การผลิตโยเกิร์ตผงโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

นายนรากร ศรีสุข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF FREEZE DRIED YOGHURT AND QUALITY CHANGES DURING STORAGE

Mr. Narakorn Srisuk

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตโยเกิร์ตผงโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา
โดย	นายนรากร ศรีสุข
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลินจง สุขลำภู

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา สุภิมารส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลินจง สุขลำภู)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นรากร ศรีสุข: การผลิตโยเกิร์ตผงโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา (PRODUCTION OF FREEZE DRIED YOGHURT AND QUALITY CHANGES DURING STORAGE) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ผศ. ลินจง สุขลำภู, 105 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อผลิตโยเกิร์ตผงโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตและผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป และศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงทั้งก่อนและหลังการคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา จากการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัว 2 ชนิดคือ gelatin และ modified starch ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1 w/w พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคงตัวทั้งสองชนิด ความหนืดและปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ในขณะที่ปริมาณความชื้นและปริมาณการแยกตัวของหางนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ส่วนค่าสี L a b ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และพบว่า gelatin สามารถเพิ่มความหนืดและลดการแยกตัวของ หางนมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้ดีกว่า modified starch โดยการเติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้ามากที่สุด จึงเลือกผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป จากการศึกษาผลของการทำแห้งผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยวิธีการแช่เยือกแข็ง พบว่าโยเกิร์ตผงคืนรูปจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ทำให้ปริมาณความชื้นและการแยกตัวของหางนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ในขณะที่ค่าสี L a b ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนปริมาณ acetaldehyde แบคทีเรียแลคติกและแบคทีเรียทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จากการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงที่บรรจุในถุง aluminium laminated polyethylene เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และที่อุณหภูมิห้อง พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ปริมาณความชื้น และ การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L a b มากกว่าโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น และจากการศึกษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป พบว่า โยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ แช่เย็น จะมีคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดีกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บนาน 4 สัปดาห์ ส่วนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีอายุการเก็บนานถึง 6 สัปดาห์

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....
ปีการศึกษา.....2550.....

ลายมือชื่อนิสิต.....นรากร ศรีสุข.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....ลินจง สุขลำภู.....

4872325723 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: YOGHURT/ FREEZE DRIED

NARAKORN SRISUK: PRODUCTION OF FREEZE DRIED YOGHURT AND QUALITY CHANGES DURING STORAGE. THESIS ADVISOR: ASST.PROF. UBONRAT SIRIPATRAWAN, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR: ASST.PROF. LINCHONG SUKLAMPOO, 105 pp.

The purpose of this research was to produce freeze-dried yoghurt powder. Type and concentration of stabilizer for improving yoghurt quality, and changes in quality of yoghurt powder as well as reconstituted yoghurt during storage were studied. Two stabilizers, namely gelatin and modified starch, were used at the concentration of 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1 % w/w. It was found that as the concentration of two stabilizers increased, viscosity and total solid significantly increased ($p \leq 0.05$), whereas moisture content and syneresis significantly decreased ($p \leq 0.05$). Colour values (L, a, and b), pH and total acidity as lactic acid were not significantly different ($p > 0.05$). It was also found that gelatin gave yoghurt product with higher viscosity and lower syneresis than modified starch. Yoghurt with 0.8% w/w gelatin had qualities closed to the commercial yoghurt in terms of smooth texture, appropriate viscosity, low whey separation and highest overall acceptable score. Therefore, this concentration was selected for further studies. The effect of freeze-drying on the quality of yoghurt powder before and after rehydration were studied. When compared with commercial yoghurt, the reconstituted yoghurt with gelatin 0.8% w/w had higher total solid ($p \leq 0.05$), but lower moisture content and syneresis, while colour values were not significantly different ($p > 0.05$). However, acetaldehyde content, lactic acid bacteria and total bacteria significantly decreased ($p \leq 0.05$). After freeze-drying, the stability of yoghurt powder packaged in aluminium laminated polyethylene pouches and stored at refrigerated temperature and room temperature was studied. The results showed that yoghurt powder stored at room temperature had significantly higher water activity, moisture content and colour changes than that stored at refrigerated temperature. Reconstituted yoghurt stored at refrigerated temperature had better physicochemical, microbiological and sensory qualities than that stored at room temperature. Based on microbiological quality, the yoghurt stored at room temperature had shelf-life of 4 weeks, while that stored at refrigerated temperature had shelf-life for up to 6 weeks.

Department.....Food Technology.....
Field of study.....Food Technology.....
Academic year.....2007.....

Student's signature.....Narakorn SriSuk.....
Advisor's signature.....U. Siripatrawan.....
Co-advisor's signature.....Linchong.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลินจง สุขลำภู อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา สุภิมารส ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ และอาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหา ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและความช่วยเหลือต่างๆตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณเกรียงศักดิ์ ศรีสุข และคุณพรรณทิพา ศรีสุข บิดาและมารดาที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมา และกรุณาส่งเสียค่าใช้จ่ายในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ สละเวลาและให้กำลังใจตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 ประเภทของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	3
2.2 แบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	5
2.3 สารให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	7
2.4 กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ต	7
2.5 ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตต่อสุขภาพ	14
2.6 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	15
2.7 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการทำแห้ง	18
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผง	20
3 การดำเนินงานวิจัย	22
3.1 ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่เหมาะสมในน้ำนมต่อคุณภาพโดยรวมของโยเกิร์ต	26
3.2 การผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงและการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหลังการทำแห้ง	28
3.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา	29
4 ผลการทดลองและวิจารณ์	32
4.1 ชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่เหมาะสมในน้ำนมต่อคุณภาพโดยรวมของโยเกิร์ต	32

หน้า

4.2 คุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต
หลังการทำแห้ง..... 46
4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา..... 54
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 83

รายการอ้างอิง..... 85
ภาคผนวก..... 91
ภาคผนวก ก..... 92
ภาคผนวก ข..... 95
ภาคผนวก ค..... 99
ภาคผนวก ง..... 100
ภาคผนวก จ..... 102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 105

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ชนิดของสารคงตัว..... 11
4.1 คุณสมบัติของแบคทีเรียแลคติก..... 32
4.2 ค่าความหนืด (เซนติพอยส์) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน..... 33
4.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน..... 35
4.4 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน..... 36
4.5 ปริมาณการแยกตัวของหางนม (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน..... 37
4.6 ค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน..... 39
4.7 ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน..... 42
4.8 ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน..... 43
4.9 คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน..... 44
4.10 ค่าความหนืด ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณการแยกตัวของหางนมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต..... 47
4.11 ค่าสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต..... 48
4.12 ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกและปริมาณ acetaldehyde ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต..... 49
4.13 ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมันและปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต..... 51
4.14 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต..... 52

ตารางที่ **หน้า**

4.15 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา..... 54
4.16 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา..... 55
4.17 ค่า L ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา..... 57
4.18 ค่า a ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา..... 58
4.19 ค่า b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา..... 58
4.20 ค่า Tg (องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา..... 61
4.21 ค่าความหนืด (เซนติพอยส์) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา..... 66
4.22 ปริมาณการแยกตัวของหางนม (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา..... 67
4.23 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา..... 68
4.24 ค่า L ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา..... 69
4.25 ค่า a ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา..... 70
4.26 ค่า b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา..... 70
4.27 ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา..... 73
4.28 ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา..... 74
4.29 ปริมาณ acetaldehyde (ppm) ของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา..... 75
4.30 คะแนนทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น..... 80
4.31 คะแนนทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง..... 81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 เฟสไดอะแกรมของน้ำ..... 16
4.1 SEM ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่กำลังขยาย 5,000 เท่า..... 40
4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของโยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์..... 60
4.3 SEM ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น เป็นระยะเวลา 0 4 8 12 และ 16 สัปดาห์ ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า..... 62
4.4 SEM ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0 4 8 12 และ 16 สัปดาห์ ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า..... 64
4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์..... 72
4.6 ปริมาณแบคทีเรียแลคติกของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์..... 77
4.7 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์..... 77
จ.1 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0..... 102
จ.2 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง..... 102
จ.3 โยเกิร์ตผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง..... 103
จ.4 ถุง aluminium laminated polyethylene ที่บรรจุโยเกิร์ตผงในภาวะสุญญากาศ..... 103
จ.5 โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นในถุง aluminium laminated polyethylene ในภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 16 สัปดาห์..... 104
จ.6 โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในถุง aluminium laminated polyethylene ในภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 16 สัปดาห์..... 104

บทที่ 1

บทนำ

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักด้วยเชื้อแบคทีเรียแลคติกที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพสูง จึงได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมาก โยเกิร์ตอุดมด้วย โปรตีน ไขมัน แคลเซียม เกลือแร่ ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียส และวิตามินต่างๆ (Nergiz and Seckin, 1998) นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายในปริมาณสูง แบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมเป็นกรดแลคติก ซึ่งสามารถช่วยย่อยอาหาร ปรับปรุงระบบขับถ่าย และลดอาการท้องผูกได้ (Vinderola, Bailo and Reinheimer, 2000; Jimoh and Kolapo, 2007) แต่เนื่องจากโยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่มีชีวิตอยู่ประมาณ 10^6 - 10^8 cfu/ml (Ongol *et al*., 2007) จึงทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียได้ง่าย โดยผลิตภัณฑ์จะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 1 - 2 สัปดาห์ (Tamime and Robinson, 1999) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 - 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากต้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ อีกทั้งมีอายุการเก็บสั้น จึงทำให้ไม่สะดวกต่อการขนส่ง การจัดจำหน่ายและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเป็นผงโดยการทำแห้งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น เพิ่มความสะดวกในการขนส่ง การจัดจำหน่ายและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การทำแห้งอาหารโดยการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์อาจทำได้หลายวิธีเช่น spray drying microwave และ freeze drying การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) เป็นวิธีการทำแห้งโดยใช้ความร้อนไม่สูงมาก จึงสามารถรักษาสี กลิ่นรสและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ดี มีอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียในปริมาณสูง (Sharma and Arora, 1995) และคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารจะใกล้เคียงผลิตภัณฑ์เริ่มต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแบบแช่เยือกแข็ง รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในบรรจุภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์

ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ศึกษาผลของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

1. ได้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น สะดวกต่อการเก็บรักษา การขนส่งและการจัดจำหน่าย
2. ทราบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา
3. สามารถใช้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงเป็นส่วนผสมกับผลิตภัณฑ์อื่น เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้แก่ผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

โยเกิร์ตมีแหล่งกำเนิดในแถบกลุ่มประเทศตะวันออกกลาง และเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในแถบยุโรป สาธารณรัฐมองโกเลีย และทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศอินเดีย ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักผลิตได้จากนมอุดมไขมัน หรือนมพร่องไขมัน หรือนมคืนรูปจากนมผงพร่องมันเนย โดยนำน้ำนมดังกล่าวผ่านการโฮโมจีไนซ์ และฆ่าเชื้อโดยการพาสเจอร์ไรซ์หรือสเตอริไลซ์ จากนั้นหมักน้ำนมด้วยเชื้อแบคทีเรียแลคติก *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ที่อุณหภูมิ 40 – 45 องศาเซลเซียส จนผลิตภัณฑ์มีปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกประมาณร้อยละ 0.9 และค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.0 – 4.6 และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 – 7 องศาเซลเซียส (Tamime and Robinson, 1999; Kumar and Mishra, 2004b) ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตได้จะมีเนื้อสัมผัสเหนียว ข้น และมีรสเปรี้ยว ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์ย่อยน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมได้เป็นกรดแลคติก (Tamime and Robinson, 1999) จึงช่วยให้ผู้ที่ไม่สามารถดื่มนมได้เนื่องจากขาดเอนไซม์แลคเตสสามารถบริโภคโยเกิร์ตแทนได้ (Salwa *et al*., 2004) นอกจากนี้มีการรายงานว่าโยเกิร์ตช่วยป้องกันโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ เนื้องอก (Vinderola *et al*., 2000; Jimoh and Kolapo, 2007) และช่วยให้ผู้บริโภคผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีสุขภาพแข็งแรง

2.1 ประเภทของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

เกณฑ์การแบ่งประเภทของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอาจแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี กรรมวิธีการผลิต กลิ่นรส และกระบวนการหลังการหมัก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1. องค์ประกอบทางเคมี

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 289 (2548) แบ่งชนิดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตตามปริมาณไขมัน ดังนี้

- full fat yoghurt มีปริมาณไขมันสูงกว่าร้อยละ 3.0
- medium fat yoghurt มีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5 – 3.0

- low fat yoghurt มีปริมาณไขมันต่ำกว่าร้อยละ 0.5

2.1.2 กรรมวิธีการผลิต

การผลิตโยเกิร์ตในอุตสาหกรรมมี 2 ลักษณะคือ set yoghurt และ stirred yoghurt โดยที่ set yoghurt เป็นผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการหมักเกิดขึ้นในภาชนะบรรจุ ทำให้ลักษณะตะกอนนม (coagulum) มีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งเหลว (Purwandari, Shah and Vasiljevic, 2007) ส่วน stirred yoghurt เป็นผลิตภัณฑ์ที่หมักน้ำนมให้ตกตะกอนในถังหมักก่อน จากนั้นจึงบรรจุผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตในภาชนะบรรจุภายหลัง (วราวุฒิ ครูส่ง และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532)

2.1.3 กลิ่นรส (Tamime and Robinson, 1999)

- โยเกิร์ตชนิดธรรมดา (plain หรือ natural yoghurt) เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตได้จากวิธีดั้งเดิม ไม่มีการเติมสารแต่งกลิ่นรสหรือผลไม้ลงในผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยว

- โยเกิร์ตที่ปรุงแต่งด้วยผลไม้ (fruit yoghurt) เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติมผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น ผลไม้สด แยมผลไม้และผลไม้เชื่อมลงในโยเกิร์ตชนิดธรรมดา เพื่อเพิ่มรสชาติและลดความเปรี้ยวในผลิตภัณฑ์

- โยเกิร์ตที่ปรุงแต่งด้วยกลิ่นรสและสี (flavoured yoghurt) เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติมกลิ่นรสและสีแทนส่วนของผลไม้ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสและสีที่น่ารับประทานยิ่งขึ้น

2.1.4 กระบวนการแปรรูปหลังการหมัก (post-incubation processing)

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตสามารถแปรรูปโดยผ่านกระบวนการต่างๆ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ เช่น โยเกิร์ตที่ผ่านการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurized yoghurt) คือโยเกิร์ตที่ให้ความร้อนหลังการหมักเพื่อทำลายจุลินทรีย์บางส่วนที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ โยเกิร์ตแช่แข็ง (frozen yoghurt) คือโยเกิร์ตที่มีลักษณะคล้ายไอศกรีม มีสารคงตัวและน้ำตาลอยู่ในปริมาณสูง โยเกิร์ตพร้อมดื่ม (drinking yoghurt) คือโยเกิร์ตที่เจือจางด้วยน้ำเชื่อมหรือน้ำผลไม้แล้วเติมสารแต่งกลิ่นรส โยเกิร์ตชนิดเข้มข้น (concentrated yoghurt) คือโยเกิร์ตที่แยกน้ำบางส่วนออกจนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 24 โยเกิร์ตชนิดผง (dried yoghurt) คือโยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ เช่น freeze drying spray drying roller drying และ microwave เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นผง (Kumar and Mishra, 2004b)

2.2 แบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

แบคทีเรียแลคติกมีบทบาทสำคัญต่อการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและองค์ประกอบในน้ำนม โดยแบคทีเรียแลคติกจะย่อยน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมให้เป็นกรดแลคติกโดยใช้เอนไซม์บีต้า-กาแลคโตซิเดส (beta-galactosidase) ทำให้โยเกิร์ตมีความข้นหนืดสูงขึ้น มีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นรสเฉพาะตัวที่ดี (Tamime and Robinson, 1999) ความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นเกิดจากกรดแลคติกจะสลายความคงตัวของโปรตีนเคซีนในน้ำนม ทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ เกิดการตกตะกอน และจับตัวเป็นโครงร่างสามมิติ (Everett and Mcleod, 2005)

แบคทีเรียแลคติกที่สำคัญในการผลิตโยเกิร์ตในอุตสหกรรมคือ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ซึ่งมีลักษณะสำคัญดังนี้

2.2.1 *Streptococcus thermophilus*

Streptococcus thermophilus ลักษณะเซลล์เป็นทรงกลม (coccus) มีการจัดเรียงเป็นคู่หรือเป็นสาย แกรมบวกและเคลื่อนที่ไม่ได้ สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงถึง 49 องศาเซลเซียส สามารถย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมโดยใช้เอนไซม์ lactase หรือ beta-galactosidase ได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและกาแลคโตส น้ำตาลกลูโคสที่ได้จะเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก โดยกระบวนการหมักเป็นแบบ homofermentative คือให้กรดแลคติกร้อยละ 86-95 และสารอื่นปริมาณเล็กน้อย เช่น ฟอร์เมท อะซิเตท และคาร์บอนไดออกไซด์ (Schonbrun, 2002)

2.2.2 *Lactobacillus bulgaricus*

Lactobacillus bulgaricus เซลล์มีรูปร่างเป็นท่อน (rod shape) จัดเรียงเป็นคู่หรือเป็นสาย แกรมบวกและเคลื่อนที่ไม่ได้ แบคทีเรียชนิดนี้จะทนความร้อนได้ต่ำ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญคือ 45 องศาเซลเซียส และสร้างกรดแลคติกได้ดีที่อุณหภูมิ 43 – 46 องศาเซลเซียส เจริญได้ดีในภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ จึงเจริญในช่วงหลังของกระบวนการหมัก การหมักเป็นแบบ homofermentative เชื้อแบคทีเรีย *Lactobacillus bulgaricus* จะมีระบบเอนไซม์ที่ซับซ้อนกว่าเชื้อ *Streptococcus thermophilus* โดยมีการสร้างเอนไซม์ที่สำคัญคือ beta-galactosidase กับ บีต้า-ฟอสโฟกาแลคโตซิเดส (beta-phosphogalactosidase) สามารถย่อยน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมได้ดี (Tamime and Robinson, 1999; Schonbrun, 2002)

แบคทีเรียแลคติกที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตมักเป็นเชื้อผสมระหว่าง *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ในอัตราส่วนที่เท่ากัน เจริญแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis) โดยที่เชื้อตัวหนึ่งจะกระตุ้นการทำงานของเชื้ออีกตัวหนึ่ง ทำให้สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตได้มากขึ้นและสร้างกรดแลคติกได้เร็วขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อกลิ่นรส ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกและจำนวนแบคทีเรียแลคติกที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการหมักโยเกิร์ต (Tamime and Robinson, 1999) ลักษณะการเจริญแบบพึ่งพาอาศัยกันของแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตเริ่มจากเชื้อ *Streptococcus thermophilus* จะเจริญก่อนที่อุณหภูมิการหมักที่เหมาะสมคือ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากสามารถทนต่อออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำนมได้ดี สามารถย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสในนมโดยใช้เอนไซม์แลคเตส (lactase) หรือ เอนไซม์ beta-galactosidase และสามารถผลิต diacetyl ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ การเจริญของ *Streptococcus thermophilus* จะดำเนินต่อไปจนผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.5 และระดับออกซิเจนในน้ำนมลดลงประกอบกับกรดฟอร์มิกที่สร้างขึ้น จึงสามารถกระตุ้นการเจริญของเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* ให้เจริญต่อไปได้ (Schonbrun, 2002)

เชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มปริมาณกรดแลคติกและผลิต acetaldehyde ซึ่งเป็นกลิ่นรสเฉพาะของโยเกิร์ต ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสที่ดีจะมีปริมาณ acetaldehyde อยู่ประมาณ 23 – 41 ppm คิดเป็นร้อยละ 90 ของสารประกอบที่ให้กลิ่นรส (วราวุฒิ ครูส่ง และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532) ดังนั้นเมื่อใช้สายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียแลคติกทั้งสองรวมกันจะทำให้กระบวนการหมักโยเกิร์ตมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อเทียบกับหัวเชื้อโยเกิร์ตที่มีเพียงสายพันธุ์เดียว โดยทั่วไปจะใช้อัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียทั้งสองชนิดเท่ากับ 1 ต่อ 1 (Tamime and Robinson, 1999)

การเจริญของแบคทีเรียแลคติกสามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้ เนื่องจากสารที่แบคทีเรียแลคติกผลิตได้เช่น กรดอินทรีย์ ได้แก่ lactic acid acetic acid และ diacetyl (อิศรา วัฒนนภาเกษม, 2546) จะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ทนกรด โดยจะไปยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต กรดอินทรีย์สามารถซึมเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียและแตกตัวเป็นอิออนภายใน ทำให้ระดับความเป็นกรดด่างลดลง (Capela, Hay and Shah, 2006)

2.3 สารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

แบคทีเรียแลคติกจะสร้างสารให้กลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ ทำให้มีกลิ่นรสเฉพาะตัวที่ดี สารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้แก่ acetaldehyde diacetyl และ acetone เป็นต้น (Tamine and Robinson, 1999) ที่สำคัญคือ acetaldehyde ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะมีกลิ่นรสที่ดีเมื่อมีปริมาณ acetaldehyde เท่ากับ 10 – 15 ppm (Schonbrun, 2002)

2.4 กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ต

การผลิตโยเกิร์ตในอุตสาหกรรมมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ (Tamine and Robinson, 1999)

2.4.1 การเตรียมส่วนผสมเบื้องต้น (preliminary ingredient preparation)

ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ดังนั้นจึงต้องควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบให้มีคุณภาพสูงโดยคำนึงถึงสิ่งเจือปน ลักษณะเฉพาะทางเคมี และปริมาณจุลินทรีย์

วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตโยเกิร์ตคือ น้ำนม น้ำนมคุณภาพดีจะต้องไม่มีจุลินทรีย์หรือมีจุลินทรีย์ในปริมาณต่ำ ปราศจากเอนไซม์ สารเคมีและยาปฏิชีวนะ น้ำนมจากสัตว์ต่างชนิดกันเมื่อนำมาผลิตโยเกิร์ตจะได้โยเกิร์ตที่มีคุณภาพต่างกัน เนื่องจากส่วนประกอบทางเคมีในน้ำนม เช่น ปริมาณไขมัน โปรตีน และน้ำตาลแลคโตสแตกต่างกัน นอกจากนี้องค์ประกอบในน้ำนมยังมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระยะเวลาการรีดนม (Tamime and Robinson, 1999; Pandya and Ghodke, 2007) จึงต้องปรับปริมาณไขมันในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

2.4.1.1 การปรับปริมาณไขมันในน้ำนม

ไขมันในน้ำนมมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีผลโดยตรงต่อเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต วิธีการปรับมาตรฐานปริมาณไขมันในน้ำนมทำได้โดยการแยกไขมันออกจากน้ำนม การเติมครีมหรือนมอุดมไขมัน หรือการผสมนมอุดมไขมันกับหางนม โดยอาศัยหลักการของ Pearsons Square method ในการคำนวณส่วนผสม (Tamime and Robinson, 1999) ในการทดลองนี้ใช้นมพาสเจอร์ไรซ์ไขมันเต็ม มีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 3.10

2.4.1.2 การปรับปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันในน้ำนม (SNF)

การปรับปริมาณของแข็งในน้ำนมจะส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยเฉพาะความหนืด (viscosity) และความสม่ำเสมอของเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ถ้าปรับปริมาณของแข็งในน้ำนมโดยการเติมนมผงยังสามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารในผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น (Gonzalez-Martinez *et al*., 2002) และยังทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีความหนืดสูงขึ้น ช่วยป้องกันการแยกตัวของหางนม (syneresis) ได้ดีอีกด้วย (Fiszman, Lluch and Salvador, 1999) น้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตควรมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 16 – 20 นอกจากนี้ในการทำแห้งโยเกิร์ตนั้นการเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำนมสามารถเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตผง และลดระยะเวลาในการทำแห้งได้ (Tamime and Robinson, 1999) อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสมมากกว่าร้อยละ 25 จะทำให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตลดลง ซึ่งจะมีผลต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์ (Ajam, Foong and Benjamin, 1993) การเพิ่มปริมาณของแข็งทำได้หลายวิธี เช่น การให้ความร้อน การเติมนมผง whey powder การใช้เมมเบรนแยกน้ำออกจากน้ำนม (membrane filtration) และvacuum evaporation (Tamime and Robinson, 1999)

Ajam และคณะ (1993) ศึกษาการเติมนมผงในน้ำนมที่ผลิตโยเกิร์ต พบว่าการเติมนมผงร้อยละ 5 w/v สามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เพิ่มคุณค่าทางอาหาร และเพิ่มคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสให้แก่ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Gonzalez-Martinez และคณะ (2002) ซึ่งศึกษาการเติมนมผงลงในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต พบว่าการเติมนมผงสามารถเพิ่มปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์ เพิ่มความแข็งแรง และความหนาแน่นให้แก่โครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

2.4.1.3 การเติมสารคงตัว (addition of stabilizers)

สารคงตัวมีหน้าที่สำคัญคือ จับตัวกับน้ำในผลิตภัณฑ์ ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เพิ่มความหนืดและลดการแยกตัวของหางนมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (Kumar and Mishra, 2004a; Lal, Connor and Eyres, 2006)

โมเลกุลของสารคงตัวสามารถจับตัวกับโปรตีนและส่วนประกอบในน้ำนมเป็นโครงร่างแห ซึ่งช่วยลดการเคลื่อนที่ของน้ำ เพิ่มความหนืดและเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (Tamime and Robinson, 1999) สารคงตัวที่ดีจะมีประสิทธิภาพในช่วงระดับความเป็นกรดด่างต่ำ กระจายตัวได้ดีในอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักน้ำนม รวมตัวกับส่วนผสมได้ดี และไม่จับตัวเป็นก้อน ที่นิยมใช้ได้แก่ gelatin alginates carrageenan carboxymethylcellulose dextran และ xanthan

เป็นต้น ปริมาณสารคงตัวที่ใช้โดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3 - 0.5 ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสารคงตัวและปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสมด้วย (Koksoy and Kilic, 2004)

การแบ่งชนิดสารคงตัวตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ anionic hydrocolloids เช่น pectin และ carrageenan สารคงตัวชนิดนี้จะสร้างพันธะกับประจุบวกบนผิวเคซีนไมเซลล์ ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้นและลดการแยกตัวของหางนมได้ดี ส่วน neutral hydrocolloids เช่น guar gum locust bean gum และ xanthan จะมีประจุเป็นกลาง สามารถเพิ่มความหนืดและลดการแยกตัวของหางนมได้ (Maroziene and Kruif, 2000; Tromp *et al*., 2004; Everett and Mcleod, 2005)

ปัญหาที่มักเกิดจากการใช้สารคงตัวคือ การใช้สารคงตัวในปริมาณมากเกินไป (over-stabilization) จะทำให้เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตเหนียวคล้ายเจลลี่ (rubbery or jelly-like) แต่ถ้าใช้สารคงตัวในปริมาณน้อยเกินไป (under-stabilization) จะทำให้เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตเหลวและเกิดการแยกตัวของหางนมในปริมาณมาก การเติมสารคงตัวที่อุณหภูมิไม่เหมาะสมจะทำให้จับตัวเป็นก้อน เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นเม็ดหยาบไม่เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (พรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ, 2538)

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีการผสมผลไม้จะมีผลต่อเนื้อสัมผัสและความหนืดมาก จึงจำเป็นต้องเติมสารคงตัวเช่น starch gelatin และ pectin เพื่อรักษาความคงตัวของเนื้อสัมผัสและลดปริมาณการแยกตัวของหางนมในผลิตภัณฑ์ (Fiszman *et al*., 1999; Kumar and Mishra, 2004a)

Ajam และคณะ (1993) ศึกษาการเติมสารคงตัวคือ agar และ gelatin ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า สารคงตัวทั้งสองชนิดสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตให้มีเนื้อเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น และได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสที่ด

Fiszman และคณะ (1999) ศึกษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin และนมผง พบว่าโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมนมผง และ gelatin จะมีรูพรุนขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นน้อย แต่เมื่อเติม gelatin ในน้ำนม gelatin สามารถจับตัวกับโปรตีนเคซีนเกิดเป็นโครงร่างแห ทำให้โครงสร้างมีความหนาแน่นและแข็งแรงขึ้น และเมื่อเติมทั้งนมผงและ gelatin ในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต โครงสร้างโยเกิร์ตจะมีความหนาแน่นและจับตัวกันมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า Firmness (N) ที่มีค่ามากกว่าโยเกิร์ตที่เติมนมผงเพียงอย่างเดียว

Koksoy และ Kilic (2004) ศึกษาการเติมสารคงตัวคือ guar gum high methoxyl pectin carboxymethylcellulose และ gelatin ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่ม พบว่าสารคงตัวสามารถช่วยเพิ่มความหนืด ลดการแยกตัวของน้ำ และเพิ่มคะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากสารคงตัวสามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ได้ดี

Kumar และ Mishra (2004a) ศึกษาผลของสารคงตัวที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ mango soy fortified set yoghurt (MSFY) สารคงตัวที่ใช้ทดสอบคือ gelatin pectin และ sodium alginate โดยแปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 0 0.2 0.4 และ 0.6 w/w พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคงตัวทั้งสามชนิด ปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นและการแยกตัวของหางนมของผลิตภัณฑ์ลดลง การเติม gelatin ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี เนื้อสัมผัส และกลิ่นรสดีกว่าการเติม pectin และ sodium alginate และการเติม gelatin ร้อยละ 0.4 w/w ได้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแบ่งชนิดของสารคงตัวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตโยเกิร์ต สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารคงตัว

Natural	Modified	Synthetic
Plant	**Celluose derivatives**	**Polymers**
Exudates	Carboxymethylcellulose	Polyvinyl derivatives
Arabic	Methylcellulose	Polyethylene derivatives
Tragacanth	Hydroxyethylcellulose	
Karaya	Hydroxypropylcellulose	
Extracts	Hydroxypropylmethylcellulose	
Pectins	Microcrystallinecellulose	
Seed flour	**Microbial fermentation**	
Carob	Dextran	
Guar	Xanthan	
Seaweeds	**Miscellaneous derivatives**	
Extracts	Low-methoxy pectin	
Agar	Propylene glycole alginate	
Alginates	Pregelatinised starches	
Carrageenan	Modified starch	
Furcelleran	Carboxymethyl starch	
Cereal starches	Hydroxyethyl starch	
Wheat	Hydroxypropyl starch	
Corn		
Animal		
Gelatin		
Vegetable		
Soy protein		

ที่มา: Tamime และ Robinson (1999)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.1.4 การเติมสารให้ความหวาน

การเติมสารให้ความหวาน มีจุดประสงค์เพื่อลดความเปรี้ยวและเพิ่มรสชาติในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต สารให้ความหวานที่นิยมใช้ ได้แก่ sucrose glucose และfructose (Tamime and Robinson, 1999) นอกจากนี้การเติมผลไม้สด ผลไม้เชื่อม แยม หรือสารปรุงแต่งกลิ่นรส ยังเป็นการเพิ่มความหวานและรสชาติให้แก่ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้ ซึ่งต้องคำนึงถึงชนิดของสารให้ความหวานและความชอบของผู้บริโภคด้วย เช่นการเติมมะม่วงสุกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะช่วยเพิ่มวิตามิน A C และแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์ได้ (Kumar and Mishra, 2003) น้ำตาลที่มีในผลไม้และน้ำตาลที่เติมในส่วนผสมถ้ามีความเข้มข้นสูงเกินไป อาจมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อเริ่มต้นและการยอมรับของผู้บริโภค (Ajam *et al*., 1993)

2.4.2 การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ ทำให้เม็ดไขมันในน้ำนมมีขนาดเล็กลง และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น (Afonso and Maia, 1999; Everett and Mcleod, 2005) โดยนำน้ำนมเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่อุณหภูมิ 50 – 70 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันประมาณ 20 MPa (Guggisberg, Eberhard and Albrecht, 2007) ทำให้น้ำนมมีสีขาวขึ้น เนื่องจากเม็ดไขมันช่วยในการสะท้อนแสงได้ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ได้จะมีเนื้อเนียนขึ้น มีความหนืดสูงขึ้น และสามารถลดการแยกตัวของหางนมได้ดี เนื่องจากเม็ดไขมันขนาดเล็กสามารถจับตัวกับโปรตีนเคซีนได้ดี (Tamime and Robinson, 1999; Schonbrun, 2002)

2.4.3 การให้ความร้อน

การให้ความร้อนแก่น้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต มีจุดประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการ โดยพาสเจอร์ไรซ์น้ำนมที่อุณหภูมิ 85 - 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (Jimoh and Kolapo, 2007) ซึ่งนอกจากจะป้องกันจุลินทรีย์ชนิดอื่นเจริญแข่งกับหัวเชื้อโยเกิร์ตแล้ว ยังทำให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค และช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ กำจัดอากาศที่มีอยู่ในน้ำนม ทำให้เกิดภาวะที่เหมาะกับการเจริญของแบคทีเรียแลคติก และทำให้โปรตีนหางนมเสียสภาพธรรมชาติและตกตะกอนรวมตัวกับโปรตีนเคซีนเกิดเป็นร่างแหสามมิติ (Afonso and Maia, 1999; Everett and Mcleod, 2005)

2.4.4 กระบวนการหมัก (fermentation process)

น้ำนมที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วหมักด้วยแบคทีเรียแลคติก 2 สายพันธุ์คือ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ในอัตราส่วนเท่ากัน โดยทั่วไปการหมักจะใช้เชื้อเริ่มต้นประมาณร้อยละ 2.5 – 5.0 หมักที่อุณหภูมิ 40 - 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 4 - 6 ชั่วโมง ให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.0 – 4.5 และปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกประมาณร้อยละ 0.9 (Tamime and Robinson, 1999) ในการทดลองนี้หมักน้ำนมเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะมีค่าความเป็นกรดด่างเทากับ 4.17±0.01 และปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกประมาณร้อยละ 1.13±0.01

2.4.5 การเติมองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสและสี

การเติมองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสและสีในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มสีกลิ่นรส และความหลากหลายให้แก่ผลิตภัณฑ์ สารที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้แก่ ผลไม้ แยม สารให้กลิ่นรสและสี เป็นต้น (Tamime and Robinson, 1999)

2.4.6 การทำความเย็น

การทำความเย็นเป็นการควบคุมกิจกรรมของแบคทีเรียแลคติกและเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยการทำความเย็นจะเริ่มตั้งแต่ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรดด่างตามต้องการคือประมาณ 4.0 - 4.6 หรือมีปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกประมาณร้อยละ 0.9 (Tamime and Robinson, 1999) การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหลังการหมักที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรียแลคติกได้

2.4.7 การเก็บรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่มีชีวิตอยู่สูง หากเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25 – 30 องศาเซลเซียส จะเก็บได้เพียง 1 วัน และหากเก็บที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส จะเก็บได้ประมาณ 4 - 5 วัน (Kumar and Mishra, 2004b) หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะมีรสเปรี้ยวและเกิดการแยกตัวของหางนมมากขึ้น ดังนั้นเมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตลงในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมแล้ว ควรเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 5 – 10 องศาเซลเซียส (Tamime and Robinson, 1999)

2.5 ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตต่อสุขภาพ

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมัก มีแบคทีเรียแลคติกที่มีชีวิตในปริมาณสูง และมีปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์สูง ซึ่งส่งผลดีแก่ผู้บริโภคดังนี้

2.5.1 คุณสมบัติการย่อย

แบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตจะขับเอนไซม์ beta-galactosidase ออกมาในลำไส้เล็ก สามารถย่อยน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมเป็นน้ำตาลกลูโคสและกาแลคโตส น้ำตาลที่ถูกย่อยสลายจะถูกดูดซึมเข้าสู่ลำไส้เล็กได้ง่าย ช่วยลดอาการท้องอืด ท้องร่วงสำหรับผู้ที่ไม่สามารถย่อยน้ำตาลแลคโตสในนมได้ (Donkor *et al*., 2006)

2.5.2 คุณค่าทางโภชนาการ

แบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตสามารถย่อยสลายน้ำตาลได้ดี จึงทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในผู้สูงอายุจะมีกรดในกระเพาะอาหารน้อยลง ทำให้ระบบการย่อยและการดูดซึมอาหารลดลง ดังนั้นการรับประทานโยเกิร์ตจึงสามารถเพิ่มปริมาณกรดแลคติกในกระเพาะอาหารที่ขาดไปได้ จึงทำให้ระบบการย่อยอาหารดีขึ้น การดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสของร่างกายสูงขึ้น (Vinderola *et al*., 2000)

2.5.3 การปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้

แบคทีเรียแลคติกสามารถปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ได้โดยช่วยลดปริมาณแบคทีเรียที่ให้โทษ (Capela *et al*., 2006) แบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตจะสร้างสารเมแทบอไลซ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ไม่ทนกรดและแบคทีเรียที่ก่อโรค เช่น *Pseudomonas Escherichia coli และ Staphylococcus aureus* ซึ่งแบคทีเรียจำพวกนี้เจริญได้ดีที่ระดับค่าความเป็นกรดด่างเป็นกลาง (อิศรา วัฒนนภาเกษม, 2546)

2.5.4 การปรับปรุงการบีบตัวของลำไส้ใหญ่

การบีบตัวของลำไส้ใหญ่ที่ผิดปกติทำให้เกิดอาการท้องผูก ในผู้สูงอายุที่มีการบีบตัวของลำไส้ใหญ่ผิดปกติ เมื่อดื่มนมที่มี *Streptococcus thermophilus* วันละ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 วัน สามารถทำให้การขับอุจจาระเป็นปกติ และการบีบตัวของลำไส้ใหญ่เพิ่มขึ้นถึง 5 - 7 เท่า (อิศรา วัฒนนภาเกษม, 2546) นอกจากนี้การเติมผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล มะม่วงสุก และกล้วยในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเป็นการเพิ่มใยอาหารให้แก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยให้ระบบขับถ่ายของผู้บริโภคดีขึ้น (Staffolo *et al*., 2004) และสามารถป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ (Salwa *et al*., 2004; Jimoh and Kolapo, 2007)

2.5.5 การเพิ่มภูมิคุ้มกันโรคในร่างกาย

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตสามารถเพิ่มภูมิคุ้มกันโรคให้แก่ร่างกายโดยกระตุ้นการสร้างแอนติบอดีและสารต้านโรคอื่นๆ (อิศรา วัฒนนภาเกษม, 2546)

2.6 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักด้วยเชื้อแบคทีเรียแลคติก ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 10^6 - 10^8 cfu/ml (Donkor *et al*., 2006) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน หรืออุณหภูมิไม่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์จะมีรสเปรี้ยวและเกิดการแยกตัวของหางนมมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น เสื่อมเสียได้ง่ายในระหว่างการเก็บรักษา การขนส่งและการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ จึงได้พัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตให้อยู่ในรูปผงโดยใช้กระบวนการทำแห้งวิธีการต่างๆ (Kumar and Mishra, 2004b) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น สะดวกในการขนส่ง การจัดจำหน่ายและการเก็บรักษา

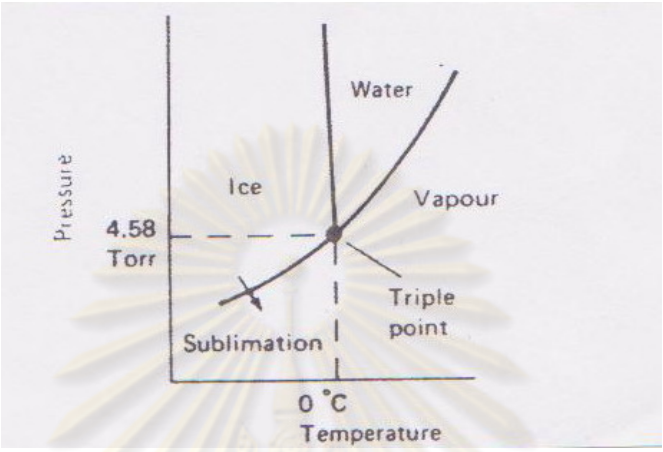
การแปรรูปผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเป็นผงทำได้หลายวิธีเช่น freeze drying spray drying roller drying และ microwave (Kumar and Mishra, 2004b) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จัดเป็นการทำแห้งที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมากที่สุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการทำแห้งไม่สูงมาก สามารถรักษาคุณภาพ โครงสร้าง สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารได้ดี (Venir *et al*., 2007) โยเกิร์ตผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเป็นผงสีขาว คืนรูปได้เร็ว และมีปริมาณแบคทีเรียที่รอดชีวิตสูง (Sharma and Arora,1995)

2.6.1 หลักการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์จากสถานะของแข็งระเหิดไปเป็นไอโดยไม่ผ่านสถานะของเหลวในภาวะสุญญากาศ กระบวนการทำแห้งอาหารด้วยวิธีอื่นมักจะมีปัญหาในเรื่องการใช้ความร้อนสูง ทำให้คุณภาพของอาหารลดลง สี และกลิ่นรสเปลี่ยนแปลง และสูญเสียคุณค่าทางอาหารบางอย่างไป (Kumar and Mishra, 2004b)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 คือ การแช่แข็งเพื่อให้น้ำในผลิตภัณฑ์อาหารกลายเป็นน้ำแข็ง ขั้นตอนที่ 2 การทำแห้ง ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์จะถูกระเหิดด้วยความร้อนจากชั้นของหน่วยทำแห้ง ขณะที่ขดลวดความเย็นจะควบแน่นไอภายใต้ภาวะสุญญากาศ (Sharma and Arora, 1995) การระเหิดจะเกิดในช่วงที่ความดันไอและ

อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำกว่าจุด triple point ของน้ำหรือสารละลายในผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เฟสไดอะแกรมของน้ำ

ที่มา: Fellows (1993) อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง (2546)

จากรูปที่ 2.1 แสดงความดันและอุณหภูมิของวัฏภาคของน้ำ เส้นแบ่งแต่ละเส้นแสดงอุณหภูมิและความดันที่ทำให้เกิดสถานะสมดุล triple point เป็นจุดที่ทั้งสามสถานะคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซอยู่ในสภาวะสมดุล ถ้าความดันไอของอาหารต่ำกว่า 4.58 Torr (610.5 Pa) และน้ำเกิดการเยือกแข็ง เมื่ออาหารได้รับความร้อนน้ำแข็งจะระเหิดไปเป็นไอทันทีโดยไม่ผ่านสถานะของเหลว (Fellows, 1993 อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง, 2546)

การแช่แข็งจะส่งผลต่อโครงสร้างของผลึกน้ำแข็ง การละลาย และสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นกับขนาดและลักษณะของอาหาร การแช่แข็งอาหารอย่างรวดเร็วจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กและลดความเสียหายที่เกิดกับเซลล์ของอาหารได้ โดยจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในไนโตรเจนเหลว น้ำในผลิตภัณฑ์ที่กลายเป็นน้ำแข็งเป็นพวก free water และ bound water การแช่แข็งจะทำให้ free water กลายเป็นน้ำแข็งได้ง่ายและเมื่อเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง free water จะระเหิดในช่วงแรกของการทำแห้ง ส่วน bound water จะถูกระเหยในช่วงหลังของการทำแห้ง ซึ่ง bound water จะเชื่อมต่อด้วย electrostatic force ที่แข็งแรง ทำให้ในผลิตภัณฑ์ยังคงมี bound water เหลืออยู่ ดังนั้นผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งจึงมีความชื้นเหลืออยู่ การแช่เยือกแข็งทำให้สารละลายที่มีอยู่ในอาหารแยกออกเป็นของผสม 2 ส่วนคือ ส่วนของผลึกน้ำแข็งและส่วนของสารละลายที่เข้มข้น คุณสมบัติของสารละลายที่เข้มข้นจะขึ้นกับ

อุณหภูมิ ความเข้มข้น และองค์ประกอบของอาหาร โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำสภาพการเคลื่อนที่ของสารละลายเข้มข้นจะเกิดขึ้นช้ามาก ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการทำแห้ง แต่ถ้าอุณหภูมิการทำแห้งสูงการเคลื่อนที่ของสารละลายเข้มข้นจะสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดการไหลและสูญเสียโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เดิมได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาหาร

Sharma และ Arora (1995) ศึกษาผลของความหนาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตและความดันในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่ส่งผลต่อการทำแห้งของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผง โดยแปรความหนาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตในการทำแห้งเป็น 3.8 mm 6.2 mm และ 9.4 mm พบว่าประสิทธิภาพในการทำแห้งสูงขึ้นและระยะเวลาในการทำแห้งลดลง เมื่อลดความหนาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต และการลดความดันจาก 0.50 mmHg เหลือ 0.01 mmHg ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำแห้งให้ดีขึ้น

Venir และคณะ (2007) ศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้ตัวอย่างหนา 1 เซนติเมตร ทำแห้งที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 20 Pa โยเกิร์ตผงที่ผลิตได้มีสีขาว มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 4.95 ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษา และลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ แต่ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์ลดลงเล็กน้อยเมื่อผ่านการทำแห้งและลดลง 2-3 log cfu/g เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน

2.6.2 ข้อดีของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการกำจัดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์โดยใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำ จึงช่วยรักษาคุณภาพและคุณค่าทางอาหารไว้ได้ดี สามารถรักษากลิ่นรส สี และสารอาหารได้ดี ผลิตภัณฑ์สามารถดูดน้ำกลับอย่างรวดเร็วและรักษาเชื้อจุลินทรีย์ไว้ได้ดี (Sharma and Arora, 1995) อาหารที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีอายุการเก็บรักษานานกว่า 12 เดือน ถ้าบรรจุผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยผลิตภัณฑ์ยังคงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชการ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร (Venir *et al*., 2007) เนื้อสัมผัสของอาหารที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะมีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เดิม เนื่องจากเกิดการหดตัวน้อย อย่างไรก็ตามโครงสร้างรูพรุนที่เกิดขึ้นจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ผลิตภัณฑ์คืนตัวได้เร็ว แต่ออกซิเจนสามารถซึมเข้าได้ง่ายทำให้เกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (วิไล รังสาดทอง, 2546)

การคืนรูปผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงนั้นจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนืด และปริมาณแบคทีเรียแลคติก จึงมีการเติม sucrose dextrose และสารคงตัว เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตผงคืนรูป และการเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตสามารถเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตผง และลดระยะเวลาในการทำแห้งได้ (Tamime and Robinson, 1999) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งถึงแม้จะมีข้อดีต่อคุณภาพของอาหารมากแต่มีต้นทุนที่สูง จึงใช้กับอาหารที่มีคุณค่าสูง มีราคาแพง และต้องการรักษากลิ่นหรือเนื้อสัมผัสที่เปราะบางเช่น กาแฟ เห็ด ไข่ผงแห้ง ผลิตภัณฑ์ผัก ผลิตภัณฑ์นม เครื่องเทศและสมุนไพร น้ำผลไม้ และใช้ในการเก็บเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบผงเป็นต้น

Buckley และคณะ (2000) ศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าค่าสี L a b ของโยเกิร์ตก่อนทำแห้งและโยเกิร์ตผงคืนรูปไม่มีความแตกต่างกัน โยเกิร์ตผงคืนรูปมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกของโยเกิร์ตผงคืนรูปขึ้นกับปริมาณน้ำที่ใช้คืนรูปด้วย

Capela และคณะ (2006) ศึกษาการทำแห้งเชื้อ probiotic และผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าเชื้อ probiotic และแบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะมีปริมาณลดลงเมื่อผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำลง ซึ่งเป็นภาวะที่ไม่เหมาะแก่การเจริญและการอยู่รอดของแบคทีเรียแลคติก นอกจากนี้เชื้อแบคทีเรียอาจเกิดการบาดเจ็บและตายในระหว่างการทำแห้ง

2.7 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการทำแห้ง

การทำแห้งอาหารมีจุดประสงค์เพื่อดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ให้มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่าที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ และช่วยยับยั้งการเสื่อมเสียทางกายภาพ เคมีและชีวเคมี โยเกิร์ตผงที่ผ่านการทำแห้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันพบมากในอาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบและในระหว่างการเก็บรักษามีออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนจะรวมตัวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวอิสระเกิดเป็นไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและกลิ่นรสของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง (Liang, 2000) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อไขมันหรืออาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ polyunsaturated fatty acid อุณหภูมิในการเก็บ และระยะเวลาการเก็บเป็นปัจจัยที่สำคัญในการ

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Romeu-Nadal *et al*., 2007) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่เอมีนที่มีอยู่ในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน และโปรตีน (Block *et al*., 2003) การเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้สีเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล มีกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ และคุณค่าทางอาหารลดลง (Anema *et al*., 2006)

การหืน (rancidity) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นผิดปกติ สมบัติทางเคมีและกายภาพเกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ จากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซีสที่พันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ หรือลิพิดด้วยเอนไซม์ไลเพส ความร้อน กรดหรือด่าง และที่เกิดจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ทำให้กลิ่นและรสชาติของอาหารผิดปกติ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

Stapelfeldt, Nielsen และ Skibsted (1997) ศึกษาผลของความร้อนในการพาสเจอร์ไรซ์นม โดยแปรความร้อนเป็น low-heat (73 °C/ 20s) medium-heat (80 °C/ 20s) และhigh-heat (88 °C/ 20s) และอุณหภูมิในการเก็บรักษานมผงที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้เท่ากับ 0.33 0.23 และ 0.11 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้เท่ากับ 0.31 0.17 และ 0.11 ตามลำดับ พบว่าปริมาณ free radical มีปริมาณสูงที่สุดหลังจากเก็บนมผงเป็นเวลา 45 วัน ที่ 45 องศาเซลเซียส และพบว่าการใช้ความร้อนแบบ low-heat ทำให้มีปริมาณ free radical สูงที่สุด ส่วนปริมาณ thiobarbituric acid จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเก็บรักษานมผงเป็นเวลา 49 วัน ที่ 45 องศาเซลเซียส

Anema และคณะ (2006) ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา milk protein concentrate (MPC) ที่มีผลต่อการละลายของ MPC โดยเก็บรักษา MPC ใน airtight bags ที่อุณหภูมิ 20 30 35 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน พบว่าเมื่อเก็บรักษา MPC ที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานผลิตภัณฑ์จะมีการละลายลดลง เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้น นมผงจะเกาะเป็นก้อน ทำให้การละลายของนมผงลดลง สีและกลิ่นรสเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผง

2.8.1 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้

ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในอาหาร ดังนั้น การลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อทำให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ลดต่ำลง จึงเป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และลดการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้นเมื่อมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่า 0.25 ส่วนปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเมื่อมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้อยู่ในช่วง 0.3 - 0.4 และเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วเมื่อมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้สูงกว่า 0.8 เพราะความชื้นหรือปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นช่วยทำให้เอนไซม์และสับสเตรตเคลื่อนย้ายได้ง่าย (Schebor *et al*., 1999)

2.8.2 กรรมวิธีการทำแห้ง

การทำแห้งผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงจะเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นและกลิ่นรสเปลี่ยนแปลง

พรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ (2538) ศึกษาผลการทำแห้งโยเกิร์ตแบบพ่นกระจายเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้โยเกิร์ตผงมีคุณภาพด้านสี อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียแลคติก และคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีกว่าการทำแห้งแบบพ่นกระจาย อุณหภูมิที่ใช้แช่แข็งและทำแห้งในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แต่มีผลต่อปริมาณความชื้นและอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียแลคติกของโยเกิร์ตผง เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้น จะทำให้ความชื้นและอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียแลคติกลดลง การเก็บรักษาโยเกิร์ตผงในถุง polyethylene tetrachloride/ aluminium/ polypropylene ในภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ตลอด 10 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี กลิ่นรส ความเปรี้ยว และเนื้อสัมผัส แต่อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียแลคติกและคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสลดลงเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น

2.8.3 ชนิดของบรรจุภัณฑ์

การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับอาหารมีความสำคัญต่อคุณภาพของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มพลาสติกจะมีราคาถูกและน้ำหนักเบา การเลือกใช้พลาสติกทำบรรจุภัณฑ์จะต้องศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกให้เหมาะสมต่อภาวะการใช้งาน โดยจะต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี บรรจุภัณฑ์สุญญากาศ (vacuum

pakage) เป็นการลดปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Kumar and Mishra, 2004b) และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา

Kumar และ Mishra (2004b) ศึกษาการเก็บรักษา mango soy fortified set yoghurt (MSFY) ที่ผ่านการทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งด้วยลมร้อน แล้วเก็บรักษาในฟิล์มพลาสติก 2 ชนิดคือ high density polypropylene (HDPP) และ aluminium laminated polyethylene (ALP) ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 54 วัน พบว่าเมื่อเก็บรักษาโยเกิร์ตผงนานขึ้น ปริมาณความชื้นจะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ทำให้ปริมาณ free fatty acid thiobarbituric acid และ hydroxymethyl furfural มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา สีของโยเกิร์ตผงจะเข้มมากขึ้น กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น และพบว่า MSFY ที่เก็บรักษาใน ALP เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้อยกว่าที่เก็บรักษาใน HDPP

2.8.4 สิ่งแวดล้อมภายนอก

สิ่งแวดล้อมภายนอก จะมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีในอาหาร และการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จะต้องเลือกบรรจุภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม

2.8.4.1 ออกซิเจนสามารถทำปฏิกิริยากับไขมันในอาหาร ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดกลิ่นหืนและเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนสามารถเจริญเติบโต ทำให้คุณภาพของอาหารเกิดการเสื่อมเสีย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

2.8.4.2 อุณหภูมิในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาเคมีในอาหาร และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นรสได้รวดเร็ว และเร่งการสลายตัวของสารให้กลิ่นเฉพาะตัวในผลิตภัณฑ์ อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้เพิ่มสูงขึ้น (Stapelfeldt *et al*., 1997)

2.8.4.3 แสงและรังสี (radiant energy) เช่น visible light แสงอัลตราไวโอเลตและแกมมาเรดิเอชัน มีผลช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น ทำให้อาหารสูญเสียกลิ่นรสที่ดี และแสงสามารถทำลายคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามินซี ในผลิตภัณฑ์ให้สูญเสียได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี

วัตถุดิบ

- นมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ตราโฟร์โมสต์ ไขมันร้อยละ 3.10 (บริษัท โฟร์โมสต์ อาหารนม กรุงเทพ จำกัด)
- นมผงพร่องมันเนย ที่ผ่านการทำแห้งโดยกระบวนการ spray drying ตรามิชชั่น (Mission, New Zealand)
- หัวเชื้อโยเกิร์ต *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* รหัส YC-380 (Chr. Hansen, Denmark) ซื้อจาก บริษัท อี๊สต์เอเชียติ๊ก ประเทศไทย จำกัด มหาชน
- Gelatin (National Starch and Chemical Ltd., Thailand)
- Modified starch (National Starch and Chemical Ltd., Thailand) จากแป้งมันสำปะหลังดัดแปลงด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์ผลิตโยเกิร์ตและโยเกิร์ตผง

- เครื่องแช่แข็ง (Sanyo รุ่น MDF-263, Japan)
- เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Heto Dry winner รุ่น DW 8-85, Denmark)

- ตู้บ่มเชื้อ อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส (Memmert รุ่น W350, Germany)
- หม้อนึ่งความดัน (Sanyo รุ่น MLS-2400, Japan) เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm
- Hand refractometer (ATAGO รุ่น N1, Japan)

อุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

- กระดาษกรอง เบอร์ 1 (Whatman, England)
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BA2 100s, Germany)
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield รุ่น DV-I, USA)
- เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Aqua Lab รุ่น 3TE, USA)
- เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter รุ่น CR-300, Japan)
- ตู้อบลมร้อน (Binder รุ่น E-53, USA)
- โถดูดความชื้น
- Scanning electron microscopy (SEM: JEOL รุ่น JSM-5410 LV, Japan) ส่งตรวจที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง pH meter (Cyberscan 1000, Singapore)
- ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนประกอบด้วย Digestion unit (Buchi รุ่น K-424, Switzerland) และ Distillation unit (Buchi รุ่น B-324, Switzerland)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เตาเผา (Muffle furnace รุ่น CWF 1200, England)
- Differential scanning calorimeter (DSC: NETZSCH รุ่น 204 F1, Germany)

  ส่งตรวจที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Gas chromatography (GC: Shimadzu รุ่น 7 AG, JAPAN) คอลัมน์ชนิด

  polyethylene glycol ขนาด 20 m x 0.32 mm x 0.25 µm (Shimadzu, Japan)

  ส่งตรวจที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยา

- เครื่องนับโคโลนี (SUNTEX รุ่น S560, Taiwan)
- จานเลี้ยงเชื้อ
- ตะเกียงแอลกอฮอล์
- ตู้บ่มเชื้อ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (Memmert รุ่น W350, Germany)
- ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
- Anaerobic jar (Merck, Germany)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

- กรดซัลฟุริกเข้มข้น (J.T. Baker, USA)
- กรดบอริก (Ajax Finechem, Australia)
- กรดไฮโดรคลอริก (Ajax Finechem, Australia)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ajax Finechem, Australia)

- ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst-selenium mixture: Merck, Germany)
- ฟีนอล์ฟทาลีน (Mallinckrodt, Mexico)
- อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar (Merck, Germany)
- อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth (Merck, Germany)
- อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA (Merck, Germany)
- อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA (Merck, Germany)
- Acetaldehyde (Riedel-de Haen, Germany)
- methyl red - methylene blue (Merck, Germany)

อุปกรณ์บรรจุ และบรรจุภัณฑ์

- เครื่องปิดผนึก (WEBO MATIC รุ่น D-448, Germany)
- ถุงพลาสติกชนิด aluminium laminated polyethylene (บริษัท ฟิล์มมาสเตอร์ จำกัด) ขนาดกว้าง 13 cm และยาว 17 cm ขนาดกว้าง 13 cm และยาว 17 cm มีค่า water vapor transmission rate เท่ากับ 1.64 g/m^2/day ที่ 37.8 องศาเซลเซียส, 90%RH N_2 และ ค่า heat seal strength เท่ากับ 5.076 – 5.803 kgf ที่ 170 องศาเซลเซียส, 1 kgf/ 1 sec

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่เหมาะสมในน้ำนมต่อคุณภาพโดยรวมของโยเกิร์ต

3.1.1 การเตรียมเชื้อโยเกิร์ต ตามวิธีของ Ongol และคณะ (2007)

เชื้อเริ่มต้นที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตในงานวิจัยนี้ เป็นเชื้อผสมระหว่าง *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* รหัส YC 380 ของบริษัท Hansen ประเทศ Denmark ที่ทำแห้งโดยวิธีการแช่เยือกแข็ง เตรียมเชื้อโยเกิร์ตโดยเลี้ยงเชื้อในนมผงพร่องมันเนยคืนรูปร้อยละ 16 w/v ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิให้เหลือ 42 องศาเซลเซียส เพื่อให้เหมาะแก่การเจริญของแบคทีเรียแลคติก ใส่เชื้อโยเกิร์ตทางการค้าร้อยละ 1 w/v บ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง เนื่องจากในการทดลองเบื้องต้นการเลี้ยงเชื้อในภาวะนี้ทำให้ได้เชื้อเริ่มต้นที่เหมาะแก่การผลิตโยเกิร์ต โดยมีเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 9.42±0.03 log cfu/ml

3.1.2 การผลิตโยเกิร์ต

ต้มนมไขมันเต็มที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในหม้ออะลูมิเนียม ปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมให้ได้ร้อยละ 20 โดยเติมนมผงพร่องมันเนยร้อยละ 7 w/w จากนั้นศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต 2 ชนิด คือ gelatin และ modified starch แปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1 w/w หลังการเติมสารคงตัวลงในน้ำนมคนส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นบรรจุลงในถ้วยพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 cm และสูง 8.5 cm ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลดอุณหภูมิลงให้ได้ประมาณ 42 องศาเซลเซียส เติมเชื้อแบคทีเรียแลคติกที่เตรียมไว้ความเข้มข้นร้อยละ 3 v/v ต่อ 1 ถ้วย หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เนื่องจากในการทดลองเบื้องต้นการหมักน้ำนมเป็นเวลา 8 ชั่งโมง ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.2 และปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกเท่ากับร้อยละ 0.9 จากนั้นเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ดังนี้

3.1.3 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

3.1.3.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

- ความหนืด ตามวิธีของ Yazici และ Akgun (2004) ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield รุ่น DV-I, USA) ใช้หัววัดหมายเลข 4

ความเร็วรอบ 100 rpm ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 90 วินาที บันทึกหน่วยเป็นเซนติพอยส์

- ปริมาณของแข็งทั้งหมด แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก
- ปริมาณความชื้น แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก
- การแยกตัวของหางนม (syneresis) ตามวิธีของ Kumar และ Mishra (2004a) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก
- ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter รุ่น CR 300, Japan) โดยใช้ระบบ Hunter บันทึกค่า L (lightness) a (redness) b (yellowness)
- ตรวจสอบโครงสร้างโดยใช้ scanning electron microscopy (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

3.1.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- ค่าความเป็นกรดด่าง ด้วยเครื่อง pH meter (Cyberscan 1000, Singapore)
- ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.1.3.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่แตกต่างกัน โดยใช้ผู้ทดสอบแบบกึ่งฝึกฝนจำนวน 12 คน ทดสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ทางด้านสี กลิ่นรส การแยกตัวของหางนม เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบชนิด Quantitative Descriptive Analysis (QDA) with scoring ทดลอง 2 ซ้ำ ซึ่งมีระดับคะแนน 1 ถึง 5 (1 หมายถึง ไม่ยอมรับมาก, 5 หมายถึง ยอมรับมาก) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.2 การผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงและการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหลังการทำแห้ง

3.2.1 การผลิตโยเกิร์ตผงโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

นำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีส่วนผสมของชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 3.1 มาทำแห้งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง โดยเทโยเกิร์ตใส่ถาดพลาสติก (ยาว 23 cm กว้าง 15 cm และสูง 2.5 cm) เกลี่ยโยเกิร์ตให้บางสม่ำเสมอ ให้มีความหนาประมาณ 0.5 cm นำถาดที่ใส่โยเกิร์ตใส่ในถุงพลาสติกปิดให้สนิท แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้โยเกิร์ตเกิดผลึกน้ำแข็ง ซึ่งเป็นการแช่แข็งแบบช้า จากนั้นใส่ถาดโยเกิร์ตที่แช่แข็งแล้วในเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำแห้งที่อุณหภูมิประมาณ -30 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 0.35 hPa (35 Pa) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 48 เมช เพื่อให้โยเกิร์ตผงมีขนาดใกล้เคียงกัน

3.2.2 การคืนรูปผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผง

ตรวจสอบลักษณะการคืนรูปของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่ผลิตได้โดยผสมกับน้ำต้มสุก ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 w/w ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส (ลินจง สุขลำภู, ไกรวุฒิ นุชประมูล และนรากร ศรีสุข, 2549) คนให้เนื้อเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเกณฑ์การคืนรูปต้องการให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนการทำแห้งมากที่สุด ซึ่งในทดลองเบื้องต้นโยเกิร์ตผงคืนรูปในอัตราส่วนนี้จะมีความหนืดใกล้เคียงโยเกิร์ตทางการค้ามากที่สุด และมีปริมาณการแยกตัวของหางนมน้อย

3.2.3 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติมชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากข้อ 3.1 ทั้งก่อนการทำแห้งและภายหลังผ่านการคืนรูป รวมทั้งเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้า ดังต่อไปนี้

3.2.3.1 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เช่นเดียวกับการทดลองข้อ 3.1.3.1

3.2.3.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก เช่นเดียวกับการทดลองข้อ 3.1.3.2
- ปริมาณโปรตีน โดย Kjeldahl method แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข
- ปริมาณ ไขมัน โดย Babcock method แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข
- ปริมาณเถ้า แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข

- ปริมาณ acetaldehyde โดยใช้ Gas chromatography คอลัมน์ชนิด polyethylene glycol ขนาด 20 m x 0.32 mm x 0.25 µm, injection temperature: 220 องศาเซลเซียส, carrier gas: N_2, column flow rate: 40 มิลลิลิตร/นาที

3.2.3.3 ตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์

- ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค
- ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต แสดง รายละเอียดในภาคผนวก ค
- ปริมาณยีสต์และรา แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

3.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของโยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

เก็บรักษาโยเกิร์ตผงในถุง aluminium laminated polyethylene (ALP) ขนาดกว้าง 13 cm และยาว 17 cm มีค่า water vapor transmission rate เท่ากับ 1.64 g/m^2/day ที่ 37.8 องศาเซลเซียส, 90%RH N_2 และค่า heat seal strength เท่ากับ 5.076 – 5.803 kgf ที่ 170 องศาเซลเซียส, 1 kgf/ 1 sec บรรจุถุงละ 100 กรัม ภายใต้ภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และที่อุณหภูมิห้อง ในช่วงเดือนมีนาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2550 ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของโยเกิร์ตผงทุก 2 สัปดาห์ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสีย ดังนี้

3.3.1.1 ปริมาณความชื้น เช่นเดียวกับการทดลองข้อ 3.1.3.1

3.3.1.2 ค่าสี เช่นเดียวกับการทดลองข้อ 3.1.3.1 และคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี (ΔE) ตามวิธีของ Kumar และ Mishra (2004b) ดังสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \qquad (2.1)$$

3.3.1.3 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้

3.3.1.4 ค่า glass transition temperature (Tg) โดยใช้ Differential scanning calorimeter (DSC) ใช้ aluminium DSC pan ตรวจสอบที่อุณหภูมิ -20 ถึง 80 องศาเซลเซียส

3.3.1.5 ตรวจสอบโครงสร้างโดยใช้ scanning electron microscopy (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

ข้อ 3.3.1.1 3.3.1.2 และ 3.3.1.3 วางแผนการทดลองแบบ 2×8 Factorial Design with CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงเป็นปัจจัยในการศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

คืนรูปผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาในถุง aluminium laminated polyethylene ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้องโดยผสมโยเกิร์ตผงกับน้ำต้มสุกในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 w/w ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คนให้เนื้อเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตผงคืนรูปทุก 2 สัปดาห์ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์หมดอายุ ดังนี้

3.3.2.1 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ความหนืด การแยกตัวของหางนม ปริมาณความชื้น และค่าสีเช่นเดียวกับการทดลองข้อ 3.1.3.1

3.3.2.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก และปริมาณ acetaldehyde เช่นเดียวกับการทดลองข้อ 3.2.3.2

3.3.2.3 ตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับการทดลองข้อ 3.2.3.3

วางแผนการทดลองแบบ 2×8 Factorial Design with CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงเป็นปัจจัยในการศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.3.2.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง โดยใช้ผู้ทดสอบแบบกึ่งฝึกฝนจำนวน 12 คน เพื่อทดสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ทางด้านสี กลิ่นรส การแยกตัวของหางนม เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบชนิด Quantitative Descriptive Analysis (QDA) with scoring ทดลอง 2 ซ้ำ ซึ่งมีระดับคะแนน 1 ถึง 5 (1 หมายถึง ไม่ยอมรับมาก, 5 หมายถึง ยอมรับมาก) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่เหมาะสมในน้ำนมต่อคุณภาพโดยรวมของโยเกิร์ต

4.1.1 คุณสมบัติของเชื้อเริ่มต้น

จากการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรียแลคติกทางการค้ารหัส YC 380 ของบริษัท Hansen ประเทศ Denmark ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตคือ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ภายหลังการหมักในนมผงพร่องมันเนยคืนรูปร้อยละ 16 w/v ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของแบคทีเรียแลคติก

แบคทีเรียแลคติก	ค่าความเป็นกรดด่าง pH	ปริมาณกรดในรูปกรดแลกติก (ร้อยละ)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น (log cfu/ml)
L. bulgaricus และ *S. thermophilus*	3.90 ± 0.01	1.43 ± 0.01	9.42 ± 0.03

เชื้อเริ่มต้นที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตมีปริมาณแบคทีเรีย *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* รวม 9.42 log cfu/ml ซึ่งมีปริมาณเหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ต เนื่องจากผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตได้โดยเติมเชื้อแบคทีเรียแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 3 v/v หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกเท่ากับ 10^8 cfu/ml ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 10^6 - 10^8 cfu/ml (Ongol *et al*., 2007)

4.1.2 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

จากการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ได้แก่ ค่าความหนืด ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณความชื้น ปริมาณการแยกตัวของหางนม และค่าสี ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 4.3 4.4 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าความหนืด (เซนติพอยส์) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

ความเข้มข้นของสารคงตัว ร้อยละ (w/w)	ชนิดของสารคงตัว	
	gelatin	modified starch
0	$543.46^{f} \pm 2.27$	$543.46^{e} \pm 2.27$
0.2	$566.93^{e} \pm 2.30$	$558.53^{e} \pm 6.50$
0.4	$680.93^{d} \pm 7.60$	$592.13^{d} \pm 12.45$
0.6	$717.47^{c} \pm 3.71$	$614.27^{c} \pm 5.74$
0.8	$1197.60^{b} \pm 8.65$	$715.47^{b} \pm 13.88$
1.0	$2010.80^{a} \pm 17.75$	$806.93^{a} \pm 7.48$

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

จากการวัดความหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า ความเข้มข้นของสารคงตัวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเติม gelatin มีผลต่อค่าความหนืดมากกว่า modified starch จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมสารคงตัวซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุมในการทดลองนี้ จะมีค่าความหนืดต่ำที่สุดเพียง 543.46 เซนติพอยส์ เมื่อเติมสารคงตัวลงในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต พบว่าค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีค่าสูงขึ้นและเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคงตัวทั้งสองชนิด ทั้งนี้เนื่องจากสารคงตัวมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดีและสามารถจับตัวกับโปรตีนและส่วนประกอบในน้ำนมเป็นโครงร่างแห จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างที่หนาแน่นและแข็งแรงมากขึ้น (Tamime and Robinson, 1999) จากคุณสมบัติดังกล่าว

ทำให้สารคงตัวมีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต สามารถปรับปรุง เนื้อสัมผัส เพิ่มความหนืด และให้ความคงตัวแก่ผลิตภัณฑ์ (Koksoy and Kilic, 2004; Everett and Mcleod, 2005)

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า ที่ความเข้มข้นเท่ากัน gelatin มีอิทธิพลต่อค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมากกว่า modified starch และเมื่อเติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะมีค่าความหนืดสูงถึง 1197.60 เซนติพอยส์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้าที่ใช้เปรียบเทียบในการทดลองนี้ ซึ่งมีค่าความหนืดเท่ากับ 1367.96 เซนติพอยส์ แต่เมื่อเติม gelatin สูงกว่า ร้อยละ 0.8 w/w จะทำให้โยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสเป็นก้อนแข็งคล้ายวุ้น ในขณะที่การเติม modified starch ทุกระดับความเข้มข้นทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีค่าความหนืดต่ำกว่าการใช้ gelatin ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ajam และคณะ (1993) ที่พบว่า การเติม agar ร้อยละ 0.3 – 0.6 w/v ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีความหนืดที่ดี และ การเติม gelatin ร้อยละ 1 – 2 w/v สามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เพิ่มความหนืด และลดการแยกตัวของหางนมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้ดี เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Fiszman และ คณะ(1999) ซึ่งศึกษาผลการเติม gelatin ในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต พบว่าเมื่อเติม gelatin ร้อยละ 1.5 w/w จะทำให้โครงสร้างของโยเกิร์ตเปลี่ยนแปลง โดยมีโครงร่างแหที่เกิดจาก gelatin เชื่อมอนุภาคของโปรตีนเคซีนเข้าด้วยกัน ทำให้โครงสร้างมีความหนาแน่นและเนื้อสัมผัสมีความหนืดสูงขึ้น

การที่ gelatin สามารถเพิ่มความหนืดให้แก่ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้สูงกว่า modified starch เนื่องจาก gelatin มีประจุลบที่สามารถจับกับประจุบวกบนผิวของโปรตีนเคซีน การจับตัวลักษณะนี้จะทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงมากขึ้น และ gelatin มีคุณสมบัติในการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์อาหาร ส่วน modified starch มีประจุเป็นกลาง จึงจับตัวกับส่วนประกอบในนมเป็นโครงร่างแห ซึ่งมีความแข็งแรงน้อย (Tamime and Robinson, 1999; Schonbrun, 2002)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

ความเข้มข้นของสารคงตัว	ชนิดของสารคงตัว	
ร้อยละ (w/w)	gelatin	modified starch
0	$20.30^{f} \pm 0.01$	$20.30^{f} \pm 0.01$
0.2	$20.57^{e} \pm 0.07$	$20.53^{e} \pm 0.07$
0.4	$20.95^{d} \pm 0.03$	$20.77^{d} \pm 0.06$
0.6	$21.34^{c} \pm 0.07$	$21.52^{c} \pm 0.03$
0.8	$21.79^{b} \pm 0.04$	$22.04^{b} \pm 0.10$
1.0	$22.54^{a} \pm 0.10$	$22.69^{a} \pm 0.05$

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

จากการตรวจสอบปริมาณของแข็งทั้งหมดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า ความเข้มข้นของสารคงตัวทั้งสองชนิดมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคงตัวทั้งสองชนิด โดยเพิ่มจากร้อยละ 20.30 ในตัวอย่างโยเกิร์ตสูตรควบคุม เป็นร้อยละ 22.54 และ 22.69 เมื่อเติม gelatin และ modified starch ร้อยละ 1.0 w/w ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตสามารถเพิ่มความหนาแน่นและความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ (Fiszman *et al*., 1999; Gonzalez-Martinez *et al*., 2002)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

ความเข้มข้นของสารคงตัว ร้อยละ (w/w)	ชนิดของสารคงตัว	
	gelatin	modified starch
0	$80.01^{a} \pm 0.13$	$80.01^{a} \pm 0.13$
0.2	$79.53^{b} \pm 0.19$	$79.65^{b} \pm 0.21$
0.4	$78.79^{c} \pm 0.17$	$78.79^{c} \pm 0.22$
0.6	$78.37^{d} \pm 0.14$	$78.40^{d} \pm 0.12$
0.8	$77.75^{e} \pm 0.15$	$77.66^{e} \pm 0.22$
1.0	$76.57^{f} \pm 0.10$	$77.15^{f} \pm 0.04$

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

จากการตรวจสอบปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า ความเข้มข้นของสารคงตัวทั้งสองชนิด มีผลต่อการลดลงของปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคงตัวทั้งสองชนิดจะทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตลดลงและลดลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคงตัว ทั้งนี้เนื่องจากสารคงตัวมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี สามารถจับตัวกับโปรตีนในนม เชื่อมโยงเป็นโครงร่างแหและลดการเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์ได้ (Tamime and Robinson, 1999; Maroziene and Kruif, 2000) และการเพิ่มปริมาณสารคงตัวจะทำให้สัดส่วนของน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการแยกตัวของหางนม (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

ความเข้มข้นของสารคงตัว	ชนิดของสารคงตัว	
ร้อยละ (w/w)	gelatin	modified starch
0	29.78 [a] ± 0.16	29.78 [a] ± 0.16
0.2	19.22 [b] ± 0.29	21.91 [b] ± 0.36
0.4	17.88 [c] ± 0.59	20.46 [c] ± 0.38
0.6	16.09 [d] ± 0.44	18.57 [d] ± 0.19
0.8	14.66 [e] ± 0.23	17.18 [e] ± 0.38
1.0	4.33 [f] ± 0.40	15.48 [f] ± 0.37

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

จากการตรวจสอบปริมาณการแยกตัวของหางนมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า ความเข้มข้นของสารคงตัวมีผลต่อการลดลงของปริมาณการแยกตัวของหางนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเติม gelatin สามารถลดปริมาณการแยกตัวของหางนมได้มากกว่า modified starch จากผลการทดลองพบว่า การเติมสารคงตัวในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต สามารถลดปริมาณการแยกตัวของหางนมและลดลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคงตัว ทั้งนี้เนื่องจากสารคงตัวมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี สามารถจับตัวกับโปรตีนในนมเป็นโครงร่างแห และลดการเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์ (Tamime and Robinson, 1999; Maroziene and Kruif, 2000)

จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมสารคงตัว จะมีปริมาณการแยกตัวของหางนมสูงที่สุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 29.78 และที่ความเข้มข้นเท่ากัน การเติม gelatin สามารถลดปริมาณการแยกตัวของหางนมได้มากกว่า modified starch การเติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w สามารถลดปริมาณการแยกตัวของหางนมได้ดี โดยมีปริมาณการแยกตัวของหางนมเพียงร้อยละ 14.66 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้า ที่มีปริมาณการแยกตัวของหางนมร้อยละ 15.16 ในขณะที่การเติม modified starch ร้อยละ 0.8 w/w จะมีปริมาณการแยกของหางนมสูงถึงร้อยละ17.18 อย่างไรก็ตามแม้ว่าการเติม gelatin ร้อยละ 1.0 w/w ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณการแยกตัว

ของหางนมน้อยที่สุดเพียงร้อยละ 4.33 แต่เนื้อสัมผัสโยเกิร์ตจะมีลักษณะเป็นก้อนแข็งคล้ายวุ้น ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสไม่เหมาะสมต่อการบริโภค

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Schonbrun (2002) ที่ศึกษาคุณสมบัติของสารคงตัวในโยเกิร์ตพร้อมดื่ม ซึ่งพบว่าการเติม gelatin และ carboxymethylcellulose (CMC) สามารถลดการแยกตัวของน้ำได้ดี เนื่องจาก gelatin และ CMC มีประจุลบที่สามารถสร้างพันธะกับประจุบวกบนผิวของโปรตีนเคซีนได้ จึงทำให้เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตมีความแข็งแรงมากขึ้น

จากการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต คือ ความหนืด ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณความชื้นและปริมาณการแยกตัวของหางนม ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar และ Mishra (2004a) ซึ่งศึกษาการเติมสารคงตัวคือ gelatin pectin และ sodium alginate ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยแปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 0 0.2 0.4 และ 0.6 w/w พบว่าสารคงตัวสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้ และการเพิ่มความเข้มข้นของสารคงตัวทั้งสามชนิด ทำให้ความหนืดและปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นและการแยกตัวของหางนมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารคงตัวสามารถจับตัวกับโปรตีนเคซีนและส่วนประกอบในนมด้วยพันธะ hydrophobic จึงทำให้โยเกิร์ตมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

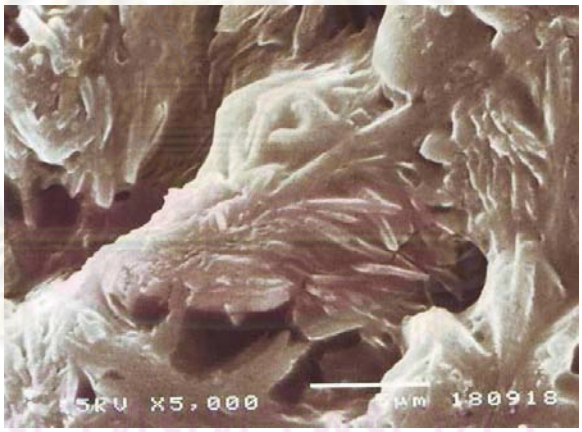
ความเข้มข้นของสารคงตัว ร้อยละ (w/w)	ชนิดของสารคงตัว					
	gelatin			modified starch		
	L^{ns}	a^{ns}	b^{ns}	L^{ns}	a^{ns}	b^{ns}
0	72.60 ± 1.39	-3.81 ± 0.24	10.87 ± 0.74	72.60 ± 1.39	-3.81 ± 0.24	10.87 ± 0.74
0.2	69.89 ± 1.76	-3.63 ± 0.53	10.80 ± 1.17	69.23 ± 1.48	-3.16 ± 0.31	9.65 ± 1.09
0.4	71.84 ± 1.06	-3.00 ± 0.21	10.75 ± 0.92	71.09 ± 1.80	-3.07 ± 0.13	10.43 ± 0.51
0.6	68.97 ± 1.68	-3.42 ± 0.56	10.59 ± 0.34	69.95 ± 0.80	-2.99 ± 0.28	10.94 ± 0.55
0.8	69.65 ± 1.94	-3.38 ± 0.45	10.02 ± 0.83	69.58 ± 0.31	-2.95 ± 0.11	10.26 ± 0.23
1.0	69.87 ± 0.58	-3.08 ± 0.48	10.67 ± 0.26	69.52 ± 1.34	-2.91 ± 0.35	10.59 ± 0.41

ns แสดงถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

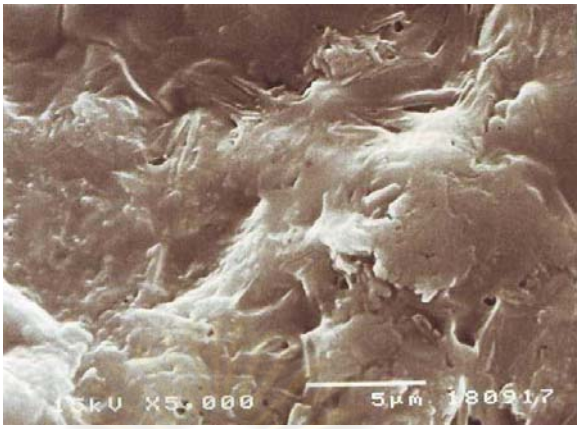
จากการวัดค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่ต่างกัน พบว่าชนิดของสารคงตัวและความเข้มข้นของสารคงตัวไม่มีอิทธิพลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่า L อยู่ในช่วง 68.97 ถึง 72.60 ค่า a อยู่ในช่วง -3.81 ถึง -2.91 และค่า b อยู่ในช่วง 9.65 ถึง 10.94 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตได้มีสีขาวใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า ซึ่งมีค่า L เท่ากับ 68.54 ค่า a เท่ากับ -3.04 และค่า b เท่ากับ 9.99 การที่ค่าสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นชนิดเดียวกันและใช้อัตราส่วนเท่ากัน ส่วนชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่แตกต่างกันมีส่วนผสมในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตในปริมาณน้อย จึงไม่ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเกิดการเปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมสารคงตัวและผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 w/w โดยใช้ scanning electron microscopy (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1



a. SEM ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมสารคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



b. SEM ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w

<u>รูปที่ 4.1</u> SEM ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

จากรูปที่ 4.1 a. แสดงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมสารคงตัว พบว่าโครงสร้างจะมีรูพรุนขนาดใหญ่ มีความหนาแน่นน้อย เนื่องจากไม่มีโมเลกุลของสารคงตัวไปเชื่อมโยงโปรตีนในน้ำนมเข้าเป็นโครงร่างแห ส่วนผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w ดังแสดงในรูปที่ 4.2 b. พบว่าโครงสร้างของผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นและมีรูพรุนน้อย โดย gelatin สามารถเชื่อมโยงโปรตีนเคซีนและส่วนประกอบต่างๆในผลิตภัณฑ์เป็นโครงร่างแห (Gallardo-Escamilla, Kelly and Delahunty, 2007) ซึ่งลักษณะโครงสร้างดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างโยเกิร์ตจับตัวกันหนาแน่นขึ้น สามารถเพิ่มความหนืดและลดการแยกตัวของหางนมในผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fiszman และคณะ (1999) ที่พบว่าโครงสร้างโยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมนมผงและgelatin จะมีรูพรุนที่ขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นน้อย แต่เมื่อเติม gelatin ลงในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต gelatin จะจับตัวกับโปรตีนเคซีนเป็นโครงร่างแห ทำให้โครงสร้างมีความหนาแน่นและแข็งแรงมากขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Gonzalez-Martinez และคณะ (2002) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยเติม milk whey powder skim milk powder และสารคงตัว ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีความหนาแน่นและความแข็งแรงขึ้น

4.1.3 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

ความเข้มข้นของสารคงตัว ร้อยละ (w/w)	ชนิดของสารคงตัว	
	gelatin ns	modified starch ns
0	4.18 ± 0.01	4.18 ± 0.01
0.2	4.19 ± 0.01	4.18 ± 0.01
0.4	4.18 ± 0.01	4.20 ± 0.01
0.6	4.20 ± 0.01	4.20 ± 0.01
0.8	4.19 ± 0.01	4.19 ± 0.01
1.0	4.19 ± 0.01	4.19 ± 0.01

ns แสดงถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

ความเข้มข้นของสารคงตัว	ชนิดของสารคงตัว	
ร้อยละ (w/w)	geletin [ns]	modified starch [ns]
0	1.12 ± 0.01	1.12 ± 0.01
0.2	1.13 ± 0.01	1.13 ± 0.03
0.4	1.15 ± 0.01	1.13 ± 0.01
0.6	1.13 ± 0.01	1.14 ± 0.03
0.8	1.13 ± 0.02	1.13 ± 0.01
1.0	1.12 ± 0.02	1.14 ± 0.02

ns แสดงถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวไม่มีอิทธิพลต่อค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.18 - 4.20 และปริมาณกรดในรูป กรดแลคติกอยู่ในช่วงร้อยละ 1.12 – 1.15 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Katsiari, Voutsinas และ Kondyli (2002); Kumar และ Mishra (2004a) และ Yazici และ Akgun (2004) ที่พบว่า ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 3.9 – 4.5 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการผลิตโยเกิร์ตในการทดลองนี้มีการควบคุมชนิดและปริมาณของแบคทีเรียแลคติก และกรรมวิธีการผลิตให้เหมือนกัน โดยใช้แบคทีเรีย *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ความเข้มข้นร้อยละ 3 v/v หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

4.1.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน โดยใช้ผู้ทดสอบแบบกึ่งฝึกฝนจำนวน 12 คน ทดสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ทางด้านสี การแยกตัวของหางนม กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบชนิด Quantitative Descriptive Analysis (QDA) with scoring ซึ่งมีระดับคะแนน 1 ถึง 5 (1 หมายถึง ไม่ยอมรับมาก, 5 หมายถึง ยอมรับมาก) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวต่างกัน (ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบกึ่งฝึกฝน)

ชนิดตัวอย่าง	สี ^{ns}	การแยกตัวของหางนม	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม
Control	4.38 ± 0.05	4.67^{b} ± 0.00	3.79^{c} ± 0.05	2.71^{de} ± 0.41	2.17^{g} ± 0.29
Gelatin 0.2 %	4.38 ± 0.05	4.88^{a} ± 0.05	3.83^{c} ± 0.35	2.58^{e} ± 0.05	2.67^{f} ± 0.17
Gelatin 0.4 %	4.33 ± 0.00	4.92^{a} ± 0.11	4.33^{ab} ± 0.00	3.50^{c} ± 0.23	3.17^{e} ± 0.17
Gelatin 0.6 %	4.54 ± 0.17	4.88^{a} ± 0.05	4.54^{a} ± 0.05	3.88^{bc} ± 0.17	3.83^{c} ± 0.41
Gelatin 0.8 %	4.67 ± 0.00	4.96^{a} ± 0.05	4.54^{a} ± 0.05	4.71^{a} ± 0.41	4.38^{a} ± 0.29
Gelatin 1.0 %	4.59 ± 0.05	4.96^{a} ± 0.05	4.12^{bc} ± 0.11	2.67^{de} ± 0.23	2.41^{fg} ± 0.41
Modified starch 0.2%	4.42 ± 0.00	4.79^{a} ± 0.05	4.12^{bc} ± 0.11	2.58^{e} ± 0.29	2.67^{f} ± 0.05
Modified starch 0.4%	4.54 ± 0.17	4.88^{a} ± 0.05	4.08^{bc} ± 0.11	3.04^{d} ± 0.05	3.04^{e} ± 0.05
Modified starch 0.6%	4.50 ± 0.00	4.96^{a} ± 0.05	4.50^{a} ± 0.00	3.63^{c} ± 0.05	3.50^{d} ± 0.05
Modified starch 0.8%	4.75 ± 0.05	4.92^{a} ± 0.05	4.50^{a} ± 0.05	4.12^{b} ± 0.05	3.96^{bc} ± 0.00
Modified starch1.0%	4.50 ± 0.17	4.79^{ab} ± 0.17	4.29^{ab} ± 0.00	4.17^{b} ± 0.23	4.21^{ab} ± 0.17

ns แสดงถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a,b,c,... ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

Control ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมสารคงตัว

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่าคะแนนเฉลี่ยด้านสี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 4.33 - 4.75 คะแนนเฉลี่ยด้านการแยกตัวของหางนมและกลิ่นรส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 4.67 - 4.96 และ 3.79 – 4.54 ตามลำดับ ส่วนคะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.58 – 4.17 จากผลการทดลองพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารคงตัว ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมสารคงตัวจะมีคะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุดเพียง 2.71 ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w จะมีคะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 4.71 และ 4.38 ตามลำดับ เนื่องจากมีเนื้อเนียนเป็นเนื้อเดียวกันและมีความหนืดที่เหมาะสม โดยมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้ามากที่สุด ในขณะที่ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 1.0 w/w มีคะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสเพียง 2.67 เนื่องจากผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสเป็นก้อนแข็งคล้ายวุ้น ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Koksoy และ Kilic (2004) ซึ่งศึกษาผลการเติมสารคงตัวได้แก่ high methoxyl pectin (HMP) ร้อยละ 0.25 w/w guar gum ร้อยละ 0.1 w/w locust bean gum (LBG) ร้อยละ 0.1 w/w และ gelatin ร้อยละ 0.25 w/w ในโยเกิร์ตพร้อมดื่ม ซึ่งพบว่าการเติมสารคงตัวสามารถเพิ่มคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ เนื่องจากสารคงตัวสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัส และให้ความคงตัวแก่โยเกิร์ตพร้อมดื่มได้ดี โดยคะแนนเฉลี่ยด้านการยอมรับโดยรวมของ LBG มีค่าสูงที่สุด ตามด้วย guar gum และ gelatin เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kumar และ Mishra (2004a) ซึ่งศึกษาผลการเติมสารคงตัวต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่าการเติม gelatin ช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัสและกลิ่นรสได้มากกว่าการเติม pectin และ sodium alginate และการเติม gelatin ร้อยละ 0.4 w/w ให้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด

จากผลการทดลองพบว่า การเติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w เป็นชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสที่เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีความหนืดที่ดี มีปริมาณการแยกตัวของหางนมน้อย และมีคะแนนเฉลี่ยด้านการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด ส่วนการเติม modified starch ผลิตภัณฑ์จะมีความหนืดน้อย มีปริมาณการแยกตัวของหางนม

มาก และมีคะแนนเฉลี่ยด้านการยอมรับโดยรวมต่ำกว่าการเติม gelatin ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w เป็นสูตรควบคุมในงานวิจัยขั้นต่อไป

4.2 คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหลังการทำแห้ง

จากผลการทดลองตอนที่ 4.1 สามารถเลือกชนิดและความเข้มข้นของสารคงตัวที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตคือ geletin ร้อยละ 0.8 w/w จากนั้นนำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เลือกได้มาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงและนำโยเกิร์ตผงมาคืนรูป โดยผสมโยเกิร์ตผงกับน้ำต้มสุกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 w/w ได้เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป เนื่องจากในการศึกษาเบื้องต้นโยเกิร์ตผงคืนรูปในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 w/w มีความหนืดใกล้เคียงโยเกิร์ตทางการค้ามากที่สุด และมีปริมาณการแยกตัวของหางนมน้อย จึงใช้อัตราส่วนนี้ในการทดลองตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ก่อนการทำแห้งและภายหลังการคืนรูปรวมทั้งเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้า

4.2.1 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

จากการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปที่ผสมโยเกิร์ตผงกับน้ำต้มสุกในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 และผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้า (commercial yoghurt) ได้แก่ค่าความหนืด ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณการแยกตัวของหางนม ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 และค่าสี ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนืด ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณการแยกตัวของหางนมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	ความหนืด (เซนติพอยส์)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	ปริมาณการแยกตัวของหางนม (ร้อยละ)
GY	$1217.47^{c} \pm 12.43$	$77.61^{b} \pm 0.09$	$21.63^{c} \pm 0.07$	$15.10^{a} \pm 0.11$
DY	$1293.87^{b} \pm 9.64$	$72.92^{c} \pm 0.16$	$26.64^{a} \pm 0.19$	$13.96^{b} \pm 0.10$
CY	$1367.96^{a} \pm 5.26$	$78.04^{a} \pm 0.07$	$22.15^{b} \pm 0.13$	$15.16^{a} \pm 0.25$

a,b และ c ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

GY ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w

DY ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป ที่ผสมโยเกิร์ตผงกับน้ำต้มสุกในอัตราส่วน 1 ต่อ 2

CY ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้า plain yoghurt ตรา ดัชชี่

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 พบว่าค่าความหนืด ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณการแยกตัวของหางนมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทั้งสามชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย CY มีค่าความหนืดสูงที่สุดเท่ากับ 1367.96 เซนติพอยส์ รองลงมาคือ DY มีความหนืดเท่ากับ 1293.87 เซนติพอยส์ ส่วน GY มีค่าความหนืดน้อยที่สุดเท่ากับ 1217.47 เซนติพอยส์

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า CY มีค่าปริมาณความชื้นสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 78.04 รองลงมาคือ GY มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 77.61 ส่วน DY มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด เพียงร้อยละ 72.92

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า DY มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 26.64 รองลงมาคือ CY มีปริมาณของแข็งทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 22.15 ส่วน GY มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 21.63

ส่วนปริมาณการแยกตัวของหางนมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า DY มีปริมาณการแยกตัวของหางนมน้อยที่สุดเพียงร้อยละ 13.96 เนื่องมาจาก DY มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โยเกิร์ตผงมีการดูดน้ำมาก จึงทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้อยลง ส่งผลให้การแยกตัวของหางนมเกิดในปริมาณน้อย ส่วน CY และ GY มีปริมาณการแยกตัวของหางนมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือเท่ากับร้อยละ 15.16 และ 15.10 ตามลำดับ ปริมาณของแข็งทั้งหมดและความชื้นของโยเกิร์ตผงคืนรูปขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการคืนรูปด้วย (Buckley *et al*., 2000)

ตารางที่ 4.11 ค่าสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	ค่า L	ค่า a ^{ns}	ค่า b ^{ns}
GY	70.46 ^{a} ± 0.27	-2.96 ± 0.31	9.94 ± 0.29
DY	70.88 ^{a} ± 0.16	-2.95 ± 0.25	9.73 ± 0.22
CY	68.54 ^{b} ± 1.16	-3.04 ± 0.18	9.99 ± 0.36

ns แสดงถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)
a และ b ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการวัดสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทั้งสามชนิด พบว่าค่า L ของ GY DY และ CY แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยค่า L ของ GY และ DY มีค่าใกล้เคียงกันคือ 70.46 และ 70.88 ตามลำดับ ส่วน CY จะมีค่า L เท่ากับ 68.54 ส่วนค่า a และ b ของผลิตภัณฑ์ทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตก่อนการทำแห้งและหลังการคืนรูป พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากความร้อนในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่สูงมาก และทำแห้งที่ความดันต่ำในภาวะสุญญากาศ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดได้น้อย ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงแม้ภายหลังการทำแห้ง (Sharma and Arora, 1995) ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Buckley และคณะ (2000) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโยเกิร์ตผงคืนรูปหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตก่อนการทำแห้งและโยเกิร์ตผงคืนรูปไม่มีความแตกต่างกัน

จากการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า GY มีค่าความหนืด ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณความชื้นแตกต่างจาก CY เพียงเล็กน้อย ส่วนปริมาณการแยกตัวของหางนม และค่าสีของ GY และ CY ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) GY ที่

ผลิตได้มีคุณภาพทางกายภาพใกล้เคียงกับ CY ส่วน DY ที่ผสมโยเกิร์ตผงกับน้ำต้มสุกในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 w/w จะมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับ CY และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นและปริมาณการแยกตัวของหางนมมีปริมาณต่ำกว่า CY และ GY การคืนรูปโยเกิร์ตผงโดยผสมโยเกิร์ตผงกับน้ำต้มสุกในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 จะมีความหนืดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้ามากที่สุด ค่าสี L a b ไม่เปลี่ยนแปลง และมีปริมาณการแยกตัวของหางนมน้อย

4.2.2 **คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต**

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป และผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้า plain yoghurt ตราดัชชี่ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก และปริมาณ acetaldehyde ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 และผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก และปริมาณ acetaldehyde ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	ค่าความเป็นกรดด่าง pH	ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก (ร้อยละ)	ปริมาณ acetaldehyde (ppm)
GY	$4.17^{b} \pm 0.01$	$1.13^{b} \pm 0.01$	$15.58^{b} \pm 1.98$
DY	$4.10^{c} \pm 0.01$	$1.15^{a} \pm 0.00$	$9.57^{c} \pm 1.22$
CY	$4.25^{a} \pm 0.01$	$0.98^{c} \pm 0.01$	$18.91^{a} \pm 2.46$

a,b และ c ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.12 พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทั้งสามชนิดมีค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย CY มีค่าความเป็นกรดด่างสูงที่สุดเท่ากับ 4.25 รองลงมาคือ GY และ DY ซึ่งมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.17 และ 4.10 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดในรูปของกรดแลคติก พบว่า DY มีปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.15 รองลงมาคือ GY และ CY ซึ่งมีปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกเท่ากับร้อยละ 1.13 และ 0.98 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทั้งสามชนิดมีปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกแตกต่างกัน อาจเนื่องจากชนิดและปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิต ระยะเวลาการหมักและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน (Tamime and Robinson, 1999) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Buckley และคณะ (2000) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโยเกิร์ตผงคืนรูปหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกของโยเกิร์ตผงคืนรูปขึ้นกับปริมาณน้ำที่ใช้คืนรูปด้วย

Acetaldehyde เป็นสารให้กลิ่นรสที่สำคัญของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีกลิ่นรสเฉพาะตัวที่ดี ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสที่ดีจะมีปริมาณ acetaldehyde เท่ากับ 10 - 15 ppm (Schonbrun, 2002) เมื่อพิจารณาปริมาณ acetaldehyde พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทั้งสามชนิดมีปริมาณ acetaldehyde แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย CY มีปริมาณ acetaldehyde สูงที่สุดเท่ากับ 18.91 ppm รองลงมาคือ GY มีปริมาณ acetaldehyde เท่ากับ 15.58 ppm ส่วน DY มีปริมาณ acetaldehyde ต่ำที่สุดเพียง 9.57 ppm ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีปริมาณ acetaldehyde ลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก acetaldehyde เป็นสารระเหยที่ให้กลิ่นรส ซึ่งอาจเกิดการระเหยในระหว่างขั้นตอนการแช่แข็งที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง และการทำแห้งที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง โดย Tamime และ Robinson (1999) กล่าวว่า acetaldehyde เป็นสารระเหยที่ให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ซึ่งจะเกิดการสูญเสียหลังจากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 5 – 10 องศาเซลเซียส ได้ และลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

ตารางที่ 4.13 ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมันและปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า ^{ns} (ร้อยละ)
GY	$6.19^{a} \pm 0.25$	$1.67^{a} \pm 0.15$	0.82 ± 0.04
DY	$6.32^{a} \pm 0.20$	$1.63^{a} \pm 0.15$	0.81 ± 0.04
CY	$4.35^{b} \pm 0.25$	$1.40^{b} \pm 0.10$	0.84 ± 0.03

ns แสดงถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a,b และ c ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.13 พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทั้งสามชนิดมีปริมาณโปรตีนและไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนพบว่า GY และ DY มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกันเท่ากับร้อยละ 6.19 และ 6.32 ตามลำดับ ส่วน CY มีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 4.35 และพบว่า GY และ DY มีปริมาณไขมันใกล้เคียงกันเท่ากับร้อยละ 1.67 และ 1.63 ตามลำดับ ส่วน CY มีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 1.40 เมื่อพิจารณาปริมาณเถ้า พบว่าโยเกิร์ตทั้งสามชนิดมีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดย GY DY และCY มีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 0.82 0.81 และ 0.84 ตามลำดับ ซึ่งวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งยังคงรักษาปริมาณโปรตีน และไขมันของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหลังการทำแห้งไว้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

จากการตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียแลคติก แบคทีเรียทั้งหมด และยีสต์และรา ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป และผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้า (plain yoghurt) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	ปริมาณแบคทีเรียแลคติก log cfu/g	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด log cfu/g	ปริมาณยีสต์และรา log cfu/g
GY	$10.27^{b} \pm 0.01$	$10.28^{b} \pm 0.03$	ตรวจไม่พบ
DY	$9.32^{c} \pm 0.02$	$9.32^{c} \pm 0.01$	ตรวจไม่พบ
CY	$10.33^{a} \pm 0.05$	$10.34^{a} \pm 0.01$	ตรวจไม่พบ

a,b และ c ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทั้งสามชนิดมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกและแบคทีเรียทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย CY มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกสูงที่สุดเท่ากับ 10.33 log cfu/g รองลงมาคือ GY ซึ่งมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกเท่ากับ 10.27 log cfu/g ส่วน DY จะมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกต่ำที่สุดเท่ากับ 9.32 log cfu/g ทั้งนี้เนื่องจากโยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์จะต้องผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง และทำแห้งที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ซึ่งเป็นภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการอยู่รอดของเชื้อแบคทีเรียแลคติก การแช่แข็งที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแลคติกเกิดการบาดเจ็บและเสียหายได้ (Saarela *et al*., 2006) ทำให้ความสามารถในการควบคุมการซึมผ่านของผนังเซลล์เสียไป เนื่องจากโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์เสียสภาพ คุณสมบัติในการยืดหยุ่นเสียไป และโครงสร้างของ nucleic acid เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย (Broadbent and Lin, 1999) และนอกจากนี้แบคทีเรียแลคติกอาจเกิดการบาดเจ็บและตายในระหว่างการทำแห้ง (Venir *et al*., 2007)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของพรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ (2538) ซึ่งศึกษาผลการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกลดลงจาก 7.83 log cfu/ml เหลือ 6.36 log cfu/ml ภายหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส และทำแห้งที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Capela และคณะ (2006) ที่พบว่าเชื้อแบคทีเรีย probiotic และเชื้อแบคทีเรียแลคติกของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเมื่อผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากในระหว่างการทำแห้งแบคทีเรียอาจบาดเจ็บและตายได้ และการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ และอุณหภูมิที่สูงในการเก็บรักษาจะมีผลต่อการลดลงของปริมาณแบคทีเรียแลคติก

ส่วนปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกับแบคทีเรียแลคติก ซึ่งอธิบายได้ว่าแบคทีเรียในโยเกิร์ตส่วนมากเป็นแบคทีเรียแลคติกและกระบวนการหมักทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกสูง จึงไม่เหมาะสมแก่การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น (Capela *et al*., 2006) โดย CY จะมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดสูงที่สุดคือ 10.34 log cfu/g GY มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดเท่ากับ 10.28 log cfu/g ส่น DY มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกลดลงเหลือ 9.32 log cfu/g และไม่พบการเจริญของยีสต์และราในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของโยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา ที่เก็บรักษาในถุง aluminium laminated polyethylene ถุงละ 100 กรัม ในภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ และปริมาณความชื้น ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$0.32^{p} \pm 0.00$	$0.32^{p} \pm 0.00$
2	$0.33^{o} \pm 0.00$	$0.34^{n} \pm 0.00$
4	$0.34^{n} \pm 0.01$	$0.36^{m} \pm 0.00$
6	$0.37^{i} \pm 0.01$	$0.46^{f} \pm 0.00$
8	$0.38^{k} \pm 0.00$	$0.50^{e} \pm 0.01$
10	$0.39^{j} \pm 0.00$	$0.54^{d} \pm 0.00$
12	$0.40^{i} \pm 0.00$	$0.58^{c} \pm 0.00$
14	$0.42^{h} \pm 0.00$	$0.61^{b} \pm 0.00$
16	$0.43^{g} \pm 0.00$	$0.63^{a} \pm 0.00$

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$5.60^{k} \pm 0.01$	$5.60^{k} \pm 0.01$
2	$5.66^{k} \pm 0.01$	$6.21^{h} \pm 0.07$
4	$5.67^{k} \pm 0.04$	$6.89^{g} \pm 0.18$
6	$5.75^{jk} + 0.02$	$7.75^{f} \pm 0.08$
8	$5.83^{j} \pm 0.02$	$8.82^{e} \pm 0.03$
10	$5.85^{j} \pm 0.30$	$9.52^{d} \pm 0.03$
12	$5.87^{j} \pm 0.04$	$10.05^{c} \pm 0.12$
14	$6.04^{i} \pm 0.02$	$10.84^{b} \pm 0.10$
16	$6.14^{hi} \pm 0.01$	$11.76^{a} \pm 0.20$

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

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้และปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้สูงกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.32 เป็น 0.43 และ 0.63 เมื่อเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้องตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณความชื้นมากกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงมีปริมาณความชื้นเพิ่มจากร้อยละ 5.60 เป็นร้อยละ 6.14 และ 11.76 เมื่อเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ ลักษณะโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น เป็นเวลา16 สัปดาห์ ยังคงเป็นผงไม่เกาะเป็นก้อน ส่วนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โยเกิร์ตผงจะจับตัวเป็นก้อนแข็ง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจเกิดจาก

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายนอกมีค่าเท่ากับร้อยละ 54 ซึ่งมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับร้อยละ 32 จึงทำให้ความชื้นจากภายนอกแพร่ผ่านบรรจุภัณฑ์เข้าสู่ภายในอาหาร (นิธิยา รัตนานนท์, 2545) และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ค่า water vapor transmission rate ของบรรจุภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น ความชื้นสามารถแพร่ผ่านบรรจุภัณฑ์ได้มากขึ้น และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงเป็นการเร่งการเกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีการปล่อยน้ำอิสระออกมาในผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงมากขึ้น ส่วนลักษณะโยเกิร์ตผงที่จับตัวเป็นก้อนแข็งในระหว่างการเก็บรักษา อาจเกิดจากไขมันที่ผิวด้านนอกของอนุภาคโยเกิร์ตผงเกิดการจับตัวและรวมตัวกัน (Foster, Bronlund and Paterson, 2005)

เนื่องจากการทำแห้งผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทำได้หลายวิธี ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้ง Kumar และ Mishra (2004b) ได้ศึกษาผลของการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงที่ทำแห้งด้วยลมร้อนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ในถุง aluminium laminated polyethylene โดยพบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.18 เป็นร้อยละ 7.77 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 49 วัน ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงมีสีเข้มขึ้นและกลิ่นรสเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นของโยเกิร์ตผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในระหว่างกรเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวัดค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.17 4.18 และ 4.19

ตารางที่ 4.17 ค่า L ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$69.65^{bcd} \pm 0.84$	$69.65^{bcd} \pm 0.84$
2	$70.01^{abc} \pm 1.23$	$68.13^{cde} \pm 0.56$
4	$70.22^{ab} \pm 1.35$	$67.97^{de} \pm 0.55$
6	$70.68^{ab} \pm 1.75$	$67.34^{e} \pm 1.45$
8	$71.58^{ab} \pm 1.29$	$65.52^{f} \pm 1.22$
10	$70.92^{ab} \pm 1.28$	$63.97^{fg} \pm 0.50$
12	$70.77^{ab} \pm 0.78$	$62.52^{g} \pm 1.53$
14	$71.45^{ab} \pm 1.23$	$62.34^{g} \pm 0.27$
16	$71.85^{a} \pm 0.90$	$62.74^{g} \pm 0.73$

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ค่า a ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$-2.63^{h} \pm 0.04$	$-2.63^{h} \pm 0.04$
2	$-2.44^{efgh} \pm 0.21$	$-2.52^{fgh} \pm 0.31$
4	$-2.21^{cdef} \pm 0.10$	$-1.95^{cd} \pm 0.18$
6	$-2.25^{cdefg} \pm 0.19$	$-2.03^{cd} \pm 0.07$
8	$-2.50^{efgh} \pm 0.48$	$-2.05^{cd} \pm 0.03$
10	$-2.15^{cde} \pm 0.15$	$-2.04^{cd} \pm 0.05$
12	$-2.31^{defgh} \pm 0.28$	$-1.88^{c} \pm 0.17$
14	$-2.59^{gh} \pm 0.18$	$6.08^{b} \pm 0.18$
16	$-2.66^{h} \pm 0.15$	$8.32^{a} \pm 0.11$

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

ตารางที่ 4.19 ค่า b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$11.25^{gh} \pm 0.38$	$11.25^{gh} \pm 0.38$
2	$10.89^{hi} \pm 0.47$	$10.96^{hi} \pm 0.50$
4	$10.33^{hi} \pm 0.13$	$11.96^{fg} \pm 0.76$
6	$10.90^{hi} \pm 0.22$	$12.42^{ef} \pm 0.31$
8	$10.69^{hi} \pm 0.05$	$13.08^{de} \pm 0.37$
10	$10.99^{hi} \pm 0.25$	$13.51^{d} \pm 0.19$
12	$10.25^{hi} \pm 0.38$	$14.49^{c} \pm 0.19$
14	$10.38^{hi} \pm 0.21$	$22.96^{b} \pm 1.78$
16	$9.98^{i} \pm 0.06$	$29.63^{a} \pm 0.31$

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวัดค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L a b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L a b มากกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นการเปลี่ยนแปลงค่าสีจะเพิ่มมากขึ้น

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีความสว่างเพิ่มจาก 69.65 เป็น 71.85 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ส่วนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีความสว่างลดลงจาก 69.65 เป็น 62.74 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์

เมื่อพิจาราณาค่า a พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงมีค่า a เปลี่ยนแปลงจาก -2.63 เป็น -2.66 และ 8.32 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ

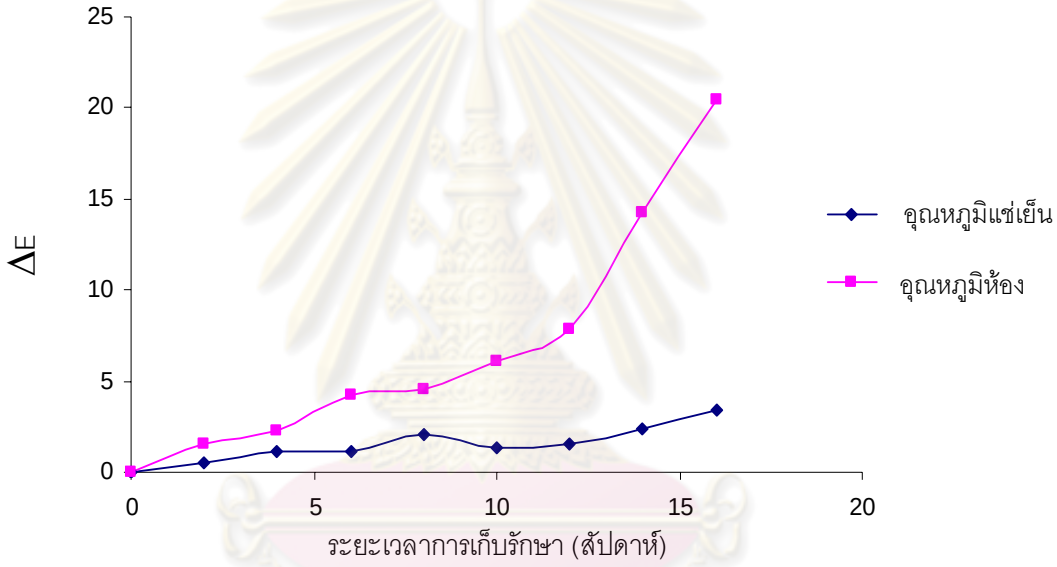
ส่วนสีเหลืองของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีค่าลดลงจาก 11.25 เป็น 9.98 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นจะมีสีเหลืองลดลงและมีความสว่างมากขึ้น ทำให้มีสีซีดลงเล็กน้อยเมื่อเก็บไว้นาน ส่วนสีเหลืองของโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เพิ่มขึ้นจาก 11.25 เป็น 29.63 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ โดยโยเกิร์ตผงจะมีความสว่างลดลง มีสีแดงเพิ่มขึ้นและสีเหลืองเพิ่มขึ้น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มมากขึ้นจากสีขาวกลายเป็นสีน้ำตาลอ่อน ภายหลังเก็บไว้นาน 12 สัปดาห์

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของโปรตีนโดยเฉพาะ lysine จึงทำให้เกิดสารสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ (Block *et al*., 2003; Anema *et al*., 2006) การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารนั้นขึ้นกับความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Stapelfeldt *et al*., 1997) ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่มีปริมาณความชื้นสูง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งจะส่งผลต่อสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

Kumar และ Mishra (2004b) ได้ศึกษาผลของการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงที่ทำแห้งด้วยลมร้อน โดยเก็บรักษาในถุง aluminium laminated polyethylene ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 49 วัน พบว่าปริมาณความชื้นของโยเกิร์ตผงเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.18 เป็น ร้อยละ 7.77 จึงเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ส่งผลให้ค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยค่า L ลดลง ค่า a เพิ่มขึ้น และค่า b ลดลงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าสี L a b ของโยเกิร์ตผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยค่า L จะลดลง ค่า a เพิ่มขึ้น และค่า b

เพิ่มขึ้น ส่วนโยเกิร์ตผงที่เก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นจะมีค่า L จะเพิ่มขึ้น ค่า a เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และค่า b ลดลง

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษาในถุง aluminium laminated polyethylene ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ โดยคำนวณความแตกต่างของสีเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ 0 สัปดาห์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของโยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง

จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงมี ΔE สูงขึ้นเมื่อผ่านการเก็บรักษานานขึ้นทั้งสองอุณหภูมิ โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมี ΔE สูงกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น โดยเพิ่มจาก 0.55 เป็น 3.40 และ 20.48 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้องตามลำดับ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar และ Mishra (2004b) ซึ่งศึกษาผลของการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงที่ทำแห้งด้วยลมร้อน ในถุง aluminium laminated polyethylene ที่อุณหภูมิ

38 องศาเซลเซียส พบว่าโยเกิร์ตผงมีค่า ΔE สูงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยเพิ่มจาก 0.56 เป็น 26.27 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 49 วัน

นอกจากนี้ ในการทดลองนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า glass transition temperature (Tg) โดยใช้ Differential scanning calorimeter (DSC) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง ทุก 4 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่า Tg (องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	30.1	30.1
4	30.4	27.7
8	30.6	27.0
12	30.9	27.9
16	30.9	26.8

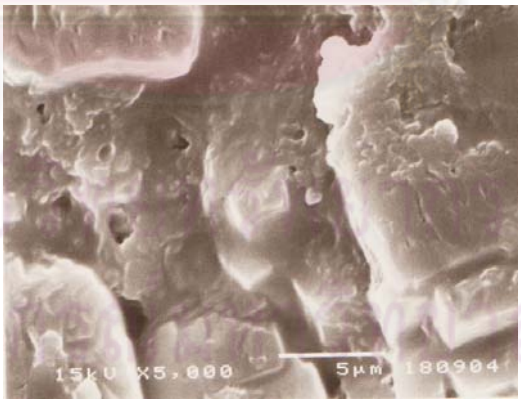
ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากผงแห้งจับตัวเป็นก้อน จาก glassy state เปลี่ยนเป็น rubbery state เนื่องจากความชื้นที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในผลิตภัณฑ์ (Noisuwan *et al.*, 2008) ซึ่งทำให้ค่า Tg ของผลิตภัณฑ์ลดลง การตรวจสอบค่า Tg ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่า Tg เป็นอุณหภูมิที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนจาก glassy state ไปเป็น rubbery state ดังนั้นอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่ควรสูงกว่าค่า Tg เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา (Omar and Roos, 2007)

จากตารางที่ 4.20 พบว่าค่า Tg ของโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีค่าใกล้เคียงกันคือ 30.1 – 30.9 องศาเซลเซียส ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ส่วนค่า Tg ของโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีค่าลดลงจาก 30.1 องศาเซลเซียส เป็น 26.8 องศาเซลเซียส ภายหลัง

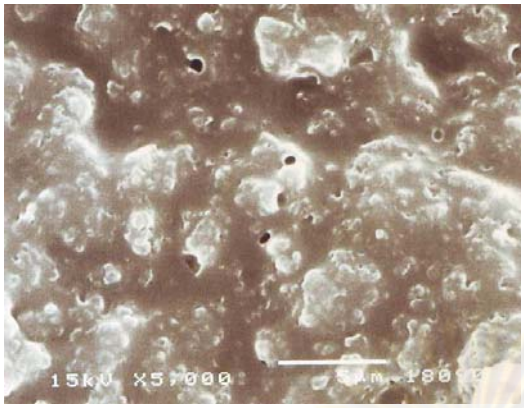
เก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ การที่ค่า Tg ลดลง เนื่องจากปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นในโยเกิร์ตผง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในผลิตภัณฑ์ ทำให้อุณหภูมิในการเปลี่ยนจาก glassy state ไปเป็น rubbery state ของโยเกิร์ตผงลดลง (Fitzpatrick *et al*., 2007) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นของโยเกิร์ตผงที่สูงขึ้นถึงร้อยละ 11.76 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส จากการทดลองนี้ควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 26.8 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Venir และคณะ (2007) ซึ่งได้ศึกษาค่า Tg ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า plain yoghurt มีค่า Tg เท่ากับ 48 องศาเซลเซียส ส่วนโยเกิร์ตผสม sucrose ร้อยละ 10 w/w มีค่า Tg เท่ากับ 54 องศาเซลเซียส และโยเกิร์ตผสม sucrose ร้อยละ 10 w/w กับ blueberries ร้อยละ10 w/w มีค่า Tg เท่ากับ 54 องศาเซลเซียส ซึ่งการเติม sucrose สามารถทำให้โยเกิร์ตผงมีความคงตัวมากขึ้น และผลิตภัณฑ์มีค่า Tg เพิ่มขึ้น

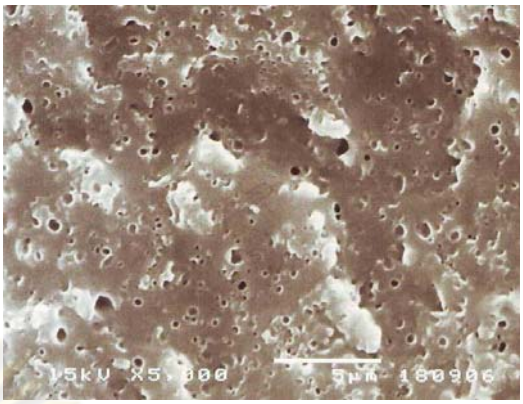
จากการศึกษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง ทุก 4 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ โดยใช้ scanning electron microcopy (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4



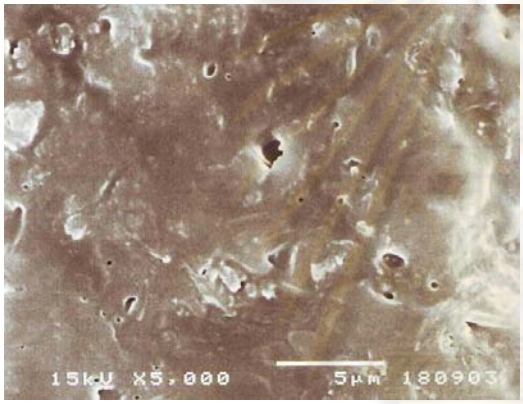
a



b



c

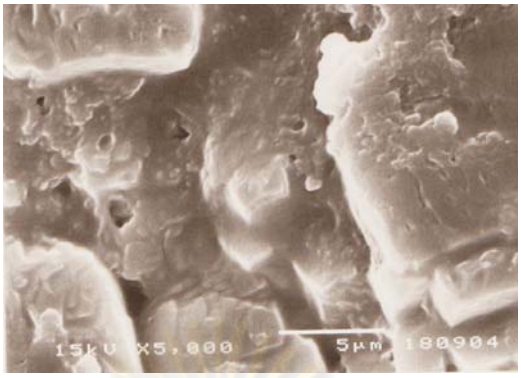


d

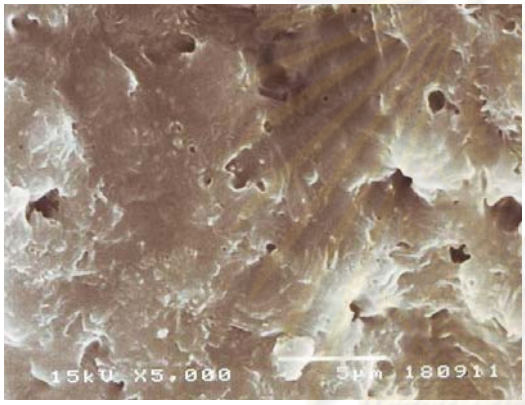
e

รูปที่ 4.3 SEM ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น เป็นระยะเวลา 0 4 8 12 และ 16 สัปดาห์ ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ดังแสดงในรูป a b c d และ e ตามลำดับ

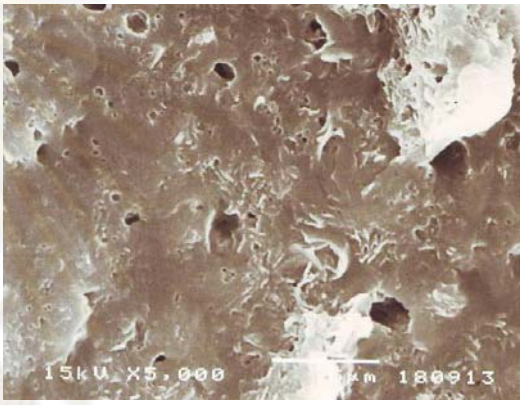
จากรูปที่ 4.3 พบว่าโครงสร้างของโยเกิร์ตผงเริ่มต้นและเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นเป็นเวลา 4 8 12 และ 16 สัปดาห์ แตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ลักษณะโยเกิร์ตยังคงเป็นผง การเคลื่อนที่ของน้ำเกิดขึ้นได้ช้า จึงทำให้โครงสร้างรูพรุนที่เกิดจากการระเหิดของน้ำแข็งในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่เปลี่ยนแปลง



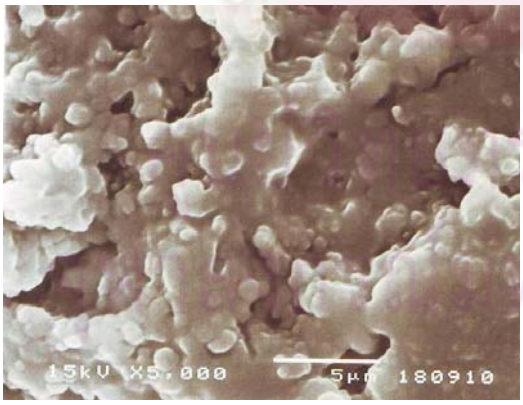
a



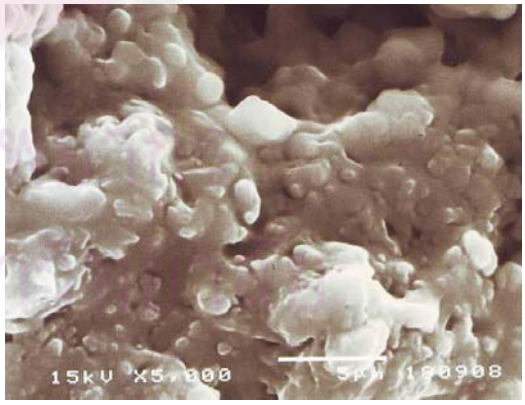
b



c



d



e

<u>รูปที่ 4.4</u> SEM ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0 4 8 12 และ 16 สัปดาห์ ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ดังแสดงในรูป a b c d และ e ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าโครงสร้างของโยเกิร์ตผงเริ่มต้นและเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 แตกต่างกันเล็กน้อย แต่พบการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 12 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้และปริมาณความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้โครงสร้างของโยเกิร์ตผงเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโครงสร้างรูพรุนของโยเกิร์ตผงจะยุบตัวลง

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.2.1 คุณภาพทางกายภาพของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

จากการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ได้แก่ ความหนืด ปริมาณความชื้น และปริมาณการแยกตัวของหางนม ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.21 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ค่าความหนืด (เซนติพอยส์) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$1308.13^{a} \pm 5.22$	$1308.13^{a} \pm 5.22$
2	$1302.93^{a} \pm 1.85$	$1298.53^{a} \pm 5.00$
4	$1296.40^{a} \pm 5.60$	$1214.93^{cd} \pm 3.00$
6	$1245.60^{b} \pm 5.01$	$1159.07^{e} \pm 1.22$
8	$1221.27^{c} \pm 7.51$	$1088.67^{f} \pm 3.26$
10	$1194.93^{d} \pm 2.27$	$958.40^{h} \pm 5.50$
12	$1141.33^{e} \pm 4.03$	$870.67^{i} \pm 2.81$
14	$1101.33^{f} \pm 5.75$	$647.47^{j} \pm 7.57$
16	$1043.60^{g} \pm 3.67$	$545.60^{k} \pm 5.11$

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

จากการวัดค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป พบว่าอุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการลดลงของค่าความหนืดของโยเกิร์ตผงคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่าโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าความหนืดลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น และลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีการจับตัวของอนุภาคโปรตีนด้วยพันธะ hydrophobic ลดลง โปรตีนและสารคงตัวจับตัวเป็นโครงร่างแหได้ไม่ดี (Anema *et al.*, 2006) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสเหลว โดยโยเกิร์ตผงคืนรูปจะมีค่าความหนืดลดลงจาก 1308.13 เซนติพอยส์ เป็น 1043.60 และ 545.60 เซนติพอยส์ ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 ปริมาณการแยกตัวของหางนม (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$14.05^{j} \pm 0.07$	$14.05^{j} \pm 0.07$
2	$14.09^{j} \pm 0.06$	$14.19^{hij} \pm 0.03$
4	$14.15^{ij} \pm 0.06$	$14.34^{gh} \pm 0.03$
6	$14.44^{fg} \pm 0.03$	$14.55^{ef} \pm 0.02$
8	$14.31^{ghi} \pm 0.04$	$14.68^{de} \pm 0.02$
10	$14.55^{ef} \pm 0.06$	$14.80^{d} \pm 0.04$
12	$14.76^{d} \pm 0.26$	$15.14^{c} \pm 0.03$
14	$14.83^{d} \pm 0.33$	$16.34^{b} \pm 0.12$
16	$15.15^{c} \pm 0.04$	$17.03^{a} \pm 0.03$

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

เมื่อพิจารณาปริมาณการแยกตัวของหางนมของโยเกิร์ตผงคืนรูป พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแยกตัวของหางนมในโยเกิร์ตผงคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า ค่าความหนืดมีความสอดคล้องกับปริมาณการแยกตัวของหางนม เนื่องจากค่าความหนืดที่ลดลงเป็นผลมาจากโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีการจับตัวของอนุภาคโปรตีนด้วยพันธะ hydrophobic ลดลง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เหลว ส่งผลให้เกิดการแยกตัวของหางนมในปริมาณสูงขึ้น (Anema *et al*., 2006; Schonbrun, 2002) โดยโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีปริมาณการแยกตัวของหางนมสูงกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 14.05 เป็นร้อยละ15.15 และ 17.03 ภายหลังเก็บไว้นาน16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.23 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$72.83^{ef} \pm 0.17$	$72.83^{ef} \pm 0.17$
2	$71.93^{g} \pm 0.26$	$72.16^{g} \pm 0.20$
4	$71.39^{hi} \pm 0.03$	$72.67^{f} \pm 0.05$
6	$71.77^{gh} \pm 0.33$	$72.78^{ef} \pm 0.06$
8	$71.17^{i} \pm 0.75$	$73.09^{ef} \pm 0.17$
10	$72.14^{g} \pm 0.37$	$73.69^{d} \pm 0.10$
12	$72.69^{f} \pm 0.02$	$74.15^{c} \pm 0.03$
14	$72.81^{ef} \pm 0.08$	$75.51^{b} \pm 0.07$
16	$73.16^{e} \pm 0.06$	$76.86^{a} \pm 0.15$

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

จากการตรวจสอบปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นในโยเกิร์ตคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณความชื้นสูงกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น โดยมีค่าเพิ่มจากร้อยละ 72.83 เป็นร้อยละ 73.16 และ 76.86 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ ปริมาณความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้นในโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากการจับตัวของโปรตีนด้วยพันธะ hydrophobic ในผลิตภัณฑ์ลดลง โปรตีน และสารคงตัวจับตัวเป็นโครงร่างแหได้ไม่ดี จึงทำให้การอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ลดลง ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เหลวมากขึ้น (Anema *et al.*, 2006) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดลดลง ลด ปริมาณความชื้น และการแยกตัวของหางนมเพิ่มสูงขึ้น

จากการวัดค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.24 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 ค่า L ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$68.89^{b} \pm 0.79$	$68.89^{b} \pm 0.79$
2	$70.73^{ab} \pm 0.49$	$71.35^{ab} \pm 1.03$
4	$71.70^{ab} \pm 2.62$	$68.70^{b} \pm 1.51$
6	$73.02^{a} \pm 3.34$	$69.87^{b} \pm 1.40$
8	$70.57^{ab} \pm 0.71$	$69.19^{b} \pm 0.52$
10	$69.25^{b} \pm 2.80$	$68.84^{b} \pm 0.99$
12	$69.67^{b} \pm 0.98$	$65.16^{c} \pm 1.84$
14	$69.09^{b} \pm 0.15$	$56.71^{d} \pm 1.24$
16	$70.59^{ab} \pm 0.78$	$46.81^{e} \pm 1.45$

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 ค่า a ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$-3.23^{f} \pm 0.15$	$-3.23^{f} \pm 0.15$
2	$-3.06^{f} \pm 0.06$	$-3.35^{f} \pm 0.21$
4	$-3.25^{f} \pm 0.34$	$-3.03^{f} \pm 0.09$
6	$-3.23^{f} \pm 0.16$	$-3.03^{f} \pm 0.03$
8	$-2.54^{e} \pm 0.39$	$-2.96^{f} \pm 0.27$
10	$-1.66^{c} \pm 0.32$	$-2.54^{e} \pm 0.14$
12	$-2.17^{de} \pm 0.32$	$-1.93^{cd} \pm 0.05$
14	$-2.17^{de} \pm 0.12$	$0.52^{b} \pm 0.02$
16	$-2.94^{f} \pm 0.04$	$1.10^{a} \pm 0.30$

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

ตารางที่ 4.26 ค่า b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$10.78^{c} \pm 0.41$	$10.78^{c} \pm 0.41$
2	$10.17^{d} \pm 0.29$	$10.10^{d} \pm 0.07$
4	$9.41^{f} \pm 0.24$	$9.88^{de} \pm 0.18$
6	$9.47^{ef} \pm 0.24$	$10.13^{d} \pm 0.29$
8	$9.39^{f} \pm 0.08$	$10.06^{d} \pm 0.13$
10	$8.20^{h} \pm 0.38$	$10.32^{d} \pm 0.21$
12	$8.62^{g} \pm 0.22$	$10.77^{c} \pm 0.26$
14	$8.03^{h} \pm 0.30$	$13.78^{b} \pm 0.16$
16	$7.88^{h} \pm 0.10$	$14.18^{a} \pm 0.35$

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

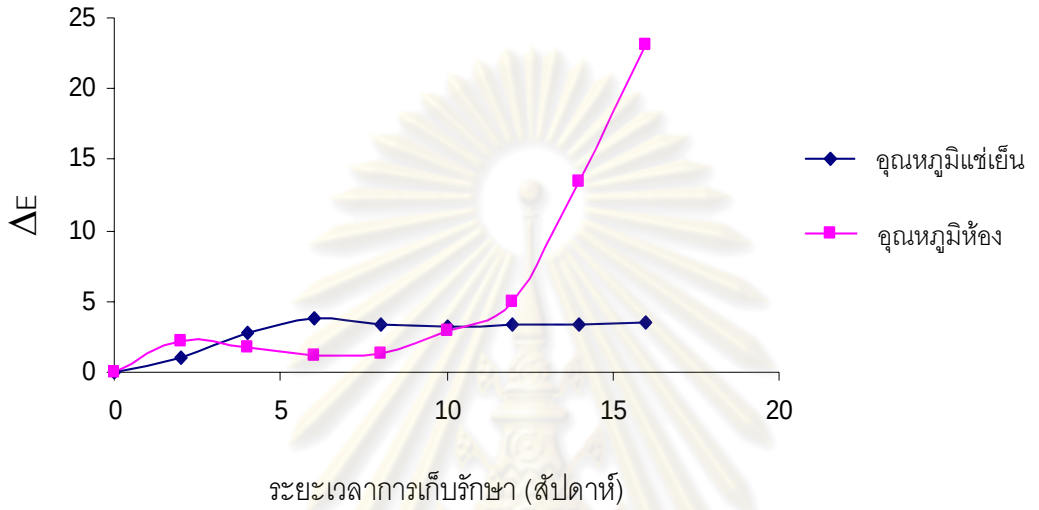
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวัดค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L a b ของโยเกิร์ตผงคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L a b มากกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น จากผลการทดลองพบว่า ความสว่างของโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีค่าเปลี่ยนจาก 68.89 เป็น 70.59 ภายหลังเก็บไว้นาน16 สัปดาห์ ส่วนที่อุณหภูมิห้องความสว่างลดลงจาก 68.89 เป็น 46.81 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ สีแดงของโยเกิร์ตผงคืนรูปมีค่าเพิ่มขึ้นจาก -3.23 เป็น -2.94 และ 1.10 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ ส่วนสีเหลืองของโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีค่าลดลงจาก 10.78 เป็น 7.88 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ส่วนที่อุณหภูมิห้องมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 10.78 เป็น 14.18 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์

โยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์จะมีสีขาวใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้น ส่วนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีความสว่างลดลง สีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์จะมีสีเข้มขึ้นจากสีขาวกลายเป็นสีน้ำตาลอ่อน ภายหลังเก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องจากหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลกับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของโปรตีน จึงทำให้เกิดสารสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ (Block *et al.*, 2003) ซึ่งมีผลทำให้สีและกลิ่นรสของโยเกิร์ตผงคืนรูปเกิดการเปลี่ยนแปลง (Omar and Roos, 2007)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง และคำนวณความแตกต่างของสีเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ 0 สัปดาห์ ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูป 4.5



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี ของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิห้อง

จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปมี ΔE สูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้นทั้งสองอุณหภูมิ โดยโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้อง มี ΔE สูงมากกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น โดยเพิ่มจาก 1.05 เป็น 3.51 และ 23.08 ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2.2 คุณภาพทางเคมีของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก และปริมาณ acetaldehyde ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.27 4.28 และ4.29

ตารางที่ 4.27 ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
(สัปดาห์)	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$4.12^{b} \pm 0.00$	$4.12^{b} \pm 0.00$
2	$4.10^{c} \pm 0.01$	$4.11^{bc} \pm 0.01$
4	$4.13^{a} \pm 0.00$	$4.12^{b} \pm 0.00$
6	$4.11^{bc} \pm 0.01$	$4.11^{bc} \pm 0.01$
8	$4.09^{d} \pm 0.01$	$4.08^{e} \pm 0.00$
10	$4.08^{e} \pm 0.00$	$4.05^{g} \pm 0.01$
12	$4.06^{f} \pm 0.00$	$4.02^{h} \pm 0.00$
14	$4.05^{g} \pm 0.01$	$4.01^{i} \pm 0.01$
16	$4.01^{l} \pm 0.01$	$3.99^{j} \pm 0.01$

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.28 ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$1.14^{ij} \pm 0.01$	$1.14^{ij} \pm 0.01$
2	$1.14^{ij} \pm 0.01$	$1.13^{i} \pm 0.01$
4	$1.14^{ij} \pm 0.01$	$1.15^{hi} \pm 0.01$
6	$1.16^{gh} \pm 0.01$	$1.15^{hi} \pm 0.01$
8	$1.17^{fg} \pm 0.00$	$1.18^{ef} \pm 0.01$
10	$1.17^{fg} \pm 0.00$	$1.19^{e} \pm 0.01$
12	$1.21^{d} \pm 0.00$	$1.23^{c} \pm 0.00$
14	$1.21^{d} \pm 0.00$	$1.23^{c} \pm 0.01$
16	$1.25^{b} \pm 0.01$	$1.27^{a} \pm 0.01$

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

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการในเก็บรักษามีผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.27 พบว่าโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าความเป็นกรดด่างลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น และลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น โดยผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปมีค่าความเป็นกรดด่างลดลงจาก 4.12 เป็น 4.01 และ 3.99 ภายหลังเก็บรักษาไว้นาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดในรูปของกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า โยเกิร์ตผงคืนรูปจะมีปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.14 เป็น 1.25 และ 1.27 ภายหลังเก็บไว้นาน 16

สัปดาห์ ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำลงอาจเกิดจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในอาหาร เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีการผลิต free fatty acid และ thiobarbituric acid ซึ่งมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรดด่างต่ำลงและคุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลง (Kumar and Mishra, 2004b) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ (2538) ซึ่งศึกษาผลการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ในถุง polyethylene tetrachloride/ aluminium/ polypropylene ที่อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าโยเกิร์ตผงคืนรูปจะมีค่าความเป็นกรดด่างต่ำลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษา แบคทีเรียแลคติกที่รอดชีวิตยังคงมีกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตให้สามารถอยู่รอดในระหว่างการเก็บรักษาได้ จึงมีการสะสมกรดแลคติกที่เกิดขึ้นในบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 4.29 ปริมาณ acetaldehyde (ppm) ของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	อุณหภูมิในการเก็บรักษา	
	อุณหภูมิแช่เย็น	อุณหภูมิห้อง
0	$9.57^{a} \pm 1.22$	$9.57^{a} \pm 1.22$
2	$5.68^{b} \pm 0.28$	$3.35^{cd} \pm 0.33$
4	$3.94^{c} \pm 0.18$	$1.61^{e} \pm 0.37$
6	$2.78^{d} \pm 0.67$	$0.65^{fg} \pm 0.15$
8	$1.68^{e} \pm 0.19$	$0.30^{g} \pm 0.10$
10	$1.49^{e} \pm 0.16$	-
12	$1.05^{ef} \pm 0.23$	-
14	$0.69^{fg} \pm 0.22$	-
16	$0.46^{fg} \pm 0.41$	-

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

- หมายถึง ตรวจไม่พบปริมาณ acetaldehyde

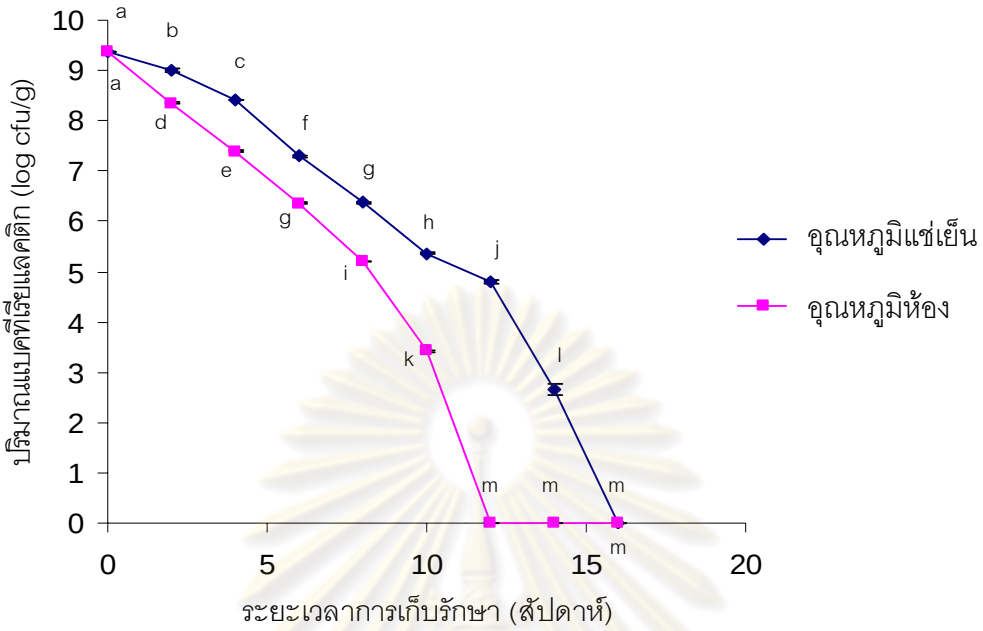
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์ปริมาณ acetaldehyde ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการลดลงของปริมาณ acetaldehyde ของโยเกิร์ตผงคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณ acetaldehyde ของโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น และลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น โดยโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นจะมีปริมาณ acetaldehyde ลดลงจาก 9.57 ppm เหลือ 0.46 ppm ภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ ส่วนที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณ acetaldehyde ลดลงจาก 9.57 ppm เหลือ 0.30 ppm ภายหลังเก็บไว้นาน 8 สัปดาห์ หลังจากนั้นตรวจไม่พบปริมาณ acetaldehyde เนื่องจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นรสได้รวดเร็ว และเร่งการสลายตัวของสารให้กลิ่นเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Buckley และคณะ (2000) ที่พบว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเก็บรักษานาน 6 เดือน คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น สีเข้มขึ้น มีกลิ่นหืน และสูญเสียกลิ่นรสที่ดีไป เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

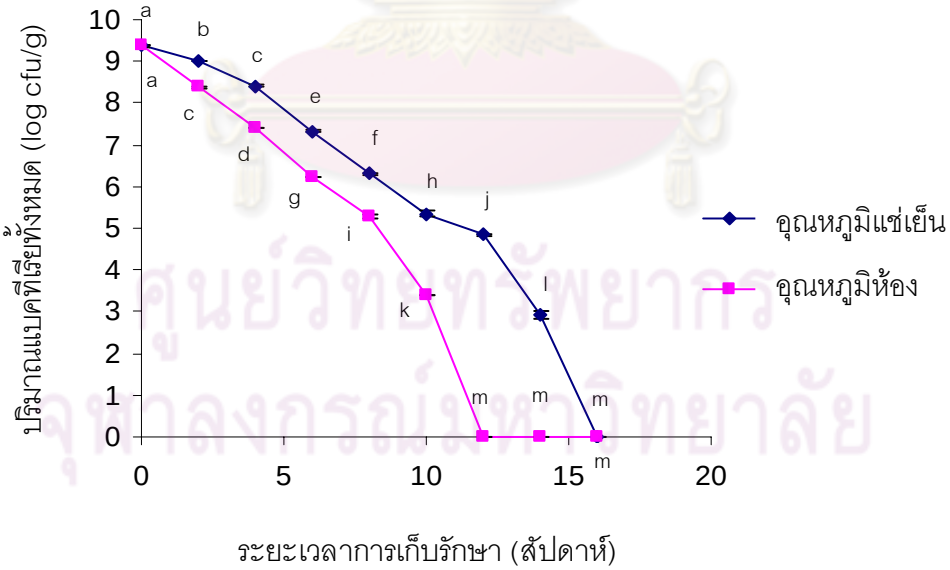
4.3.2.3 **คุณภาพทางจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษา**

จากการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ได้แก่ ปริมาณแบคทีเรียแลคติก แบคทีเรียทั้งหมด และยีสต์และรา ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ปริมาณแบคทีเรียแลคติกของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์



รูปที่ 4.7 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของโยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์

จากการตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียแลคติกของโยเกิร์ตผงคืนรูปพบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการลดลงของปริมาณแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตผงคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น และลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

จากรูปที่ 4.6 พบว่าโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาอุณหภูมิแช่เย็น มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกลดลงจาก 9.37 log cfu/g เป็น 2.66 log cfu/g ภายหลังเก็บไว้นาน 14 สัปดาห์ ส่วนในสัปดาห์ที่ 16 ไม่สามารถตรวจนับปริมาณแบคทีเรียแลคติกได้ คือมีจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียแลคติกที่นับได้น้อยกว่า 30 โคโลนี ส่วนที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณแบคทีเรียแลคติกลดลงจาก 9.37 log cfu/g เหลือ 3.42 log cfu/g ภายหลังเก็บไว้นาน 10 สัปดาห์ ส่วนในสัปดาห์ที่ 12 14 และ 16 ไม่สามารถตรวจนับปริมาณแบคทีเรียแลคติกได้ และจากการตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของโยเกิร์ตผงคืนรูป พบว่าอุณหภูมิ ระยะเวลาและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการลดลงของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในโยเกิร์ตผงคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น และลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดจะมีปริมาณใกล้เคียงกับแบคทีเรียแลคติก ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียในโยเกิร์ตส่วนมากเป็นแบคทีเรียแลคติก และกระบวนการหมักทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกสูง จึงไม่เหมาะสมแก่การเจริญของเชื้อชนิดอื่น (Capela *et al*., 2006) และไม่พบการเจริญของยีสต์และราในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป

ปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษานั้น อาจเกิดจากผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง แบคทีเรียแลคติกอาจได้รับบาดเจ็บและตายได้ในระหว่างการเก็บรักษา (พรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ, 2538) และในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ต้องผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ซึ่งผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นอาจทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแลคติกเกิดการเสียหาย (Saarela *et al*., 2006) ทำให้ความสามารถในการควบคุมการซึมผ่านของผนังเซลล์เสียไป และโครงสร้างของ nucleic acid เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย (Broadbent and Lin, 1999) และในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงมีผลต่อการลดลงของแบคทีเรียแลคติก อาจเนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ และอุณหภูมิไม่เหมาะสมกับการพักตัวและการอยู่รอดของแบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์ (Capela *et al*., 2006)

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปควรมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่มีชีวิตไม่ต่ำกว่า 10^5 cfu/ml (Donkor *et al*., 2006) จากผลการทดลองพบว่า โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น นาน 6 สัปดาห์ และที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์ จะมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่รอดชีวิตเท่ากับ 10^5 cfu/g และเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นานกว่านี้ ปริมาณแบคทีเรียแลคติกจะมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของพรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ (2538) ซึ่งศึกษาผลการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าปริมาณแบคทีเรียแลคติกลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น และโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่รอดชีวิตมากกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kumar และ Mishra (2004b) ซึ่งศึกษาผลการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงที่ทำแห้งด้วยลมร้อน แล้วเก็บรักษาในถุง aluminium laminated polyethylene ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงภายหลังการทำแห้งมีปริมาณแบคทีเรีย *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* เท่ากับ 1.75×10^8 cfu/g และ 1.28×10^8 cfu/g ตามลำดับ และ ลดลงเหลือ 3.7×10^4 cfu/g และ 9×10^3 cfu/g ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 35 วัน เนื่องจากปริมาณความชื้นและอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณของแบคทีเรียแลคติก และภาวะในการเก็บรักษาไม่เหมะสมต่อการอยู่รอดของแบคทีเรียแลคติก เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Venir และคณะ (2007) ซึ่งศึกษาผลการทำแห้งผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และพบว่าการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 45 วัน ปริมาณแบคทีเรียแลคติกจะลดลง 2 - 3 log cfu/ml

4.3.2.4 **คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูป**

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบกึ่งฝึกฝนจำนวน 12 คน ประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ทางด้านสี การแยกตัวของหางนม กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ด้วยแบบทดสอบชนิด QDA with scoring ซึ่งมีระดับคะแนน 1 ถึง 5 (1 หมายถึง ไม่ยอมรับมาก, 5 หมายถึง ยอมรับมาก) โดยใช้เกณฑ์ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์เมื่อคะแนนการยอมรับเฉลี่ยต่ำกว่า 3 คะแนนได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่4.30และ4.31ตามลำดับ

ตารางที่ 4.30 คะแนนทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบกึ่งฝึกฝน)

คุณลักษณะ	ระยะเวลา (สัปดาห์)								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
สี	$4.63^{abc}\pm0.05$	$4.75^{a}\pm0.00$	$4.67^{abc}\pm0.11$	$4.71^{ab}\pm0.02$	$4.67^{abc}\pm0.00$	$4.46^{abc}\pm0.17$	$4.46^{abc}\pm0.05$	$4.38^{bc}\pm1.29$	$4.33^{c}\pm0.11$
การแยกตัวของหางนม^{ns}	4.91 ± 0.00	4.91 ± 0.41	4.96 ± 0.05	4.88 ± 0.05	4.96 ± 0.06	4.96 ± 0.06	4.83 ± 0.11	4.83 ± 0.11	4.83 ± 0.17
กลิ่นรส	$4.38^{a}\pm0.47$	$4.21^{ab}\pm0.17$	$3.89^{cd}\pm0.05$	$3.96^{bc}\pm0.05$	$3.83^{cd}\pm0.11$	$3.75^{cd}\pm0.05$	$3.71^{cd}\pm0.00$	$3.58^{d}\pm0.11$	$3.20^{e}\pm0.11$
เนื้อสัมผัส	$4.50^{a}\pm0.11$	$4.50^{a}\pm0.11$	$4.25^{ab}\pm0.09$	$4.04^{b}\pm0.05$	$4.04^{b}\pm0.00$	$3.96^{b}\pm0.05$	$3.92^{b}\pm0.05$	$3.50^{c}\pm0.23$	$3.42^{d}\pm0.17$
การยอมรับโดยรวม	$4.17^{a}\pm0.17$	$4.17^{a}\pm0.17$	$3.96^{ab}\pm0.29$	$3.75^{bc}\pm0.23$	$3.75^{bc}\pm0.17$	$3.33^{d}\pm0.29$	$3.38^{cd}\pm0.11$	$3.17^{d}\pm0.11$	$3.13^{d}\pm0.23$

ns แสดงถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a,b,c,... ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.31 คะแนนทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตผงคืนรูป ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบกึ่งฝึกฝน)

คุณลักษณะ	ระยะเวลา (สัปดาห์)								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
สี	$4.63^{a}\pm0.05$	$4.29^{ab}\pm0.05$	$4.12^{b}\pm0.05$	$4.08^{b}\pm0.05$	$3.63^{c}\pm0.23$	$2.58^{d}\pm0.11$	$2.04^{e}\pm0.17$	$1.63^{f}\pm0.03$	$1.29^{f}\pm0.05$
การแยกตัวของหางนม	$4.91^{a}\pm0.00$	$4.71^{ab}\pm0.00$	$4.83^{a}\pm0.17$	$4.50^{bc}\pm0.00$	$4.46^{bc}\pm0.05$	$4.33^{c}\pm0.00$	$4.00^{d}\pm0.29$	$3.88^{d}\pm0.41$	$3.83^{d}\pm0.17$
กลิ่นรส	$4.38^{a}\pm0.47$	$3.88^{b}\pm0.29$	$3.83^{b}\pm0.41$	$3.58^{bc}\pm0.05$	$3.29^{cd}\pm0.41$	$3.00^{d}\pm0.17$	$2.38^{e}\pm0.11$	$1.75^{f}\pm0.33$	$1.62^{f}\pm0.05$
เนื้อสัมผัส	$4.50^{a}\pm0.11$	$4.29^{a}\pm0.17$	$4.17^{a}\pm0.11$	$3.59^{b}\pm0.29$	$3.25^{b}\pm0.29$	$2.50^{c}\pm0.11$	$1.92^{d}\pm0.11$	$1.54^{e}\pm0.17$	$1.25^{e}\pm0.00$
การยอมรับโดยรวม	$4.17^{a}\pm0.17$	$3.33^{bc}\pm0.00$	$3.46^{b}\pm0.17$	$3.45^{b}\pm0.29$	$3.08^{c}\pm0.05$	$2.71^{d}\pm0.05$	$1.92^{e}\pm0.11$	$1.54^{f}\pm0.05$	$1.33^{f}\pm0.11$

a,b,c,... ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.30 พบว่าคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง โดยความหนืดของโยเกิร์ตผงคืนรูปมีค่าลดลงเล็กน้อย สีของโยเกิร์ตผงคืนรูปยังคงมีสีขาว และเมื่อคืนรูปโยเกิร์ตผง ผลิตภัณฑ์ยังไม่เกิดการแยกตัวของหางนม ส่วนค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกของโยเกิร์ตผงคืนรูปเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จึงทำให้คุณภาพของโยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์ แต่เนื่องจากปริมาณแบคทีเรียแลคติกของโยเกิร์ตผงคืนรูปลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น และมีปริมาณต่ำกว่า 10^5 cfu/g ภายหลังเก็บไว้นาน 6 สัปดาห์ จึงหยุดการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตผงคืนรูปที่ 16 สัปดาห์

จากตารางที่ 4.31 จะเห็นว่าผู้ทดสอบไม่ยอมรับคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ภายหลังเก็บไว้นาน 10 สัปดาห์ เนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์จะเข้มขึ้นโดยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาล ทั้งนี้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา เช่นเดียวกับคะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับภายหลังเก็บไว้นาน 10 สัปดาห์ เนื่องจากค่าความหนืดของโยเกิร์ตผงคืนรูปลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เหลวไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นรสไม่เป็นที่ยอมรับที่เวลา 12 สัปดาห์ เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งส่งผลต่อสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (Kumar and Mishra, 2004b) และคะแนนเฉลี่ยการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปไม่เป็นที่ยอมรับภายหลังเก็บไว้นาน 10 สัปดาห์

การกำหนดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงจะพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตผงคืนรูป โดยโยเกิร์ตผงคืนรูปจะต้องมีสี ความหนืดและกลิ่นรสที่ดี ไม่เกิดการแยกตัวของหางนม เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และควรมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่มีชีวิตไม่ต่ำกว่า 10^5 cfu/ml (Donkor *et al*., 2006) จากผลการทดลองพบว่า โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น นาน 6 สัปดาห์ และที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์ จะมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่รอดชีวิตเท่ากับ 10^5 cfu/g ดังนั้นเมื่อใช้ปริมาณแบคทีเรียแลคติกเป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ พบว่า โยเกิร์ตผงมีอายุการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และมีอายุการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยในช่วงอายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การใช้สารคงตัว สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัส เพิ่มความหนืด ลดปริมาณการแยกตัวของหางนม และมีผลต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้ามากที่สุด โดยมีเนื้อสัมผัสเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีความหนืดที่ดี มีปริมาณการแยกตัวของหางนมน้อย และมีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8 w/w เมื่อผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง และทำแห้งที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง แล้วนำมาคืนรูป โดยผสมโยเกิร์ตผงกับน้ำต้มสุกในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้น การแยกตัวของหางนม และปริมาณ acetaldehyde ลดลง เมื่อเทียบกับโยเกิร์ตก่อนทำแห้ง ปริมาณแบคทีเรียแลคติกและแบคทีเรียทั้งหมดลดลง เนื่องจากแบคทีเรียเกิดการบาดเจ็บและตายในระหว่างการทำแห้ง ส่วนค่าสีของโยเกิร์ตผงคืนรูปไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับโยเกิร์ตก่อนการทำแห้ง

จากการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงระหว่างการเก็บรักษาในถุง aluminium laminated polyethylene ที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ในภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีคุณภาพทางกายภาพดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง โดยโยเกิร์ตผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ และปริมาณความชื้นสูงขึ้น ทำให้เป็นก้อนแข็ง สีเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลอ่อน เมื่อเก็บไว้นาน 12 สัปดาห์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างเก็บรักษา ทำให้สีและกลิ่นรสของโยเกิร์ตผงเปลี่ยนแปลง

ปริมาณแบคทีเรียแลคติกของโยเกิร์ตผงลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียแลคติกเกิดการบาดเจ็บและตายเมื่อผ่านการทำแห้งและการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงคืนรูปมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคภายหลังเก็บไว้นาน 10 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจาก สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่วนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคภายหลังเก็บไว้นาน 16 สัปดาห์

เมื่อพิจารณาปริมาณแบคทีเรียแลคติกของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตในระหว่างการเก็บรักษา ให้มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกไม่ต่ำกว่า 10^5 cfu/g ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงมีอายุการเก็บรักษานาน 6 และ 4

สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยในช่วงอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดี

ข้อเสนอแนะ

ใช้วิธีการตรึงเซลล์ ในการตรึงเซลล์แบคทีเรียแลคติกเพื่อใส่ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ให้แบคทีเรียแลคติกทนต่อภาวะการทำแห้งและการเก็บรักษาได้ดี และสามารถรอดชีวิตในปริมาณสูงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน

การทำแห้งโยเกิร์ตผงโดยวิธีแช่เยือกแข็งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ โดยผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงมีอายุการเก็บรักษานาน 6 และ 4 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยมีอายุการเก็บรักษานานกว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้ทำแห้งประมาณ 2 เท่า และสะดวกต่อการขนส่ง การจัดจำหน่ายและการเก็บรักษา และสามารถนำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงเป็นส่วนผสมกับผลิตภัณฑ์อื่นได้ เช่น ขนมอบ น้ำผลไม้ปั่น เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้ผลิตภัณฑ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 244 หน้า.

พรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ. 2538. ผลของการทำแห้งแบบเยือกแข็งและแบบพ่นฝอยต่อโยเกิร์ตพร้อมดื่ม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลินจง สุขลำภู ไกรวุฒิ นุชประมูล และนรากร ศรีสุข. 2549. การศึกษาคุณภาพของโยเกิร์ตผงรสชาเขียวในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 44: 176-183.

วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2532. เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 209 หน้า.

วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น. 500 หน้า.

สาธารณสุข, กระทรวง. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2548. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 289 (พ.ศ.2548). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 4 หน้า.

อิศรา วัฒนนภาเกษม. 2546. การพัฒนาโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภาษาอังกฤษ

Afonso, I.M. and Maia, J.M. 1999. Rheological monitoring of structure evolution and development in stirred yoghurt. Journal of Food Engineering. 42: 183-190.

Ajam, N., Foong, C.Y. and Benjamin, P. 1993. Yoghurt production from local cow's milk in Malaysia. ASEAN Food Journal. 8: 117-121.

Anema, S.G., Pinder, D.N., Hunter, R.J. and Hemar, Y. 2006. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). Food Hydrocolloids. 20: 386-393.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Block, J.D., Merchiers, M., Mortier, L., Braekman, A., Ooghe, W. and Renterghem, R.V. 2003. Monitoring nutritional quality of milk powders: capillary electrophoresis of the whey protein fraction compared with other methods. International Dairy Journal.13: 87-94.

Broadbent, J.R. and Lin, C. 1999. Effect of heat shock or cold shock treatment on the resistance of *Lactococcus lactis* to freezing and lyophilization. Cryobiology. 39: 88-102.

Buckley, D., Bui, P., Faruk, T., Lovato, E., Mcclure, S. and Patterson, L. 2000. The sensory effects of calcium-fortification on fresh, retorted, freeze-dried, and rehydrated freeze-dried strawberry yoghurt and the sensory effects of retorting and freeze-drying on strawberry yoghurt. Food Science &Technology. 9: 56-66.

Capela, P., Hay, T.K.C. and Shah, N.P. 2006. Effect of cryoprotectants, probiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze-dried yoghurt. Food Research International. 39: 203-211.

Donkor, O.N., Henriksson, A., Vasiljevic, T. and Shah, N.P. 2006. Effect of acidification on the activity of probiotics in yoghurt during cold storage. International Dairy Journal.16: 1181-1189.

Everett, D.W. and Mcleod, R.E. 2005. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. International Dairy Journal.15: 1175-1183.

Fellows, P. 1993. Food processing technology: principles and practice. New York: Ellis Horwood Limited. อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

Fiszman, S.M., Lluch, M.A. and Salvador, A. 1999. Effect of addition of gelatin on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheologjcal properties. International Dairy Journal. 9: 895-901.

Fitzpatrick, J.J., Hodnett, M., Twomey, M., Cerqueira, P.S.M., Flynn, J. and Roos, Y.H. 2007. Glass transition and the flowability and caking of powders containing amorphous lactose. Powder Technology. 178: 119-128.

Foster, K.D., Bronlund, J.E. and Paterson, A.H.J. 2005. The contribution of milk fat towards the caking of dairy powders. International Dairy Journal. 15: 85-91.

Gallardo-Escamilla, F.J., Kelly, A.L. and Delahunty, C.M. 2007. Mouthfeel and flavour of fermented whey with added hydrocolloids. International Dairy Journal. 17: 308-315.

Gonzalez-Martinez, C., Becerra, M., Chafer, M., Albors, A., Carot, J.M. and Chiralt, A. 2002. Influence of substituting milk powder for whey powder on yoghurt quality. Food Science & Technology. 13: 334-340.

Guggisberg, D., Eberhard, P. and Albrecht, B. 2007. Rheological characterization of set yoghurt produced with additives of native whey proteins. International Dairy Journal. 17: 1353-1359.

Jimoh, K.O. and Kolapo, A.L. 2007. Effect of different stabilizers on acceptability and shelf-stability of soy-yoghurt. African Journal of Biotechnology. 6: 1000-1003.

Katsiari, M.C., Voutsinas, L.P. and Kondyli, E. 2002. Manufacture of yoghurt from stored frozen sheep's milk. Food Chemistry. 77: 413-420.

Koksoy, A. and Kilic, M. 2004. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. Food Hydrocolloids. 18: 593-600.

Kumar, P. and Mishra, H.N. 2003. Optimization of mango soy fortified yogurt formulation using response surface methodology. International Journal of Food Properties. 6: 499-517.

Kumar, P. and Mishra, H.N. 2004a. Mango soy fortified set yoghurt: effect of stabilizer addition on physicochemical, sensory and textural properties. Food Chemistry. 87: 501-507.

Kumar, P. and Mishra, H.N. 2004b. Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging materials: HDPP and ALP. Journal of Food Engineering. 65: 569-576.

Lal, N.D., Connor, C.J. and Eyres, L. 2006. Application of emulsifiers/ stabilizers in dairy products of high rheology. Advances in Colloid and Interface Science. 123: 433-437.

Liang, J.H. 2000. Kinetics of fluorescence formation in whole milk powders during oxidation. Food Chemistry. 71: 459-463.

Maroziene, A. and Kruif, C.G. 2000. Interaction of pectin and casein micelles. Food Hydrocolloids. 10: 391-394.

Nergiz, C. and Seckin, A.K. 1998. The losses of nutrients during the production of strained (Torba) yoghurt. Food Chemistry. 61: 13-16.

Noisuwan, A., Bronlund, J., Wilkinson, B. and Hemar, Y. 2008. Effect of milk protein products on the rheological and thermal (DSC) properties of normal rice starch and waxy rice starch. Food Hydrocolloids. 22: 174-183.

Omar, A.M. and Roos, Y.H. 2007. Glass transition and crystallization behaviour of freeze-dried lactose-salt mixtures. Food Science and Technology. 40: 563-543.

Ongol, M.P., Sawatari, Y., Ebina, Y., Sone, T., Tanaka, M., Tomita, F., Yokota, A. and Asano, K. 2007. Yoghurt fermented by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* H^{+}-ATPase-defective mutants exhibits enhanced viability of *Bifidobacterium breve* during storage. International Journal of Food Microbiology.116: 358-366.

Pandya, A.J. and Ghodke, K.M. 2007. Goat and sheep milk products other than cheeses and yoghurt. Small Ruminant Research. 68:193-206.

Purwandari, U., Shah, N.P. and Vasiljevic, T. 2007. Effects of exopolysaccharide producing strains of *Streptococcus thermophilus* on technological and rheological properties of set-type yoghurt. International Dairy Journal. 17: 1344-1352.

Romeu-Nadal, M., Chavez-Servin, J.L., Castellote, A.I., Rivero, M. and Lopez-Sabater, M.C. 2007. Oxidation stability of the lipid fraction in milk powder formulas. Food Chemistry. 100: 256-763.

Saarela, M., Virkajarvi, I., Alakomi, H.L., Sigvart-Mattila, P. and Matto, J. 2006. Stability and functionality of freeze-dried probiotic *Bifidobacterium* cells during storage in juice and milk. International Dairy Journal.16: 1477-1482.

Salwa, Aly, A., Galal, E.A. and Elewa, N.A. 2004. Carrot yoghurt:: sensory, chemical, microbiological properties and consumer acceptance. Pakistan Journal of Nutrition. 6: 322-330.

Sanchez-Segarra, P.J., Garcia-Martinez, M., Gordillo-Otero, M.J., Diaz-Valverde, A., Amaro-Lopez, M.A. and Moreno-Rojas. 2000. Influence of the addition of fruit on the mineral content of yoghurts: nutritional assessment. Food Chemistry. 70: 85-89.

Schebor, C., Buera, M.P., Karel, M. and Chirife, J. 1999. Color formation due to non-enzymatic browning in amorphous, glassy, anhydrous, model systems. Food Chemistry. 65: 427-432.

Schonbrun, R. 2002. The effects of various stabilizers on the mouthfeel and other attributes of drinkable yogurt. Master's Thesis, Faculty of Science, University of Florida.

Sharma, N.K. and Arora, C.P. 1995. Influence of product thickness, chamber pressure and heating conditions on production rate of freeze-dried yoghurt. International Dairy Journal. 18: 297-307.

Staffolo, M.D., Bertola, N., Martino, M. and Bevilacqua, A. 2004. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. International Dairy Journal.14: 263-268.

Stapelfeldt, H., Nielsen, B.R. and Skibsted, L.H. 1997. Effect of heat treatment, water activity and storage temperature on the oxidative stability of whole milk powder. International Dairy Journal. 7: 331-339.

Tamime, A.Y. and Robinson, R.K. 1999. Yoghurt Science and Technology. Oxford: Pergamon Press. 619 pp.

Tromp, R.H., Kruif, C.G., Eijk, M. and Rolin, C. 2004. On the mechanism of stabilisation of acidified milk drinks by pectin. Food Hydrocolloids. 18: 565-572.

Venir, E., Torre, M.D., Stecchini, M.L., Maltini, E. and Nardo, P.D. 2007. Preparation of freeze-dried yoghurt as a space food. Journal of Food Engineering. 80: 402-407.

Vinderola, C.G., Bailo, N. and Reinheimer, J.A. 2000. Survival of probiotic microflora in Argentinian yoghurts during refrigerated storage. Food Research International. 33: 97-102.

Yazici, F. and Akgun, A. 2004. Effect of some protein based fat replacers on physical, chemical, textural, and sensory properties of strained yoghurt. Journal of Food Engineering. 62: 254-254.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

ก.1 การวัดความหนืด

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield รุ่น DV-I, USA)

วิธีตรวจสอบ

ใช้ตัวอย่างโยเกิร์ตประมาณ 400 – 500 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ใส่หัววัดเบอร์ 4 ที่แกนมอเตอร์ ลดระดับของหัววัดความหนืดลงจนหัววัดจุ่มลงในตัวอย่างจนถึงขีดที่กำหนดไว้ กำหนดค่าความเร็วที่ใช้ (select speed) จากนั้นกด select display เครื่องจะแสดงค่าความหนืดของตัวอย่างขณะนั้น

ก.2 การตรวจสอบปริมาณการแยกตัวของหางนม ตามวิธีของ Kumar และ Mishra (2004a)

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่
2. กระดาษกรอง เบอร์ 1
3. กรวยแก้ว

วิธีตรวจสอบ

1. ชั่งน้ำหนักขวดรูปชมพู่
2. ชั่งน้ำหนักโยเกิร์ต 70 กรัม ใส่ลงในกรวยแก้วซึ่งมีกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 อยู่ โดยให้ขวดรูปชมพู่ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนรองรับน้ำที่แยกออกมา
3. จับเวลา 2 ชั่วโมง ยกกรวยแก้วออกชั่งน้ำหนักขวดรูปชมพู่
4. คำนวณปริมาณการแยกตัวของหางนมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยใช้สูตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{ปริมาณการแยกตัวของหางนม (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่แยกออกจากโยเกิร์ต}}{\text{น้ำหนักโยเกิร์ตเริ่มต้น}} \times 100$$

ก.3 การวัดสี

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องวัดสี (Minolta Chroma meter, รุ่น CR300, Japan)

<u>วิธีตรวจสอบ</u>

1. เลื่อนสวิทซ์ power on พร้อมกับกดปุ่ม all data clear
2. กดปุ่ม index set
3. เลือกแหล่งแสง D_{65} แล้วกดปุ่ม enter
4. กดปุ่ม calibrate เพื่อป้อนค่า Y x y ซึ่งได้จากค่าที่อยู่บนตัวเครื่อง
5. กดปุ่ม measure แล้วรอจนเกิดการ reflect ของแสงครบ 3 ครั้ง
6. กดปุ่ม color space select เพื่อเลือกระบบสีที่ต้องการ คือ L a b
7. วัดค่าสีโดยนำหัววัดไปสัมผัสกับผิวของผลิตภัณฑ์

ก.4 การวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Aqua Lab รุ่น 3TE, USA)

<u>วิธีตรวจสอบ</u>

1. เปิดเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ทิ้งไว้นาน 30 นาที เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนใช้งาน
2. ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือด้วยน้ำกลั่น ซึ่งจะวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ประมาณ 0.997± 0.01
3. ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยตัวอย่าง ให้ความหนาของตัวอย่างไม่เกินครึ่งหนึ่งของส่วนสูงของถ้วย
4. ใส่ตัวอย่างลงในเครื่องวัดวอเตอร์แอคทิวิตี้ หมุนปุ่มเริ่มทำงานของเครื่อง รอประมาณ 5 นาที จนกระทั่งการวัดเสร็จสิ้นหน้าจอจะแสดงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่วัดได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.5 การตรวจสอบปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด ตามวิธีของ A.O.A.C. Official Method 925.23 (A.O.A.C., 2000)

<u>อุปกรณ์</u>

1. ตู้อบลมร้อน (Binder รุ่น 3ET, USA)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. โถดูดความชื้น

<u>วิธีตรวจสอบ</u>

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมที่ชั่งน้ำหนักแล้ว
3. เปิดฝาถ้วยและอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่
4. ปิดฝาภาชนะแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
5. ชั่งน้ำหนักสุดท้ายและคำนวณปริมาณความชื้น โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1 - W} \times 100$$

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) = 100 - ปริมาณความชื้น

โดย W คือ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียม (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมและตัวอย่างก่อนอบแห้ง (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมและตัวอย่างหลังอบแห้ง (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก ตามวิธีของ A.O.A.C. Official Method 937.05 (A.O.A.C., 2000)

สารเคมี

1. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นที่ต้มไล่คาร์บอนไดออกไซด์แล้วปริมาตร 30 มิลลิลิตร
2. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน
3. ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะได้สารละลายที่มีสีชมพูอ่อน คำนวณปริมาณกรดในรูปกรดแลคติกโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณกรดในรูปกรดแลคติก (ร้อยละ)} = \frac{N \times V \times 90.08 \times 100}{1000 \times W}$$

โดย N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)
V คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรท (มิลลิลิตร)
W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดย Babcock method ตามวิธีของ A.O.A.C. Official Method 989.04 (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. Babcock bottle
2. standard milk pipette

สารเคมี

1. กรดซัลฟุริกเข้มข้น

วิธีวิเคราะห์

ใช้ปิเปตมาตรฐานสำหรับนม (standard milk pipette) ปิเปตตัวอย่างนม 17.6 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวด babcock จากนั้นเติมกรดซัลฟุริกเข้มข้นปริมาตร 17.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเพื่อให้กรดย่อยตัวอย่างจนหมดซึ่งนมจะเปลี่ยนเป็นสารละลายสีดำ จากนั้นนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส จนถึงระดับคอขวด นำเข้าเครื่องปั้นเหวี่ยงเป็นเวลา 2 นาที และเติมน้ำร้อนอีกครั้งจนถึงระดับปากขวด นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 1 นาที วัดชั้นไขมันสีเหลืองที่ลอยตัวขึ้นมาบริเวณด้านบนของคอขวดเป็นปริมาณไขมัน (ร้อยละ)

ข.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ A.O.A.C. Official Method 991.20 (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์โปรตีนประกอบด้วย Digestion unit (Buchi รุ่น K-424,Switzerland) และ Distillation unit (Buchi รุ่น B-324, Switzerland)

สารเคมี

1. กรดซัลฟุริกเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 N
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 35 w/v
4. สารละลายกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 w/v

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst-selenium mixture)

6. methyl red – methylene blue indicator

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ลงในหลอดย่อย
2. เติมตัวเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม และเติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. ใส่หลอดย่อยในเครื่อง Buchi digestion สวมชุดดูดควัน ย่อยที่อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส นาน 30 - 45 นาที จนได้สารละลายสีเขียวใสทิ้งให้เย็น
4. กลั่นตัวอย่างที่ย่อย ด้วยเครื่อง Buchi distillation โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยาและเก็บสารละลายที่กลั่นได้ในสารละลายบอริกที่เติม methyl red-methylene blue เป็นอินดิเคเตอร์ 2 - 3 หยด
5. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติได้สารละลายเป็นสีชมพู และคำนวณปริมาณโปรตีน โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4 \times CF}{W}$$

โดย A คือ ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรท (N)

CF คือ Conversion Factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองนี้ใช้ 6.25)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ A.O.A.C. Official Method 945.46 (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. ครูซิเบิล
2. โถดูดความชื้น
3. เตาเผา (Muffle furnace รุ่น CWF 1200, England)
4. Hot plate
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

วิธีวิเคราะห์

1. เผาครูซิเบิลที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ในครูซิเบิลที่เผาแล้ว
3. นำตัวอย่างไปให้ความร้อนบน Hot plate ในตู้ควัน จนกระทั่งตัวอย่างไม่มีควัน
4. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องสาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตัวอย่างเป็นเถ้าสีขาว
5. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณเถ้า โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(A - B) \times 100}{C}$$

โดย A คือ น้ำหนักที่แน่นอนของครูซิเบิลและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
B คือ น้ำหนักที่แน่นอนของครูซิเบิล (กรัม)
C คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

วิธีตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์

ค.1 การตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียแลคติก ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000)

เจือจางตัวอย่างโยเกิร์ต 25 กรัม ในสารละลายเปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 w/v ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างให้กระจายอย่างทั่วถึงจะได้ความเข้มข้น 1 ต่อ 10 เจือจางตัวอย่างจนได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ปิเปตสารละลายที่ระดับความเข้มข้นที่เตรียมไว้ 3 ระดับ ระดับละ 3 ซ้ำ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเลี้ยงเชื้อ จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar แล้วหมุนไปมาเพื่อให้ตัวอย่างกระจายไปทั่วจานเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ใน Anaerobic jar เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่มีจำนวน 30 -300 โคโลนี

ค.2 การตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000)

เจือจางตัวอย่างโยเกิร์ต 25 กรัม ในสารละลายเปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 w/v ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างให้กระจายอย่างทั่วถึงจะได้ความเข้มข้น 1 ต่อ 10 เจือจางตัวอย่างจนได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ปิเปตสารละลายที่ระดับความเข้มข้นที่เตรียมไว้ 3 ระดับ ระดับละ 3 ซ้ำ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเลี้ยงเชื้อ จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA แล้วหมุนไปมาเพื่อให้ตัวอย่างกระจายไปทั่วจานเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่มีจำนวน 30 - 300 โคโลนี

ค.3 การตรวจสอบปริมาณยีสต์และรา ตามวิธีของ A.O.A.C. (2000)

เจือจางตัวอย่างโยเกิร์ต 25 กรัม ในสารละลายเปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 w/v ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างให้กระจายอย่างทั่วถึงจะได้ความเข้มข้น 1 ต่อ 10 เจือจางตัวอย่างจนได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ปิเปตสารละลายที่ระดับความเข้มข้นที่เตรียมไว้ 3 ระดับ ระดับละ 3 ซ้ำ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในจานเลี้ยงเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ผสม tartaric acid ความเข้มข้นร้อยละ 10 จากนั้นใช้แท่งแก้วงอจุ่มแอลกอฮอล์แล้วลนไฟทิ้งให้เย็น เกลี่ยสารละลายตัวอย่างให้ทั่วบนอาหารแข็ง บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่มีจำนวน 30 - 300 โคโลนี

ภาคผนวก ง

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ชื่อ_____ วันที่ _____

_____

จากตัวอย่างโยเกิร์ตต่อไปนี้ โปรดประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้าน สี การแยกตัวของหางนม กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม แล้วให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในหน้าถัดไป

ตัวอย่าง หมายเลข	คุณลักษณะที่ประเมิน				
	สี	การแยกตัวของหางนม	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกณฑ์การให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

สี 5 หมายถึง สีขาวน่ารับประทาน

4 หมายถึง สีขาวออกเหลืองเล็กน้อย

3 หมายถึง สีขาวออกเหลืองมากแต่ยังยอมรับได้

2 หมายถึง สีเหลืองเข้มไม่น่ารับประทานหรือสีผิดปกติ ยอมรับไม่ได้

1 หมายถึง สีเหลืองเข้มมากหรือสีผิดปกติมาก ยอมรับไม่ได้

การแยกตัวของหางนม 5 หมายถึง ไม่มีการแยกตัวของหางนม

4 หมายถึง มีการแยกตัวของหางนมเล็กน้อย

3 หมายถึง มีการแยกตัวของหางนมมากขึ้น แต่ยังยอมรับได้

2 หมายถึง มีการแยกตัวของหางนมมาก ยอมรับไม่ได้

1 หมายถึง มีการแยกตัวของหางนมมากและมีลักษณะผิดปกติ

กลิ่นรส 5 หมายถึง มีกลิ่นรสที่ดี น่ารับประทาน

4 หมายถึง มีกลิ่นรสที่ดี แต่มีรสเปรี้ยวมากขึ้น

3 หมายถึง มีรสเปรี้ยวมาก แต่ยังยอมรับได้

2 หมายถึง มีรสเปรี้ยวมาก ยอมรับไม่ได้

1 หมายถึง มีรสเปรี้ยวมาก หรือมีกลิ่นรสที่ผิดปกติ ยอมรับไม่ได้

เนื้อสัมผัส 5 หมายถึง เนื้อละเอียดเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีความหนืดพอดี

4 หมายถึง เนื้อละเอียดเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เหลวเล็กน้อย

3 หมายถึง เนื้อละเอียดเนียนดี เหลวมากขึ้น แต่ยังยอมรับได้

2 หมายถึง มีความหนืดน้อย เนื้อสัมผัสเหลว ยอมรับไม่ได้

1 หมายถึง เนื้อสัมผัสเหลวมาก หรือมีลักษณะผิดปกติ ยอมรับไม่ได้

การยอมรับโดยรวม 5 หมายถึง ยอมรับมาก

4 หมายถึง ยอมรับปานกลาง

3 หมายถึง ยอมรับเล็กน้อย

2 หมายถึง ไม่ยอมรับ

1 หมายถึง ไม่ยอมรับมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

รูปผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตและโยเกิร์ตผง

รูปที่ จ.1 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติม gelatin ร้อยละ 0.8

รูปที่ จ.2 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

รูปที่ จ.3 โยเกิร์ตผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

รูปที่ จ.4 ถุง aluminium laminated polyethylene ที่บรรจุโยเกิร์ตผงในภาวะสุญญากาศ

รูปที่ จ.5 โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นในถุง aluminium laminated polyethylene ในภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 16 สัปดาห์

รูปที่ จ.6 โยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในถุง aluminium laminated polyethylene ในภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 16 สัปดาห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนรากร ศรีสุข เกิดวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย