซลล์จับตัวกัน เนื่องจากไม่มีแรงผลักระหว่าง κ -casein และไม่มีแรงผลักทางไฟฟ้าเนื่องจากค่าความเป็นกรดต่างที่ลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นกรดต่างใกล้เคียง isoelectric (pH 4.6) เคซีนจะจับตัวรวมกัน เคซีนไมเซลล์มีแนวโน้มที่จะจับตัวกันอย่างแน่นหนาเนื่องจาก hydrophobic interaction

Acid coagulation

การเติมกรดจะทำให้เคซีนไมเซลส์ไม่คงตัว และเกิดการจับตัวเป็นก้อนโดยการลดประจุไฟฟ้าจนถึงจุด isoelectric point ในขณะที่เดียวกันการละลายของแร่ธาตุเพิ่มขึ้น ดังนั้นแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่อยู่เคซีนไมเซลส์จะค่อย ๆ ละลายออกมาใน aqueous phase เป็นผลให้เคซีนไมเซลส์แตกตัวออก และทำให้เคซีนเกิดการตกตะกอนเนื่องจาก hydrophobic interaction

ความร้อน

ที่อุณหภูมิเหนือจุดเดือดเคซีนไมเซลส์จะเกิดการตกตะกอนแบบไม่ผันกลับ การให้ความร้อนจะทำให้สมบัติด้านบัฟเฟอร์ของเกลือในน้ำนมเปลี่ยนแปลงไป เกิดการปลดปล่อย CO₂ organic acid ถูกผลิตขึ้น และ tricalcium phosphate จะตกตะกอนพร้อมปลดปล่อย H⁺

Age Gelation

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บนาน (shelf-stable sterilized dairy product) เช่น นมข้น และนมยู.เอช.ที. หลังจากการเก็บหลายอาทิตย์ หรือหลายเดือน จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ตามด้วยการเกิดเจลที่สังเกตได้ และเกิดการรวมตัวกันของไมเซลส์เป็นร่างแห 3 มิติ แบบผันกลับไม่ได้ สาเหตุอาจเกิดเนื่องจาก เอนไซม์พลาสมีนที่มีในน้ำนมอยู่แล้ว หรือจากเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งทนความร้อนได้สูงมาก หรืออาจเกิดเนื่องจากการเกิดสารประกอบ κ -casein- β -lactoglobulin

2.11 โปรตีนเวย์ (Whey Protein)

โปรตีนเวย์พบในส่วน supernatant หลังจากตกตะกอนนมที่ค่าความเป็นกรดต่าง 4.6 โปรตีนเวย์จะละลายน้ำได้มากกว่าเคซีน และถูกทำลายเนื่องจากความร้อนได้ง่าย แต่ทนต่อกรด โปรตีนเวย์ประกอบด้วยหมู่ซัลเฟอร์ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนถึงจุดเดือด จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้นมมีรสชาติที่เรียกว่า boiled-milk flavor หรือ cooked flavor

โปรตีนเวย์ ประกอบด้วย

- เบต้าแลคโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin) 50-60 เปอร์เซ็นต์
- อัลฟาแลคตาบูมิน (α -lactalbumin) 15-20 เปอร์เซ็นต์
- อื่น ๆ

1) เบต้าแลคโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin)

มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ มักรวมตัวกันอยู่รอบๆ เม็ดไขมัน เมื่อได้รับความร้อนโปรตีนนี้จะถูกทำลายด้วยความร้อนได้ง่าย และตกตะกอน (อุณหภูมิมากกว่า 65 องศาเซลเซียส) ทำให้ไขมันจับตัวเป็นก้อน และทำให้ครีมแยกชั้น β -lactoglobulin มี free sulfhydryl group (-SH) มากในรูปซิสทีน (cysteine) จึงเป็นตัวทำให้เกิดกลิ่นต้ม (cooked flavor) เมื่อได้รับความร้อน

2) อัลฟาแลคตาบูมิน (α -lactalbumin)

ทนความร้อนได้ดีกว่า β -lactoglobulin จะตกตะกอนได้หมดถ้าอุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส ไม่มี free sulfhydryl group (-SH) แม้จะมี cysteine มาก

3) อื่น ๆ เช่น bovine serum albumin (BSA), และ immunoglobulin (Ig)

2.12 เอนไซม์ (Enzymes)

น้ำนมมีทั้งเอนไซม์ที่พบในน้ำนม เช่น alkaline phosphatase (เร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของ Organic Phosphates ถูกทำลายด้วยความร้อนระดับ pasteurization), Plasmin, Lipase (เร่งปฏิกิริยา hydrolysis ของไขมัน) เป็นต้น และจากเชื้อแบคทีเรีย

2.13 แลคโตส (Lactose)

เป็นคาร์โบไฮเดรตหลักในน้ำนม นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลประเภทอื่น ๆ เช่น glucose, galactose และ Sucrose ในปริมาณเล็กน้อย

น้ำตาลแลคโตสเป็นไดแซคคาไรด์ (disaccharide) ประกอบด้วยกลูโคสและกาแลคโตสพบในน้ำนมประมาณ 4.8 - 5.2 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลแลคโตสจะเป็นสารตั้งต้นสำหรับการหมัก เช่น การผลิตกรดแลคติกโดยจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติก

น้ำตาลแลคโตส ในนมมี 2 แบบ คือ อัลฟาแลคโตส และเบต้าแลคโตส อัตราส่วนของน้ำตาลทั้งหมดที่อยู่ในนมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของอัลฟาแลคโตสต่อเบต้าแลคโตส เท่ากับ 1 ต่อ 1.65 และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนจะลดลงเหลือ 1 ต่อ 1.33 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในตาราง 2.5

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลแลคโตส 2 ไฮโซเมอร์

สมบัติ	แบบแอลฟา	แบบเบต้า
จุดหลอมเหลว	202°C	252°C
สเปคซิปิค โรเตชัน	89.4°	35°
การละลายน้ำ ที่ 20°C (ต่อ 100 มล.)	8 กรัม	55 กรัม
ที่ 100°C	70 กรัม	95 กรัม
ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 20°C)	1.54	1.59
ความร้อนจำเพาะ	0.299	0.285
ความร้อนในการเผาไหม้ (Cal/G-1)	3761.6	3932.7

(Heat of Combustion)

ที่มา: Herrington (1974)

เมื่อน้ำตาลแลคโตสได้รับความร้อนที่

- อุณหภูมิ 110-130 องศาเซลเซียส	เกิดการสูญเสียน้ำ
- อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	เริ่มเป็นสีเหลือง
- อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส	เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (lactocaramel)

2.14 วิตามิน

น้ำนมประกอบด้วย วิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินเอ, วิตามินดี, วิตามินอี และ วิตามินเค วิตามินที่ละลายในน้ำ เช่น วิตามินบี 1 -ไทอะมิน, วิตามินบี 2 -ไรโบฟลาวิน, วิตามินบี 6-ไพไรดอกซิน, วิตามินบี 12-ไซยาโนโคบาลามิน (cyanocobalamin), ไนอะซิน (niacin) และ กรดแพนโทธินิก (pantothenic acid)

สเตบิลไลเซอร์ที่ใช้เป็นส่วนผสมของโยเกิร์ตที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่

- 1) เพ็คติน
- 2) เจลาติน
- 3) สารดัดแปลงจากอาหารจำพวกแป้ง
- 4) แชนแทน
- 5) กัวร์
- 6) กัมจากเมล็ดโลคัสต์
- 7) โพลีแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดยเชื้อจุลินทรีย์

Gonzalez และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาคุณภาพของโยเกิร์ตจากการใช้เวย์โปรตีนแทนนมผง เนื่องจากเวย์จากนมเป็นแหล่งของน้ำตาลแลคโตส แคลเซียม โปรตีนนมและวิตามินที่ละลายได้ จากงานวิจัยการที่ใช้ผงเวย์เป็นส่วนผสมในโยเกิร์ตแทนนมผง มีผลต่อค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรด ลักษณะเจล และจำนวนจุลินทรีย์ พบว่าผงเวย์ช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ หลังการเก็บรักษา 15 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ให้สภาพคงตัวของโยเกิร์ต ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าการใช้นมผง

นอกจากนี้ Puvanthira และ คณะ (2000) ได้ศึกษาคุณลักษณะด้านโครงสร้างและความเหนียวในโยเกิร์ตชนิดคงตัวโดยใช้เคซีอื่นผสมเวย์โปรตีน เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้นมผงเป็นส่วนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเคซีอื่นต่อเวย์โปรตีนเป็น 4.7: 1 ถึง 0.5 : 1 จากงานวิจัยพบว่าเคซีอื่นที่เพิ่มขึ้นแทนที่เวย์โปรตีนมีผลทำให้ลดลักษณะเจลแข็ง ค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ค่าการแยกตัวของน้ำลดลง

2.15 แป้งและสตาร์ช

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิภาคในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญทางยุโรป มีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย แอฟริกา มีข้าวและมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่ที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และ พาสต้า เป็นต้น

จากคุณสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ชุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารไม่ให้เสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูป (freeze-thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอร์ไรเซชัน (pasteurization) และสเตอริไลเซชัน (sterilization) เป็นต้น

แป้งที่คนไทยเรียกกันทั่วไป สามารถหมายถึงได้ทั้ง ฟลาวร์ (flour) และสตาร์ช (starch) ฟลาวร์และสตาร์ชมีส่วนประกอบทางเคมีต่างกันจึงส่งผลให้สมบัติต่างกัน

ฟลาวร์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากเมล็ด หัว หรือส่วนอื่นที่ใช้บริโภคได้ของพืช โดยนำวัตถุดิบมาสี โม่ หรือบด หรือตีแล้วร่อนเป็นผงละเอียด ดังนั้นส่วนประกอบของฟลาวร์จึงมีสารอาหารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบดั้งเดิม เช่น แป้งข้าวโพด เป็นต้น

สตาร์ช หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากส่วนต่าง ๆ ของพืชเช่นเดียวกับที่ใช้ผลิตฟลาวร์ แต่กรรมวิธีการผลิตจะแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสตาร์ช โดยมีองค์ประกอบอื่นปะปนมาน้อยที่สุด เช่น คอร์นสตาร์ช, วีดสตาร์ช เป็น

ดังนั้นคำว่าแป้งที่จะกล่าวต่อไปนี้จะหมายถึงแป้งสตาร์ช และเนื่องจากบางครั้งแป้งสตาร์ชที่ยังไม่ได้ถูกทำการตัดแปรรูปหรือแปรรูป นิยมเรียกว่าแป้งดิบ (native starch) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับแป้งที่ถูกตัดแปรรูปหรือแปรรูปแล้ว ที่เรียกว่ามอดิไฟด์สตาร์ช (modified starch) หรือแป้งตัดแปรรูป

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่ อะมิโลส (amylose) อะมิโลเพกทิน (amylopectin) และสารตัวกลาง (intermediate material) (Sanders, 1996) สมบัติของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน

คุณสมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาล	สารประกอบของน้ำตาล
พันธะที่จับ	กลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	กลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
ขนาด	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นก้อนและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: Beynum และ Roels (1985)

อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 – glucosidic linkage

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคุมีปริมาณอะมิโลสต่ำประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ waxy starch ไม่มีอะมิโลสเลย และแป้งจาก amylo maize มีอะมิโลสสูงมากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลสอยู่ในช่วง

10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน ซึ่งอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ในแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี แป้งแต่ละชนิดมี Degree of polymerization (DP) ของอะมิโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะมิโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะมิโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติอะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลสของแป้งหลายๆ ชนิด

อะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น butanol, fatty acid, surfactant, phenol และ hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะมิโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ (Galliard และ Bowler, 1987) นอกจากนี้อะมิโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะมิโลส ซึ่งคุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลสของแป้งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส

แหล่งแป้ง	ปริมาณอะมิโลส (%)	β -Amylolysis Limit (%)	DPเฉลี่ย	จำนวนสายเฉลี่ย	ความยาวสายเฉลี่ย	โมเลกุลกิ่ง (%)
แป้งสาลี	28	88	1,300	4.8	270	27
แป้งข้าวโพด	28	82	930	2.7	340	44
แป้งข้าวเจ้า	17					
Indica		73	1,000	4.0	250	49
Japonica		81	1,100	3.4	320	31
แป้งมันสำปะหลัง	17	75	2,600	7.6	340	42
แป้งมันฝรั่ง	21	80	4,900	9.5	240	

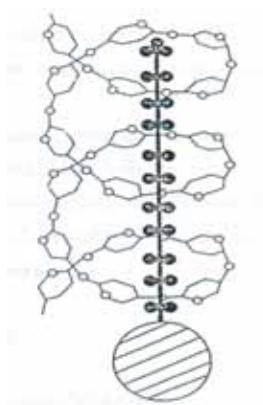
หมายเหตุ: β -Amylolysis = % การย่อยแป้งโดย β -Amylolysis

DP = Degree of Polymerization

NC = Number of Chain

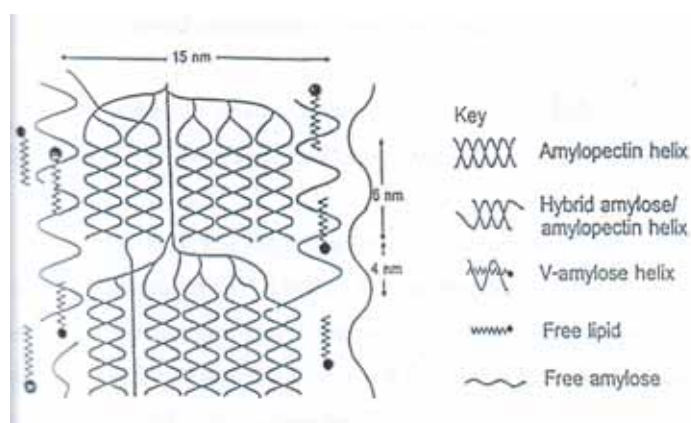
CL = Chain Length

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hizzukurt (1988)



ภาพที่ 2.11 แบบจำลองการจับตัวของอะมิโลสกับสารอินทรีย์
ที่มา: Hosney (1994)

ไขมันในสตาร์ชเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณอะมิโลสของสตาร์ช และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลสและอะมิโลเพกทินที่มีสายยาวได้ (Choudhury and Juliano, 1980 ; Morrisin et al., 1984 ; South et al., 1991) โดยสันนิษฐานว่าลักษณะไขมันที่เกิดพันธะกับอะมิโลสและอะมิโลเพกทินสายยาว น่าจะเป็นเช่นเดียวกับแบบจำลองการจับตัวของอะมิโลสกับสารอินทรีย์ ดังแสดงในภาพที่ 2.11 โดย Blanshard (1987) ได้เสนอแบบจำลองโครงสร้างของอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพกทินและไขมันไว้ ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 แบบจำลองโครงสร้างของอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพกทินและไขมัน
ที่มา: Blanshard (1987)

แป้งที่มีการนำมาใช้กันมากที่สุดในโลกคือ แป้งข้าวโพด เนื่องจากประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตรายใหญ่และมีการนำเทคนิคพันธุวิศวกรรมเข้ามาใช้ ทำให้เกิดความ หลากหลาย ทางพันธุกรรมในข้าวโพดส่งผลให้แป้งที่ผลิตได้มีคุณสมบัติต่าง ๆ แตกต่างกันไป นอกจากนี้ผลพลอยได้ที่ได้จากการสกัดแป้งส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนและน้ำมัน ซึ่งมีมูลค่าสูงทางการค้า แต่ข้อเสียเปรียบที่สำคัญคือทำการสกัดแป้งและแยกออกจากโปรตีนได้ยาก และแป้งที่สกัดได้ยังมีไขมันอยู่บ้าง (ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งจะส่งผลกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (Swinkels, 1992)

เนื่องจากแป้งประกอบขึ้นด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคส ซึ่งมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาเคมี การแปรรูปแป้งโดยเฉพาะการแปรรูปทางเคมี ทำให้แป้งมีสมบัติแตกต่างไปจากเดิม ให้เหมาะสมตามความต้องการของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทโดยการพัฒนาเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งทั้งวิธีทางเคมี ชีวภาพ และ/หรือกายภาพ

2.16 แป้งข้าวโพด

แป้งข้าวโพดจัดได้ว่าเป็นแป้งที่มีมากที่สุดในโลก ผลิตจากข้าวโพด (corn หรือ maize) ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays L.* อยู่ในตระกูล *Gramineae* มีต้นกำเนิดในทวีปอเมริกา แล้วกระจายไปยัง ทวีปแอฟริกา อินเดีย ออสเตรเลีย และประเทศในยุโรปที่มีอากาศอบอุ่น ข้าวโพดมีหลายพันธุ์ เช่น หัวแข็ง หัวบุบ และข้าวเหนียว ข้าวโพดมีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่

2.8 และคุณสมบัติของแป้งข้าวโพดดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวโพด

องค์ประกอบ(%)	Kerr(1950)	Knight(1969)
ความชื้น	18.5	16.2
แป้ง	55.5	59.4
โปรตีน	8.2	8.2
ไขมัน	3.0	4.0
เยื่อใย	2.4	2.2
เถ้า	1.5	1.2
น้ำตาล	5.1	2.2
ส่วนที่เหลือ	5.8	6.6

ที่มา: Beynum และ Roels (1985)

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของแป้งข้าวโพด

คุณสมบัติ	แป้งข้าวโพด
ขนาดเม็ดแป้ง(ไมครอน)	3-26 a
ปริมาณอะมิโลส(%)	28 a
dP อะมิโลส	800 a
Pasting temperature($^{\circ}$ C)	79.18b
Peak viscosity(RVU)	217.13b
Final viscosity(RVU)	195.21b
Trough viscosity(RVU)	145.67b
Onset temperature(T_{01} $^{\circ}$ C)	49 c
Conclusion temperature (T_{01} $^{\circ}$ C)	67 c

ที่มา : a Ellis และคณะ (1998)

b หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลัง

c Eliasson และ Gudmundsson (1995)

2.17 สตาร์ชดัดแปร (modified starch)

แป้งดัดแปรตามความหมายที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1073-2535 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งสตาร์ช เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมี และ/หรือทางฟิสิกส์ จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากแป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

ประเภท	ชื่อแป้งดัดแปร	ตัวอย่างการใช้
1. แป้งที่เกิดเจลในน้ำที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่า	พรีเจลาทีไนซ์สตาร์ช (pregelatinized starch)	-ทำให้กึ่งสำเร็จรูปสำหรับอาหารประเภทพาย -ครีมเทียม ลูกกวาด ทอฟฟี่ ชูบกึ่งสำเร็จรูป
2. แป้งที่ละลายได้ในน้ำ	เดกซ์ทรีน (dextrin)	-ลูกกวาด ทอฟฟี่ ซ็อกโกเลต
3. แป้งที่มีความหนืดต่ำกว่าแป้งธรรมชาติ	ทินบอยลิ่งสตาร์ช (thinboiling starch) แอลคาไลน์ทรีตเตดสตาร์ช (alkaline treatate starch)	-ทำอาหารที่ต้องการให้มีการเกาะตัวกันดีโดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงเช่น กระจายสารท -ใช้ในชูบกึ่งสำเร็จรูป
4. ออกซิไดส์สตาร์ช	บลีซด์ไคส์สตาร์ช (beat distarch) ออกซิไดส์สตาร์ช (oxidize starch)	-ใช้ในอาหารประเภทของเหลวที่ต้องการความข้น -ใช้ในการที่มีความเป็นกรดสูง ซอส
5. ครอสส์-ลิงก์สตาร์ช	ไคส์สตาร์ชฟอสเฟต (distarch phosphate) สตาร์ชซักซิเนต (starch succinate)	-ใช้ในอาหารประเภทที่ต้องการความร้อนเป็นเวลานาน -ใช้ในอาหารแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็งที่บริเวณที่ที่ยังเย็นอยู่
6. ซับสติวเทคสตาร์ช	ไฮดรอกซี-โพรพิลไคส์สตาร์ชฟอสเฟต (hydroxy propyl distarch phosphate) แอสซีทิลเลเทคไคส์สตาร์ชอะซิเตต (acitilatac distarch acetate)	-ใช้ในอาหารที่ไม่เป็นกรด -ใช้ในอาหารที่ต้องใช้ความร้อนเป็นเวลานาน
7. แป้งที่ได้จากกรรมวิธีผสม	7.1 ครอสส์-ลิงก์ และซับสติวเทค 7.2 แป้งที่ได้จากกรรมวิธีผสมตามประเภท 1 ถึง 6	-ใช้ในการทำให้กรอบ

ที่มา: Bynum และ Roel (1985)

ลักษณะจำเพาะของแป้งอาจเป็นลักษณะพิเศษจากแหล่งผลิต เช่น แป้งที่ได้จากมันสำปะหลัง ซึ่งมีลักษณะจำเพาะ เช่น ขนาดรูปร่าง และการพองตัว แต่สิ่งที่แป้งทุกชนิดมีคล้ายกันคือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืด เมื่อมีปัจจัยความร้อน แรงเฉือน และเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง

แป้งดิบโดยทั่วไปมีคุณสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในขบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่าง ๆ ต่ำ และสิ้นเปลืองงบประมาณในการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น การทำให้มีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะในการผลิตได้ดี (Light, 1990) การเกิดเจลาตินไนซ์ (gelatinization) การคืนตัว (retrogradation) และการสูญเสียน้ำของเจลดลดลง มีความคงตัวในการละลายจากการแช่แข็งเพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำหรือความสามารถในการผสมกับตัวทำละลายอื่น ๆ เพิ่มขึ้น (Be Miller, 1997)

แป้งมันสำปะหลังมีความบริสุทธิ์สูง มีการปนเปื้อนของสารประกอบเคมีอื่น ๆ ต่ำ เหมาะต่อการนำมาทำปฏิกิริยาเคมี ส่วนอสัณฐาน (amorphous) ของอะมิโลเพกทินจะเป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยาเคมีได้ดีที่สุด

แป้งดัดแปร สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามกรรมวิธีการผลิตดังนี้
(Be Miller, 1997)

1) การดัดแปรทางเคมี (chemical modification) แบ่งออกเป็น

1.1) การเกิดอนุพันธ์ (derivatization)

1.1.1) การแทนที่สารโมโนเลกุลเดี่ยวของแป้ง (monostarch substitution)

เช่น แป้งแอซีเตต (starch acetate) หรือ ปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล (hydroxyethyl starch) การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็น blood extender ครีมเทียม (coffee whitener) และสารให้ความข้น (thickener)

1.1.2) การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น แป้งคลอสลิง

(cross-linked starch)

- 1.2) การลดขนาดโมเลกุลแป้งโดยกรด (acid thinning) เช่น แป้งย่อยด้วยกรด (acid-modified starch) หรือ thin-boiling starch ซึ่งใช้ในการผลิตลูกกวาดและทอปปิง
- 1.3) เด็กซ์ทริไนเซชัน (dextrinization) เป็นการลดขนาดหรือเปลี่ยนการจับเกาะ (depolymerization/transglycosylation) โดยใช้ความร้อน หรือความร้อนกับกรด เช่น มอลโตเด็กซ์ทริน (maltodextrin)
- 1.4) ออกซิเดชัน (oxidation) ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุล โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (bleaching และ depolymerization) เช่น แป้งออกซิไดซ์ (oxidized starch) นิยมใช้ในการทำลูกกวาด ลูกอม ชูบกึ่งสำเร็จรูป และอาหารประเภทที่ต้องการความชื้น เช่น น้ำสลัด มายองเนส (Knight, 1969; Voragen, 1996)
- 1.5) การย่อยสลาย (hydrolysis) โดยใช้น้ำย่อยหรือกรด เพื่อย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก เช่น enzymatically modified starch มักใช้ในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโตส และไซโคลเดกซ์ทริน

2) การดัดแปรทางกายภาพ (physical modification)

- 2.1) เจลาติไนเซชัน (gelatinization) เป็นการให้ความร้อนแป้งจนผ่านการเกิดเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch) มักใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่สามารถละลายและให้ความหนืดได้ทันที โดยไม่ต้องใช้ความร้อน เช่น ในขนมพุดดิ้ง น้ำเกรวี่ ซอส ใส่กึ่งสำเร็จรูป พาย ครีมหน้าขนมต่าง ๆ ส่วนผสมของชูบผง ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้ก เพื่อช่วยในการดูดซับน้ำและเก็บฟองอากาศได้ดีขึ้น (Boettger, 1963) ใช้เป็นส่วนผสมในของหวานที่มีลักษณะคล้ายโยเกิร์ต (Fardiner, 1975) ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวสำหรับส่วนผสมของอาหารแช่แข็ง เช่น milk shake (Senda, 1991)
- 2.2) แป้งละลายน้ำเย็น (Granular-Cold-Water-Solution, GCWSS) เป็นการแปรรูปจนได้แป้งที่สามารถละลายในน้ำเย็น โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเกิดเจลาติไนเซชัน
- 2.3) การลดขนาดเม็ดแป้งโดยทางกล การทำให้เม็ดแป้งแตกโดยทางกล จะได้เม็ดแป้งขนาดเล็กกว่าปกติ
- 2.4) annealing เป็นการให้ความร้อนในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเจลาติไนเซชัน
- 2.5) การแปรรูปด้วยความร้อนชื้น (heat moisture treatment) เป็นการให้ความร้อนต่ำกว่าจุดเจลาติไนเซชันแก่แป้งขณะที่เม็ดแป้งมีความชื้นต่ำ

3) การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnological modification)

เป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งโดยเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

3.1) waxy starch คือ แป้งที่มีอะมิโลสต่ำหรือไม่มีเลย

3.2) high- amylose starch คือแป้งที่มีอะมิโลสสูง

3.3) โครงสร้างและขนาดโมเลกุลในแป้งข้าวโพดดัดแปรทางเทคโนโลยี

ชีวภาพจะพบว่าอะมิโลสใน amylozyme เหมือนกับโมเลกุลอะมิโลสในแป้งข้าวโพดดั้งเดิม แต่ความยาวสายเฉลี่ย (average chain length) ของอะมิโลเพ็กทินใน amylozyme จะยาวกว่าในข้าวโพดดั้งเดิม (Senti, 1967; Salomonsson และ Sundberg, 1994) ซึ่งเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่คงทน ไม่แตกง่าย

2.18 การใช้สารประกอบโพลีแซคคาไรด์และสตาร์ชดัดแปรในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

การใช้สารประเภทโพลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์นมในปริมาณมากพอพบว่าจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโพลีแซคคาไรด์กับเคซีนในนมทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย (Tuinier และคณะ, 2000)

การใช้กัมและโปรตีนทำให้เกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรคอลลอยด์และโปรตีนสามารถป้องกันการจับตัวระหว่างไฮโดรคอลลอยด์กับไฮโดรคอลลอยด์ และการจับตัวระหว่างโปรตีนกับโปรตีน ซึ่งจะให้ลักษณะที่ไม่ดีกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (Schmidt และ Smith, 1992)

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อค่าความเป็นกรดต่างของโยเกิร์ตลดลง และประจุของแคลเซียมในโมเลกุลเคซีนมีมากขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์กับโมเลกุลของสตาร์ช ทำให้เกิดเจลของโยเกิร์ตที่แข็งแรง (Tamime และ Deeth, 1980)

Schmidt และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาผลของสตาร์ชดัดแปรจากแป้งสาลีเพื่อใช้เป็นสเตบิไลเซอร์ในโยเกิร์ตชนิดคงตัว (set yogurt) โดยใช้สตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวสาลีเปรียบเทียบกับ สตาร์ชแป้งข้าวสาลี พบว่าสตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวสาลีให้ลักษณะความแน่นเนื้อ (firmness) แก่โยเกิร์ต และมีการแยกตัวของเวย์เพียงเล็กน้อยซึ่งช่วยลดการเกิดการแยกตัวของน้ำระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากโมเลกุลของอะมิโลสมีประจุลบ เข้าทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับประจุบวกของเคซีนในนม (Takeuchi, 1969)

Belgin และ Nursel (2003) ได้ทำการศึกษากาไรไคคัสปีนัทัม (locust bean gum) ในโยเกิร์ตไขมันต่ำชนิดคงตัว (set yogurt) พบว่าช่วยลดค่าการแยกตัวของน้ำในโยเกิร์ตเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้นมผงเป็นส่วนผสมหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 3

ศึกษาการใช้แป้งข้าวโพดและสตาร์ชดัดแปรชนิดต่าง ๆ ในโยเกิร์ตนมสด

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

- 1) น้ํานมดิบ (raw milk) ที่มีไขมัน 4.0 เปอร์เซ็นต์
- 2) หางนมผง (Murray Goulburn Co-Operative Co., Ltd., Melbourne Australia)
ความชื้น 3.7 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.8 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน 34.9 เปอร์เซ็นต์
- 3) แป้งข้าวโพด จากบริษัท เฟิร์ส สตาร์ช อินเตอร์เนชันแนล จำกัด
- 4) สตาร์ชดัดแปรจากข้าวโพด (modified corn starch) จากบริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช จำกัด
- 5) สตาร์ชดัดแปรจากมันสำปะหลัง (modified tapioca starch) Tapple - 25 จาก บริษัท
สำปะหลังพัฒนา จำกัด
- 6) สตาร์ชดัดแปรข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง (modified corn & tapioca starch)
สัดส่วน 1:1 จากบริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช จำกัด
- 7) เจลาติน (Food gelatine 240 bloom (20 mesh) New Zealand จากห้างหุ้นส่วนจำกัด
นิวทรีชั่น
- 8) ดีเอ็มจี (DMG: Distilled Monoglycerides) Korea จากบริษัทนาเคม
(กรุงเทพ ฯ) จำกัด
- 9) เพ็คติน (Genupectin type LM 104 AS YA) จากบริษัทฟู๊ดส์
แอนด์คลอสเมติก ซิสเต็ม จำกัด
- 10) หัวเชื้อจุลินทรีย์ (Lactic culture for direct Vat Set (DVS)
Thermophilic lactic culture) จากบริษัทอีสต์เอเชียติก (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

- 1) ถังน้ำร้อน (Water bath; Gerber, รุ่น ET-8A)
- 2) เครื่องมือวัดความหนืด (Brookfield Viscometer; DV-II +, รุ่น 2.0)
- 3) เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH Meter; Orion, รุ่น 420 A)
- 4) ตู้อบร้อน (Hot air oven; Memmert, รุ่น UM 500 No.6005)
- 5) ตู้บ่มเชื้อ (Incubator; BE600, รุ่น No. 6039)
- 6) หม้อนึ่งความดัน (Autoclave; Kokusan, รุ่น -88L4D)
- 7) เครื่องปั่น (Stirrer; Siemen, รุ่น 50800)
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartarius; MCD 1106, รุ่น No. 2804007)
- 9) เครื่องวัดองค์ประกอบของน้ำนม (Milk analyzer; Lactoscan, รุ่น 2504)
- 10) ตู้เย็น (Refrigerator; Sharp, รุ่น serial No.01038)
- 11) เครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand refractometer; Hambrug, รุ่น HRN 32)
- 12) กระดาษวัดความเป็นกรดต่าง (pH paper)
- 13) ปีกเกอร์ (Breaker)
- 14) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmayer flask)
- 15) ชุดบิวเรต (Burette set)
- 16) ปิเปต (Pipette)
- 17) โถดูดความชื้น (Desicator)
- 18) ถ้วยหาความชื้น (Moisture can)
- 19) กรวยกรอง (Separating funnel)
- 20) กระดาษกรอง (Whatman No. 1)
- 21) หลอดทดลอง (Test tube)
- 22) หลอดหยด (Dropper)
- 23) ขวดน้ำกลั่น
- 24) ช้อนตักสาร (Spatula)
- 25) ลูกยาง
- 26) ที่คีบ (Forcep)

- 27) ถุงพลาสติก
- 28) ถ้วยโยเกิร์ต
- 29) ช้อนชิม
- 30) อะลูมิเนียมฟอยล์

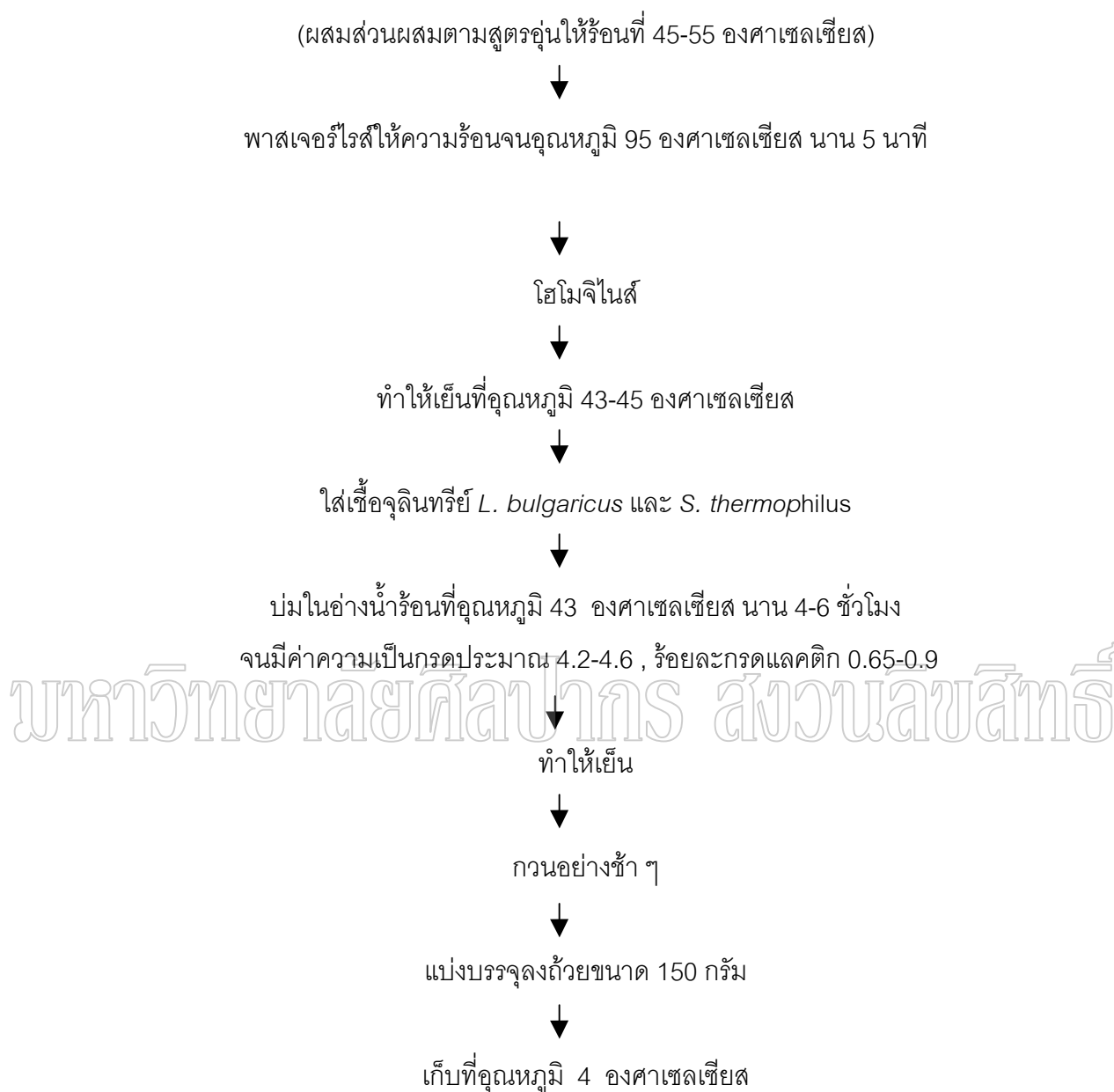
3.1.3 สารเคมี

- 1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1 N NaOH)
- 2) สารละลายฟีนอล์ฟธาเลอิน (Phenolphthalein indicator)
- 3) กรดกำมะถันเข้มข้น (Conc. H₂SO₄)
- 4) ไอโซ เอมีลแอลกอฮอล์ (Iso amyl alcohol)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 วิธีการเตรียมโยเกิร์ต

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้โยเกิร์ตชนิดคนในการทดสอบ ซึ่งเตรียมโดยผสมน้ำตาลและส่วนผสมตามสูตรมาตรฐาน (ไขมัน 4.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 8.5 เปอร์เซ็นต์) แปรระดับปริมาณของแป้งข้าวโพด, สตาร์ชดัดแปรจากข้าวโพด (modified corn starch) , สตาร์ชดัดแปรจากมันสำปะหลัง (modified tapioca starch) และสตาร์ชดัดแปรจากข้าวโพดและมันสำปะหลัง (modified corn & tapioca starch) ที่ระดับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสูตรมาตรฐานแล้วนำไปอุ่นให้ร้อนที่ 45-55 องศาเซลเซียส นำไปต้มที่ 95 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือ 43 องศาเซลเซียส จึงเติมเชื้อจุลินทรีย์สำหรับหมักแป้งที่ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ (*Lactobzillus delbrueckii sub sp. Bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* (1:1), Frozen DVS, Chr. Hansen A/S, Denmark) ซึ่งจะได้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ 4.6 แล้วนำไปหมักที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส ใช้เวลาหมักประมาณ 4 ชั่วโมง จนได้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ 4.6 จึงทำการกวนเนื้อโยเกิร์ตให้แตกออกแล้วแบ่งใส่ถ้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (PE) ปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แช่เย็นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน ก่อนนำมาวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมโยเกิร์ตชนิดคน

ที่มา: Hyers (1981)

3.2.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยแปรปริมาณ แป้งข้าวโพด (corn flour) สตาร์ชดัดแปรจากข้าวโพด (modified corn starch) สตาร์ชดัดแปรจาก มันสำปะหลัง (modified tapioca starch) และสตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง (modified corn&tapioca starch) ที่ 3 ระดับ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสูตร มาตรฐาน จำนวน 3 ซ้ำซ้ำละ 3 ตัวอย่าง เทียบกับสูตรควบคุมจากการใช้นมผง ซึ่งมีสูตรการผลิตดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางองค์ประกอบการผลิตโยเกิร์ต

สูตร	CF (%)	MCS (%)	MTS (%)	MCTS (%)	SMP (%)	Sugar (%)	Stablizer & Emulsifier (pectin:gelatin:DMG) (%)	Culture (%)	Fresh milk (%)
ควบคุม	-	-	-	-	12	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	-
สูตร 1	0.5	-	-	-	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	90.48
สูตร 2	1.0	-	-	-	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	89.98
สูตร 3	1.5	-	-	-	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	89.48
สูตร 4	-	0.5	-	-	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	90.48
สูตร 5	-	1.0	-	-	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	89.98
สูตร 6	-	1.5	-	-	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	89.48
สูตร 7	-	-	0.5	-	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	90.48
สูตร 8	-	-	1.0	-	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	89.98
สูตร 9	-	-	1.5	-	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	89.48
สูตร 10	-	-	-	0.5	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	90.48
สูตร 11	-	-	-	1.0	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	89.98
สูตร 12	-	-	-	1.5	-	8.5	0.25:0.3:0.12	0.3	89.48

หมายเหตุ : CF = Corn flour

MTS = Modified Tapioca Starch

MCS = Modified Corn Starch

MCTS = Modified Corn & Tapioca Starch

SMP = Skim Milk Powder

DMG = Distilled Monoglycerides

3.2.3 ประเมินผลการทดลอง

ประเมินคุณลักษณะของโยเกิร์ตในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ค่าร้อยละของของแข็งทั้งหมด (% Total solids) ตามวิธี AOAC, (1990)
- 2) ค่าความหนืดปรากฏโดยใช้ Brookfield viscometer

ความเร็วรอบ 50 rpm หัววัดเบอร์ 96

- 3) วัดค่าการแยกตัวของน้ำจากโยเกิร์ต (Syneresis, %)

(ดัดแปลงจากวิธีของ Puvanenthiran และคณะ, 2002)

- 4) วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างด้วย pH meter
- 5) หาปริมาณกรดแลคติก โดยวิธี titratable acidity AOAC, (1990)
- 6) วัดค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids)

โดย Hand refractometer

- 7) ประเมินคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต ด้านสี กลิ่น รสชาติ

เนื้อสัมผัส ความหวาน และความชอบโดยรวม โดยวิธีทดสอบแบบ 9 – Point Hedonic scale ใน การทดสอบความชอบของโยเกิร์ตที่แปรรูประดับและชนิดของแป้งและสตาร์ชดัดแปรต่าง ๆ โดยใช้ผู้ ทดสอบชิม (พนักงานในโรงงานผลิตภัณฑ์นมปราณบุรี) จำนวน 25 คน

3.2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ Completely

Randomized Design (CRD) สำหรับการประเมินผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสวิเคราะห์ ผลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) โดยให้ผู้ ชิมเป็น block และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสถิติประยุกต์ SAS Version 8.1 (SAS Institute Inc. Cary, N.C., U.S.A.)

3.3 ผลการทดลอง

3.3.1 ผลของแป้งข้าวโพดและสตาร์ชดัดแปรต่อลักษณะทางกายภาพและเคมีของโยเกิร์ตนมสด

จากการประเมินคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของโยเกิร์ตดังตารางที่ 3.2 พบว่าการใช้แป้งในสูตรการผลิตโยเกิร์ตมีผลต่อค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดแลคติกเพียงเล็กน้อย ซึ่งน่าจะเกิดจากความแปรปรวนจากการทดลอง ค่าของแข็งทั้งหมดและค่าของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณของแป้งที่ใช้ มีผลทำให้การแยกตัวของน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และความหนืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น การใช้แป้งข้าวโพด (corn flour) มีผลทำให้โยเกิร์ตมีค่าความหนืดสูงสุด เนื่องจากแป้งข้าวโพดมีสายยาวของโพลีแซคคาไรด์ มีผลทำให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญในการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ เพิ่มความข้นหนืดและเป็นสารช่วยให้เกิดความคงตัวของอิมัลชัน มีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่ดี และมีความคงตัวที่ดี (Sanchez และคณะ, 2000) รองลงมาคือสตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง (modified corn & tapioca starch) สตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพด (modified corn starch) และสตาร์ชดัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง (modified tapioca starch) ตามลำดับ เนื่องจากสตาร์ชดัดแปรซึ่งมีการสกัดสิ่งเจือปนออกไปเป็นแป้งบริสุทธิ์ โดยถูกนำมาเปลี่ยนสมบัติทางเคมี และ/หรือทางฟิสิกส์ จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมี ทำให้มีเนื้อสัมผัสที่ดี คงทนต่อสภาวะการผลิต (Light, 1990) ค่าการแยกตัวของน้ำในตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวโพดมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือสตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพด สตาร์ชดัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง และสตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโยเกิร์ตที่เตรียมจากแป้งข้าวโพด (corn flour) และสตาร์ชตัดแปรรูป

สูตรการทดลอง	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	pH	Titratable acidity (%)	Total Solids (%)	Total Soluble Solids (%)	ความหนืด (cP)	การแยกตัวของน้ำ (%)
สูตรควบคุม	4.34±0.01 ^a	0.96±0.01 ^a	19.07±0.23 ^e	18.61±1.32 ^{ab}	5843.0±171.5 ^{de}	14.17±0.65 ^a
CF 0.5 %	4.26±0.03 ^{de}	0.95±0.01 ^{dc}	19.45±0.08 ^a	16.94±0.88 ^d	5180.8±141.5 ^f	1.18±0.90 ^{fg}
CF 1.0 %	4.34±0.04 ^{cd}	0.94±0.01 ^e	19.29±0.20 ^{bc}	17.94±0.73 ^{bc}	7816.1±239.6 ^b	0.56±0.49 ^{gh}
CF 1.5 %	4.29±0.05 ^{bcd}	0.94±0.01 ^{de}	19.19±0.23 ^{cde}	18.33±0.66 ^{ab}	10138.7±852.7 ^a	0.24±0.18 ^h
MCS 0.5 %	4.34±0.08 ^e	0.94±0.01 ^{de}	19.38±0.18 ^{ab}	17.39±0.60 ^{cd}	4676.2±229.3 ^g	3.67±2.01 ^e
MCS 1.0 %	4.23±0.07 ^{de}	0.94±0.01 ^{de}	19.22±0.30 ^{cde}	18.33±0.66 ^{ab}	7175.6±124.0 ^c	1.04±1.13 ^{fgh}
MCS 1.5 %	4.26±0.07 ^{bc}	0.96±0.01 ^{bc}	19.09±0.26 ^{de}	18.83±0.66 ^{ab}	7710.4±588.0 ^b	0.60±0.42 ^{gh}
MTS 0.5 %	4.30±0.02 ^{cd}	0.96±0.00 ^{bc}	19.44±0.19 ^a	17.33±0.50 ^{cd}	4888.9±133.4 ^{fg}	8.39±1.79 ^c
MTS 1.0 %	4.28±0.03 ^{bc}	0.92±0.01 ^f	19.41±0.17 ^{ab}	18.00±0.00 ^{ab}	6077.7±195.0 ^d	5.57±0.54 ^d
MTS 1.5 %	4.30±0.03 ^{bc}	0.92±0.02 ^f	19.23±0.13 ^{cd}	18.33±0.66 ^{ab}	7043.6±263.0 ^c	1.81±0.31 ^f
MCTS 0.5 %	4.30±0.03 ^{bc}	0.97±0.01 ^a	19.42±0.13 ^a	17.33±0.50 ^{cd}	5673.03±151.2 ^e	11.96±1.20 ^b
MCTS 1.0 %	4.30±0.03 ^{bc}	0.95±0.01 ^{bc}	19.19±0.14 ^{cde}	18.17±0.66 ^{ab}	7167.40±460.86 ^e	8.05±0.87 ^c
MCTS 1.5 %	4.30±0.03 ^{bc}	0.95±0.01 ^{cd}	19.20±0.30 ^{cd}	18.83±0.90 ^a	7712.93±895.59 ^b	4.03±0.48 ^e

หมายเหตุ : n = 9

a,b,c,... แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \leq 0.05$)

CF = Corn flour

MCS = Modified Corn Starch

MTS = Modified Tapioca Starch

MCTS = Modified Corn & Tapioca Starch

3.1.2 ผลของแป้งข้าวโพด (corn flour) และสตาร์ชตัดแปร ต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมสด

จากการทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมสด ที่ใช้แป้งข้าวโพดและสตาร์ชตัดแปรชนิดต่าง ๆ ในด้านความชอบรวม สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความหวานโดยใช้ผู้ชิม 25 คน ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3.3 พบว่าการใช้แป้งข้าวโพดและ สตาร์ชตัดแปรชนิดต่าง ๆ มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกด้านของโยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยพบว่าการใช้แป้งข้าวโพดและสตาร์ชตัดแปรชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่ต่างกัน มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยโยเกิร์ตที่ใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง (MCTS) ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุด รองลงมาคือการใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง (MTS) สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพด (MCS) และแป้งข้าวโพด (CF) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สตาร์ชตัดแปรชนิดต่าง ๆ แตกต่างจากคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ควบคุมที่ใช้หางนมผงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การใช้แป้งข้าวโพดทำให้คะแนนความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตน้อยกว่าการใช้สตาร์ชตัดแปรต่าง ๆ ผลดังแสดงในตารางที่ 3.3

เมื่อเปรียบเทียบการใช้แป้งข้าวโพดและสตาร์ชตัดแปรพบว่านอกจากโยเกิร์ตที่ใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังที่ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงสุดและคะแนนด้านสี กลิ่น รสชาติไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความหวานมีค่าน้อยกว่าคะแนนของตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ เป็นเกณฑ์จึงเลือกเฉพาะโยเกิร์ตนมสดที่ใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง (MCTS) ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะระหว่างการรักษาต่อไป เนื่องจากให้ค่าคะแนนการยอมรับโดยรวม และคุณลักษณะด้านต่าง ๆ สูงใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้แป้งและสตาร์ชตัดแปรในสูตรอื่น ๆ

ตารางที่ 3.3 ผลของแป้งข้าวโพดและสตาร์ชดัดแปรต่อลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมสด

สูตรการทดลอง	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ความชอบโดยรวม	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความหวาน
Control	7.87 \pm 0.49 ^a	6.97 \pm 0.49 ^{ab}	7.12 \pm 0.60 ^a	7.53 \pm 0.45 ^a	7.90 \pm 0.41 ^a	7.25 \pm 0.64 ^a
CF 0.5 %	5.43 \pm 0.99 ^f	6.03 \pm 0.91 ^e	5.20 \pm 0.87 ^f	5.60 \pm 1.00 ^f	4.93 \pm 1.10 ^e	5.43 \pm 1.09 ^f
CF 1.0 %	5.85 \pm 0.78 ^{ef}	6.48 \pm 0.68 ^{cde}	6.00 \pm 0.65 ^{de}	6.05 \pm 0.80 ^{def}	5.95 \pm 1.14 ^{cd}	5.77 \pm 0.99 ^{ef}
CF 1.5 %	5.67 \pm 0.96 ^f	6.32 \pm 0.95 ^{de}	5.97 \pm 6.00 ^e	5.87 \pm 0.70 ^{ef}	5.80 \pm 0.90 ^d	5.97 \pm 0.70 ^{def}
MCS 0.5 %	6.50 \pm 0.70 ^{cd}	6.45 \pm 0.93 ^{cde}	6.33 \pm 0.80 ^{bcde}	6.22 \pm 0.97 ^{de}	5.93 \pm 1.02 ^{cd}	6.40 \pm 0.78 ^{bcd}
MCS 1.0 %	6.40 \pm 0.89 ^{cd}	6.58 \pm 0.74 ^{abcd}	6.23 \pm 0.72 ^{cde}	6.18 \pm 0.83 ^{de}	6.12 \pm 0.96 ^{cd}	6.20 \pm 0.70 ^{bcd}
MCS 1.5 %	6.30 \pm 0.95 ^{de}	6.37 \pm 0.89 ^{de}	6.38 \pm 1.06 ^{bcde}	6.08 \pm 1.03 ^{def}	6.25 \pm 1.09 ^{cd}	6.08 \pm 0.90 ^{cde}
MTS 0.5 %	6.47 \pm 0.86 ^{cd}	6.63 \pm 0.84 ^{abcd}	6.17 \pm 0.87 ^{cde}	6.10 \pm 1.14 ^{def}	6.33 \pm 1.16 ^{bcd}	6.27 \pm 0.95 ^{bcd}
MTS 1.0 %	6.58 \pm 0.72 ^{bcd}	6.55 \pm 1.06 ^{bcd}	6.23 \pm 0.76 ^{cde}	6.45 \pm 0.68 ^{cd}	6.15 \pm 0.88 ^{bcd}	6.45 \pm 0.62 ^{bcd}
MTS 1.5 %	6.87 \pm 0.67 ^{bc}	6.77 \pm 0.67 ^{abcd}	6.67 \pm 0.67 ^{abc}	6.87 \pm 0.61 ^{bc}	6.47 \pm 0.88 ^{bc}	6.63 \pm 0.64 ^b
MCTS 0.5 %	7.08 \pm 0.62 ^{bcd}	7.03 \pm 0.61 ^a	6.78 \pm 0.56 ^{ab}	7.00 \pm 0.50 ^{ab}	6.75 \pm 0.66 ^b	6.47 \pm 0.69 ^{bcd}
MCTS 1.0 %	6.68 \pm 0.83 ^{cd}	6.85 \pm 0.51 ^{abc}	6.55 \pm 0.72 ^{bc}	6.58 \pm 0.79 ^{bcd}	6.08 \pm 1.01 ^{cd}	6.57 \pm 0.67 ^{bc}
MCTS 1.5 %	6.53 \pm 0.80 ^{cd}	6.78 \pm 0.60 ^{abcd}	6.53 \pm 0.76 ^{bcd}	6.38 \pm 0.78 ^{cde}	5.93 \pm 1.36 ^{cd}	6.62 \pm 0.70 ^{bc}

หมายเหตุ: $n = 25$

a,b,c,\dots แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \leq 0.05$)

CF = Corn flour

MCS = Modified Corn Starch

MTS = Modified Tapioca Starch

MCTS = Modified Corn & Tapioca Starch

บทที่ 4

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมสดระหว่างการเก็บรักษา

4.1 วัสดุและอุปกรณ์

4.1.1 วัตถุดิบ

- 1) น้ํานมดิบ (raw milk) ที่มีไขมัน 4.0 เปอร์เซ็นต์
- 2) หางนมผง (Murray Goulburn Co-Operative Co., Ltd., Melbourne Australia)
ความชื้น 3.7 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.8 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน 34.9 เปอร์เซ็นต์
- 3) แป้งข้าวโพด จากบริษัท เฟิร์ส สตาร์ช อินเดอริเนชั่นแนล จำกัด
- 4) สตาร์ชดัดแปรจากข้าวโพด (modified corn starch) จากบริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช จำกัด
- 5) สตาร์ชดัดแปรจากมันสำปะหลัง (modified tapioca starch) Tapple – 25 จาก บริษัท
สำปะหลังพัฒนา จำกัด
- 6) สตาร์ชดัดแปรข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง (modified corn & tapioca starch)
สัดส่วน 1:1 จากบริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช จำกัด
- 7) เจลาติน (Food gelatine 240 bloom (20 mesh) New Zealand จากห้างหุ้นส่วนจำกัด
นิวทรีชั่น
- 8) ดีเอ็มจี (DMG: Distilled Monoglyceriides) Korea จากบริษัทธนาเคม
(กรุงเทพ ฯ) จำกัด
- 9) เพ็คติน (Genupectin type LM 104 AS YA) จากบริษัทฟู๊ดส์
แอนคลอสเมติก ซิสเต็ม จำกัด
- 10) หัวเชื้อจุลินทรีย์ (Lactic culture for direct Vat Set (DVS)
Thermophilic lactic culture) จากบริษัทอีสต์เอเชียติก (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

- 1) ถังน้ำร้อน (Water bath; Gerber, รุ่น ET-8A)
- 2) เครื่องมือวัดความหนืด (Brookfield Viscometer; DV-II +, รุ่น 2.0)
- 3) เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH Meter; Orion, รุ่น 420 A)
- 4) ตู้อบร้อน (Hot air oven; Memmert, รุ่น UM 500 No.6005)
- 5) ตู้บ่มเชื้อ (Incubator; BE600, รุ่น No. 6039)
- 6) หม้อนึ่งความดัน (Autoclave; Kokusan, รุ่น -88L4D)
- 7) เครื่องปั่น (Stirrer; Siemen, รุ่น 50800)
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartarius; MCD 1106, รุ่น No. 2804007)
- 9) เครื่องวัดองค์ประกอบของน้ำนม (Milk analyzer; Lactoscan, รุ่น 2504)
- 10) ตู้เย็น (Refrigerator; Sharp, รุ่น serial No.01038)
- 11) เครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand refractometer; Hambrug, รุ่น HRN 32)
- 12) กระดาษวัดความเป็นกรดต่าง (pH paper)
- 13) บีกเกอร์ (Breaker)
- 14) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmayer flask)
- 15) ชุดบิวเรต (Burette set)
- 16) ปิเปต (Pipette)
- 17) โถดูดความชื้น (Desicator)
- 18) ถ้วยหาความชื้น (Moisture can)
- 19) กรวยกรอง (Separating funnel)
- 20) กระดาษกรอง (Whatman No. 1)
- 21) หลอดทดลอง (Test tube)
- 22) หลอดหยด (Dropper)
- 23) ขวดน้ำกลั่น
- 24) ช้อนตักสาร (Spatula)
- 25) ลูกยาง
- 26) ที่คีบ (Forcep)

- 27) ถ้วยพลาสติก
- 28) ถ้วยโยเกิร์ต
- 29) ช้อนชิม
- 30) อะลูมิเนียมฟอยล์

4.1.3 สารเคมี

- 1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1 N NaOH)
- 2) สารละลายฟีนอล์ฟธาเลอิน (Phenolphthalein indicator)
- 3) Methylred Rogoza and shape agar (MRS) Merck, Germany

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 การเตรียมตัวอย่างและการวางแผนการทดลอง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สาขาวิศวกรรม

เตรียมตัวอย่างโยเกิร์ตนมสด 2 สูตรคือสูตรทดลองซึ่งใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้ง

ข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง (modified corn&tapioca starch) ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสูตรมาตรฐาน และสูตรควบคุมซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ทางนมผงแทนนมสดและไม่เติมแป้ง บรรจุในถ้วยพลาสติก ปริมาณ 150 กรัม ปิดสนิทด้วยฝา เก็บตัวอย่างทั้งสองสูตรในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส และ 10 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของโยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการสุ่มตัวอย่างโยเกิร์ตมาวิเคราะห์ทุก 7 วัน โดยทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (pH) ค่าความหนืด (viscosity) ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids) ค่าปริมาณกรดแลคติก ค่าร้อยละการแยกตัวของน้ำ (syneresis) และปริมาณจุลินทรีย์สร้างกรดแลคติก (ดังแสดงในภาคผนวก จ)

ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยให้ระยะเวลาในการเก็บที่เป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษาสำหรับแต่ละสูตรของโยเกิร์ตที่เก็บในแต่ละอุณหภูมิ

ประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเฉพาะของโยเกิร์ตสูตรทดลองโดยทดสอบความชอบทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความหวาน และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9 – point Hedonic scale ในระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้กลุ่มผู้ทดสอบ (พนักงานโรงงานผลิตภัณฑ์นมปราศจากน้ำตาล) จำนวน 25 คน

4.2.2 การวิเคราะห์ผล

วิเคราะห์ผลการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีจำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่เก็บในระยะเวลาต่างกัน ณ อุณหภูมิและสูตรเดียวกัน สำหรับการประเมินผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) โดยให้ผู้ชิมเป็น block และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยใช้โปรแกรมสถิติประยุกต์ SAS Version 8.1 (SAS Institute Inc. Cary, N.B., U.S.A.)

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืด (viscosity)

ค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมสดที่เก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความหนืดของโยเกิร์ตที่เก็บที่อุณหภูมิและระยะเวลา

วัน	ความหนืด (cP) ของโยเกิร์ต±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	เก็บที่ 4±1 องศาเซลเซียส		เก็บที่ 10±1 องศาเซลเซียส	
	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม
1	6796.1±216.47 ^b	6700.1±110.52 ^d	6431.2±38.19 ^d	6601.9±268.75 ^c
7	6986.0±529.97 ^b	6895.3±84.10 ^{cd}	7009.5±218.77 ^c	6870.8.1±208.84 ^c
14	7703.0±797.31 ^b	7184.5±63.15 ^c	7578.2±278.85 ^c	7333.8±143.19 ^b
21	7712.6±863.83 ^b	7663.5±463.43 ^b	7623.0±164.03 ^b	7657.1±104.08 ^b
28	8954.4±35.69 ^a	8895.8±70.87 ^a	8998.2±164.50 ^a	8939.5±265.71 ^a

หมายเหตุ : n = 9

a,b,c,... แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \leq 0.05$)

สูตรทดลอง เป็นสูตรโยเกิร์ตนมสดที่ใช้สูตรขาดแคลนจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

สูตรควบคุม เป็นสูตรโยเกิร์ตปกติที่ใช้หางนมผงแทนนมสดและไม่ใช้แป้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ระยะเวลาการเก็บและอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของโยเกิร์ตสูตรควบคุมและสูตรทดลอง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นานขึ้น โดยมีความหนืดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน ($p \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำอิสระในโยเกิร์ตถูกบีบออกนอกโครงสร้างเจลของโยเกิร์ต อย่างไรก็ตามพบว่า การเก็บโยเกิร์ตนมสดที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดช้ากว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียส ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดของโยเกิร์ตทั้งสองสูตรระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันไม่แตกต่างกันมากนัก

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าการแยกตัวของน้ำ (% syneresis)

ค่าการแยกตัวของน้ำของโยเกิร์ตนมสด ที่การเก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าการแยกตัวของน้ำของโยเกิร์ต (%) ที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกัน

วัน	ค่าการแยกตัวของน้ำเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	เก็บที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส		เก็บที่ 10 ± 1 องศาเซลเซียส	
	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม
1	0.08 ± 0.07^d	0.01 ± 0.02^e	0.07 ± 0.00^d	0.02 ± 0.02^d
7	12.92 ± 0.72^c	10.68 ± 2.38^d	11.81 ± 2.76^c	10.78 ± 1.92^c
14	16.18 ± 0.72^{bc}	14.28 ± 0.40^c	13.93 ± 2.51^{bc}	14.44 ± 1.39^b
21	18.19 ± 2.70^b	17.63 ± 1.22^b	17.57 ± 1.89^b	17.78 ± 1.83^b
28	24.17 ± 3.19^a	23.76 ± 1.76^a	27.26 ± 2.05^a	27.21 ± 2.52^a

หมายเหตุ : $n = 9$

a, b, c, \dots แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \leq 0.05$)

สูตรทดลอง เป็นสูตรโยเกิร์ตนมสดที่ใช้สตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

สูตรควบคุม เป็นสูตรโยเกิร์ตปกติที่ใช้หางนมผงแทนนมสดและไม่ใช้แป้ง

ค่าการแยกตัวของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บไว้นานขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก โยเกิร์ตที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียส จะมีค่าการแยกตัวของน้ำสูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจาก จุลินทรีย์สร้างกรดได้มากขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าทำให้ค่าความเป็นกรดต่างต่ำลง เกิดการแขวนลอยของเคซีนแยกตัวออกมา เกิดชั้นของหางนม (เวย์) เป็นผลให้เกิดการแยกตัวของน้ำได้ง่าย และพบว่าค่าการแยกตัวของน้ำมีมากขึ้นเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของหัวเชื้อที่มีอยู่ในโยเกิร์ต เมื่อเวลาผ่านไปเรื่อย ๆ สุดท้ายหัวเชื้อจะถูกทำลายเกิดการแยกชั้นของครีมและเวย์

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของโยเกิร์ตที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกัน

ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของโยเกิร์ตนมสดที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของโยเกิร์ตที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกัน

วัน	ค่าความเป็นกรดเฉลี่ยของโยเกิร์ต±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	เก็บที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส		เก็บที่ 10 ± 1 องศาเซลเซียส	
	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม
1	4.33 ± 0.01 ^a	4.33 ± 0.01 ^a	4.33 ± 0.00 ^a	4.3 ± 0.01 ^a
7	4.26 ± 0.03 ^a	4.25 ± 0.05 ^b	4.18 ± 0.07 ^b	4.19 ± 0.03 ^b
14	4.06 ± 0.04 ^b	4.04 ± 0.02 ^c	3.99 ± 0.02 ^c	3.96 ± 0.05 ^c
21	3.96 ± 0.10 ^b	3.88 ± 0.06 ^d	3.87 ± 0.05 ^d	3.82 ± 0.05 ^d
28	3.82 ± 0.12 ^c	3.85 ± 0.03 ^d	3.63 ± 0.07 ^e	3.69 ± 0.10 ^e

หมายเหตุ : $n = 9$

a, b, c, ... แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยแนวตั้ง ($p \leq 0.05$)

สูตรทดลอง เป็นสูตรโยเกิร์ตนมสดที่ใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

สูตรควบคุม เป็นสูตรโยเกิร์ตปกติที่ใช้หางนมผงแทนนมสดและไม่ใช้แป้ง

ค่าความเป็นกรดต่างของโยเกิร์ตสูตรควบคุมและสูตรทดลองมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บไว้นานขึ้น โยเกิร์ตที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดน้อยกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียสเล็กน้อย เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสในนมให้เป็นกรดแลคติกสามารถทำงานได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด

ค่าความเป็นกรดคิดเป็นร้อยละของกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมสดที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นกรดในรูปของกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมสดที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกัน

วัน	ค่าความเป็นกรดในรูปของกรดแลคติก (%) เฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	เก็บที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส		เก็บที่ 10 ± 1 องศาเซลเซียส	
	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม
1	0.96 ± 0.01^e	0.97 ± 0.01^d	0.96 ± 0.01^e	0.97 ± 0.01^e
7	0.99 ± 0.01^d	0.98 ± 0.01^d	1.04 ± 0.04^d	1.01 ± 0.01^d
14	1.07 ± 0.02^c	1.05 ± 0.02^c	1.10 ± 0.01^c	1.09 ± 0.01^c
21	1.11 ± 0.0^b	1.14 ± 0.05^b	1.19 ± 0.03^b	1.19 ± 0.01^b
28	1.25 ± 0.02^a	1.24 ± 0.02^a	1.32 ± 0.02^a	1.31 ± 0.02^a

หมายเหตุ : $n = 9$

a, b, c, \dots แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \leq 0.05$)

สูตรทดลอง เป็นสูตรโยเกิร์ตนมสดที่ใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

สูตรควบคุม เป็นสูตรโยเกิร์ตปกติที่ใช้หางนมผงแทนนมสดและไม่ใช้แป้ง

พบว่าค่าความเป็นกรดในรูปของกรดแลคติกของโยเกิร์ตสูตรควบคุมและสูตรทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บไว้นานขึ้นซึ่งส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น โยเกิร์ตที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียสมีการเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละความเป็นกรดสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียสเล็กน้อย

4.3.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

ปริมาณของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของโยเกิร์ตนมสดที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของโยเกิร์ตที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกัน

วัน	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (%) เฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	เก็บที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส		เก็บที่ 10 ± 1 องศาเซลเซียส	
	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม
1	19.63 \pm 0.15 ^a	19.50 \pm 0.10 ^a	19.67 \pm 0.12 ^a	19.57 \pm 0.21 ^a
7	19.13 \pm 0.23 ^b	19.30 \pm 0.26 ^{ab}	19.67 \pm 0.50 ^{ab}	19.40 \pm 0.20 ^a
14	19.10 \pm 0.10 ^b	19.00 \pm 0.20 ^{bc}	19.07 \pm 0.12 ^b	18.97 \pm 0.06 ^b
21	18.70 \pm 0.10 ^c	18.67 \pm 0.23 ^c	18.53 \pm 0.12 ^c	18.47 \pm 0.23 ^c
28	17.87 \pm 0.12 ^d	17.83 \pm 0.06 ^d	17.53 \pm 0.42 ^d	17.40 \pm 0.20 ^d

หมายเหตุ : $n = 9$

a, b, c, ... แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \leq 0.05$)

สูตรทดลอง เป็นสูตรโยเกิร์ตนมสดที่ใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

สูตรควบคุม เป็นสูตรโยเกิร์ตปกติที่ใช้หางนมผงแทนนมสดและไม่ใช้แป้ง

พบว่าค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของโยเกิร์ตสูตรควบคุมและสูตรทดลองเมื่อเก็บไว้นานขึ้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากน้ำตาลแลคโตสในโยเกิร์ตเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นกรด ทำให้ค่าความเป็นกรดของโยเกิร์ตเพิ่มขึ้น จากการใช้เครื่องมือ Hand refractometer วัดค่าดัชนีการหักเหของแสงของปริมาณน้ำตาลในโยเกิร์ต เมื่อโยเกิร์ตมีความเป็นกรดสูงขึ้น ปริมาณน้ำตาลลดลง ทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงจึงลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่างกันทั้งสองสภาวะ

4.3.6 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติก

การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกของโยเกิร์ตที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 จำนวนแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกในโยเกิร์ตที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างกัน

วัน	แบคทีเรียสร้างกรดแลคติก (log cfu/ml) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	เก็บที่ 4±1 องศาเซลเซียส		เก็บที่ 10±1 องศาเซลเซียส	
	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม	สูตรทดลอง	สูตรควบคุม
1	9.53±0.07 ^a	9.57±0.04 ^a	9.19±0.07 ^a	9.18±0.05 ^a
7	9.27±0.06 ^{ab}	9.33±0.11 ^b	9.09±0.09 ^a	9.10±0.08 ^a
14	9.07±0.06 ^b	9.07±0.07 ^c	8.74±0.34 ^b	8.55±0.15 ^b
21	8.46±0.06 ^c	8.52±0.11 ^d	8.29±0.17 ^c	8.21±0.11 ^c
28	8.14±0.36 ^c	7.97±0.04 ^e	7.87±0.04 ^d	7.80±0.15 ^d

หมายเหตุ : $n = 9$

a, b, c, \dots แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \leq 0.05$)

สูตรทดลอง เป็นสูตรโยเกิร์ตนมสดที่ใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

สูตรควบคุม เป็นสูตรโยเกิร์ตปกติที่ใช้หางนมผงแทนนมสดและไม่ใช้แป้ง

พบว่าแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกในโยเกิร์ตสูตรควบคุมและสูตรทดลองมีจำนวนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บไว้นานขึ้น ทั้งสองสภาวะ เนื่องจากเมื่อเชื้อแบคทีเรียยังมีชีวิตอยู่ และทำกิจกรรมสร้างสารต่าง ๆ ออกมาสะสมในสภาวะแวดล้อมมากเกินไปจนไม่เหมาะสมต่อการดำรงอยู่ของเชื้อ จึงส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียมีจำนวนลดลง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงจำนวน จุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลคติกในโยเกิร์ตทั้งสูตรควบคุมและสูตรปกติที่เก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่างกัันมีลักษณะใกล้เคียงกัน

4.3.7 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยทดสอบการยอมรับของโยเกิร์ตด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความหวาน และความชอบโดยรวม ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิต่างกันทั้งสองสภาวะตลอดระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาคือ 28 วัน โดยใช้การทดสอบแบบ 9 - point Hedonic scale ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.8

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 4.7 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมสดระหว่างการเก็บรักษา
ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส

ลักษณะทางด้าน ประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)					
	สูตร	1	7	14	21	28
ความชอบโดยรวม	ทดลอง	7.12±0.78 ^a	7.04±0.79 ^a	6.80±1.04 ^a	6.32±0.75 ^b	5.56±0.82 ^c
	ควบคุม	7.00±0.96 ^a	6.80±1.08 ^a	7.04±0.89 ^a	6.32±0.85 ^b	5.52±0.87 ^c
สี	ทดลอง	7.44±0.58 ^a	6.96±0.84 ^b	6.88±0.93 ^b	6.56±0.65 ^b	5.92±0.76 ^c
	ควบคุม	7.52±0.59 ^a	7.00±0.82 ^b	6.84±0.94 ^b	6.40±0.71 ^b	5.88±0.73 ^c
กลิ่นรส	ทดลอง	7.36±0.49 ^a	6.96±0.98 ^{ab}	6.76±0.97 ^b	6.64±0.81 ^b	6.08±0.81 ^c
	ควบคุม	7.48±0.65 ^a	6.84±1.03 ^{ab}	6.88±0.88 ^b	6.60±0.87 ^b	6.20±0.65 ^c
รสชาติ	ทดลอง	7.00±0.71 ^a	6.84±0.94 ^a	6.60±1.00 ^a	6.08±0.81 ^b	5.16±1.11 ^c
	ควบคุม	7.12±0.67 ^a	6.92±0.91 ^a	6.84±0.94 ^a	6.08±0.81 ^b	4.96±1.02 ^c
เนื้อสัมผัส	ทดลอง	7.40±0.71 ^a	7.08±1.29 ^a	7.16±1.14 ^a	6.12±1.13 ^b	5.68±0.85 ^c
	ควบคุม	7.48±0.59 ^a	7.00±1.12 ^a	6.80±1.08 ^a	6.16±1.14 ^b	5.56±0.87 ^c
ความหวาน	ทดลอง	7.04±0.79 ^a	7.04±0.89 ^a	6.40±1.08 ^b	5.60±0.91 ^c	5.36±0.91 ^c
	ควบคุม	7.00±0.91 ^a	6.44±0.96 ^a	6.92±0.81 ^b	5.56±0.87 ^c	5.28±0.89 ^c

หมายเหตุ : n = 25

a,b,c,... แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย

ในแนวนอน ($p \leq 0.05$)

- สูตรทดลอง เป็นสูตรโยเกิร์ตนมสดที่ใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์
- สูตรควบคุม เป็นสูตรโยเกิร์ตปกติที่ใช้หางนมผงแทนนมสดและไม่ใช้แป้ง

ตารางที่ 4.8 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมสดระหว่างการเก็บรักษา
ที่อุณหภูมิ 10±1 องศาเซลเซียส

ลักษณะทางด้าน ประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)					
	สูตร	1	7	14	21	28
ความชอบโดยรวม	ทดลอง	6.96±0.79 ^a	6.68±0.99 ^a	6.20±0.87 ^b	5.72±0.94 ^c	4.56±0.82 ^d
	ควบคุม	6.88±0.93 ^a	6.56±0.77 ^a	6.12±0.78 ^b	5.72±0.89 ^c	4.52±0.71 ^d
สี	ทดลอง	7.76±0.66 ^a	7.08±0.95 ^b	6.64±0.76 ^c	6.08±0.70 ^d	4.84±0.75 ^e
	ควบคุม	7.60±0.76 ^a	7.00±0.91 ^b	6.56±0.71 ^c	6.16±0.62 ^d	4.92±0.76 ^e
กลิ่นรส	ทดลอง	7.24±0.66 ^a	6.76±0.93 ^b	6.32±0.85 ^b	5.64±1.11 ^c	4.48±0.77 ^d
	ควบคุม	7.28±0.74 ^a	6.64±0.86 ^b	6.28±0.74 ^b	5.68±0.95 ^c	4.56±0.71 ^d
รสชาติ	ทดลอง	6.80±0.71 ^a	6.68±0.95 ^a	6.52±0.77 ^a	4.96±1.02 ^b	3.72±1.06 ^c
	ควบคุม	6.84±0.69 ^a	6.72±0.79 ^a	6.44±0.82 ^a	4.96±0.93 ^b	3.68±0.69 ^c
เนื้อสัมผัส	ทดลอง	7.12±0.83 ^a	6.80±1.12 ^{ab}	6.48±0.96 ^b	5.64±0.86 ^c	4.60±0.76 ^d
	ควบคุม	7.16±0.85 ^a	7.08±0.81 ^{ab}	6.40±0.87 ^b	5.48±0.71 ^c	4.56±0.71 ^d
ความหวาน	ทดลอง	6.84±0.80 ^a	6.84±1.03 ^a	6.16±0.85 ^b	5.84±0.94 ^b	3.76±1.30 ^c
	ควบคุม	6.80±0.91 ^a	6.84±0.84 ^a	5.92±0.76 ^b	5.72±0.74 ^b	3.56±1.00 ^c

หมายเหตุ: $n = 25$

a, b, c, \dots แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย

ในแนวนอน ($p \leq 0.05$)

สูตรทดลอง เป็นสูตรโยเกิร์ตนมสดที่ใช้สตาร์ชตัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

สูตรควบคุม เป็นสูตรโยเกิร์ตปกติที่ใช้หางนมผงแทนนมสดและไม่ใช้แป้ง

พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างทดลองมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษาทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บไว้นานขึ้นดังที่กล่าวมาแล้ว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 21 วัน

ความชอบด้านกลิ่นรสมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บไว้นานขึ้น โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นตัวอย่างโยเกิร์ตมีรสเปรี้ยวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดต่างที่วัดได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบคะแนนความชอบของตัวอย่างที่เก็บ 2 สภาวะพบว่า ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียสมีคะแนนการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 21 วัน แต่ที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับของตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 14 วัน

คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บนานขึ้นซึ่งเกิดจากด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โยเกิร์ตมีการแยกตัวของน้ำมากขึ้น มีค่าความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้น ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ดังได้กล่าวมาแล้ว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์มีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 21 วันสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียส พบว่ามีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 14 วัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

คะแนนความชอบด้านความหวานมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บไว้นานขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเช่นกัน เกิดจากผลิตภัณฑ์มีรสชาติเปรี้ยวเพิ่มมากขึ้นเพราะค่าความเป็นกรดสูงขึ้น จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสให้เป็นกรดแลคติก จึงส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านความหวานลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียสและ 10 ± 1 องศาเซลเซียส โดยใช้คะแนนความชอบรวมเป็นเกณฑ์ อาจกล่าวได้ว่าโยเกิร์ตสามารถเก็บรักษาคุณภาพการบริโภคได้ถึง 14 วันโดยยังคงลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติอยู่ แต่สี กลิ่นรส และความหวานเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อเก็บโยเกิร์ตไว้ที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียส จะสามารถรักษาคุณภาพการบริโภคได้เพียง 7 วันโดยยังคงลักษณะที่ดีของเนื้อสัมผัส รสชาติ และความหวานอยู่ แต่สีและกลิ่นรสมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองใช้ แป้งข้าวโพด (corn flour) สตาร์ชดัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง (modified tapioca starch) สตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพด (modified corn starch) และสตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง (modified corn & tapioca starch) ในสูตรโยเกิร์ตนมสดไขมันเต็มชนิดคน พบว่าสูตรโยเกิร์ตที่ใช้แป้งข้าวโพดให้ลักษณะของโยเกิร์ตด้านความชอบร่วนน้อยกว่าสูตรโยเกิร์ตที่ใช้สตาร์ชดัดแปรชนิดต่าง ๆ ทั้งคุณลักษณะด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านประสาทสัมผัส

เมื่อเปรียบเทียบสตาร์ชดัดแปรชนิดต่าง ๆ พบว่าการใช้สตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมในโยเกิร์ตนมสด ให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับสูงสุดและใกล้เคียงสูตรปกติมากที่สุด โดยเฉพาะการใช้ในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรการผลิต และเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมสดที่ผสมสตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง (modified corn & tapioca starch) ในปริมาณดังกล่าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บ 2 สภาวะคือ 4 ± 1 องศาเซลเซียส และ 10 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียสสามารถรักษาคุณภาพการบริโภคของผลิตภัณฑ์ได้นาน 14 วันในขณะที่การเก็บที่อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียสสามารถเก็บรักษาได้ 7 วัน

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการแปรสัดส่วนระหว่างสตาร์ชดัดแปรจากแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง
- 2) ควรทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มผู้บริโภคทั่วไปเพิ่มเติม เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่อไป

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 หน้า.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร. เอกสาร มอก. ที่ 1073-2535. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กรุงเทพฯ. 11 หน้า.

โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา. 2543. โยเกิร์ตผสมจุลินทรีย์สุขภาพ. อาหารนมตัวใหม่ล่าสุดที่เกิดจากพระประสงค์ของในหลวง. อุตสาหกรรมสาร ปีที่ 43 (ม.ค.-ก.พ.) หน้า 19-20.

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. โครงการเผยแพร่ความรู้และผลงานทางวิชาการ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร เดลินิวส์ 1 ก.พ. 2542 หน้า 10

จารุวรรณ ศิริพรรณพร. 2543. โยเกิร์ตอาหารเพื่อสุขภาพ. วารสารอาหารปีที่ 30(4) ต.ค.-ธ.ค. หน้า 292-297.

ชัชวาล เรื่องประพันธ์.รศ. 2544. สถิติพื้นฐาน. (การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS และ SAS). ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นิตยา รัตนานนท์. 2539. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นรินทร์ ทองศิริ. 2531. เทคโนโลยีอาหารนม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2536. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 123 หน้า.

ไพโรจน์ วิริยะจारी. 2539. หลักการทางเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เล่ม 1. ภาควิชา

เทคโนโลยีพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยะจारी. 2539. หลักการทางเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เล่ม 2. ภาควิชา

เทคโนโลยีพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภักดานงค์ ทองสุก. 2542. การผลิตโยเกิร์ต. วารสารอาหาร ปีที่ 29(4) ต.ค.-ธ.ค. หน้า 296-298

มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2545. เทคนิคในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. เอกสารประกอบการประชุม

เชิงปฏิบัติการ. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

วรรณมา ตั้งเจริญชัยและวิบูลศักดิ์ กาวิลละ. 2531. นมและผลิตภัณฑ์นม. สำนักพิมพ์ไอดีเอ็นเอสไตร์

ศิริลักษณ์ สีนธวาลัย. 2529. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางโภชนาการ. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์

คณะอุตสาหกรรมเกษตร.

เสาวลักษณ์ ภูมิสวนะ. 2525. นมและผลิตภัณฑ์. กรุงเทพมหานคร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัย

แห่งชาติ 112 หน้า.

สุวิมล กิรติพิบูล. ดร. และบัณฑิต ประดิษฐานวงค์. 2544. การควบคุมจุลินทรีย์ในโรงงาน

อุตสาหกรรมอาหาร(เบื้องต้น) เล่ม 2. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. กรุงเทพ ฯ.

สุมาลี เหลืองสกุล. รศ. 2539. คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหาร. ภาควิชาชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. โรงพิมพ์ชัยเจริญ กรุงเทพ ฯ . 127 หน้า.

อ.ส.ค. 2000. คู่มือปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพ. สำนักงาน อ.ส.ค. ภาคใต้ ประจวบคีรีขันธ์.

Puvannenthiran,et.,al. 2001. Structure and visco- elastic properties of set yohurt with aletered casein to whey protein ratio. Food Science Australia.

Be Miller, J.N. 1997. Starch modification: challenges and prospects. Starch/Starke. 49: 127-131.

Belgin ,et.,al. 2003. Use of response surface methodology to describe the combined effect storage time, Locust bean gum and dry matter of milk on the physical properties of low – fat set yogurt.

Beynum and Roels, 1985. Starch conversion technology. Marcel Dekker, Inc, 361 p.

Boettger,1963. Recent study show the effect of pregelatinized starches on cake quality. Cereal Sci. Today 8: 106-108.

Goff, D. 1997. Study Notes: Dairy Product Technology. Organized by Suranaree University of Technology, On November 5-7, 1997. 84 P.

Gonzalez et.,al. 2002 Chiralf. Influence of sub stituting milk powder for whey powder on yoghurt quality. Food Science & Technology .

Chandan, 1982. Other Fermented Dairy Products. In Prescott& Dunn's Industrial Microbiology. 2nd ed.G. Reed (Editor). AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.

Estrella and Gregor, 1997. Fortification of sweetened plain yogurt with insoluble dietary fiber. Z bensm Unters Forsch A 204: 433-437.

Gardiner, 1975. Desser Composition. British-Palent. 1 419 996.

Hayes, 1981. Dairy Microbiology. National Dairy Council, London.

Lampert, 1975. Modern Dairy Products. 3rd ed. Chemical Publishing Company, Inc.,
New York.

Laye and Karleskind, 1993. Chemical, Microbiological and sensory properties of plain non fat yogurt. Journal of Food Science-991.

Light, 1990. Modified food starches: why, what, where, and how. Cereal Foods
World. 3(11): 1081-1092.

Shmidt,et.,al. 2001. Modified wheat starches used as stabilizers in set-style yogurt. Journal of /food Quality 24: 421-434.

Keogh and Kennedy, 1998. Rheology of stirred yogurt as affected by added milk fat, protein and hydrocolloids. Journal of Food Science 63(1): 108-112.

Sandoval et.,al. 2003. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers.
International dairy Jurnal.

Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists Agricultural
Chemicals; Contaminants; Drug. 15th Edition. 1990. Volume one

Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists Agricultural
Chemicals; Contaminants; Drug. 15th Edition. 1990. Volume two.

Robinson and Tamime, 1981. Microbiology of Fermented Milks. in Dairy
Microbiology of Milk Products. R.K. Robinson (Editor). Appiled Science Publishers.
London.

Salomonsson and Sundberg, 1994. Amylose content and chain profile of amylopectin from normal, high amylose and waxy barleys starch/shake. 46(9): 325-328.

Senti, 1967. High-amylose corn starch: its production properties, and uses. In R.L. Whistler, and E.F. Paschall (Eds.) Starch: Chemistry and Technology Vol. II. Academic Press Inc., New York. P. 499-520.

Tamime, 1977. In Some Aspects of the Production of Yogurt and Condensed Yogurt. Ph.D. Thesis, University of Reading, United Kingdom.

Tamime and Robinson, 1985. Yogurt Science and Technology. Pergamon press, Oxford.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก ก

รูปภาพแสดงลักษณะของโยเกิร์ตที่ผลิต



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาพที่ ก.1



ภาพที่ ก. 2

ภาคผนวก ข

รูปภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์



ภาพที่ ข.1 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield)



ภาพที่ ข. 2 เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter)



ภาพที่ ข. 3 เครื่องวัดองค์ประกอบของน้ำนม (Milk analyzer)

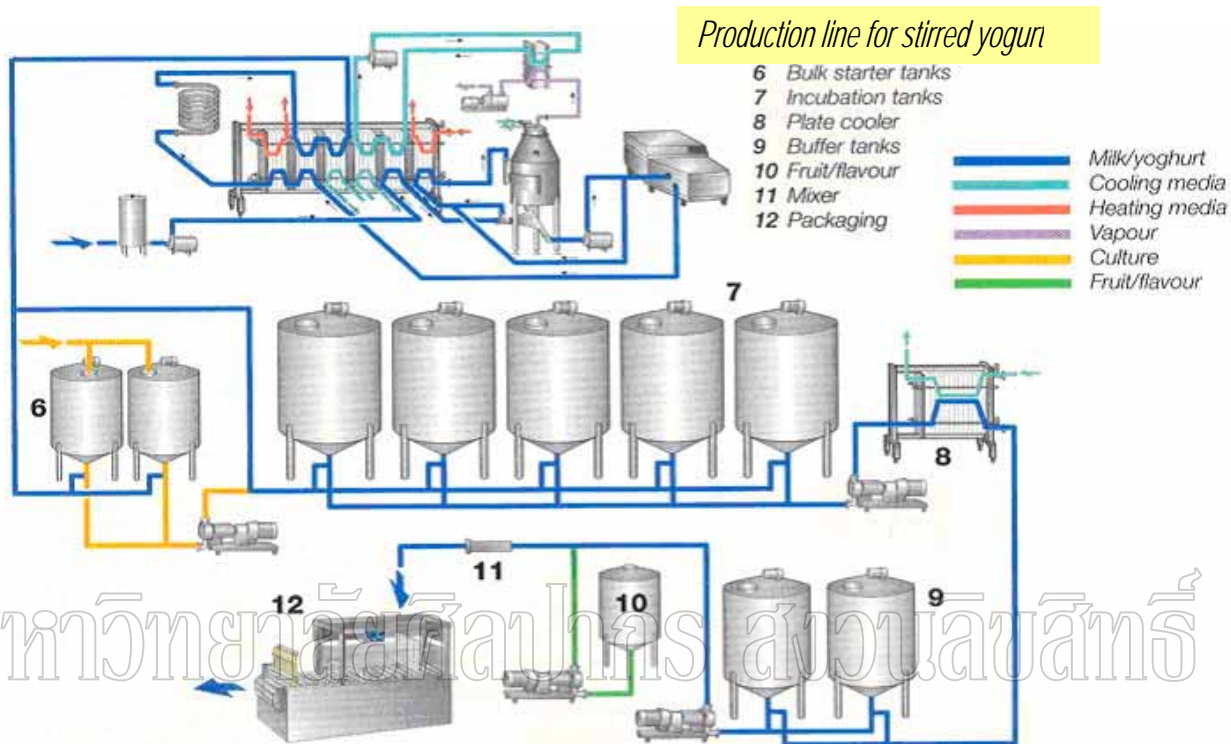
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



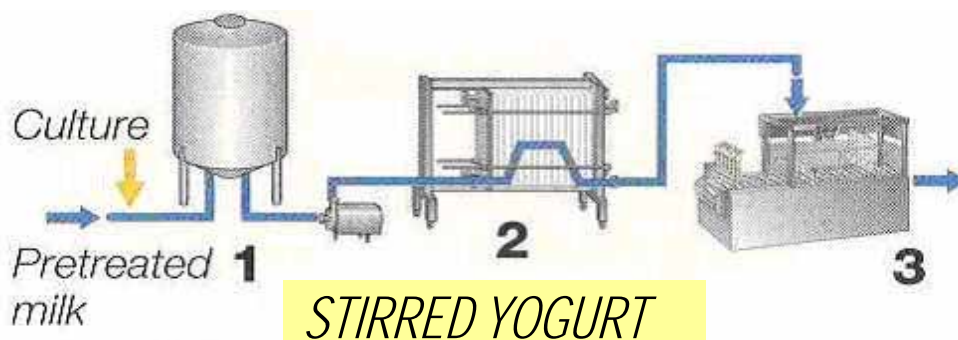
ภาพที่ ข. 4 เครื่องวัดค่าของของแข็งที่ละลายได้ (Hand refractometer)

ภาคผนวก ค

กระบวนการผลิตโยเกิร์ตในระดับอุตสาหกรรม

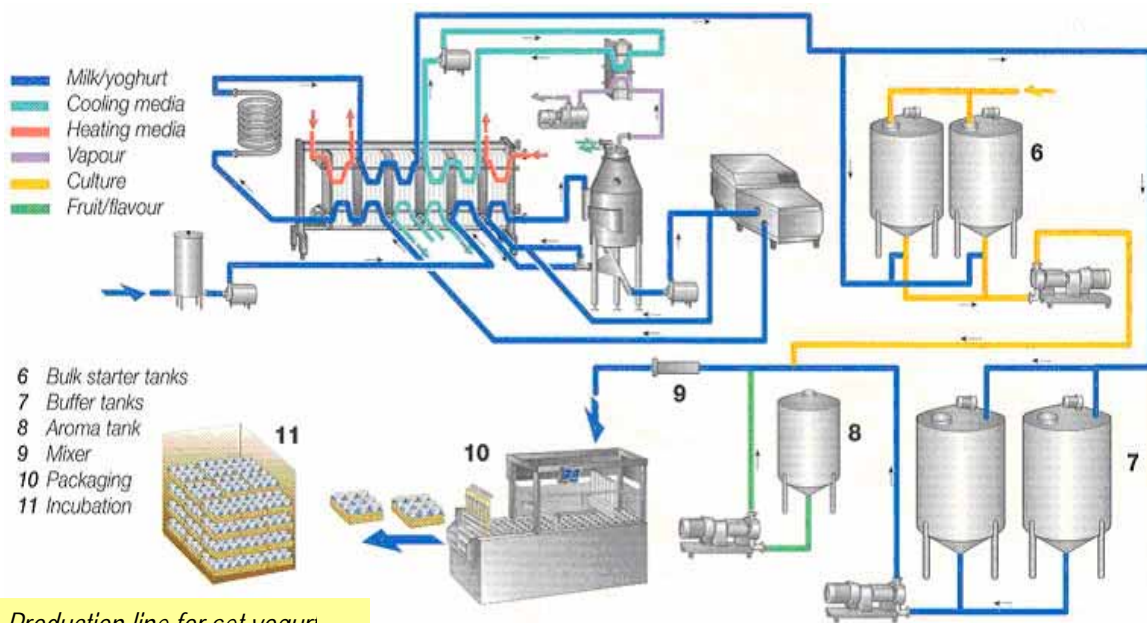


มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนลิขสิทธิ์



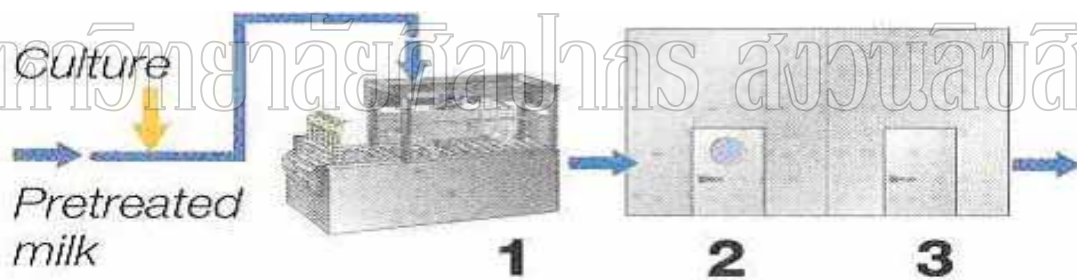
- 1 Incubation tank
- 2 Cooler
- 3 Cup filler

ภาพที่ ค.1 กระบวนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคน (stirred yogurt)



Production line for set yogun

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนลิขสิทธิ์



SET YOGURT

- 1 Cup filler
- 2 Incubation room
- 3 Rapid cooling room

ภาพที่ ค.2 กระบวนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัว (set yogurt)

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์ไฮเกิร์ตทางเคมี

ง.1. การหาความเป็นกรดต่างของไฮเกิร์ตด้วยวิธีการไตเตรท

อุปกรณ์

- 1) ปิเปต ขนาด 10 มล.
- 2) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask ขนาด 250 มล.)
- 3) ชุดบิวเรต (Simplex titratable Equipment)
- 4) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N (NaOH)
- 5) สารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ (1 % Phenolphthalein indicator)
- 6) น้ำกลั่น

วิธีการทดลอง

- 1) ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างไฮเกิร์ตจำนวน 9 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่
- 2) ล้างไฮเกิร์ตที่ติดอยู่ในปิเปตที่ใช้ดูดตัวอย่างออกให้หมดด้วยน้ำกลั่น โดยล้างลงในขวดรูปชมพู่ที่มีตัวอย่างที่จะวิเคราะห์อยู่
- 3) หยดสารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ จำนวน 2 - 3 หยด
- 4) ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N โดยให้ตัวอย่างไฮเกิร์ตเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีชมพูจาง ๆ อ่านผลภายใน 10 วินาที อ่านค่าบันทึกผล

ภาคผนวก จ

วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ต

1 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของโยเกิร์ตนมสด

ควบคุมตัวอย่างก่อนวัดอยู่ที่อุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส

อุปกรณ์

เครื่องมือวัดความหนืด (Brookfield Viscometer: Model DV-II + version 2.0)

วิธีทดลอง

1) เตรียมตัวอย่างโยเกิร์ต

2) ปรับสภาวะการทำงานของเครื่องดังนี้

- ปรับระดับลูกน้ำ (ที่ระดับความสูงที่พร้อมใช้งาน ให้สมดุล)

- เปิดสวิตซ์ที่ด้านหลัง จะปรากฏข้อความ

STEP 1. BROOKFIELD DVII+
LV VISCOMETER

STEP 2. BROOKFIELD DVII+
VERSION :2

STEP 3. REMOVE SPINDLE
PRESS ANY KEY

เมื่อเครื่องปรากฏข้อความ STEP3 ให้กดปุ่มใดก็ได้ 1 ครั้ง เครื่องจะทำการ Autozero เสร็จจะปรากฏข้อความ

AUTO ZEROING
VISCOMETER

- เมื่อเครื่องทำการ Autozero เสร็จจะปรากฏข้อความ

REPLACE SPINDLE
PRESS ANY KEY

ให้นำหัววัดที่ต้องการ หมุนต่อกับตัวเครื่องแล้วกดปุ่มใดก็ได้อีกครั้ง

- เครื่องปรากฏหน้าจอ

%_____ S_____

_____RPM _____°C

S____ คือเบอร์หัว → วัดเปลี่ยนหัวกด Select spindle → กดลูกศร↑↓ ได้เบอร์หัววัด กด Select spindle อีกครั้ง (ขณะ เลือก S กระพริบ)

%_____ คือ Torge ความน่าเชื่อถือของข้อมูล 20-90 %

_____°C คือ อุณหภูมิที่วัด

_____PRM คือ ความเร็วรอบ(รอบ/นาที) ให้กดปุ่ม Set speed กด ↑↓ จะได้ speed → กด set speed อีกครั้ง

** หัววัดเริ่มหมุน % Torge อยู่ที่ระดับน่าเชื่อถือ → กด select data อ่านค่าความหนืดหน่วย cP

หมายเหตุ 1. New tonian fluid ขณะอ่านค่าให้รอจนกว่าค่าที่ได้มีความคงที่→ บันทึก

2. Non New tonian fluid ใช้เวลาในการอ้างอิง (หลังหัวเข็มหมุน) → บันทึก

3. % Torge → EEEEE ให้ลดความเร็วที่ใช้หรือลดขนาดหัวเข็ม

3) จดบันทึกค่าของความหนืดของตัวอย่างโยเกิร์ต มาวิเคราะห์ผล

2 วิธีการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids)

หาปริมาณของแข็งทั้งหมด โดยวิธี Direct method (AOAC, 1990)

อุปกรณ์

- 1) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- 2) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)
- 3) ปิเปต
- 4) ถ้วยหาความชื้น (Moisture can)
- 5) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 6) อ่างน้ำร้อน (Water bath)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

วิธีการ

- 1) อบถ้วยหาความชื้นในตู้อบลมร้อน (103±2 องศาเซลเซียส) ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก
- 2) เกลี่ยตัวอย่างโยเกิร์ตลงในอบถ้วยหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักประมาณ 1-2 กรัมและชั่งในเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่งจนทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปประเหยใน อ่างน้ำร้อน อบในตู้อบลมร้อน 103±2 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 ชั่วโมง
- 3) นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักที่เหลืออยู่

การคำนวณ

$$\% \text{ TS} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้}} \times 100$$

3. ค่าร้อยละการแยกตัวของน้ำของโยเกิร์ต (Syneresis)

อุปกรณ์

- 1) กระดาษกรอง (Whatman No. 1)
- 2) กรวยกรอง
- 3) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 4) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 5) ตัวอย่างโยเกิร์ต

วิธีการ

- 1) ใช้กระดาษกรอง + กรวยกรอง
- 2) เติตัวอย่างโยเกิร์ต จำนวนประมาณ 50 กรัม บนที่ก้นน้ำหนัก
- 3) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง / 1 ชั่วโมง
- 4) นำส่วนน้ำที่ใส ที่แยกได้จากโยเกิร์ตมาชั่งน้ำหนัก
- 5) นำไปคำนวณหาค่าการแยกตัวของน้ำ (%Syneresis)

วิธีการคำนวณ

$$\begin{array}{l} \text{ตัวอย่างโยเกิร์ต 50 กรัม ได้น้ำใส} \qquad \qquad \qquad X \qquad \qquad \text{กรัม} \\ \\ \text{ตัวอย่างโยเกิร์ต 100 กรัม ได้น้ำใส} \qquad \qquad \qquad \frac{100X}{50} = Y \quad \% \end{array}$$

ภาคผนวก จ

วิธีวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาของโยเกิร์ต

การวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ *Streptococcus thermophilus* (cocci) และ *Lactobacillus Bulgaricus* (bacilli)

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) หางนมผง (skim milk powder) 135 กรัม
- 2) ตัวอย่างโยเกิร์ตสุตรทดลอง
- 3) Peptone water 0.1 เปอร์เซ็นต์ บรรจุหลอด ๆ ละ 9 มิลลิลิตร
- 4) เชื้อเริ่มต้นจากโยเกิร์ต
- 5) เทอร์โมมิเตอร์
- 6) แ่งแก้วสำหรับคน
- 7) ฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตรที่ปราศจากเชื้อ
- 8) ข่างน้ำร้อนตั้งอุณหภูมิที่ 43 และ 90 องศาเซลเซียส
- 9) สีเมธิลีนบลู
- 10) อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS
- 11) น้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อ 185 มิลลิลิตร
- 12) ปิเปตที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
- 13) จานเพาะเชื้อที่ปราศจากเชื้อ
- 14) กระดาษวัดความเป็นกรด-ด่าง

วิธีการทดลอง

1. ตัวอย่างสูตรควบคุม

1.1. ชั่งทางนมผง 135 กรัมใส่พลาสติก และเติมน้ำกลั่น 185 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันดี

1.1 ตั้งพลาสติกไว้ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

1.2 ทำให้เย็นลงจนได้อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส

1.3 เติมหั้วเชื้อเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร ลงไป แล้วบ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความเป็นกรดเท่ากับ 4.3

1.4 นำออกมาทำให้เย็นจนมีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.5 ทดสอบลักษณะของโยเกิร์ตที่ได้

1.6 เจือจางโยเกิร์ตด้วย peptone water จนได้ 10^{-4} นำแต่ละความเจือจางมาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ความเจือจางละ 2 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นแล้วรายงานจำนวน

1.8 ย้อมสีโยเกิร์ตด้วยเมธิลีนบลูนาน 2 นาที ล้างออก ซับให้แห้ง ตรวจสอบเชื้อแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์

2. ตัวอย่างสูตรทดลอง

2.1 เตรียมตัวอย่างโยเกิร์ตสูตรทดลองมาเจือจางด้วย peptone water จนได้ 10^{-4} นำแต่ละความเจือจางมาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ความเจือจางละ 2 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นแล้วรายงานจำนวน

2.2 ย้อมสีโยเกิร์ตด้วยเมธิลีนบลูนาน 2 นาที ล้างออก ซับให้แห้ง ตรวจสอบเชื้อแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์

ภาคผนวก ซ

แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ผู้ทดสอบ..... ชุดที่.....
 เพศ.....อายุ.....ปี
 ผลิตภัณฑ์..... วันทดสอบ.....

กรุณาชิมตัวอย่างต่อไปนี้อย่างตั้งใจตามลำดับ จากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนตามความชอบโดย

1= ไม่ชอบมากที่สุด

2= ไม่ชอบมาก

3= ไม่ชอบปานกลาง

4= ไม่ชอบเล็กน้อย

5= เฉย ๆ

6= ชอบเล็กน้อย

7= ชอบปานกลาง

8= ชอบมาก

9= ชอบมากที่สุด

ตัวอย่าง

ความชอบโดยรวม

สี

กลิ่น

รสชาติ

เนื้อสัมผัส(ความเนียน)

ความหวาน

วิจารณ์.....

.....

.....

ภาคผนวก ซ

ผลการวิเคราะห์แป้งและสตรซ์ดัดแปร
โดยเครื่อง RVA

ค่าการวิเคราะห์	แป้งข้าวโพด (Corn flour)	สตรซ์ดัดแปรแป้ง ข้าวโพด (Modified corn starch)	สตรซ์ดัดแปรแป้ง มันสำปะหลัง (Modified tapioca starch)	สตรซ์ดัดแปรแป้งข้าว โพดผสมแป้งมัน สำปะหลัง(Modified corn & tapioca starch)
Peak 1	560.83	1289.21	462.79	1053.96
Trough	314.58	915.46	172.585	707.71
Breakdown	246.25	373.74	290.205	346.25
Final viscosity	506.50	1363.54	251.705	905.50
Set back	191.92	448.08	79.125	197.79
Peak time	4.67	3.565	3.965	3.67
Pasting	78.35	67.40	6.98	67.825

ภาคผนวก ฅ

มาตรฐานแป้งและสตาร์ชตัดแปร

ฅ.1 มาตรฐานแป้งข้าวโพด (CORN FLOUR)

SPECIFICATION

Moisture	:	13±1
PH	:	5 - 7
Total Ash	:	1.20 %
Fiber	:	1.20 %
Fat	:	3.00 %
Protein	:	7.00 %
Carbohydrate	:	75.00 %
Partical size	:	90.00 % thru 80 mesh

MICROBIOLOGICAL SPECIFICATION

Total plate count	:	10000 Max.
Yeast	:	100 (CFU/g) Max.
Mold	:	100 (CFU/g) Max.
<u>Escherichia coli</u> / g	:	Negative to test
<u>Samonella</u> / 25 g	:	Negative to test

STORAGE LIFE AND CONDITION

Recommended to be used within 6 months from manufacturing date and to be storage in a clean, dry area ambient temperature in well closed bags.

PACKAGING

25 kgs. Net Bag

ณ.2 มาตรฐานสตาร์ชดัดแปรแป้งข้าวโพด
(MODIFIED CORN STARCH)

Physical and Chemical Characteristics:

Color	White to Off-white
Form	Fine Powder
Taste	Bland
Granulation	
hru USSS # 100	>95 % typically
Thru USSS # 200	>85 % typically
Moisture	15 % Maximum
pH (20 % Slurry) :	4.5 – 7.0
Viscosity (CML – B151)	
Peak	1150 – 1700 BU
Viscosity Drop	250 – 550 BU

Microbiological Specification:

Total plate count	10,000 /g maximum
Yeast	200 /g maximum
Mold	200 /g maximum
<u>Escherichia coli</u>	Negative
<u>Samonella</u>	Negative

Packaging and Storage:

Packaged in four-ply, Kraft paper bags with a net weight of 50 lbs.

Storage in a clean, dry area at ambient temperature and away from heavily aromatic material.

The shelf life is 12 months from the date of receipt.

ณ.3 มาตรฐานสตาร์ชดัดแปรแป้งมันสำปะหลัง
(MODIFIED TAPIOCA STARCH)

Physical and Chemical Characteristics:

Color/Form	White Powder
Moisture	10-13 %
pH (10 % Solution) :	5 - 7
Viscosity at peak (6% ds. in distilled water)	600 BU. min

Benefits:

Following characteristics:

- Excellent viscosity
- Good stability under a variety handling and storage condition
- Good clarity
- Outstanding shelf-life
- Low gelatinized temperature

Availability:

Packaged in PP/PE bag 25 kgs.

ณ.4 มาตรฐานสตาร์ชดัดแปรแป้งข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลัง
(MODIFIED CORN & TAPIOCA STARCH)

<u>Parameter</u>	<u>Methods</u>	<u>Actual Value</u>
Ash	Incinerated 575 °C (%)	0.68
Fiber content	100 g/ 200 mesh (cc)	0.10
Hydroxy propyl content	Ninhydrin method (%)	5.41
Moisture	10 g/ 1h/ 130 °C (%)	10.50
pH value	20/ 100 ml H ₂ O	6.55
Sieve test	Pass through 100 mesh (%)	93.49
SO ₂ Content	Volumetric (ppm)	0.00
Viscosity	Brabender Viscograph	
	30 g (d.s)+25 ml Buffer (pH6)+H ₂ O = 500 g	
	at 95 °C (B.U.)	310
	at 95 °C + 20 min (B.U.)	430
Colorized Temperance	Babender Viscomer (°C)	58.5
Whiteness	Whiteness meter (%)	93.2

Availability:

Packaged in PP/PE bag 25 kgs.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวนภาพร พันธุ์สุข
 ที่อยู่ 7 หมู่ 5 ตำบลบ้านไผ่ อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น 40110
 ที่ทำงาน 174 หมู่ 9 ตำบลหนองตาแต้ม อำเภอปราณบุรี
 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77120

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี
 อุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 จังหวัดเชียงใหม่

พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขานิเทศศาสตร์
 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

พ.ศ. 2544 -ปัจจุบัน ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีอาหาร
 มหาวิทยาลัยศิลปากร
 จังหวัดนครปฐม

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2539 หัวหน้างาน แผนกผลิต บริษัท คิบุเน (ประเทศไทย) จำกัด
 จังหวัดสมุทรสาคร

พ.ศ. 2540 -ปัจจุบัน หัวหน้างานแผนกควบคุมคุณภาพ สำนักงาน อ.ส.ค. ภาคใต้
 องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.)
 อำเภอปราณบุรี
 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์