เปรียบเทียบการเตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ตผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

โดย

นางสาวจิราภา สาสุนัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

เปรียบเทียบการเตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ตผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

โดย
นางสาวจิราภา สาสุนัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

COMPARISON OF YOGURT STARTER POWDER PREPARATION BY SPRAY DRY AND FREEZE DRY

By

MISS Jirapha SASUNUN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (FOOD TECHNOLOGY)

Department of FOOD TECHNOLOGY

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2019

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	เปรียบเทียบการเตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ตผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
โดย	จิราภา สาสุนัน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ถิรธรรมถาวร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(อาจารย์ ดร.พรศรี เจริญพานิช)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข ภระกูลสุขสถิตย์)

59403201 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : หัวเชื้อผงโยเกิร์ตผง กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จำนวนเชื้อที่รอดชีวิต

นางสาว จิราภา สาสุนัน: เปรียบเทียบการเตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ตผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากอุตสาหกรรมนมหมักในประเทศไทยส่วนใหญ่ต้องใช้เชื้อจุลินทรีย์แลกติก จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศที่ทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูงและมีระยะเวลาในการรอสินค้านาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์หัวเชื้อโยเกิร์ตผง โดยศึกษาหัวเชื้อที่ใช้ในการหมัก 3 ชนิด ได้แก่ หัวเชื้อผสม A, หัวเชื้อผสม B และ หัวเชื้อผสม C และนำไปทำให้เป็นผงโดยผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สำหรับวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะใช้อุณหภูมิขาเข้าประมาณ 160±5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออกประมาณ 85±5 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนอยู่ที่ 1.0-1.3 L/h ส่วนวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะนำตัวอย่างไปแช่แข็งโดยใช้ air blast freezer ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ความดัน 0.5 bar เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นได้คัดเลือกหัวเชื้อ 1 ชนิดที่ให้ผลดีที่สุดจากจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการหมักโยเกิร์ต การยอมรับทางประสาทสัมผัสและจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตหลังจากการทำแห้ง ซึ่งในขั้นตอนการหมักโยเกิร์ต ได้ศึกษาค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด ระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสม และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของหัวเชื้อแต่ละชนิด จากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อเปรียบเทียบหัวเชื้อทั้ง 3 ชนิด หัวเชื้อผสม C มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่สูงที่สุด คือ $1.4x10^{11}$ CFU/g หลังจากการหมักโยเกิร์ต 18 ชั่วโมง ส่วนค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดนั้นหัวเชื้อผสม C มีค่าใกล้เคียงหัวเชื้อผสม A และดีกว่าหัวเชื้อผสม B จึงเลือกหัวเชื้อผสม C เป็นเชื้อเริ่มต้นในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผง หลังจากการหมักโยเกิร์ตเสร็จสิ้น ได้นำโยเกิร์ตไปผ่านกระบวนการเอ็นแคปซูเลชันโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินและสตาร์ชดัดแปรชนิดออกทีนิลซัคซินิคแอนไฮไดร์ (OSA) เป็นสารห่อหุ้ม ก่อนการนำไปทำแห้ง ผลการทดลองพบว่าการใช้สตาร์ชดัดแปรชนิดออกทีนิลซัคซินิคแอนไฮไดร์ (OSA) เป็นสารห่อหุ้มให้ผลได้ดีที่สุด โดยหัวเชื้อโยเกิร์ตผงหลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีจำนวนปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิต คือ $4.3x10^{9}$ และ $1.6x10^{9}$ CFU/g ตามลำดับ หลังจากนั้นศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยนำหัวเชื้อโยเกิร์ตผงไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน พบว่าเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 45 หัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการ

ทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณจุลินทรีย์ลดลงอยู่ที่ $5.3x10^6$ และ $1.2x10^6$ CFU/g ตามลำดับ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตที่ใช้เชื้อจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

59403201 : Major (FOOD TECHNOLOGY)
Keyword : Yogurt starter powder Spray dry Freeze dry survival of lactic acid bacteria

MISS JIRAPHA SASUNUN : COMPARISON OF YOGURT STARTER POWDER PREPARATION BY SPRAY DRY AND FREEZE DRY THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. ARUNSRI LEEJEERAJUMNIAN

The research aimed to compare the yoghurt starter powder production by spray drying and freeze drying. Due to the most fermented milk industries have to use lactic acid bacteria, So they must be imported from other countries with higher cost and time consuming. Therefore this work was tried to develop starter culture in the form of yogurt powder products. The research was done by yoghurt fermentation with 3 types of starter cultures (A, B and C) and then drying into powder by spray and freeze dry methods. Spray dried method was conducted by using inlet temperature of 160 ± 5 ℃ and outlet temperature about 85±5 ℃ with feed flow rate 1.0-1.3 L / h. While the freeze dried method was done by freezing at -40 ° C for 1 hour before taking to freeze dryer at -80 ℃ with the pressure at 0.5 bar for 24 hours. After that, one type of starter culture was selected by using growth rate during yoghurt production, sensory evaluation of yoghurt and survival number of microorganisms after drying. The parameters of fermentation steps, pH, acidity, time of fermentation and growth rate were also compared. The results showed that among 3 types of starter cultures, starter cultures type C showed the highest total microorganisms of 1.40×10^{11} CFU/g, after fermentation for 18 hours. While the pH and total acidity was similar to starter cultures type A but better than starter cultures type B. Therefore, starter cultures type C was chosen as starter culture in yogurt powder production. After yogurt fermentation process was done, encapsulation process by using maltodextrin and octenyl succinic anhydride modified starch (OSA) as a carrier was applied to yogurt before dried. The best results were obtained by using octenyl succinic anhydride modified starch (OSA) carrier, the survival number of microorganisms of yogurt powder after spray drying and freeze drying were 4.3×10^9 and 1.6×10^9 CFU/g, respectively, after that, the shelf life was studied. Then yogurt starter culture powder was kept at -18 $^{\circ}$C for 45 days. The results showed the survival number of microorganisms at 45 days of yogurt powder from spray dry and

freeze dry preparation were $5.3x10^6$ and $1.2x10^6$ CFU/g, respectively. The sensory tests of both starter cultures type C, spray dry and freeze dry was no significantly difference.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร และ ดร.พรศรี เจริญพานิช ที่กรุณาให้คำปรึกษา เสนอแนะแนวทางในการทำการวิจัยและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้อง สมบูรณ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมไปถึง ผศ.ดร.ดวงใจ ถิรธรรมถาวร ประธานกรรมการ และ ผศ.ดร.ประมุข ภระกูลสุขสถิตย์ ที่กรุณาให้คำแนะนำข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความเรียบร้อยและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่ให้ความรู้พื้นฐานต่างๆและขอขอบคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่สำนักงานและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารและขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบุคคลในครอบครัวที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการทำงานของข้าพเจ้าเสมอมา

จิราภา สาสุนัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฑ

สารบัญรูปภาพ ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 3

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร 5

2.1 การตรวจเอกสาร 5

2.1.1 โยเกิร์ต 5

2.1.1.1 องค์ประกอบในการผลิตโยเกิร์ต 5

2.1.1.2 การทำโยเกิร์ต 7

2.1.1.3 ลักษณะของโยเกิร์ตที่ดี 7

2.1.2 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต 7

2.1.2.1 ลักษณะทั่วไปของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมัก 8

2.1.2.2 การจำแนกแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก 9

2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ต 10
2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพโยเกิร์ต 11
2.1.4.1 มาตรฐานของน้ำนม 11
2.1.4.2 สารที่จะทำให้คงรูป 12
2.1.4.3 ความร้อนที่ใช้ 12
2.1.4.4 การเตรียมจุลินทรีย์ 13
2.1.5 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 13
2.1.6 การทำแห้งแบบพ่นฝอย 15
2.1.6.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 15
2.1.6.2 กลไกการทำแห้ง 17
2.1.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 18
2.1.7 กระบวนการห่อหุ้ม 19
2.1.7.1 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอ็นแคปซูเลชัน 20
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 26
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย 26
3.1.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 26
3.1.1.1 วัตถุดิบ 26
3.1.1.2 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ 26
3.1.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ 26
3.1.2 วิธีการผลิตโยเกิร์ต 27
3.1.2.1 การผลิตโยเกิร์ต 27
3.1.2.2 การศึกษาหาเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในโยเกิร์ตผง 29

3.1.2.3 การศึกษาผลของการทำเอ็นแคปซูเลชันต่ออัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตผงโดยการเปรียบเทียบการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 29
3.1.2.4 การเตรียมหัวเชื้อจากโยเกิร์ตผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 29
3.1.2.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง 30
3.1.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ 30
3.1.3.1 วิธีวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในโยเกิร์ต 30
3.1.3.2 วิธีวิเคราะห์อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียในโยเกิร์ตผง 30
3.1.4 การวิเคราะห์ทางเคมี 30
3.1.4.1 วิธีวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 30
3.1.4.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด 30
3.1.5 การวิเคราะห์ทางกายภาพ 31
3.1.5.1 วิธีวิเคราะห์ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) 31
3.1.6 การวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส 31
3.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 31
บทที่ 4 ผลการทดลอง 32
4.1 ผลของชนิดหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 32
4.1.1 ผลของชนิดหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอช 32
4.1.2 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณกรดทั้งหมดของโยเกิร์ต 34
4.1.3 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 35
4.2 ผลของการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 37

4.2.1 ผลของค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้และร้อยละของผลผลิตของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงหลังผ่าน 37
กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง..... 37
4.2.2 ผลของอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของโยเกิร์ตผง..... 38
4.2.3 ผลของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต 40
4.2.4. ผลของอัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้ง 41
4.3 ผลของการทำเอ็นแคปซูเลชันต่อการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 43
4.3.2. ผลของปริมาณการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง 44
4.4 ผลของค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง..... 46
4.4.1 ผลของค่าพีเอชต่อระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง 46
4.4.2 ผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ผลิตได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง 48
4.4.3 ผลของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง 50
4.5 ผลของชนิดหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 54
5.1 สรุปผลการทดลอง 54
5.2 ข้อเสนอแนะ 55
รายการอ้างอิง 2
ภาคผนวก 6
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี 7

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ 8
ภาคผนวก ค ลักษณะทางกายภาพของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง 9
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 10
ภาคผนวก จ ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ได้จากการใช้หัวเชื้อโยเกร์ตผงในการหมัก 11
ประวัติผู้เขียน 13

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ตเปรียบเทียบกับหางนม 11

ตารางที่ 2 การรอดชีวิตของ *Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus* TISTR 047 หลังผ่านกระบวนการเอ็นแคปซูเลชันและไม่เอ็นแคปซูเลชัน 25

ตารางที่ 3 ผลของชนิดหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอชโยเกิร์ต 32

ตารางที่ 4 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณกรดทั้งหมดของโยเกิร์ต 34

ตารางที่ 5 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ต 35

ตารางที่ 6 ผลของร้อยละของผลผลิตและค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง 37

ตารางที่ 7 ผลของปริมาณการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผง 38

ตารางที่ 8 ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 40

ตารางที่ 9 ผลของอัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 42

ตารางที่ 10 ผลของค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ และร้อยละของผลิตผลหัวเชื้อโยเกิร์ตผงหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง 43

ตารางที่ 11 ผลของปริมาณการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผง 45

ตารางที่ 12 ผลของค่าพีเอชที่ใช้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง 46

ตารางที่ 13 ผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ผลิตได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง 48

ตารางที่ 14 ผลของค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง 50

ตารางที่ 15 ผลของชนิดหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 52

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 มูลค่าการผลิตนมเปรี้ยวและโยเกิร์ตในประเทศไทย ปี 2555-2559 1

ภาพที่ 2 ปริมาณการนำเข้าเชื้อจุลินทรีย์ในประเทศไทย ปี 2560-ปัจจุบัน 2

ภาพที่ 3 มูลค่าการนำเข้าเชื้อจุลินทรีย์ในประเทศไทย ปี 2560-ปัจจุบัน 2

ภาพที่ 4 Lactobacillus bulgaricus 8

ภาพที่ 5 Streptococcus thermophilus 9

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 14

ภาพที่ 7 การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย 17

ภาพที่ 8 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง 18

ภาพที่ 9 โครงสร้างเอ็นแคปซูเลชัน 20

ภาพที่ 10 โครงสร้างของสตาร์ชดัดแปร OSA 22

ภาพที่ 11 โครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตริน 23

ภาพที่ 12 การผลิตโยเกิร์ต 28

ภาพที่ 13 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอชโยเกิร์ต 33

ภาพที่ 14 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาในกระบวนการหมักต่อปริมาณกรดทั้งหมด 34

ภาพที่ 15 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ต 36

ภาพที่ 16 ผลของอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผง 39

ภาพที่ 17 ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 40

ภาพที่ 18 ผลของอัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 42

ภาพที่ 19 ผลของค่าพีเอชที่ใช้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง 47

ภาพที่ 20 ผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ผลิตได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง 49

ภาพที่ 21 ผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง 51

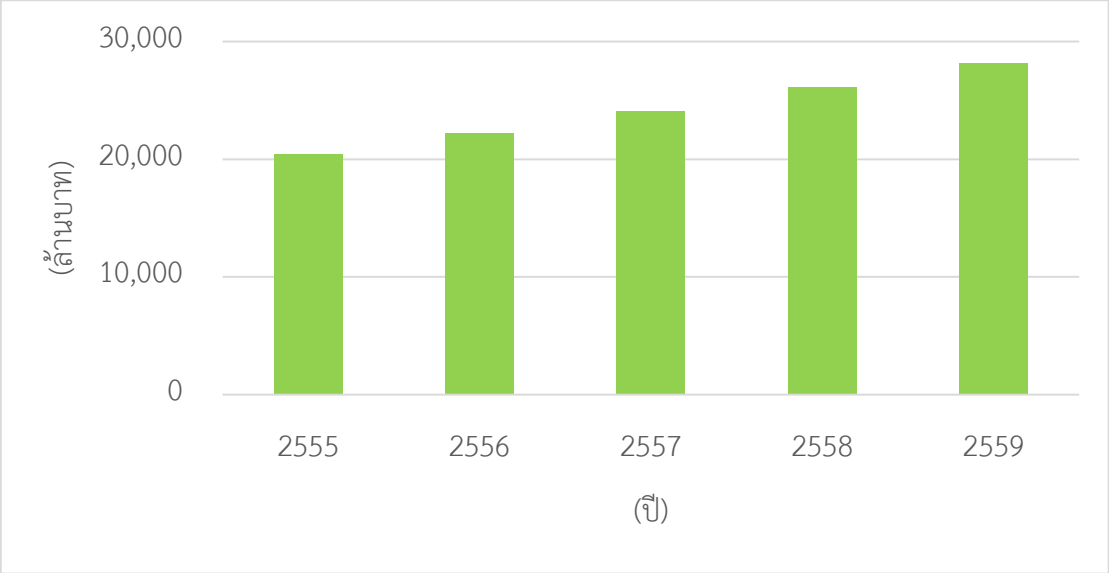
ภาพที่ 22 ผลของชนิดหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง และระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่ออายุการเก็บรักษา 53

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

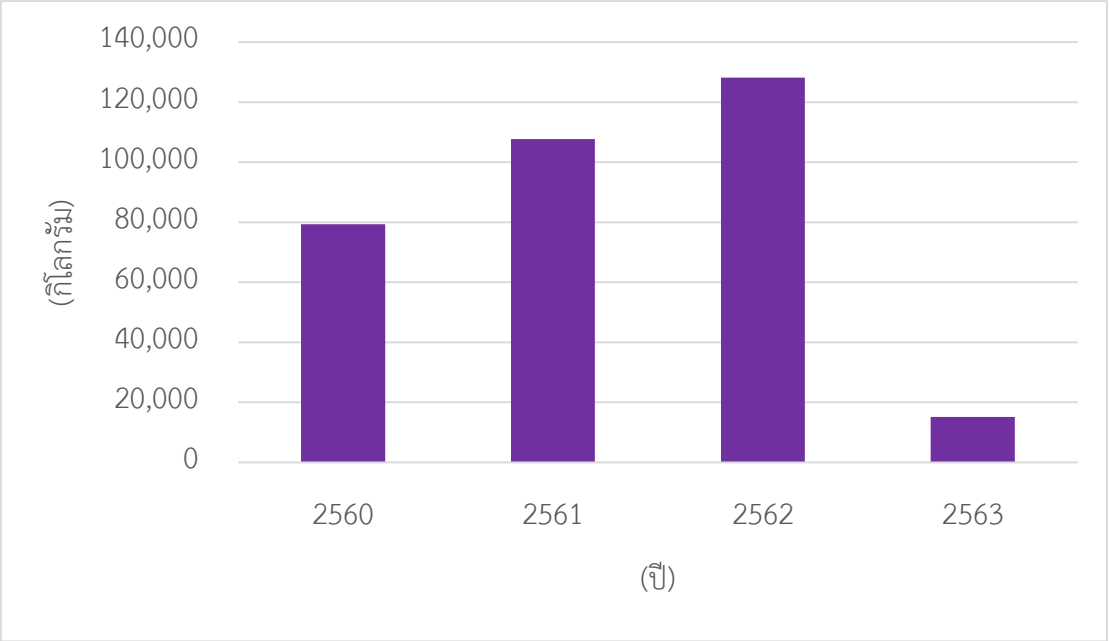
1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมนมในประเทศไทย ได้มีการนำนมมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น ชีส เนย นมเปรี้ยว โยเกิร์ต เป็นต้น อีกทั้งในปัจจุบันอุตสาหกรรมนมหมักค่อนข้างเป็นที่นิยมมากขึ้น โดยเฉพาะนมเปรี้ยวและโยเกิร์ต เนื่องจากคนส่วนใหญ่หันมารับประทานอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่คนส่วนใหญ่นิยมรับประทาน จะเห็นได้จากมูลค่าของการผลิตนมเปรี้ยวและโยเกิร์ตที่เพิ่มสูงขึ้นในปี 2555-2559 และอาจเพิ่มสูงขึ้นจนถึงปีปัจจุบัน ดังรูปที่ 1



ภาพที่ 1 มูลค่าการผลิตนมเปรี้ยวและโยเกิร์ตในประเทศไทย ปี 2555-2559
ที่มา: http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail. (เว็บไซต์สถาบันอาหาร)
สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2563

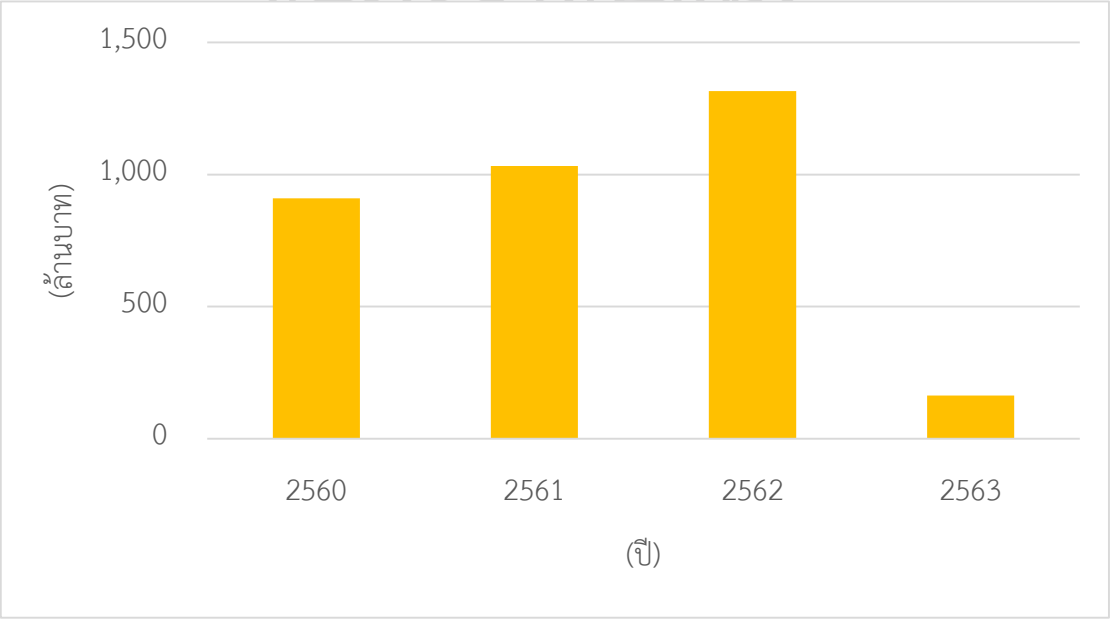
ซึ่งในผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์แลคติกเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการผลิตจึงต้องมีการสั่งหัวเชื้อผงมาจากต่างประเทศ ทำให้มีปริมาณการนำเข้าของเชื้อจุลินทรีย์ในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังรูปที่ 2 และ 3



ภาพที่ 2 ปริมาณการนำเข้าเชื้อจุลินทรีย์ในประเทศไทย ปี 2560-ปัจจุบัน

ที่มา: http://tradereport.moc.go.th (เว็บไซต์กรมการค้าภายใน)

สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2563



ภาพที่ 3 มูลค่าการนำเข้าเชื้อจุลินทรีย์ในประเทศไทย ปี 2560-ปัจจุบัน

ที่มา: http://tradereport.moc.go.th (เว็บไซต์กรมการค้าภายใน)

สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2563

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบเชื้อเยือกแข็ง เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง รวมทั้งศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตด้วยหัวเชื้อโยเกิร์ตผง ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ เพื่อเป็นทางเลือกให้สำหรับผู้ผลิตผลิตภัณฑ์นมหมักต่าง ๆ ในอนาคต เพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เปรียบเทียบการผลิตโยเกิร์ตผงโดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

1.2.2 ศึกษาการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและศึกษาอายุการเก็บรักษาของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

1.2.3 ศึกษาการประยุกต์ใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงเป็นเชื้อเริ่มต้นในการผลิตโยเกิร์ต

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการผลิตโยเกิร์ตผงโดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง รวมทั้งศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตหลังจากกระบวนการทำแห้งและศึกษาอายุการเก็บรักษา

โดยสามารถแจกแจงรายละเอียดของขอบเขต ขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้

1.3.1 ทดลองหมักโยเกิร์ตด้วยแบคทีเรียแลคติกโดยเปรียบเทียบเชื้อ 3 ชนิด คือ หัวเชื้อผสม A, B และ C

1.3.2 ทดลองผลิตโยเกิร์ตผงด้วยกระบวนการทำแห้งแช่เยือกแข็ง

1.3.2.1 เปรียบเทียบชนิดของสารตัวกลางที่ใช้ในการทำแห้ง คือ มอลโตเดกซ์ตรินและสตาร์ชดัดแปรชนิด OSA

1.3.3 ทดลองผลิตโยเกิร์ตผงด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแบบพ่นฝอย

1.3.3.1 เปรียบเทียบชนิดของสารตัวกลางที่ใช้ในการทำแห้ง คือ มอลโตเดกซ์ตรินและสตาร์ชดัดแปรชนิด OSA

1.3.4 วิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงหลังจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3.5 ทดลองหมักโยเกิร์ตด้วยหัวเชื้อโยเกิร์ตผงพร้อมศึกษาอายุการเก็บรักษา

1.3.6 รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

1.3.7 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

1.4.1 การผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงโดยกระบวนการทำแห้งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ให้ผลได้ดีกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทั้งในด้านทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

1.4.2 การรอดชีวิตของจุลินทรีย์หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้ง จุลินทรีย์มีอัตราการรอดชีวิตที่ลดลงไม่น้อยกว่า 2 log cfu/g และหัวเชื้อโยเกิร์ตผงมีอายุการเก็บรักษาได้มากกว่า 30 วัน

1.4.3 หัวเชื้อโยเกิร์ตผงสามารถนำมาเป็นหัวเชื้อที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตได้ดี โดยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้พัฒนากระบวนการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงโดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จริง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบแล้วสามารถนำไปใช้ในการหมักโยเกิร์ตได้เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและง่ายต่อการเก็บรักษา

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 การตรวจเอกสาร

2.1.1 โยเกิร์ต

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมที่จัดอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว ซึ่งได้จากการหมักโดยใช้แบคทีเรียแลคติค ที่ทำให้เกิดรสเปรี้ยวและจัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน แคลเซียมและฟอสฟอรัส รวมถึงมีประโยชน์ต่อระบบขับถ่ายและระบบการย่อยอาหาร เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในโยเกิร์ตเป็นจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและมีประโยชน์ต่อร่างกายจึงช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค (Tamime และ Marshall, 1997) และโยเกิร์ตจัดเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดหนึ่ง ซึ่งได้จากส่วนผสมของน้ำนมไขมันเต็ม หางนมผง หรือหางนมผงบางส่วน ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมร้อยละ 12.5-16 ไขมันนมร้อยละ 0.5-3.0 โยเกิร์ตที่มีรสหวาน (sweetened yoghurt) จะมีส่วนประกอบของน้ำตาลร้อยละ 7.5-8.5 ปริมาณกรด (เทียบเป็นแลคติก) ประมาณร้อยละ 0.8 (วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2556) และจะมีการเติมหัวเชื้อโยเกิร์ต (yoghurt starter culture) โดยทั่วไปประกอบด้วย *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ซึ่งจุลินทรีย์ 2 ชนิดนี้จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนน้ำตาลซึ่งอยู่ในนม คือ แลคโตสให้เป็นกรดแลคติก (lactic acid) มีผลทำให้โปรตีนตกตะกอนมีลักษณะเป็นลิ่มค่อนข้างนุ่ม มีเนื้อสัมผัสกึ่งแข็งกึ่งเหลว โดยทั่วไปมีสีขาวถึงขาวนวลมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ เฉพาะตัว รสชาติเปรี้ยว เนื่องจากมีกรดค่อนข้างสูงและมีจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ปริมาณมาก (Fuller, 1989) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่น ๆ เกิดขึ้นอีกด้วยแต่มักจะมีในปริมาณน้อย ได้แก่ สารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compounds) หรือสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compounds) ซึ่งพบว่าสารประกอบเหล่านี้ทำให้เกิดคุณสมบัติเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์เช่น กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสที่แตกต่างออกไป (นัฐนันท์ ทวีรัตน์ธนนท์, 2559)

2.1.1.1 องค์ประกอบในการผลิตโยเกิร์ต

องค์ประกอบที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตโยเกิร์ตนั้นถือว่ามีความสำคัญอย่างมาก ดังรายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- น้ำนมดิบ ต้องเป็นน้ำนมที่มีคุณภาพดี ไม่มีกลิ่น สีผิดปกติ มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนน้อย ไม่ใช่น้ำนมจากแม่โคที่เป็นเต้านมอักเสบและไม่มียาปฏิชีวนะหรือสารเคมีตกค้าง (Robinson และคณะ, 2006) โดยส่วนมากจะติดมากับอาหารที่ใช้เลี้ยงโคเมื่อโคกินเข้าไปจึงมีบางส่วนที่เจือปนออกมา

กับน้ำนมโคได้ ซึ่งยาปฏิชีวนะเหล่านี้มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เติมลงไป ส่งผลให้น้ำนมไม่แข็งตัวหรือแข็งตัวได้ช้า

- นมผง โดยปกติน้ำนมจะมีส่วนที่เป็น solid-non-fat (SNF) อยู่ประมาณร้อยละ 9-10 ซึ่งเมื่อทำเป็นโยเกิร์ตแล้วจะมีลักษณะค่อนข้างเละและอาจเกิดการแยกตัว คือ ส่วนที่เป็นน้ำแยกตัวออกจากส่วนที่เป็นเคิร์ด ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ดีของโยเกิร์ต การเติมนมผงพร่องไขมันเนยจึงช่วยแก้ปัญหานี้ได้เนื่องจากช่วยเพิ่มความเข้มข้นของ SNF ให้เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 14 (รวมน้ำตาล)

- น้ำตาล การเติมน้ำตาลมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเพิ่ม SNF และรสหวานของน้ำตาลจะช่วยกลบรสเปรี้ยวที่เกิดจากการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ซึ่งน้ำตาลนี้อาจเติมได้ตามความหวานที่ต้องการ แต่ต้องสูงไม่เกินร้อยละ 8 ก่อนการเติมเชื้อเพราะจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์ทำงานไม่ได้เนื่องจากความเข้มข้นรอบตัวสูงมากเกินไปและผลิตอะเซทิลดีไฮด์ในปริมาณที่ลดลง ทั้งนี้ขึ้นกับสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย (Chandan และ O'Rell, 2006)

- เชื้อจุลินทรีย์ เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ส่วนใหญ่ คือ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 จึงจะทำให้รสชาติและกลิ่นของผลิตภัณฑ์เป็นที่ถูกใจของผู้บริโภค ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองนี้ต้องเพาะแยกกันแล้วจึงนำมาใส่ในน้ำนมพร้อมกัน อาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อในแต่ละขั้นตอน คือ นมผงพร่องไขมันละลายในน้ำนม ทำการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนก่อนแล้วจึงนำไปเพาะเชื้อ ปริมาณที่ใส่จะขึ้นอยู่กับปริมาณโยเกิร์ตที่จะผลิต

- สารช่วยให้ความคงตัว (stabilizer) เป็นสารที่ทำให้โยเกิร์ตที่ได้มีความหนืดและคงตัวตามต้องการ โดยทั่วไปแล้วผู้ผลิตจะใส่สารช่วยให้คงตัวในกรณีโยเกิร์ตผสมผลไม้ที่มีเพคติน (low methoxyl pectin) เพื่อช่วยให้ผลไม้กระจายอยู่ทั่วไปได้ดีขึ้น

การเติมสารช่วยให้คงตัวลงในถังผสม อาจทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

1) เติมลงในนมที่ยังเย็นอยู่ พร้อมกับนมผงและน้ำตาลบางส่วน สารประเภทนี้จะละลายได้ในน้ำเย็น เมื่อถูกความร้อนจะไม่ทำให้โปรตีนตกตะกอน ตัวอย่างเช่น แป้ง (ใช้ร้อยละ 0.5-2.0) และโซเดียมคาราจีแนน (ใช้ร้อยละ 0.3)

2) เติมลงในนมขณะร้อน ใช้เติมหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนหรือการพาสเจอร์ไรซ์ การใช้ต้องระวังเพราะมีโอกาสที่เชื้อโรคและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ติดลงไป ตัวอย่างเช่น เจลาติน (ใช้ร้อยละ 0.2-0.5)

3) เติมลงในนมที่จับตัวเป็นก้อนแล้ว วิธีนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมนัก นอกจากในกรณีที่พบว่าโยเกิร์ตที่ผลิตได้มีความหนืดต่ำไป จึงเติมสารคงตัวลงไปพร้อมกับผลไม้ที่ใช้ ตัวอย่างเช่น carob's kernel flour และ guar gum (ร้อยละ 0.3-0.5)

- ผลไม้ การเติมผลไม้ลงในโยเกิร์ตจะเป็นการเพิ่มรสชาติให้แก่โยเกิร์ตทำให้น่ารับประทาน ผลไม้ที่ใช้อาจเป็นผลไม้สดซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อและแช่แข็ง หรือผลไม้บรรจุในน้ำเชื่อมโดย

จะต้องสะอาดปราศจากยีสต์และรา ไม่มีสารแปลกปลอมและความเป็นกรดด่างต้องไม่ต่ำกว่า 3.0 เพราะถ้าต่ำกว่านี้จะทำให้น้ำในโยเกิร์ตแยกตัวออกมา (syneresis)

- สีและกลิ่น การเติมสีและกลิ่นลงในโยเกิร์ตเพื่อปรุงแต่งให้น่ารับประทานมากยิ่งขึ้น โดยพยายามเน้นให้เหมือนกับธรรมชาติ ใช้สีธรรมชาติหรือสีสังเคราะห์ที่รับประทานได้และใช้กลิ่นที่สกัดได้จากธรรมชาติ

2.1.1.2 การทำโยเกิร์ต

นมสดที่จะนำมาทำนมเปรี้ยวที่เรียกว่าโยเกิร์ตนี้ นิยมทำ 3 รูปแบบ คือ

1. นมสดธรรมดา ที่มีไขมันนมประมาณร้อยละ 4 นมเปรี้ยวชนิดนี้จะมีรสชาติอร่อย ให้พลังงานสูง เหมาะสำหรับเด็กที่อยู่ในวัยเจริญเติบโต คนที่ผอมไม่สมบูรณ์หรือคนสูงอายุ

2. นมสดที่มีไขมันต่ำ มีไขมันนมประมาณร้อยละ 1.5 เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการพลังงานน้อยและกลัวอ้วน แต่ยังได้วิตามินเอ ดี อี และเค ครบถ้วน

3. หางนมที่ไม่มีไขมันนมเลย ชนิดนี้จะไม่ค่อยอร่อย พลังงานต่ำ ไม่ทำให้อ้วนและไม่มีวิตามินเอ ดี อี และเค

2.1.1.3 ลักษณะของโยเกิร์ตที่ดี

โยเกิร์ตที่มีลักษณะที่ดี สังเกตได้ดังต่อไปนี้ คือ

1) เคิร์ดของนมเปรี้ยวต้องเป็นเคิร์ดที่แข็งแกร่งไม่อ่อนเหลว

2) เคิร์ดของนมเปรี้ยวต้องไม่หดตัวเป็นก้อนแยกอยู่ต่างหาก

3) นมเปรี้ยวต้องไม่เปรี้ยวมากเกินไป

4) นมเปรี้ยวต้องมีกลิ่นอะโรมาเฉพาะ

5) นมเปรี้ยวต้องไม่มีรสฝาด รสขม หรือรสอื่นใด

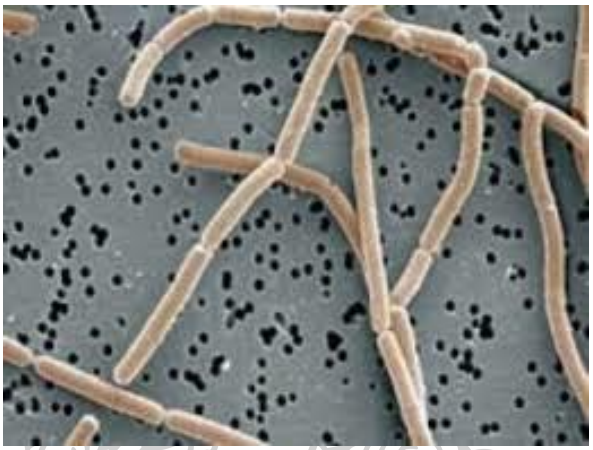
2.1.2 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต

จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักโยเกิร์ตหรือหัวเชื้อส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของจุลินทรีย์ผสมระหว่าง *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* ที่มีลักษณะการเจริญแบบพึ่งพากัน (symbiotic) ในอัตราส่วน 1:1 โดย *Streptococcus thermophilus* มีความสามารถในการเจริญได้เร็วกว่าสามารถผลิตกรดฟอร์มิกและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus bulgaricus* ขณะเดียวกันเปปไทด์และกรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยโปรตีนของ *Lactobacillus bulgaricus* จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของ *Streptococcus thermophilus* ซึ่งผลผลิตที่ได้จากการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้จะมีผลต่อการเกิดกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะของโยเกิร์ต (สุภาณี ด่านวิริยะกุล, 2555) และเมื่อ *Streptococcus thermophilus* เจริญอย่างรวดเร็วแล้วจะผลิตกรดแลคติกในปริมาณมาก ทำให้น้ำนมเปลี่ยนสภาพเป็นนมเปรี้ยวในเวลาอันรวดเร็วขึ้นกว่าการใช้เฉพาะแบคทีเรียชนิดใดชนิดหนึ่ง

2.1.2.1 ลักษณะทั่วไปของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมัก

1) *Lactobacillus bulgaricus*

Lactobacillus bulgaricus เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส สามารถเปลี่ยนกรดแลคติกเป็นแอซีทาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรสของโยเกิร์ต และสร้างเอนไซม์โปรติเอส ซึ่งจะย่อยโปรตีนในน้ำนมได้กรดอะมิโน โดยเฉพาะ ฮีสทิดีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่กระตุ้นการเจริญของ *Streptococcus thermophilus*

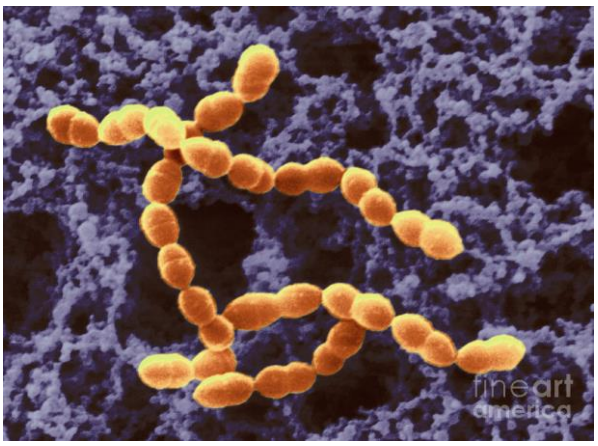


ภาพที่ 4 *Lactobacillus bulgaricus*

ที่มา: www.ioweb.uwlax.edu/bio203/s2007/kahl_ambe/ สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2560

2) *Streptococcus thermophilus*

Streptococcus thermophilus เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน จะเปลี่ยนน้ำตาลแลคโทส น้ำนมเป็นกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแลคติกและยังสร้างกรดฟอร์มิก ทำให้ค่า pH ลดลงประมาณ 5.5 ซึ่งส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียในกลุ่ม *Lactobacillus*



ภาพที่ 5 *Streptococcus thermophilus*

ที่มา: www.fineartamerica.com สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2560

2.1.2.2 การจำแนกแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก

ในปัจจุบันมีการจัดจำแนกแบคทีเรียแลคโตแบซิลไลออกเป็นกลุ่มย่อย 3 กลุ่ม ดังนี้ (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

1) กลุ่มที่ทำให้เกิดการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟเพียงอย่างเดียว (obligate homofermenters) สปีชีส์ที่นิยมใช้ในการหมัก ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus delbrueckii* และ *Lactobacillus helveticus*

2) กลุ่มที่ทำให้เกิดการหมักได้ทั้งสองแบบ (facultative heterofermenters) สปีชีส์ที่นิยมใช้ในการหมัก ได้แก่ *Lactobacillus plantarum, Lactobacillus casei* และ *Lactobacillus sake*

3) กลุ่มที่ทำให้เกิดการหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟเพียงอย่างเดียว (obligate heterofermenters) สปีชีส์ที่นิยมใช้ในการหมัก ได้แก่ *Lb. brevis, Lb. fermentum* และ *Lb. kefir*

แบคทีเรียแลคติกอื่นๆ ที่ไม่ใช่แลคโตแบซิลไล ได้แก่

- *Leuconostoc* มีลักษณะสำคัญ คือ รูปร่างกลมทำให้จำแนกออกจากพวกแลคโตแบซิลไลได้ง่าย แต่ไม่นิยมนำมาใช้ในการหมักกรดแลคติกเนื่องจากทำให้เกิดเมือก

- *Pediococcus* นิยมนำมาใช้ในการหมักกรดแลคติกมากกว่า เช่น *P. pentosaceus*

- *Streptococcus* มีลักษณะเด่นที่สามารถจำแนกย่อยได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ *Enterococci, Lactococcus* และ *Streptococcus*

2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ต

โยเกิร์ตจะมีโปรตีน แคลเซียม และสารอาหารอื่นๆ บางชนิดสูงกว่าน้ำนม เนื่องจากในการผลิตโยเกิร์ตนั้นมีการเติมสารบางชนิด เช่น นมผงขาดมันเนย เพื่อปรับค่าของแข็งที่ไม่รวมไขมันนม (milk solid-non-fat) ให้สูงขึ้น นอกจากนี้ในโยเกิร์ตยังมีกรดแลคติกในความเข้มข้นที่สูงกว่าน้ำนม และมีแบคทีเรียที่มีประโยชน์ นอกจากนี้อาจมีการเติมแบคทีเรียที่มีประโยชน์ชนิดอื่นร่วมด้วย ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei* หรือ *Bifidobacterium* spp. เป็นต้น ทำให้ผู้บริโภคได้รับคุณค่าจากแบคทีเรียที่มีประโยชน์มากยิ่งขึ้น

มีรายงานว่าการรับประทานโยเกิร์ตเป็นประจำจะส่งผลดีต่อร่างกายในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ช่วยทำให้ร่างกายดูดซึมแร่ธาตุต่างๆ ดีขึ้น ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันของร่างกาย ลดคลอเลสเตอรอล และช่วยลดความเสี่ยงจากการเป็นมะเร็งในลำไส้ เป็นต้น เนื่องจากโยเกิร์ตเป็นอาหารที่ย่อยง่าย มีสารอาหารสูงโดยเฉพาะโปรตีนและแคลเซียม ซึ่งมีสูงกว่าในน้ำนม อีกทั้งมีแบคทีเรียที่มีประโยชน์จะทำหน้าที่ผลิตสารต่างๆ ที่มีประโยชน์ และทำลายแบคทีเรียก่อโรค (Chandan, 1993) คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ตแสดงไว้ในตารางที่ 1

การที่จะบริโภคโยเกิร์ตให้ได้รับประโยชน์อย่างเต็มที่ต้องรับประทานโยเกิร์ตที่มีแบคทีเรียที่มีชีวิตในปริมาณสูงคือ สูงกว่า 10^5-10^6 เซลล์ต่อกรัมของโยเกิร์ตหรือสูงกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัมของโยเกิร์ต (Orihara และคณะ 1992) และต้องบริโภคเป็นประจำในปริมาณที่มากพอ เพื่อให้มีปริมาณแบคทีเรียที่มีประโยชน์มากเพียงพอในลำไส้ เนื่องจากแบคทีเรียจำนวนหนึ่งจะถูกทำลายในกระเพาะอาหาร ซึ่งมีความเป็นกรดสูง และยังมีเกลือน้ำดีที่มีสภาวะรุนแรงต่อเซลล์แบคทีเรีย เมื่อแบคทีเรียโยเกิร์ตที่รอดชีวิตได้ผ่านจากกระเพาะอาหารลงสู่ลำไส้ก็จะถูกขับออกจากร่างกายไป ทำให้มีแบคทีเรียที่มีประโยชน์เหลือน้อยลง ดังนั้นหากไม่มีการบริโภคโยเกิร์ตเข้าไปทดแทนอย่างต่อเนื่องจะทำให้ร่างกายมีแบคทีเรียที่มีประโยชน์น้อยเกินไป (Chandan, 1993)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ตเปรียบเทียบกับหางนม

Constituent (per 100g)	Yogurt						
	Skim Milk	Plain			Fruit-Flavored		
		Full Fat	Low Fat	Nonfat	Full Fat	Low Fat	Nonfat
Protein (g)	3.50	3.88	3.55	4.35	3.90	3.60	3.80
Fat (g)	0.10	3.50	1.60	0.1	2.62	1.33	0.11
Lactose (g)	5.00	3.9	4.10	4.20	3.80	3.11	2.98
Galactose (g)	0.00	1.50	1.50	1.50	1.20	1.20	1.20
Total carbohydrate (g)	5.00	5.42	5.60	5.70	15.50	13.51	12.83
Lactic acid (g)	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Citric acid (g)	0.20	0.30	0.30	0.30	-	-	-
Sodium (g)	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06
Potassium (g)	0.15	0.20	0.20	0.20	0.16	0.16	0.18
Calcium (g)	0.12	0.18	0.18	0.17	0.13	0.15	0.1
Phosphorus (g)	0.10	0.14	0.14	0.12	0.10	0.10	0.10
Chloride (g)	0.10	0.12	0.12	0.12	0.10	0.10	0.10
Energy value (KJ)	150	307	221	165	432	343	289
(calories)	38	73	53	39	103	82	69
Bacterial mass (g)	0	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

ที่มา: Chandan (1993)

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพโยเกิร์ต

ในการผลิตโยเกิร์ตที่มีคุณภาพดีนั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาก และควบคุมยากจำเป็นต้องอาศัยความรู้ ความชำนาญมากที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการมีรสชาติสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสตามต้องการ มีความคงรูป ไม่มีการแยกตัวเป็นชั้น คุณภาพดังกล่าวเป็นผลมาจากการเตรียมน้ำนมและจุลินทรีย์ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของการผลิตได้แก่

2.1.4.1 มาตรฐานของน้ำนม

น้ำนมดิบที่จะนำมาทำโยเกิร์ตจะต้องเป็นน้ำนมที่มีคุณภาพดีมาก โดยเฉพาะทางด้านปริมาณจุลินทรีย์จะต้องมีจำนวนน้อยด้วย รวมทั้งจะต้องปราศจากสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่มีผลทำให้ชะงักการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะทำปฏิกิริยา เช่น สารปฏิชีวนะได้แก่ เพนนิซิลิน

แบคทีริโอฟาร์จ หรือสารที่ใช้ในระบบการทำความสะอาด น้ำนมที่รับจากเกษตรกรจะต้องคัดเลือกอย่างดีและต้องมีการตรวจสอบอย่างดีด้วย

มาตรฐานของน้ำนมที่จะใช้มีส่วนประกอบหลายตัวที่จะต้องให้เป็นไปตามมาตรฐาน ได้แก่

1) ไขมัน ปริมาณไขมันของโยเกิร์ตจะมีปริมาณเท่ากับปริมาณไขมันในน้ำนมดิบที่จะใช้ ซึ่งอาจจะจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- โยเกิร์ตที่มีไขมันสูง คือจะมีปริมาณไขมันเกินร้อยละ 3 ขึ้นไป
- โยเกิร์ตที่มีไขมันต่ำ คือจะมีปริมาณไขมันเกินร้อยละ 1.5-3
- โยเกิร์ตที่ไม่มีไขมัน คือจะมีปริมาณไขมันน้อยมาก คือประมาณร้อยละ 0.1 เท่านั้น

2) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (dry solid content) ปริมาณของแข็งในน้ำนมทั้งหมดจะรวมถึงเคซีน ไขมัน น้ำตาลแลคโตส ปริมาณเคซีนในน้ำนมมีผลต่อความคงตัวของโยเกิร์ตอย่างมาก ปริมาณของแข็งในโยเกิร์ตจะประมาณร้อยละ 12-18 การทำให้น้ำนมได้ปริมาณของแข็งได้มาตรฐานอาจจะการะทำโดย

- การระเหยน้ำออกจากน้ำนมบ้าง (ประมาณร้อยละ 10-20)
- เติมนมข้น
- เติมหางนมผง ปริมาณที่เติมประมาณร้อยละ 0.5-2.5 โดยน้ำหนัก

2.1.4.2 สารที่จะทำให้คงรูป

การที่จะทำให้โยเกิร์ตมีความคงรูปดีขึ้นจำเป็นต้องใส่สารที่ทำให้คงรูปด้วย (stabilizer) นอกจากนี้อาจจะมีการใส่สารที่ทำให้หวาน (sweetener) บางครั้งจะมีการเติมพวกวิตามินด้วย เช่น วิตามินซี สารที่ทำให้คงรูปจะนิยมใช้สารที่มีสมบัติที่ทำให้น้ำเกาะกับของแข็งในน้ำนม เพื่อให้ความสม่ำเสมอของเนื้อสัมผัสไม่แตกแยก

2.1.4.3 ความร้อนที่ใช้

การให้ความร้อนแก่น้ำนมก่อนที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตมีประโยชน์หลายประการคือ

- ทำให้น้ำนมมีความเหมาะสมที่เป็นอาหารแก่จุลินทรีย์ยิ่งขึ้น
- ทำให้การตกตะกอนของน้ำนมสมบูรณ์และทำให้ตะกอนมีความแน่นเพียงพอ
- ทำให้หางนมไม่แยกออกจากตะกอนที่ตกแล้ว อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้กับน้ำนมคือ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งอุณหภูมินี้จะเพียงพอให้โปรตีนของหางนมตกตะกอน ทำให้เนื้อโยเกิร์ตแน่นยิ่งขึ้น

2.1.4.4 การเตรียมจุลินทรีย์

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะการเตรียมจุลินทรีย์ที่จะใช้ต้องมีการควบคุมด้านสุขลักษณะเป็นอย่างดี การเตรียมจุลินทรีย์จะต้องทำการด้วยความระมัดระวังที่จะไม่ให้จุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์แปลกปลอมเข้าไป จุลินทรีย์ที่ใช้จะเป็นแบคทีเรีย ชื่อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* อัตราส่วนของปริมาณของแบคทีเรียระหว่างทั้งสองชนิด อาจจะเป็น 1:1 หรือ 2:1 สัดส่วนนี้อาจจะกระทบกระเทือนถ้าการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ไม่แน่นอน จุลินทรีย์ที่เตรียมไว้จะต้องมีชุดใหม่อยู่ตลอดเวลา เพราะถ้าใช้ชุดเก่าจุลินทรีย์อาจจะไม่แข็งแรง และอัตราส่วนของจุลินทรีย์ก็อาจจะเปลี่ยนแปลงด้วย เพราะเมื่ออยู่ด้วยกันนานๆ *Lactobacillus bulgaricus* มักจะมีปริมาณมากกว่า ซึ่งจะมีผลทำให้โยเกิร์ตมีรสเปรี้ยวจัดเพราะมีกรดสูง

การเตรียมจุลินทรีย์ต้องปราศจากจุลินทรีย์อื่นๆ เช่น รา ยีสต์ หรือแบคทีเรีย การที่มีจุลินทรีย์อื่นปนเข้าไป เช่น สปอร์ของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นประเภทที่ทนทานต่อความร้อนได้สูง จะทำให้โยเกิร์ตมีรสขมได้ หลังจากการผลิตโยเกิร์ตได้มาตรฐานแล้ว จะมีกรดอยู่ประมาณร้อยละ 0.9-1.0 และกรดจะเพิ่มขึ้นระหว่างที่มีการนำไปจัดจำหน่าย โดยเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 1.5 ความเป็นกรดจะวัดได้ pH 4.2-4.4 ปริมาณของกรดจะควบคุมได้ด้วยอุณหภูมิที่ใช้บ่ม (incubation) และการทำให้เย็นลงเมื่อได้กรดเพียงพอ การมีกรดสูงมักจะทำให้โยเกิร์ตมีรสชาติและหอมมากขึ้น การเติมสารที่ให้มีกลิ่นหอมก็จะมากกว่าปกติด้วย (นรินทร์ ทองศิริ, 2531)

สำหรับการเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับหมักนม นิยมใช้การเตรียมในรูปแบบของการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

2.1.5 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงสามารถผ่านกระบวนการทำแห้งได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ (Kumar, 2004b) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งใช้อุณหภูมิต่ำในการทำแห้งทำให้ช่วยรักษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารได้ดี (Venir และคณะ, 2007)

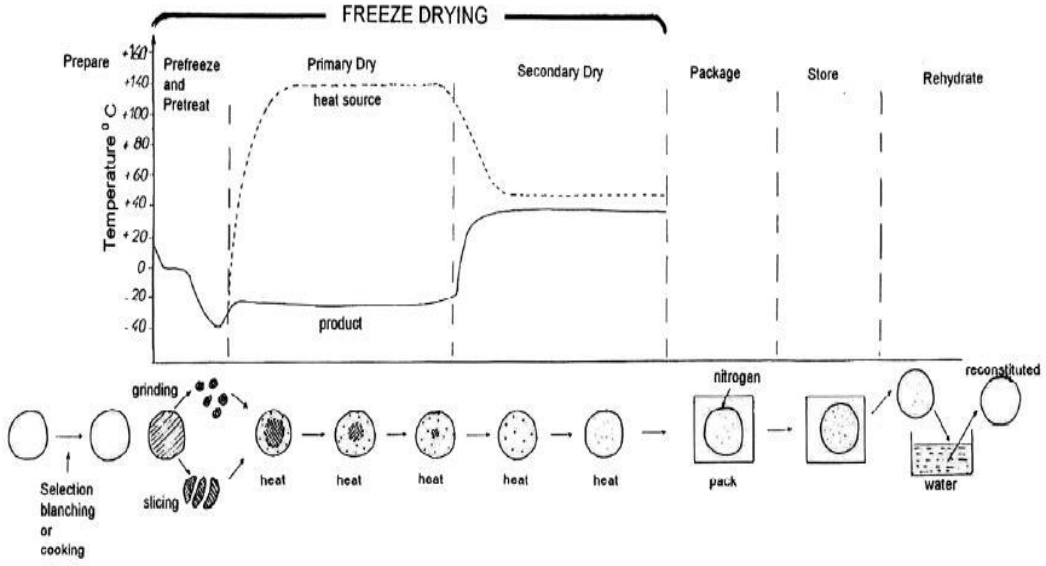
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการดึงเอาน้ำออกจากผลิตภัณฑ์โดยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งก่อน แล้วจึงลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งระเหิด (sublimation) เป็นไอด้วยการลดความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศปกติ ขณะควบคุมให้อุณหภูมิต่ำ (ที่อุณหภูมิเท่ากับหรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า) ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) การแช่เยือกแข็ง (freezing) เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) เพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็ง (ice crystal formation) อัตราเร็วของการแช่เยือก

แข็ง (freezing rate) ควรเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว เพื่อให้เกิดผลึกและผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ที่นิยมใช้กันมีหลายวิธี เช่น การแช่เยือกแข็งแบบใช้ลมเย็นเป่า (air blast freezing) การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจน (cryogenic freezing) และการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (immersion freezing) เป็นต้น

2) การทำแห้งขั้นต้น (primary drying) เป็นการลดปริมาณน้ำ (dehydration) โดยการระเหิด น้ำแข็งให้เป็นไอโดยการลดความดันบรรยากาศ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอ ออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ระดับของสุญญากาศ (vacuum) ควรอยู่ต่ำกว่า 132 Pa และ 132 mPa ตามลำดับ การระเหิดของผลึกน้ำแข็งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ การระเหิดของชั้นน้ำแข็ง (ice layer) จะเริ่มจากชั้นน้ำแข็งบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระเหิดไปเป็นไอ ทำให้บริเวณนี้กลายเป็นชั้นแห้ง (dry layer) จากนั้นเป็นการระเหิดของชั้นน้ำแข็งที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ระเหิดผ่านชั้นแห้งออกไปสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระยะเวลาการระเหิดขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด (Sharma, 1995)

3) การทำแห้งขั้นที่สอง (secondary drying) เมื่อการทำแห้งขั้นต้นเสร็จสมบูรณ์ น้ำแข็งจะละลายไปหมดจะมีความชื้นที่หลงเหลืออยู่ จึงต้องมีการทำแห้งด้วยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น เพื่อดึงเอาความชื้นที่เหลืออยู่ออกถึงระดับความชื้นที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ที่มา: http://www.foodnetworksolution.com สืบค้นเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2560

ข้อดีของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการกำจัดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ โดยใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำ จึงช่วยรักษาคุณภาพและคุณค่าทางอาหารไว้ได้ดี สามารถรักษากลิ่นรส สี และสารอาหารได้ดี ผลิตภัณฑ์สามารถดูดน้ำกลับอย่างรวดเร็วและรักษาเชื้อจุลินทรีย์ไว้ได้ดี อาหารที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีอายุการเก็บรักษานานกว่า 12 เดือน ถ้าบรรจุผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยผลิตภัณฑ์ยังคงทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดอาหาร เนื้อสัมผัสของอาหารที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เดิม เนื่องจากเกิดการหดตัวน้อย โครงสร้างที่มีรูพรุนที่เกิดขึ้นจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำให้ผลิตภัณฑ์คืนตัวได้รวดเร็ว แต่ออกซิเจนสามารถซึมเข้าได้ง่ายทำให้เกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (นรากร ศรีสุข, 2550)

Rybka และ Kailasapathy (1997) ได้ศึกษาผลของการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตหลังจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็ง -50 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 4 mbar เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus bulgaricus* ลดลงจาก $1.2x10^8$ เป็น $3x10^5$ CFU/ml และ *Streptococcus thermophilus* ลดลงจาก $1.6x10^9$ เป็น $7.6x10^8$ CFU/ml ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus bulgaricus* มีความไม่คงทนต่อการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมากกว่า *Streptococcus thermophilus* ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Marth, 1973) ได้กล่าวว่าการลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตหลังจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น อาจเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์มีการเผาผลาญอาหารในระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อพันธะไฮโดรเจนที่ใช้ในการยึดผิวหน้าของโปรตีนกับผนังเซลล์ในเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus bulgaricus* สำหรับ *Streptococcus thermophilus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่มีรูปร่างกลม จึงทำให้สามารถอยู่รอดได้ทุกสภาวะการแช่เยือกแข็ง

จากงานวิจัยของ Radaeva และคณะ (1975) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในโยเกิร์ตต่ออัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ในโยเกิร์ต พบว่าที่อุณหภูมิการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ -25 หรือ -40 องศาเซลเซียส ให้ผลดีที่สุดต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 50-60

2.1.6 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

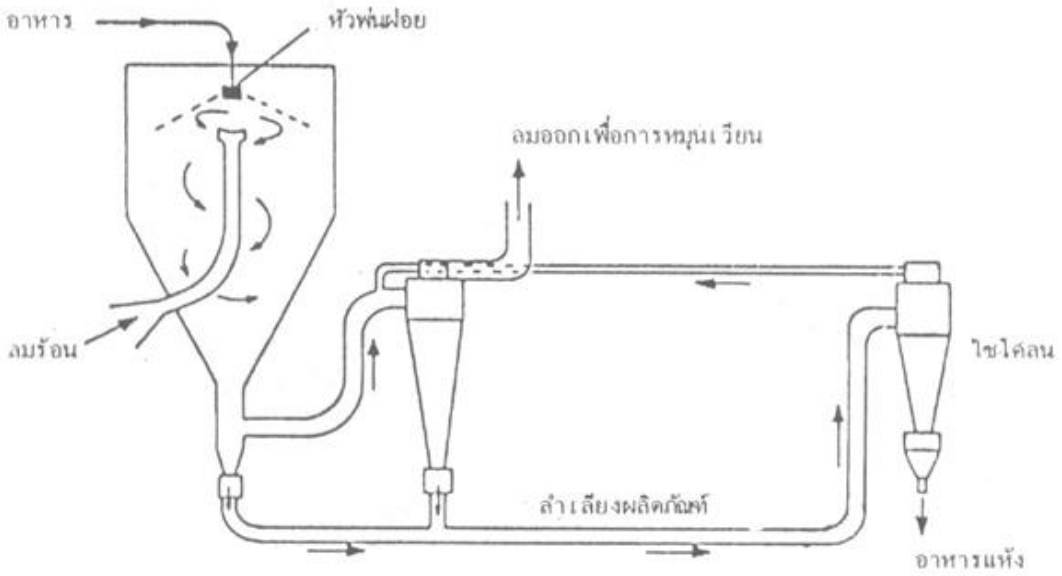
2.1.6.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งเป็นการกำจัดเอาน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในอาหารด้วยการระเหยซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากในการถนอมอาหารให้มีอายุการเก็บที่ยาวนานยิ่งขึ้น สะดวกต่อการเก็บรักษา และการขนส่ง (นุชเนตร ตาเย๊ะ, 2555) กรรมวิธีการทาแห้งมีหลายแบบ เช่น การใช้แสงแดด ลม หรือการใช้ตู้อบ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการทำแห้งจนสามารถเอาอาหารแห้งกลับมาคืนรูปแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับอาหารสด อาหารที่เก็บรักษาด้วยการทำแห้งจึงมีอยู่อย่าง

มากมาย ในปัจจุบันการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นของเหลวให้เป็นผงแห้ง สารละลายที่เป็นของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยภายในห้องอบและละอองฝอยจะสัมผัสกับอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วกลายเป็นอนุภาคผงแห้ง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-200 ไมโครเมตร (Fellows, 2000) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 3 (Bennion, 2004) ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นาน สะดวกต่อการเก็บรักษา

การทำแห้งแบบพ่นฝอยสามารถทำได้โดยการฉีดพ่นของเหลวที่ต้องการทำแห้งผ่านตัวกลางลมร้อน โดยน้ำในละอองของเหลวจะระเหยออกไปได้เป็นอนุภาคผง การผลิตในวิธีนี้ค่อนข้างง่ายและสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง อาหารที่จะมาทำแห้งต้องเป็นของเหลว อาจอยู่ในสภาพของสารละลายเจล อิมัลชั่น หรือสารละลายที่มีความข้นหนืดสูง การทำแห้งเริ่มตั้งแต่การทำให้ของเหลวแตกเป็นหยดเล็กๆ ภายในห้องทำแห้งที่มีอากาศร้อนไหลผ่านการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเร็วมาก เนื่องจากของเหลวมีสภาพเป็นหยดเล็กๆ ซึ่งมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับอากาศร้อนมาก เกิดการระเหยบนพื้นที่ผิวของหยดเม็ดเล็กๆ อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนและการเคลื่อนที่ของมวลสาร การระเหยของการทำแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการระเหยที่ให้อัตราการระเหยคงที่ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความชื้นภายในละอองของอาหารเหลวที่มีอยู่มากพอที่จะกระจายไปที่ผิวของละอองของเหลวอย่างคงที่ จนเกิดสภาวะอิ่มตัวถึงขณะหนึ่ง เมื่อปริมาณความชื้นลดลงต่ำกว่าสภาวะอิ่มตัวและเข้าสู่จุดวิกฤต (critical point) ผิวของละอองของเหลวจะเริ่มแห้ง อัตราการระเหยจะไม่คงที่ในช่วงนี้อัตราการระเหยจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของความชื้นผ่านผิวนอกที่แห้ง ซึ่งความหนาของชั้นผิวนอกที่แห้งจะเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลาอัตราการระเหยจึงมีค่าลดลง และพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยในการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ความเข้มข้นของอาหารเหลว โดยการเพิ่มความเข้มข้นของอาหารเหลวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่และมีความหนาแน่นรวมสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าโดยที่อัตราการไหลของอาหารเหลวเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยคงที่จะทำให้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ลดลงและมีความโปร่งมากขึ้นเนื่องจากอัตราการระเหยน้ำเกิดขึ้นเร็ว (Tamsma และคณะ, 1992)

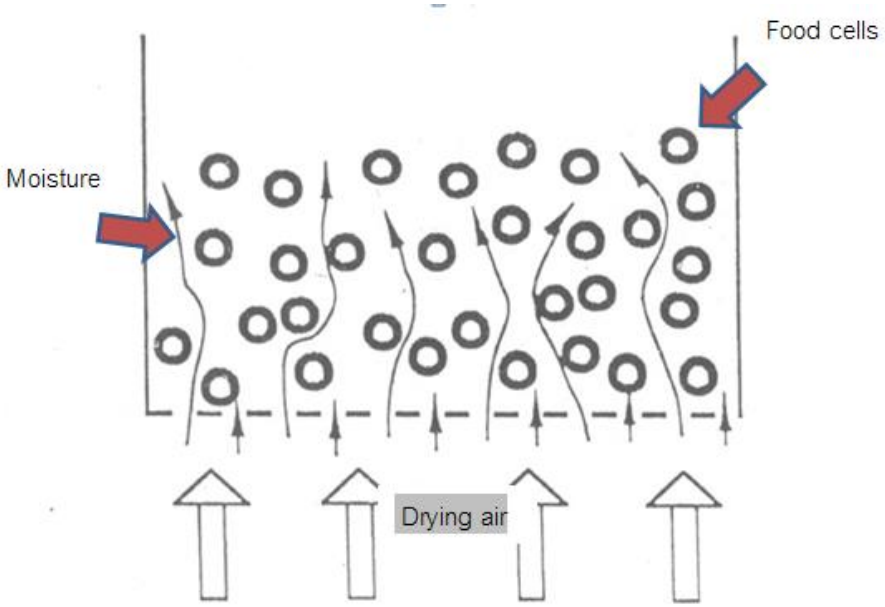
ข้อดีที่สำคัญของเครื่องนี้คือ ใช้เวลาสั้น สามารถผลิตอาหารแบบต่อเนื่องในปริมาณมากได้ ใช้แรงงานต่ำ การใช้และดูแลรักษาง่าย แต่มีข้อจำกัดคือ ใช้เงินลงทุนสูงและอาหารที่จะส่งเข้ามาต้องมีความชื้นสูงเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถที่จะปั๊มเข้ามาในเครื่องอะตอมไมเซอร์ได้ ทำให้ต้องใช้พลังงานเพื่อกำจัดความชื้นและเกิดการสูญเสียสารหอมระเหยสูง



<u>ภาพที่ 7</u> การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย
ที่มา: www.healthcarethai.com สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2560

2.1.6.2 กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อน ทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้นอาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อย ๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหารน้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกของการเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี่ การแพร่ของของเหลวจากความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ (พรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ, 2558) การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร (วิไล รังสาดทอง, 2546)



ภาพที่ 8 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา: www.healthcarethai.com สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2560

2.1.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1) จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น

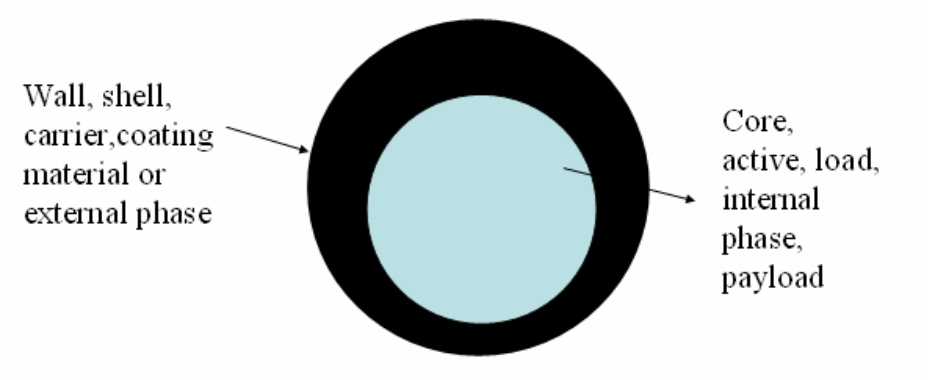
จากการศึกษาของ Fu และคณะ (1995) พบว่าจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีปริมาณสูงก่อนการทำแห้ง จะทำให้อัตราการรอดชีวิตนั้นสูงกว่าจำนวนเชื้อเริ่มต้นที่ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shahani และ Kilara (1976) ที่ศึกษาปริมาณการรอดชีวิตของ *Lactobacillus bulgaricus, Lactobacillus acidophilus* และ *Streptococcus thermophilus* โดยเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเริ่มต้นของ *Lactobacillus bulgaricus* ก่อนการทำแห้ง ที่ $6x10^5$ CFU/ml กับ $7x10^4$ CFU/ml หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้งมีปริมาณการรอดชีวิตของเชื้อที่ร้อยละ 75 และร้อยละ 10 ตามลำดับ ส่วน *Lactobacillus acidophilus* มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น $1.6x10^5$ CFU/ml กับ $2.6x10^4$ CFU/ml หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้งมีปริมาณการรอดชีวิตของเชื้อที่ร้อยละ 63 และร้อยละ 19 ตามลำดับ และ *Streptococcus thermophilus* มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นมี $7.3x10^5$ CFU/ml กับ $2.5x10^4$ CFU/ml หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้งมีปริมาณการรอดชีวิตของเชื้อที่ร้อยละ 11 และร้อยละ 1 ตามลำดับ

2) อุณหภูมิขาออกของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการศึกษาของ Kim (1990) พบว่าอัตราการรอดชีวิตของ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* จะลดลงเมื่ออุณหภูมิขาออกของการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด มากกว่าอุณหภูมิขาเข้าของการทำแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gardiner และคณะ (2000) ได้ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus paracasei* NFBC 338 ที่อุณหภูมิขาเข้า170 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกที่ช่วง 70-120 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิขาออกช่วง 80-85 องศาเซลเซียส ทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถรอดชีวิตได้มากที่สุด

2.1.7 กระบวนการห่อหุ้ม

กระบวนการห่อหุ้มเป็นเทคนิคในการนำสารชนิดหนึ่งมาทำการห่อหุ้มด้วยวัสดุอีกชนิดหนึ่ง โดยสารที่เป็นวัสดุแกนและต้องการถูกห่อหุ้มนั้นเรียกว่า active หรือ core material สำหรับวัสดุที่ใช้เป็นตัวห่อหุ้มนั้นจะเรียกว่า wall material, carrier หรือ encapsulant ซึ่งปัจจุบันเทคนิคนี้ได้รับการพัฒนาและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในทางอุตสาหกรรมอาหาร โดยผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน ได้แก่ สารประกอบให้กลิ่น วิตามิน เกลือแร่และสารให้สี รวมถึงเชื้อจุลินทรีย์ หลักการของกระบวนการเอนแคปซูเลชันประกอบด้วยสองขั้นตอนที่สำคัญคือ ขั้นแรกนำอนุภาคสารให้กลิ่นที่ต้องการห่อหุ้ม มาทำการห่อหุ้มด้วยสารที่มีความสามารถในการห่อหุ้ม เช่น โพลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) หรือโปรตีน (protein) ขั้นตอนที่สองคือการทำแห้งโดยจุดประสงค์ที่สำคัญและประโยชน์ของการทำเอนแคปซูเลชันคือ ป้องกันไม่ให้วัตถุนั้นๆ ทำปฏิกิริยากับสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น รังสียูวี เป็นต้น (Zeller และคณะ, 1999) ความสามารถในการกักเก็บกลิ่นได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดและสัดส่วนของ core material ต่อ carrier วิธีการในการทำเอนแคปซูเลชันซึ่งการเลือกใช้กระบวนการเอนแคปซูเลชันแบบต่างๆนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะของกระบวนการผลิตและลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ (Madane และคณะ, 2006)



ภาพที่ 9 โครงสร้างเอ็นแคปซูเลชัน

ที่มา: http://www.foodnetworksolution.com สืบค้นเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2560

การเอ็นแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรสสามารถป้องกันสารให้กลิ่นรสที่อาจทำปฏิกิริยากับส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร และลดการเกิดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากสารให้กลิ่นรสทำปฏิกิริยากัน อีกทั้งยังป้องกันสารให้กลิ่นรสจากแสงหรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสารให้กลิ่นรสและควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหาร

2.1.7.1 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอ็นแคปซูเลชัน

1) คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่สามารถนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบ ได้แก่ สตาร์ช มอลโตเดกซ์ตริน กัมอาราบิก เป็นต้น

1.1) สตาร์ช และ Ingredients ที่ผลิตได้จากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปร มอลโตเดกซ์ตริน และ บีตาไซโคลเดกซ์ตริน ถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบในการเอ็นแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อกักเก็บและปกป้องสารให้กลิ่นรส

กลไกการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรสและสตาร์ชแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบโดย รูปแบบแรก สารให้กลิ่นรสจะถูกล้อมรอบด้วย amylase helix โดยการจับกันเป็นแบบ hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลิ่นรสไว้ภายในโมเลกุล รูปแบบที่สองจะเกิด polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจน ระหว่าง hydroxyl groups ของสตาร์ชและ สารให้กลิ่นรส

- สตาร์ชดัดแปร

อุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันสตาร์ชดัดแปรถือว่าเป็นหนึ่งในทางเลือกในการนำมาใช้ เพื่อแก้ไขและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะที่ต้องการมากขึ้น เช่นสำหรับมังสวิรัต ฮาลาย โคเชอร์ ผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ หรือสำหรับผู้ที่แพ้ส่วนประกอบบางอย่างในแป้ง นอกจากนี้สตาร์ชปกติมีปัญหาในเรื่องของความสามารถในการละลายที่จำกัด จึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของสตาร์ชให้ตรงกับความต้องการ

นำไปใช้ ซึ่งวิธีที่ใช้ในการปรับปรุงสตาร์ชมีด้วยกัน 4 วิธีคือ (i) การแทนที่ด้วยหมู่ทางเคมี (ii) การใช้เอนไซม์ (iii) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (iv) และการใช้หลาย ๆ วิธีร่วมกัน อนุพันธ์ของสตาร์ชดัดแปรเกิดจากการตัดพันธะไกลโคซิดิก การสร้างกลุ่มใหม่ หรือการแทนที่หมู่ทางเคมีที่หมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ข หรือการเชื่อมข้ามพันธะ (cross-linking) เมื่อแบ่งชนิดของการดัดแปลงสตาร์ชจะแบ่งได้ 2 วิธีหลัก ๆ คือ การดัดแปลงทางเคมีที่รวมไปถึงสตาร์ชที่ดัดแปรแบบเชื่อมข้าม การแทนที่หมู่ทางเคมี โดยทั่วไปโครงสร้างของสตาร์ชมักจะตอบสนองกับหมู่ทางเคมีที่มีขนาดเล็ก การแทนที่ของหมู่ทางเคมีสามารถเรียกแทนว่าระดับการแทนที่ (degree of substitute; DS) โดยตำแหน่งที่แทนที่ในโมเลกุลของแป้งจะมีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ชดัดแปรและการดัดแปลงโครงสร้างทางกายภาพโดยใช้ความร้อน แรงกด แรงเฉือนและความชื้น เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้ง มีสองวิธีคือการทำสตาร์ชดัดแปรพรีเจลาติไนเซชัน (pre-gelatinization) และการใช้ความร้อน (heat-treatment) การดัดแปลงโครงสร้างของสตาร์ชสามารถดำเนินการได้ในขณะที่มีสถานะเป็นของแข็งแห้งหรือผสมกับน้ำ

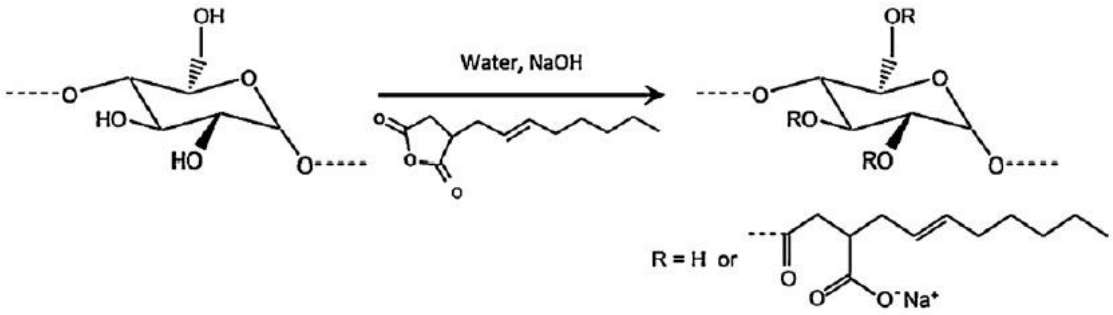
- สตาร์ชดัดแปรออกทีนิลซัคซินิคแอนไฮไดร์

การทำงานของสตาร์ชดัดแปรออกทีนิลซัคซินิคแอนไฮไดร์ (OSA) เป็นการเพิ่มความเสถียรให้กับอิมัลชัน โดยสตาร์ชดัดแปร OSA จะถูกดูดซับที่พื้นผิวสัมผัสร่วมช่วยป้องกันการเข้ามาจับตัวกันของอนุภาคที่ก่อให้เกิดการแยกชั้นของระบบ นอกจากนี้ยังเหมาะสมที่จะใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์เนื่องจากเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ไม่ให้สีและรสชาติกับผลิตภัณฑ์และทนต่อค่าความเป็นกรดด่างมากกว่าโปรตีน แม้ว่าพีเอชอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแต่นับว่าส่งผลน้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้เวย์โปรตีน จากการศึกษาพบว่าความคงตัวของแป้งดัดแปรจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช เกลือและอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามความคงตัวของระบบอิมัลชันและเบต้าแคโรทีนจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของสตาร์ชดัดแปร OSA ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องเช่นความเข้มข้นที่ใช้ ชนิดของสตาร์ชต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันและเบต้าแคโรทีน ในระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งด้วยการทำปฏิกิริยาการแทนที่ (esterification) ร่วมกับการใช้กรดดีคาร์บอกซิลิค (dicarboxylic) ได้รับการจดสิทธิบัตรในปี 1953 โดย Caldwell และ Wurzburg โดยแป้งดัดแปรที่พบบ่อยคือการใช้กรดออกทีนิคซัคซินิคแอนไฮดรัส (anhydrous octenyl succinic acid ; OSA) ภายใต้สภาวะความเป็นด่างเรียกว่าสตาร์ชดัดแปร OSA ซึ่งได้รับการอนุญาตให้ใช้ในสหภาพยุโรป ภายใต้ E-number 1450

การแทนที่ของออกทีนิลซัคซินิคแอนไฮไดร์สามารถแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของกลูโคสที่ตำแหน่ง 2 3 และ 6 โดยส่วนใหญ่ หมู่ออกทีนิลซัคซินิคแอนไฮไดร์จะอยู่ที่ส่วนอะสันฐานของอะไมโลเพคตินมากกว่า ระดับการแทนที่มีค่าประมาณ 0.02 เป็นเรื่องปกติสำหรับสตาร์ชดัดแปรในเชิงพานิช นอกจากนี้ระดับการแทนที่ที่สูงขึ้นไม่มีประโยชน์ในการปรับปรุงการทำอิมัลชัน

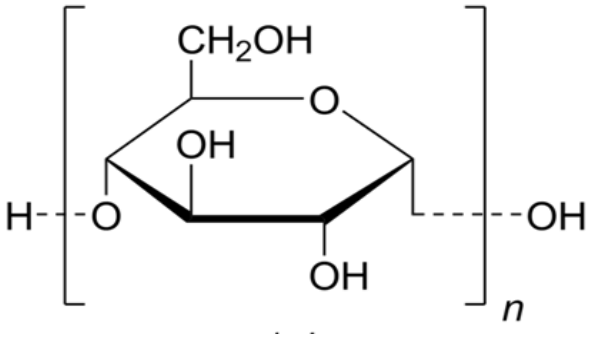
สตาร์ชดัดแปร OSA ที่แตกต่างกันตามกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้และระดับการแทนที่ อย่างไรก็ตามการแทนที่ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยลดความหนืดและอุณหภูมิในการเกิลเจลของแป้ง และมีผลต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันในกระบวนการให้ความร้อน การแช่แข็งแล้วละลาย นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารทดแทนไขมันได้ด้วยเนื่องจากให้ความรู้สึกคล้ายกับไขมันแล้วยังพบว่าเมื่อทำการดัดแปรสตาร์ชแล้วจะช่วยลดอัตราการย่อยของแป้งในระบบทางเดินอาหารด้วย



ภาพที่ 10 โครงสร้างของสตาร์ชดัดแปร OSA
ที่มา: Sweedman และคณะ (2013)

- มอลโตเดกซ์ตริน

มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้จากการไฮโดรไลส์แป้งข้าวโพดด้วยกรดหรือเอนไซม์ (Kenyon, 1988) มอลโตเดกซ์ตรินมักถูกเลือกใช้เป็นวัสดุในการใช้ทำเอ็นแคปซูเลชันเพราะต้นทุนต่ำ ไม่มีรสและมีความหนืดต่ำ ทั้งนี้ Yoshii และคณะ (2001) ระบุว่ามอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า Dextrose equivalent (DEs) ซึ่งเป็นค่าบอกระดับการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ชและยังใช้ Dextrose equivalent (DEs) เป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว (Kenyon, 1988) Dextrose equivalent (DEs) ยิ่งสูงขึ้นจะมีความสามารถในการรักษากลิ่นหอมที่ลดลง ซึ่งจากการทดลองใช้มอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE 10, 20, 25 และ 36.5 พบว่ามอลโตเดกซ์ตรินที่ DE 10 จะมีประสิทธิภาพในการรักษาความหอมได้ดีที่สุด



ภาพที่ 11 โครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตริน
ที่มา: Kenyon (1988)

2) โปรตีน

โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย ความหนืด อิมัลชันและคุณสมบัติของการทำให้เกิด ฟิล์ม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอ็นแคปซูเลชัน ระหว่างการเกิดอิมัลชัน โมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ oil-water interface อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดชั้นฟิล์มขึ้นทันทีจึงสามารถปกป้องหยดน้ำมันจากการกลับมารวมตัวอีกครั้ง ทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่าง กระบวนการผลิตและการเก็บรักษา

2.1) เวย์โปรตีน คือ โปรตีนที่สกัดได้มาจากนมวัว โดยนำน้ำนมวัวที่คัดแยก จากกระบวนการทำเนยแข็งมาสกัดส่วนที่เป็น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ออกให้เหลือส่วนที่เป็นโปรตีนบริสุทธิ์ที่เข้มข้นจากนั้นนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งเพื่อให้อยู่ในรูปแบบผง ซึ่งเวย์โปรตีนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

- เวย์โปรตีน คอนเซนเทรต (Whey Protein Concentrate : WPC) ได้จากการนำเวย์ที่ได้จากการผลิตขั้นต้นมาผ่านการกรอง Ultrafiltration หรือกระบวนการอื่นๆ เพื่อแยกแลคโตสและไขมันที่มีผสมอยู่มากเกินไปออก แล้วไปผ่านกระบวนการทำแห้ง ผงเวย์โปรตีนที่ได้จะมีความเข้มข้นของเวย์โปรตีนประมาณมากกว่าร้อยละ 29-89 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผงสีครีมอ่อนและมีกลิ่นของนม โดย WPC ที่สกัดได้จะมีกรดอะมิโนครบทั้ง 20 ชนิด และมีกรดอะมิโนจำเป็นครบทั้ง 8 ชนิดที่ร่างกายสร้างเองไม่ได้ และ ยังมี Branched-chain amino acid สูง ซึ่งจะช่วยเพิ่มระดับ Growth Hormone ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนและไกลโคเจน เพื่อช่วยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ และ WPC ยังมี Bioactive compound สูง ช่วยป้องกันการติดเชื้อและเพิ่มภูมิคุ้มกัน ได้อีกด้วย

- เวย์โปรตีน ไอโซเลต (Whey Protein Isolate : WPI) ได้จากการนำ WPC มาผ่านกระบวนการ Ion-exchange (IE) หรือ Cross-flow microfiltration (CFM) เพื่อแยกเอาแลคโตสและไขมันที่ ยังคงมีผสมอยู่บ้างออกไปอีก ทำให้ความเข้มข้นของเวย์โปรตีนสูงขึ้น คือ มากกว่า 90% กระบวนการ Ion-exchange (IE) ใช้วิธีแยกโมเลกุลของสารต่าง ๆ ออกจากกัน โดยอาศัยประจุไฟฟ้า บนโมเลกุลที่ต่างกัน จึงทำให้เวย์โปรตีนบริสุทธิ์มากขึ้น โดยอาจทำให้มีความเข้มข้นของเวย์โปรตีนได้ถึง 97-98% โดยน้ำหนักแห้ง แต่กระบวนการ Cross-flow microfiltration (CFM) ซึ่งใช้ตัวกรองที่ทำจากเซรามิก สามารถรักษาโปรตีนชนิดย่อย ๆ ที่มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ ไว้ได้ดีกว่า และมีปริมาณเกลือโซเดียมน้อยกว่าเวย์โปรตีนที่ผ่านกระบวนการ Ion-exchange (IE)

- เวย์โปรตีน ไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed Whey Protein : HWP) คือ WPC หรือ WPI ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซ์ ทำให้โมเลกุลของเวย์ โปรตีนที่มีขนาดใหญ่มากถูกย่อยจนอยู่ในรูปของโมเลกุลเล็ก ๆ ที่เรียกว่า peptides และบางส่วนอาจจะถูกย่อยลงไปจนถึงขั้นกรดอะมิโน มีงานวิจัยที่พบว่าโปรตีนที่อยู่ในรูปของ peptides สั้น ๆ ร่างกายจะสามารถดูดซึมไปใช้ได้ดีกว่าในรูปโมเลกุลใหญ่ ๆ และดีกว่ากรดอะมิโนอิสระ จึงทำให้ HWP เป็นเวย์โปรตีนที่ถูกย่อยและดูดซึมได้เร็วที่สุด นอกจากนี้ HWP ยังมีโอกาสทำให้เกิดการแพ้โปรตีนน้อยลงกว่าเวย์โปรตีน ชนิดอื่นๆ ด้วย จึงนำไปใช้ในสูตรนมสำหรับทารกหรือในทางการแพทย์เพื่อ จุดประสงค์พิเศษต่าง ๆ ข้อเสียของ HWP คือมีรสชาติที่ขมมาก เนื่องจากในกระบวนการไฮโดรไลซ์ อาจทำลายโปรตีนบางชนิดออกไป อีกทั้งยังมีราคาแพง

จากงานวิจัยของ Picot และ Lacroix (2004)ได้ศึกษาผลของการใช้ WPI ในการทำเอ็นแคปซูเลชัน เชื้อ *Bifidobacterium breve* และ *Bifidobacterium longum* โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าการใช้ WPI ในการทำเอ็นแคปซูเลชัน ในขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันก่อนการทำแห้ง จะทำให้อัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น

จากงานวิจัยของ รวิชา และคณะ (2557) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการเอ็นแคปซูเลชันต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากการทำแห้ง ซึ่งพบว่าการทำเอ็นแคปซูเลชันส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์มีอัตราการรอดชีวิตที่สูงกว่าการไม่ทำเอ็นแคปซูเลชัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การรอดชีวิตของ *Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus* TISTR 047 หลังผ่านกระบวนการเอ็นแคปซูเลชันและไม่เอ็นแคปซูเลชัน

Method	จำนวนเชื้อ (log cfu/ml)			
	เชื้อเริ่มต้น	W/O	W/O/W	spray dry
non-encapsulate	9.63 ± 0.32^{aA}	7.96 ± 0.08^{aB}	6.05 ± 0.49^{aC}	4.06 ± 0.08^{bD}
encapsulate	9.63 ± 0.32^{aA}	8.94 ± 0.34^{aAB}	8.55 ± 0.21^{aB}	8.31 ± 0.11^{aB}

ที่มา: รวิชา และคณะ (2557)

จากตารางที่ 2 พบว่าการทำเอ็นแคปซูเลชันมีการลดลงของเชื้อเพียง 1 log cycle ในขณะที่แบบไม่ทำเอ็นแคปซูเลชันมีการลดลงของเชื้อมากกว่าครึ่งเมื่อเทียบกับเชื้อเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าการทำเอ็นแคปซูเลชันสามารถเพิ่มการรอดชีวิตของเชื้อได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยศึกษาของ Pimentel และคณะ (2009) ที่ว่าการทำเอ็นแคปซูเลชันสามารถป้องกันเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ได้หลังจากการทำแห้ง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1.1 วัตถุดิบ

- เชื้อ Starter culture ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มแลคติกที่ทำโยเกิร์ตทางการค้าจากบริษัท Brentag, Denmark และบริษัท Dupont (เป็นหัวเชื้อผสมระหว่าง *Lactobacillus delbruckii ssp. bulgaricus* และ *Streptococcus thermophillus* มีชื่อทางการค้าคือ หัวเชื้อผสม A (YC-380), หัวเชื้อผสม B (YC-X16) และหัวเชื้อผสม C (R05))
- หางนมผง (Skim milk) จากบริษัท ดัชมิลล์ จำกัด
- น้ำกรอง (ศิลปากร)
- น้ำตาลทราย (มิตรผล)
- สตาร์ชดัดแปร ชนิด OSA (บริษัท เนชั่นแนลสตาร์ชแอนด์เคมิคอล ไทยแลนด์ จำกัด)
- มอลโตเดกซ์ตริน DE 10-15 (Thai food and Chemical company limited, China)

3.1.1.2 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

- PCA (Merck), Germany
- Peptone water (Merck), Germany
- Sodium hydroxide (NaOH) (Merck), Germany
- Phenopthalene (Fluka Chemical), Switzerland
- Alcohol ร้อยละ 95 สำหรับเติมตะเกียงแอลกอฮอล์ (Merck), Germany
- Alcohol ร้อยละ 70 สำหรับฆ่าเชื้อ (Merck), Germany

3.1.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

- เครื่องแก้วชนิดต่างๆ (Duran), Germany
- เทอร์โมมิเตอร์
- ขวดบรรจุภัณฑ์
- เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Tomy Seiko), Japan
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) (Memmert, New Jersey), U.S.A

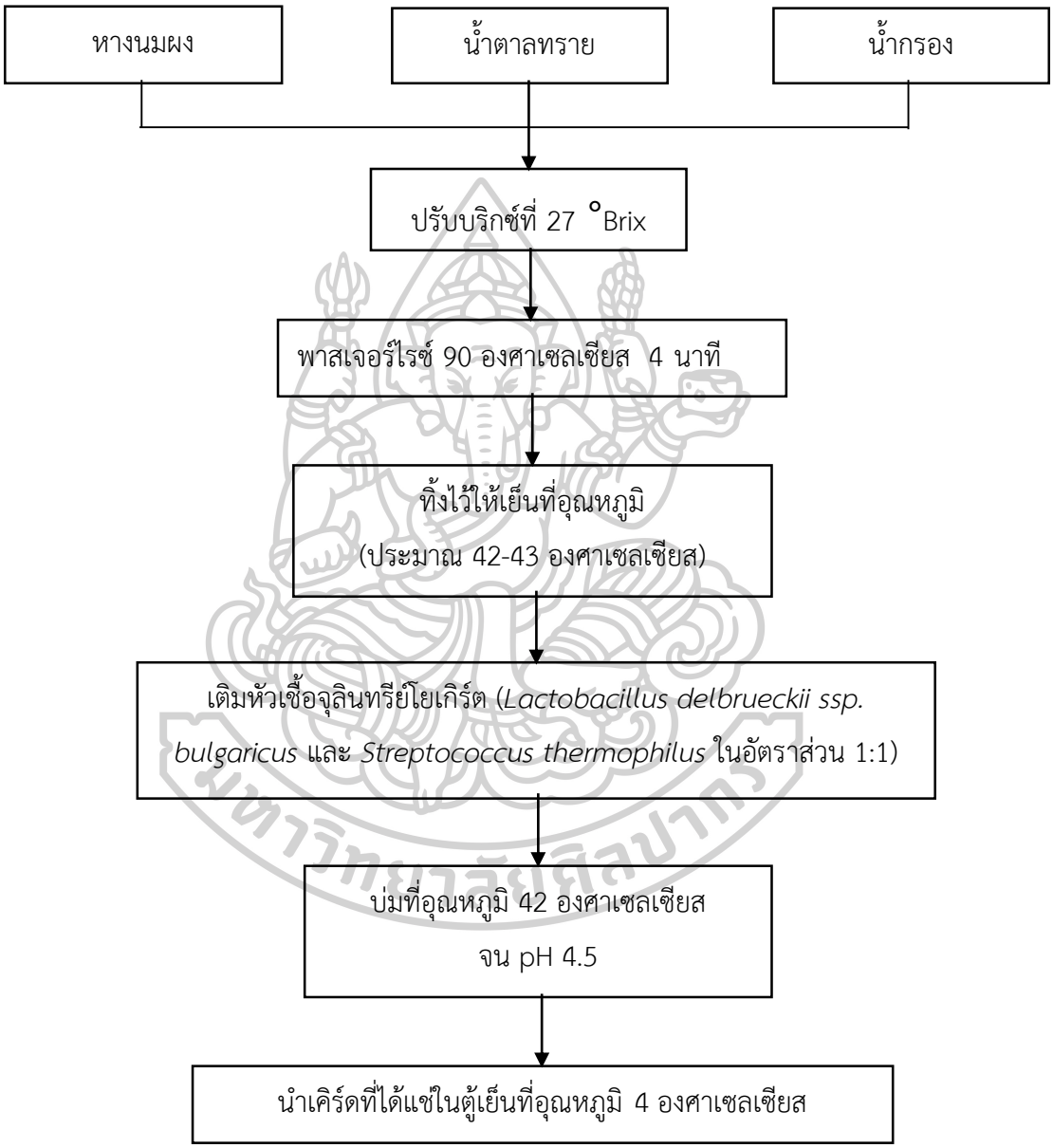
- ตู้อบลมร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ (WTB Binder), Germany
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Denver instrument, TB-214), Thailand
- เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Sartorius, BP3100s), Germany
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Milwaukee, Hungary
- เครื่องปั่นผสมอาหาร (hand mixer)
- รีแฟคโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Optika, Italy
- เครื่อง vortex - genie (Scientific Industries), Switzerland
- ตู้บ่มเชื้อ ยี่ห้อ Memmert, Germany
- ตู้เย็น ยี่ห้อ Hitachi, Japan
- เครื่อง Spray dry ยี่ห้อ APV, Denmark
- เครื่อง Freeze dry ยี่ห้อ Telstar LyoQuest, Spain
- เครื่อง Air blast freezing ยี่ห้อ Hiber, America
- เครื่องวัดค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ยี่ห้อ Aqua Lab, USA
- ถ้วยสำหรับวิเคราะห์ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้
- จานเพาะเชื้อ
- ไมโครปิเปตและปิเปต
- ทิป
- ขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ
- ตะเกียงแอลกอฮอล์
- หลอดทดลอง
- ลูกยางดูดสาร
- หม้อ
- ถ้วย
- ช้อน
- ทัพที
- เตาไฟฟ้า

3.1.2 วิธีการผลิตโยเกิร์ต

3.1.2.1 การผลิตโยเกิร์ต

หางนมผง (skim milk) ร้อยละ 20 น้ำตาลทรายร้อยละ 6 และน้ำกรองร้อยละ 74 มาผสมให้เข้ากันจนกระทั่งหางนมผงและน้ำตาลทรายละลายจนหมด วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix) ด้วย รีแฟคโตมิเตอร์ ให้ได้ 27 °Brix จากนั้นนำไปพาสเจอร์ไรซ์ 90 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 4 นาที ทิ้งไว้จนอุณหภูมิลดลงประมาณ 42-43 องศาเซลเซียส เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ต (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus*) ปริมาณ 0.4 กรัมในนม 1000 กรัม (หัวเชื้อร้อยละ 0.04) แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส จน pH 4.5 นำเคิร์ดที่ได้แช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 การผลิตโยเกิร์ต

3.1.2.2 การศึกษาหาเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในโยเกิร์ตผง

หางนมผง (Skim milk) น้ำตาลทราย และน้ำกรอง มาผสมให้เข้ากันจนกระทั่งหางนมผงและน้ำตาลทรายละลายจนหมด วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix) ด้วยรีแฟคโตมิเตอร์ ให้ได้ 27 °Brix จากนั้นนำไปพาสเจอร์ไรซ์ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นจนอุณหภูมิลดลงประมาณ 42-43 องศาเซลเซียส เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตทั้ง 3 หัวเชื้อ คือ หัวเชื้อผสม A, B และ C ปริมาณ 0.4 กรัมในนม 1000 กรัม (หัวเชื้อร้อยละ 0.04) แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส จนกระทั่งครบ 18 ชั่วโมง นำเคิร์ดไปวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

3.1.2.3 การศึกษาผลของการทำเอ็นแคปซูเลชันต่ออัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตผงโดยการเปรียบเทียบการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ในการทำเอนแคปซูลเลชันเราจะใช้มอลโตเดกซ์ตรินและสตาร์ชดัดแปรชนิด OSA ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารห่อหุ้ม โดยเราจะนำโยเกิร์ตมาผสมเข้ากับมอลโตเดกซ์ตรินหรือสตาร์ชดัดแปรชนิด OSA ร้อยละ 10 แล้วปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมด้วยมือ

1) วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry)

นำโยเกิร์ตมาปั่นผสมด้วยเครื่องผสมด้วยมือให้เป็นเนื้อเดียวกัน วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix) ด้วยรีแฟคโตมิเตอร์ ให้ได้ 27 °Brix นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าที่ประมาณ 160±5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกประมาณ 85±5 องศาเซลเซียส และมีอัตราการไหลอยู่ที่ 1.0-1.3 L/h นำโยเกิร์ตผงที่ได้ไปวิเคราะห์อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรีย

2) วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry)

เทโยเกิร์ตใส่ถาดสแตนเลส 30-50 กรัม เกลี่ยให้มีความหนาเท่ากัน นำถาดแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำให้เกิดผลึกน้ำแข็ง แล้วนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ –80 องศาเซลเซียส ความดัน 0.5 bar เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำโยเกิร์ตที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมาบดให้ละเอียด นำโยเกิร์ตผงที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณการรอดชีวิตของแบคทีเรีย

3.1.2.4 การเตรียมหัวเชื้อจากโยเกิร์ตผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ผงนมไขมันเนยเต็ม 10 กรัม ผสมในน้ำกรอง 90 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องนึ่งฆ่าเชื้ออุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นใส่โยเกิร์ตผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอย่างละ 1.2 กรัม และ 2.4 กรัมในสารละลายนมคืนรูป 100 กรัม ผสมให้เข้ากัน เพื่อให้ได้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดตั้งต้นอยู่ที่ 5-6 log CFU/g

3.1.2.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

นำหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งบรรจุใส่ถุงร้อนแล้วซีลปิดให้สนิท หลังจากนั้นนำไปบรรจุใส่ถุงอะลูมิเนียมฟรอยด์ซีลปิดให้สนิท และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน และศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดทุก ๆ 15 วัน

3.1.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

3.1.3.1 วิธีวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในโยเกิร์ต

โยเกิร์ต 50 กรัม เจืองจางด้วยสารละลายร้อยละ 0.1 Peptone ปริมาณ 450 มิลลิลิตร (การเจือจางตัวอย่าง 10^{-1}) เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำมาเจือจางต่อจนได้ความเจือจาง 10^{-9} ปิเปตสารละลายที่ระดับความเจือจางที่เตรียมไว้ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงจานเพาะเชื้อ เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Ager ที่มีอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส นำมาทำ Pour Plate Technique จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น โดยนับเฉพาะจานเพาะเชื้อที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี นำมาคำนวณหาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) = จำนวนโคโลนีที่นับได้ × dilution factor

3.1.3.2 วิธีวิเคราะห์อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียในโยเกิร์ตผง

ผงโยเกิร์ต 50 กรัม เจืองจางด้วยสารละลายร้อยละ 0.1 Peptone ปริมาณ 450 มิลลิลิตร (การเจือจางตัวอย่าง 10^{-1}) เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำมาเจือจางต่อจนได้ความเจือจาง 10^{-9} ปิเปตสารละลายที่ระดับความเจือจางที่เตรียมไว้ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงจานเพาะเชื้อเทอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Ager ที่มีอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส นำมาทำ Pour Plate Technique จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น นำมาคำนวณอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรีย

3.1.4 การวิเคราะห์ทางเคมี

3.1.4.1 วิธีวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter โดยจุ่มหัว probe ลงในโยเกิร์ต อ่านค่าที่ได้บนหน้าจอเครื่อง pH meter

3.1.4.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด

โยเกิร์ต 10 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (1% w/v) 15 หยด เป็นตัวอินดิเคเตอร์ ทำการไตเตรทด้วย 0.1 N NaOH จนกระทั่งถึงจุดยุติจะเป็นสีชมพูจางๆ ไม่หายภายใน 30 วินาที จากนั้นนำปริมาตรของ 0.1 N NaOH ที่ใช้ไปมาคำนวณหาปริมาณกรดแลคติก

$$\text{ปริมาณกรดแลคติก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\mathbf{N \times V1 \times 90.8 \times 100}}{\mathbf{V2 \times 1000}}$$

กำหนดให้

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

V_1 คือ ปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

V_2 คือ ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (กรัม)

3.1.5 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

3.1.5.1 วิธีวิเคราะห์ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

ผงโยเกิร์ตประมาณ 2-3 กรัม ใส่ในถ้วยสำหรับวิเคราะห์ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้เกลี่ยให้ผิวหน้าเรียบเท่ากัน นำใส่เครื่องวัดค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้อ่านค่าที่ได้บนหน้าจอ

3.1.6 การวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตชนิดไขมันต่ำ ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบที่ระดับ 1-9 ตามแบบ 9-point hedonic scale โดยใช้กลุ่มผู้ชิมจำนวน 30 คน

3.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชั่น ในการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธี one way ANOVA

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลของชนิดหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

ขั้นตอนนี้ทำการศึกษา เพื่อเลือกชนิดของหัวเชื้อหมักโยเกิร์ตทางการค้า เพื่อเพิ่มปริมาณหัวเชื้อ ขั้นแรกต้องศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการหมัก การเปลี่ยแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ได้จากการเพิ่มจำนวนจากการหมัก

จากการศึกษาผลของชนิดหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเคิร์ดโยเกิร์ต โดยใช้หัวเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่ หัวเชื้อผสม A, B และ C มาใช้ในกระบวนการหมักเป็นระยะเวลาทั้งหมด 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบคุณสมบัติของหัวเชื้อที่มีความเหมาะสมในกระบวนการหมัก โดยการวัดค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดทุก 3 ชั่วโมง ได้ผลดังต่อไปนี้

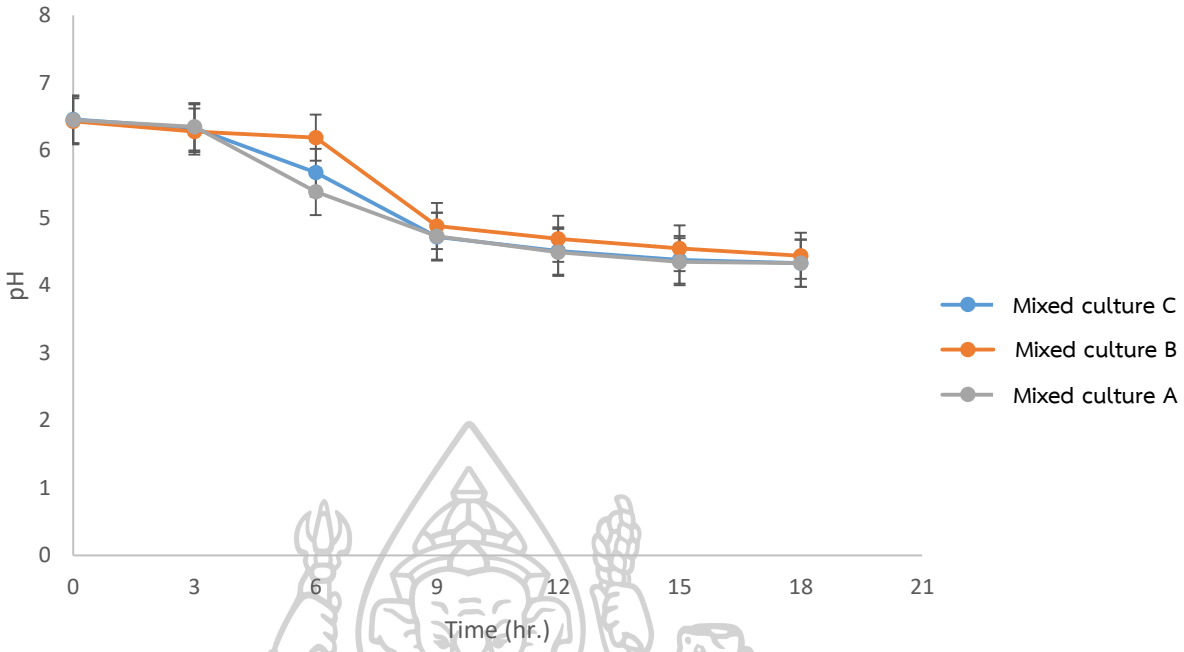
4.1.1 ผลของชนิดหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอช

จากการศึกษาผลของชนิดหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอชของโยเกิร์ต จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติหัวเชื้อแต่ละชนิดมีค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 95

ตารางที่ 3 ผลของชนิดหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอชโยเกิร์ต

ระยะเวลาในการหมัก	ค่า pH		
(ชั่วโมง)	หัวเชื้อผสม A	หัวเชื้อผสม B	หัวเชื้อผสม C
0	6.45±0.00^{a}	6.42±0.02^{a}	6.44±0.03^{a}
3	6.34±0.02^{a}	6.28±0.01^{b}	6.32±0.02^{ab}
6	5.67±0.04^{c}	6.23±0.02^{a}	5.68±0.01^{b}
9	4.72±0.01^{b}	4.88±0.01^{a}	4.71±0.02^{b}
12	4.48±0.02^{b}	4.70±0.01^{a}	4.50±0.02^{b}
15	4.36±0.01^{b}	4.52±0.04^{a}	4.39±0.01^{b}
18	4.31±0.04^{b}	4.44±0.01^{a}	4.33±0.01^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p<0.05$, n=3)



ภาพที่ 13 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอชโยเกิร์ต

จากตารางที่ 3 และภาพที่ 13 พบว่าหัวเชื้อผสม A, B และ C ในชั่วโมงที่ 0 มีค่าพีเอชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื้อมั่นร้อยละ 95 โดยค่าพีเอชเริ่มต้นของทั้ง 3 หัวเชื้อไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อมีการหมักจนมาถึงชั่วโมงที่ 6 หัวเชื้อแต่ละชนิดมีค่าพีเอชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และหัวเชื้อผสม A และ C มีค่าพีเอชลดลงมากกว่าหัวเชื้อผสม B โดยหัวเชื้อผสม A และ C อยู่ในช่วง 5.67±0.04 และ 5.68±0.01 ตามลำดับ ส่วนหัวเชื้อผสม B มีค่าอยู่ในช่วง 6.23±0.01 ซึ่งจะเห็นได้ว่าหัวเชื้อ YC-380 และ R05 สามารถเกิดเคิร์ดของโยเกิร์ตได้เร็วกว่าหัวเชื้อผสม B โดยเคิร์ดโยเกิร์ตที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermorphilus* ใช้น้ำตาลแลคโตสในน้ำนม และน้ำตาลที่เติมลงไปเป็นแหล่งพลังงาน สร้างกรดแลคติก รวมทั้งสารที่ให้กลิ่นรสออกมา กรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง (วราวุฒิ ครูส่งและรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532) ซึ่งกรดแลคติกที่เกิดขึ้นส่งผลให้เคซีนและกลูเตลินที่เป็นโปรตีนหลักในนมเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้เกิดการรวมตัวกัน และตกตะกอนลงบางส่วน นอกจากนี้อนุภาคเคซีนบางส่วนยังไปเกิดปฏิกิริยากับแอลฟา-แล็กทาลบูมิน (alpha -lactalbumin) และเบตา-แล็กโทโกลบูลิน (beta-lactoglobulin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในหางนม ทำให้เกิดเจล (gel) เป็นร่างแหที่มีความคงตัว แล้วตกตะกอนลงมารวมตัวกันกลายเป็นเคิร์ด (Ju และคณะ, 2001) นอกจากนั้นยังพบว่าหลังจากการหมักจนครบ 18 ชั่วโมงทั้ง 2 หัวเชื้อมีค่าพีเอชที่ใกล้เคียงกัน

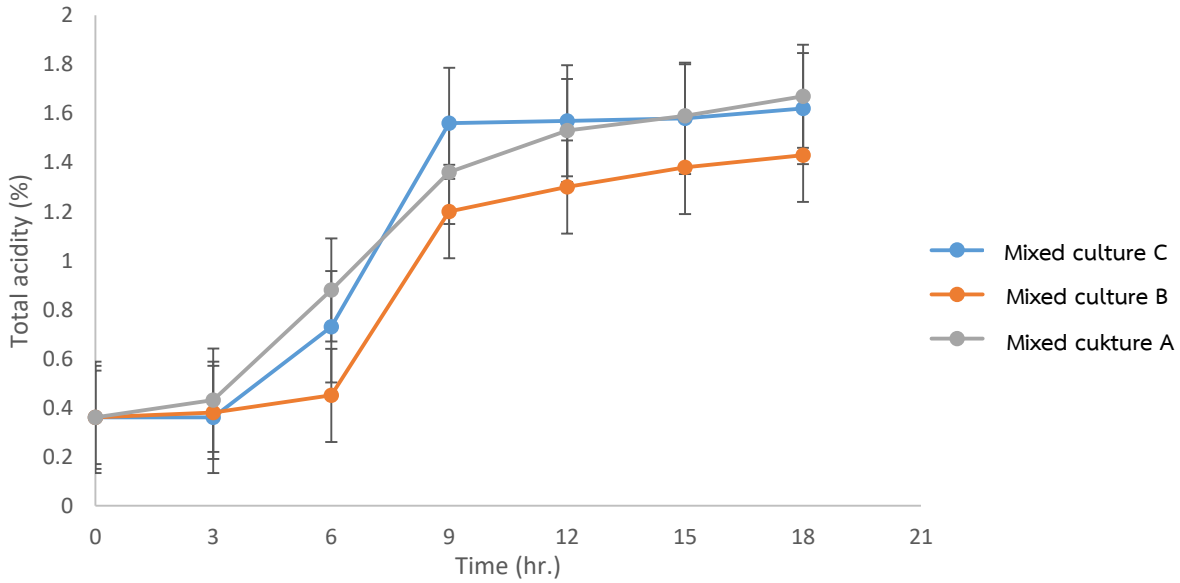
4.1.2 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณกรดทั้งหมดของโยเกิร์ต

จากการศึกษาผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณกรดทั้งหมดของโยเกิร์ต ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณกรดทั้งหมดของโยเกิร์ต

ระยะเวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	ปริมาณกรดทั้งหมด (% Total acidity)		
	หัวเชื้อผสม A	หัวเชื้อผสม B	หัวเชื้อผสม C
0	0.36±0.01^{a}	0.36±0.01^{a}	0.36±0.01^{a}
3	0.43±0.04^{a}	0.39±0.02^{a}	0.36±0.01^{a}
6	0.88±0.02^{a}	0.45±0.01^{c}	0.73±0.00^{b}
9	1.38±0.01^{b}	1.20±0.01^{c}	1.56±0.08^{a}
12	1.52±0.04^{a}	1.30±0.00^{b}	1.52±0.11^{a}
15	1.60±0.03^{a}	1.38±0.06^{b}	1.58±0.03^{a}
18	1.67±0.01^{a}	1.44±0.01^{c}	1.63±0.01^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, n=3)



ภาพที่ 14 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาในกระบวนการหมักต่อปริมาณกรดทั้งหมด

จากตารางที่ 4 และภาพที่ 14 พบว่าหัวเชื้อผสม A, B และ C มีค่าปริมาณกรดทั้งหมดเริ่มต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อหมักโยเกิร์ตมาจนกระทั่งชั่วโมงที่ 18 จะเห็นได้ว่าหัวเชื้อผสม A และ C จะสามารถผลิตกรดแลคติกของโยเกิร์ตได้มากกว่าหัวเชื้อผสม B โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 1.67±0.01 และ 1.63±0.01 ตามลำดับ ส่วนหัวเชื้อผสม B มีค่าอยู่ในช่วง 1.44±0.01 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ระยะเวลาการหมักมากขึ้นจะมีปริมาณกรดแลคติกที่ผลิตออกมามากขึ้น เนื่องจากเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* ไม่สามารถสลายน้ำตาลกาแลคโตสไปใช้ได้ ทำให้เกิดการสะสมมากขึ้นในระหว่างการหมัก จึงสร้างกรดแลคติกได้ปริมาณสูง โดยการผลิตกรดในช่วงต้นจะต่ำ เนื่องจากเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* ต้องการสารบางอย่างกระตุ้นในการเจริญเติบโต ทำให้เจริญได้ดีภายหลังระหว่างการหมัก *Streptococcus thermorphilus* จะใช้ออกซิเจนในนมจนปริมาณต่ำลงพอที่จะทำให้เชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* เจริญได้ดีขึ้น (Slocum และคณะ, 1988)

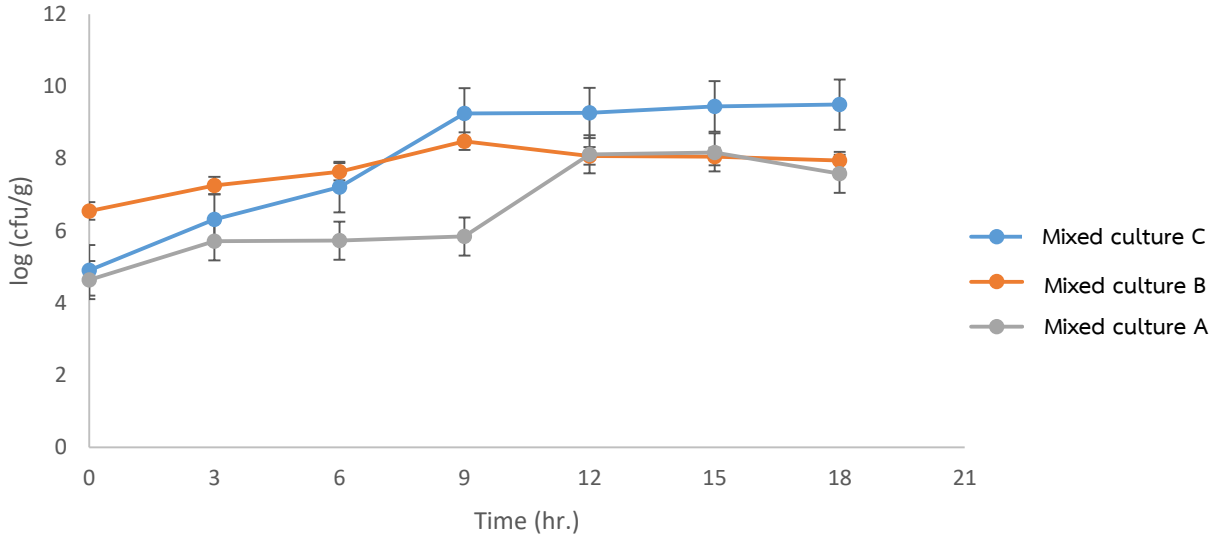
4.1.3 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากการศึกษาผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ต ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ต

ระยะเวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)		
	หัวเชื้อผสม A	หัวเชื้อผสม B	หัวเชื้อผสม C
0	4.63±0.10^{b}	6.54±0.05^{a}	4.85±0.30^{b}
3	5.22±0.77^{b}	6.86±0.14^{a}	5.61±0.05^{b}
6	5.70±0.19^{b}	7.63±0.03^{a}	7.18±0.21^{a}
9	9.25±0.12^{a}	8.48±0.06^{b}	7.18±0.02^{c}
12	8.12±0.13^{b}	8.07±0.08^{b}	9.63±0.06^{a}
15	7.17±0.37^{c}	8.04±0.13^{b}	9.79±0.09^{a}
18	6.45±0.21^{c}	7.94±0.07^{b}	9.70±0.19^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, n=3)



ภาพที่ 15 ผลของชนิดของหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ต

จากตารางที่ 5 และภาพที่ 15 พบว่าการหมักชั่วโมงที่ 0 และ 3 หัวเชื้อผสม A และ C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 กับหัวเชื้อผสม B ชั่วโมงที่ 9 ทั้ง 3 หัวเชื้อมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่าหัวเชื้อผสม C มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าหัวเชื้อผสม A และ B เนื่องจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นของแต่ละชนิดหัวเชื้อมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดแตกต่างกัน จึงส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนของเซลล์ในระหว่างการหมัก

จากผลการทดลองการศึกษาผลของชนิดหัวเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ต พบว่าหัวเชื้อผสม A และ C สามารถผลิตกรดแลคติกได้ปริมาณใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังกระบวนการหมักจะพบว่าหัวเชื้อผสม C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าหัวเชื้อผสม A ซึ่งในการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นจะช่วยควบคุมกระบวนการหมักโดยรวม ช่วยลดความเสี่ยงในการหมัก ระยะเวลาการหมัก (Digambar และคณะ, 2018) และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าช่วงเวลาของการหมักในชั่วโมงที่ 9 เป็นช่วงของ stationary phase จะเป็นช่วงที่เซลล์จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้เต็มที่และเซลล์จะมีความแข็งแรงมากพอและพร้อมที่จะนำไปทำแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้หัวเชื้อผสม C มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.2 ผลของการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ขั้นตอนนี้ได้นำหัวเชื้อทางการค้าที่ได้เลือกจากกิ่ทดลองข้อ 4.1 มาทำการศึกษาต่อ เพื่อเลือกกระบวนการทำแห้งที่เหมาะสม โดยขั้นแรกต้องศึกษาผลของร้อยละของผลผลิต ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ และปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตหลังจากผ่านกระบวนการทำแห้ง หลังจากนั้นนำหัวเชื้อผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งไปทดลองหมักโยเกิร์ต เพื่อนำโยเกิร์ตที่ได้ไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

4.2.1 ผลของค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้และร้อยละของผลผลิตของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้จะมีผลต่อลักษณะของผงโยเกิร์ต และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ส่วนร้อยละของผลผลิตของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง ใช้เพื่อบ่งบอกถึงต้นทุนการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงว่ากระบวนการทำแห้งแบบใดที่สามารถให้ผลผลิตที่คุ้มต้นทุนมากกว่ากัน นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการนำมาหมักโยเกิร์ตอีกด้วยและได้ผลตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลของร้อยละของผลผลิตและค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

Method	% yield	a_w
Spray dry	10.42	0.17995 ± 0.01^a
Freeze dry	26.18	0.12295 ± 0.01^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, $n=3$)

จากตารางที่ 6 พบว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้แช่แข็งและทำแห้งในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีผลต่อค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้นจะทำให้ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ลดลง นอกจากนี้ความหนาของตัวอย่างโยเกิร์ตที่ใส่ถาดเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ก็ส่งผลทำให้การทำแห้งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งลดลง (Sharma, 1995) แต่การทำแห้งแบบพ่นฝอยค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปัจจัยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า อุณหภูมิลมร้อนขาออก และความดันของ Atomizer (Kim, 1990) จึงทำให้ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของโยเกิร์ตผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งน้อยกว่า เนื่องจากเวลาในการทำแห้งใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง จึง

ทำให้น้ำในโยเกิร์ตถูกดึงออกมาได้มากกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ระยะเวลาในการสัมผัสความร้อนที่น้อยกว่า นอกจากนี้อัตราการไหลของโยเกิร์ตส่งผลต่อค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้โดยอัตราการไหลที่เร็วจะทำให้ละอองโยเกิร์ตสัมผัสกับลมร้อนได้น้อยกว่าอัตราการไหลที่ช้า จึงส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำต่ำลง (Gong และคณะ, 2008; Silva และคณะ, 1997) ซึ่งส่งผลให้ร้อยละของผลผลิตของหัวเชื้อผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้อยลงด้วย ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่า เมื่ออัตราการระเหยต่ำผงของหัวเชื้อโยเกิร์ตจะเกาะตามบริเวณตัวเครื่องและท่อมากขึ้น ทำให้ลมร้อนที่อยู่ภายในตัวเครื่องไม่สามารถพัดให้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงออกมาได้ทั้งหมด

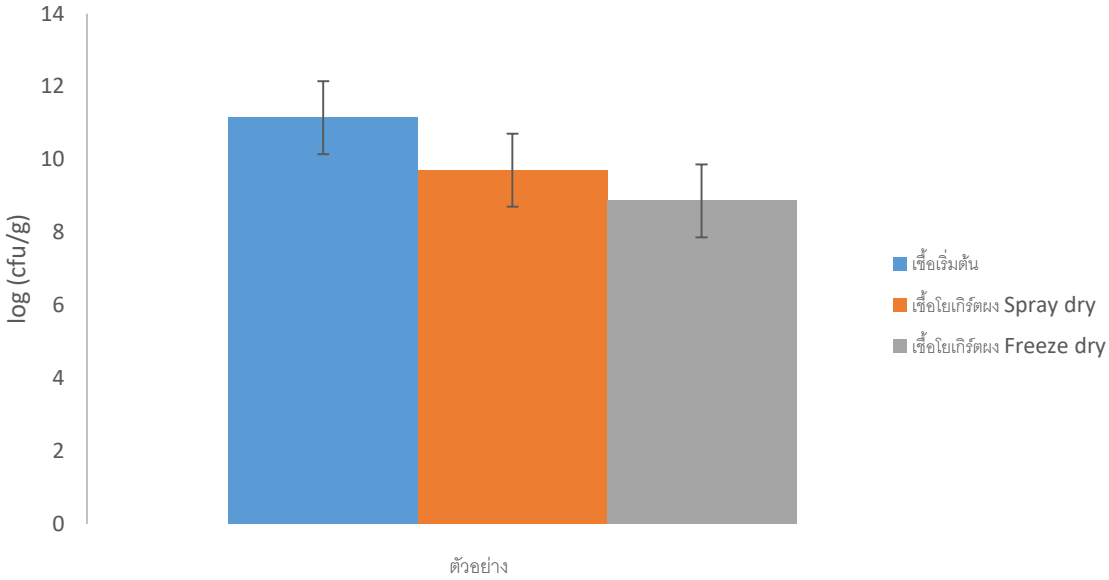
4.2.2 ผลของอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของโยเกิร์ตผง

ปริมาณของจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตจากการผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีผลต่อการนำมาทำหัวเชื้อ ซึ่งใช้ในการหมักโยเกิร์ตต่อไป มีผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลของปริมาณการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

Method	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	
	เชื้อเริ่มต้น	หลังผ่านกระบวนการทำแห้ง
Spray dry	11.14 ± 0.07^{a}	9.70 ± 0.13^{ab}
Freeze dry	11.14 ± 0.07^{a}	8.86 ± 0.06^{ac}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนและแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, $n=3$)



ภาพที่ 16 ผลของอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

จากตารางที่ 7 และภาพที่ 16 พบว่าอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้ง 2 กระบวนการทำแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดรอดชีวิตน้อยกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ต่ำลง ซึ่งเป็นภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้เชื้อจุลินทรีย์อาจเกิดการบาดเจ็บและตายในระหว่างการทำแห้ง (Capela และคณะ, 2006) และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตหลังจากการทำแห้ง โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตน้อยกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในขั้นตอนก่อนการนำไปทำแห้งจะต้องนำโยเกิร์ตไปแช่แข็งเพื่อให้เป็นผลึกน้ำแข็งแล้วจึงนำไปทำแห้งโดยผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการแช่แข็งมีผลทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์ได้รับบาดเจ็บมากกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งจนถึงการนำไปทำแห้งนั้นใช้เวลานานกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยอีกด้วย ส่วนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นอุณหภูมิขาออกและอัตราการไหลมีผลต่ออัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ โดยอัตราการรอดชีวิตของ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* จะลดลงเมื่ออุณหภูมิขาออกของการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดมากกว่าอุณหภูมิขาเข้าของการทำแห้ง (Gardiner และคณะ, 2000) นอกจากนี้ในส่วนผสมที่มีการใช้หางนมเป็นส่วนประกอบก็มีผลต่อการอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ เนื่องจากหางนมเป็นโปรตีนนมที่มีคุณสมบัติทางโครงสร้าง

และทางเคมี ซึ่งทำหน้าที่ในการห่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย ทำให้เหมาะกับการป้องกันเซลล์จากอุณหภูมิในกระบวนการทำแห้ง (Livney, 2010)

4.2.3 ผลของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

ขั้นตอนนี้ทำการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตที่ใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

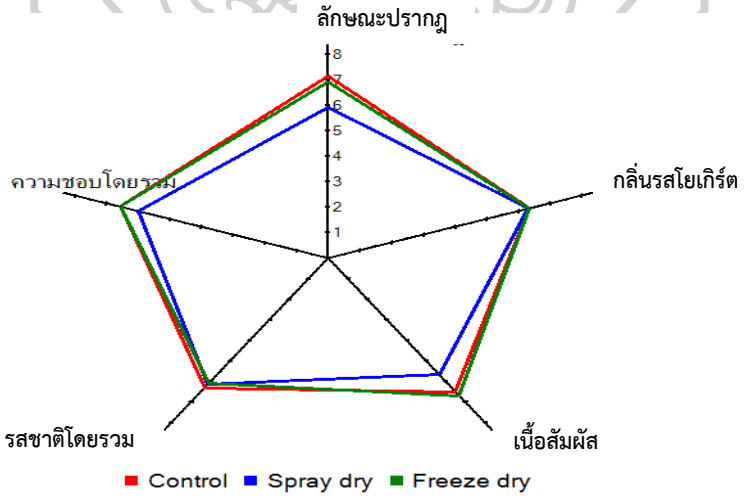
จากการศึกษาผลของการเปรียบเทียบการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ได้จากการใช้หัวเชื้อผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้ผลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตัวอย่าง	ลักษณะคุณภาพ				
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นรสโยเกิร์ต	เนื้อสัมผัส	รสชาติโดยรวม	ความชอบโดยรวม
Control	7.17±0.99 [b]	6.33±1.58 [a]	6.50±1.43 [b]	6.30±1.26 [a]	6.57±1.19 [a]
Freeze dry	6.93±1.31 [b]	6.33±1.37 [a]	6.70±1.29 [b]	6.10±1.58 [a]	6.57±1.19 [a]
Spray dry	5.93±1.36 [a]	6.30±1.53 [a]	5.67±1.99 [a]	6.13±1.50 [a]	6.00±1.44 [a]

หมายเหตุ 1. ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

2. a และ b แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 17 ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากตารางที่ 8 และภาพที่ 17 ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เตรียมจากหัวเชื้อผสม C ซึ่งเป็นหัวเชื้อทางการค้าใช้เป็นตัวควบคุม เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของโยเกิร์ตที่เตรียมหัวเชื้อหลังจากผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน พบว่าลักษณะคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตที่เตรียมจากใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับตัวอย่างควบคุม กลิ่นรสโยเกิร์ต และรสชาติโดยรวมของโยเกิร์ตทั้ง 3 ตัวอย่างนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนความชอบโดยรวมนั้นสามารถบ่งบอกได้ว่าตัวอย่างที่ใช้หัวเชื้อจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในการหมักโยเกิร์ตนั้นว่าวิธีใดที่ให้คะแนนใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม แสดงว่าตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งตัวอย่างควบคุมมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.57±1.19 โยเกิร์ตที่ใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.00±1.44 และ 6.57±1.19 ตามลำดับ แต่เมื่อเทียบกันแต่ละลักษณะคุณภาพจะพบว่าโยเกิร์ตที่เตรียมจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อละ 95 กับโยเกิร์ตที่เตรียมจากหัวเชื้อผสม C ทุกด้านคุณลักษณะ เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะช่วยรักษาคุณภาพด้านกลิ่นรส สี และคุณค่าทางโภชนาการได้ดี (Venir และคณะ, 2007) ทำให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เดิม (วิไล รังสาดทอง, 2546) จากการทดลองจะเห็นได้ว่าโยเกิร์ตที่หมักโดยใช้หัวเชื้อผงที่ได้จากการเตรียมโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด เนื่องจากโยเกิร์ตที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเนื้อทรายเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการละลายของหัวเชื้อผงไม่สม่ำเสมอทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเป็นหย่อม ๆ (local fermentation) ส่งผลให้โยเกิร์ตมีลักษณะเป็นเนื้อทราย

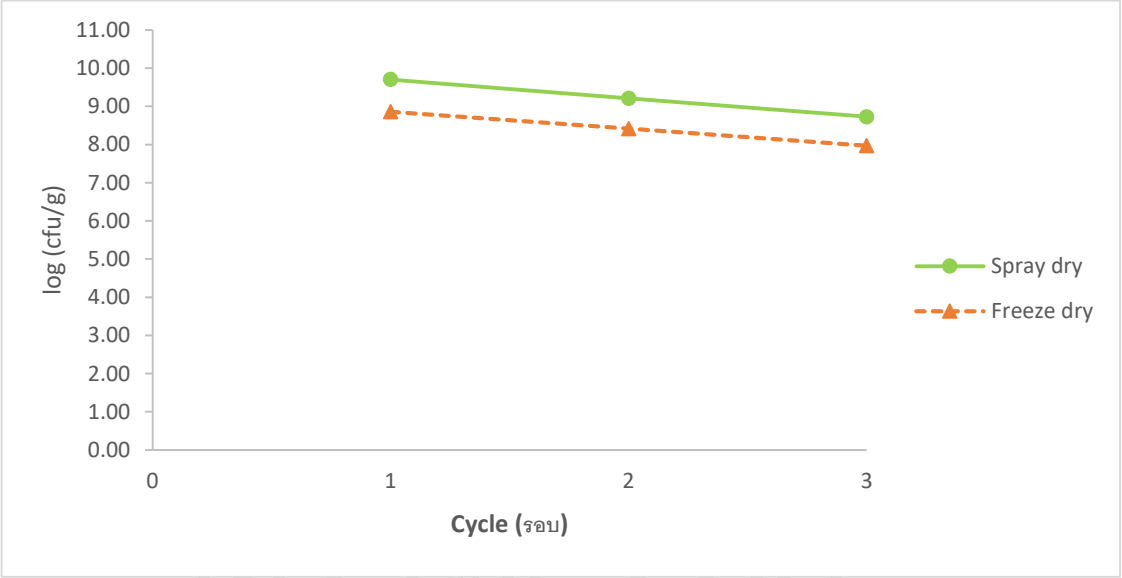
4.2.4. ผลของอัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้ง

หลังจากที่เราได้เลือกหัวเชื้อที่เหมาะสมในการนำไปหมักโยเกิร์ตในการทดลองต่อไปคือ เชื้อ R05 แล้ว เราได้นำโยเกิร์ตที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการทำแห้งทั้ง 2 วิธี แล้วจึงได้หัวเชื้อผงโยเกิร์ตในรอบที่ 1 หลังจากนั้นก็นำหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้ไปหมักโยเกิร์ตต่อแล้วนำโยเกิร์ตที่ได้ไปผ่านกระบวนทำแห้งอีกครั้งแล้วได้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงมาในรอบที่ 2 ซึ่งเราได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 รอบ ได้ผลของอัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของอัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตัวอย่าง	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่รอดชีวิต (log CFU/g)		
	cycle 1	cycle 2	cycle 3
Spray dry	9.70±0.13[a]	9.21±0.13[a]	8.73±0.18[b]
Freeze dry	8.86±0.06[b]	8.42±0.13[b]	7.97±0.03[c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, n=3)



ภาพที่ 18 ผลของอัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากตารางที่ 9 และภาพที่ 18 พบว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในรอบที่ 1 มีอัตราการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ที่ 9.70±0.13 log cfu/g และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์อยู่ที่ 8.86±0.06 log cfu/g เมื่อนำหัวเชื้อโยเกิร์ตผงในรอบที่ 1 ไปหมักโยเกิร์ตต่อและนำโยเกิร์ตที่ได้ไปผ่านการแห้งอีก 2 รอบ จะเห็นได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื้อมั่นร้อยละ 95 ตามลำดับ ในการทำแห้งทั้ง 3 รอบ นั้นมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีการ

บาดเจ็บหรือตายได้แต่ไม่มากนัก เนื่องจากในช่วงของการนำหัวเชื้อโยเกิร์ตผงมาหมักโยเกิร์ตจะช่วยให้เชื้อจุนทรีย์สามารถเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณเชื้อขึ้นก่อนการนำไปทำแห้งครั้งต่อ ๆ ไปได้ หลังจากนำไปหมักเป็นโยเกิร์ตแล้วโยเกิร์ตที่ได้มีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันในทั้ง 3 รอบ

4.3 ผลของการทำเอ็นแคปซูเลชันต่อการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ขั้นตอนนี้ทำการศึกษา เพื่อเลือกชนิดของสารห่อหุ้ม เพื่อเพิ่มปริมาณการรอดชีวิตของจุลินทรีย์หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้ง โดยขั้นแรกต้องศึกษาผลของร้อยละของผลผลิตค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ ปริมาณความชื้น และปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตหลังจากผ่านกระบวนการทำแห้ง

4.3.1 ผลของค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ค่าปริมาณความชื้นและร้อยละของผลผลิตของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้และค่าปริมาณความชื้นจะมีผลต่อลักษณะและอายุการเก็บรักษาของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง ในการวิเคราะห์ค่าร้อยละของผลผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผง ใช้เพื่อบ่งบอกถึงต้นทุนการผลิตโยเกิร์ตผงว่ากระบวนการทำแห้งแบบใดที่สามารถให้ผลผลิตที่คุ้มทุนมากกว่ากัน นอกจากนี้ยังมีผลต่อการนำมาหมักโยเกิร์ตอีกด้วย ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลของค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ และร้อยละของผลิตผลหัวเชื้อโยเกิร์ตผงหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

	Spray dry			Freeze dry		
	control	maltodextrin 10%	osa 10%	control	maltodextrin 10%	osa 10%
a_w	0.31±0.01 [a]	0.19±0.01 [a]	0.08±0.01 [b]	0.20±0.01 [a]	0.10±0.01 [a]	0.03±0.01 [c]
MC	7.88±0.09[a]	6.33±0.06[a]	5.52±0.01[b]	7.98±0.01[a]	5.15±0.03[b]	3.95±017[c]
% yield	10.42%	16.25%	13.38%	20.18%	22.78%	22.47%

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, n=3) *MC=moisture content

จากตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ OSA เป็นตัวห่อหุ้มมีค่าน้อยกว่า control และมอลโตเดกซ์ตริน ซึ่งผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของการการทำแห้งแบบแช่งเยือกแข็งก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย และเมื่อเปรียบเทียบค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้วพบว่าการทำแห้งแบบแช่งเยือกแข็งมีค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้น้อยกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยในทุกตัวห่อหุ้ม

สำหรับค่าปริมาณความชื้นในกระบวนการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการจะพบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ตรินและ OSA นั้นมีค่าปริมาณความชื้นน้อยกว่า control โดยการใช้ OSA จะมีค่าปริมาณความชื้นน้อยที่สุดในทั้ง 2 กระบวนการทำแห้ง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้ OSA ซึ่งเป็นสตาร์ชดัดแปรให้ผลของค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้และปริมาณความชื้นน้อยกว่า control และมอลโตเดกซ์ตริน ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชดัดแปรชนิดนี้มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี (Madane และคณะ, 2006) ประกอบด้วยกลูโคสที่อยู่ในส่วนของสตาร์ชเป็นกลุ่มชอบน้ำ ทำให้พันธะไฮโดรเจนจับกับน้ำและส่วนของออกทีนิลเป็นกลุ่มไม่ชอบน้ำสามารถจับกับน้ำมันได้ดี และมีสมบัติละลายได้ในน้ำเย็น มีค่าความหนืดต่ำ ช่วยเพิ่มความคงตัวในระบบอิมัลชันได้ดี (Liu และคณะ, 2008) เมื่อระบบอิมัลชันมีความคงตัวที่ดี จึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำแห้งนั้นดีขึ้นด้วยเป็นอย่างมาก

จากผลของร้อยละผลิตผลแสดงให้เห็นว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ร้อยละผลิตผลมากกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีข้อเสียคือหัวเชื้อโยเกิร์ตผงมีการเกาะตามบริเวณตัวเครื่องและท่อ ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่แท้จริงได้ แต่การทำแห้งแบบพ่นฝอยมีข้อดีคือราคาถูกกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Kumar, 2004a)

4.3.2. ผลของปริมาณการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

ปริมาณของจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตจากการผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อการนำมาทำหัวเชื้อโยเกิร์ตผง ซึ่งใช้ในการหมักโยเกิร์ตต่อไป มีผลดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลของปริมาณการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

ตัวอย่าง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่รอดชีวิต (log CFU/g)	
	เชื้อก่อนการทำแห้ง	เชื้อหลังการทำแห้ง
SD-control	11.14±0.07	9.11±0.02 [a]
SD-maltodextrin	11.14±0.07	9.27±0.15 [a]
SD-osa	11.14±0.07	9.43±0.02 [a]
FD-control	11.14±0.07	8.53±0.02 [b]
FD-maltodextrin	11.14±0.07	8.86±0.06 [b]
FD-osa	11.14±0.07	9.06±0.02 [ab]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, n=3)

จากตารางที่ 11 พบว่าปริมาณการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้ง 2 กระบวนการทำแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดรอดชีวิตน้อยกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ต่ำลง ซึ่งเป็นภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้เชื้อจุลินทรีย์อาจเกิดการบาดเจ็บและตายในระหว่างการทำแห้ง (Capela และคณะ, 2006) และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตหลังจากการทำแห้ง โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตน้อยกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในขั้นตอนก่อนการนำไปทำแห้งจะต้องนำโยเกิร์ตไปแช่แข็งเพื่อให้เป็นผลึกน้ำแข็งแล้วจึงนำไปทำแห้งโดยผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการแช่แข็งมีผลทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์ได้รับบาดเจ็บมากกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งจนถึงการนำไปทำแห้งนั้นใช้เวลานานกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยอีกด้วย ส่วนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นอุณหภูมิขาออกและอัตราการไหลมีผลต่ออัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ โดยอัตราการรอดชีวิตของ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* จะลดลงเมื่ออุณหภูมิขาออกของการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดมากกว่าอุณหภูมิขาเข้าของการทำแห้ง (Gardiner และคณะ, 2000) นอกจากนี้ในส่วนผสมที่มีการใช้หางนมเป็นส่วนประกอบก็มีผลต่อการอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ เนื่องจากหางนมเป็นโปรตีนนมที่มีคุณสมบัติทางโครงสร้างและทาง

เคมี ซึ่งทำหน้าที่ในการห่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย ทำให้เหมาะกับการป้องกันเซลล์จากอุณหภูมิในกระบวนการทำแห้ง (Livney, 2010)

4.4 ผลของค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

ขั้นตอนนี้ทำการศึกษา เพื่อเลือกชนิดของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ใช้วิธีการทำเอ็นแคปซูเลชันก่อนการทำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ขั้นแรกต้องศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการหมัก การเปลี่ยแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ได้จากการเพิ่มจำนวนจากการหมัก

จากการศึกษาผลของชนิดหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง และระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่อค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ตโดยใช้หัวเชื้อ 1 ชนิดคือ หัวเชื้อผสม C ที่เตรียมได้จากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมาใช้ในกระบวนการหมักเป็นระยะเวลาทั้งหมด 18 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบคุณสมบัติของหัวเชื้อที่ได้จากกระบวนการทำแห้งต่างกัน โดยการวัดค่าพีเอชปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดทุก 6 ชั่วโมง ได้ผลดังต่อไปนี้

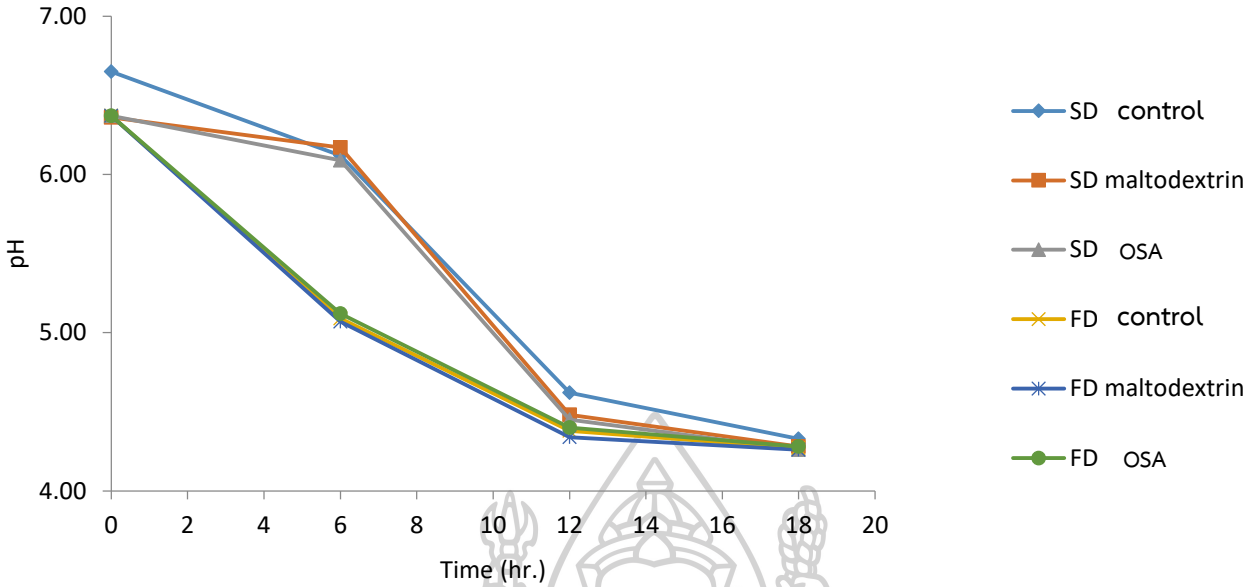
4.4.1 ผลของค่าพีเอชต่อระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

จากการศึกษาผลของค่าพีเอชต่อระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้งได้ผลดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลของค่าพีเอชที่ใช้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

ระยะเวลาในการหมัก (ชม.)	pH					
	Spray dry			Freeze dry		
	control	maltodextrin 10%	osa 10 %	control	maltodextrin 10%	osa 10%
0	6.45±0.01 [a]	6.36±0.06 [a]	6.38±0.04 [a]	6.37±0.02 [a]	6.38±0.07 [a]	6.38±0.01 [a]
6	6.12±0.02 [a]	6.17±0.03 [a]	6.10±0.02 [a]	5.09±0.01 [b]	5.07±0.03 [b]	5.13±0.02[4b]
12	4.62±0.01 [c]	4.48±0.01 [c]	4.46±0.01 [c]	4.38±0.01 [c]	4.35±0.04 [c]	4.41±0.01 [c]
18	4.34±0.01 [c]	4.28±0.04 [c]	4.27±0.04 [c]	4.27±0.05[c]	4.26±0.01[c]	4.28±0.02 [c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, $n=3$)



ภาพที่ 19 ผลของค่าพีเอชที่ใช้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

จากตารางที่ 12 และภาพที่ 19 พบว่าค่าพีเอชเริ่มต้นคือชั่วโมงที่ 0 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อการหมักเข้าสู่ชั่วโมงที่ 6 หัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าพีเอชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าพีเอชลดลงเร็วกว่าหัวเชื้อผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และชั่วโมงที่ 12 จะเห็นได้ว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับหัวเชื้อโยเกิร์ตที่ได้จากกระบวนการแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จึงมีค่าพีเอชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จนกระทั่งครบชั่วโมงที่ 18 พบว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการ มีค่าพีเอชไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทำให้โยเกิร์ตที่ได้จากการหมักโดยใช้หัวเชื้อผงจากกระบวนการทำแห้งทั้ง 2 วิธี อยู่ในช่วง 4.26±0.01 ถึง 4.34±0.01 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ตั้งแต่ที่ทำเป็นหัวเชื้อมีปริมาณน้อยกว่าจึงทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้ากว่า ส่งผลให้การผลิตกรดแลคติกช้ากว่าทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงค่อนข้างช้ากว่า

4.4.2 ผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ผลิตได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

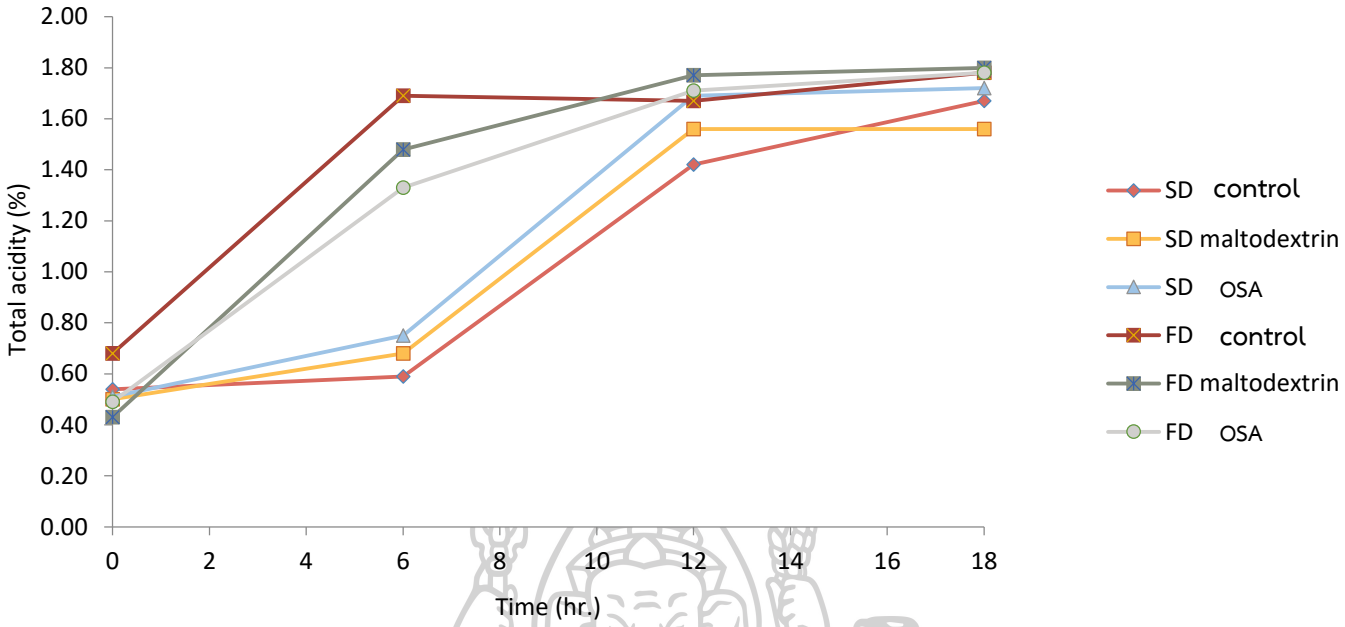
จากการศึกษาผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ผลิตได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้งได้ผลดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ผลิตได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

ระยะเวลาในการหมัก (ชม.)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%Total acidity)					
	Spray dry			Freeze dry		
	control	maltodextrin 10%	osa 10%	control	maltodextrin 10%	osa 10%
0	0.54±0.01 [a]	0.50±0.04 [a]	0.51±0.01 [a]	0.68±0.01 [b]	0.43±0.10 [a]	0.49±0.02 [a]
6	0.59±0.01 [a]	0.68±0.03 [b]	0.75±0.01 [b]	1.69±0.09 [c]	1.48±0.10 [c]	1.33±0.02 [c]
12	1.42±0.01 [c]	1.56±0.01 [c]	1.69±0.06 [c]	1.67±0.01 [c]	1.77±0.06 [c]	1.71±0.06 [c]
18	1.67±0.01 [c]	1.56±0.11 [c]	1.72±0.05 [c]	1.78±0.09 [c]	1.80±0.01 [c]	1.78±0.02 [c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, n=3)

มหาวิทยาลัยศิลปากร



<u>ภาพที่ 20</u> ผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ผลิตได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

จากตารางที่ 13 และภาพที่ 20 พบว่าที่ชั่วโมงที่ 0 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีปริมาณกรดทั้งหมดเริ่มต้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าปริมาณกรดเริ่มต้นสูงสุดคือ 0.68±0.01 แต่เมื่อการหมักเข้าสู่ชั่วโมงที่ 6 หัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณกรดทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงกว่าหัวเชื้อผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และชั่วโมงที่ 12 จะเห็นได้ว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณกรดทั้งหมดใกล้เคียงกับหัวเชื้อโยเกิร์ตที่ได้จากกระบวนการแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จึงมีปริมาณกรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จนกระทั่งครบชั่วโมงที่ 18 พบว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการ มีปริมาณกรดทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากผลการทดลองจะพบว่าการหมักโยเกิร์ตในช่วงชั่วโมงที่ 6 โยเกิร์ตที่ใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการมีปริมาณกรดทั้งหมดแตกต่างกัน เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีอัตราการรอดชีวิตของ *Streptococcus thermophilus* มากกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย แต่ปริมาณเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* มีปริมาณการรอดชีวิต

ใกล้เคียงกัน (Kim, 1990) ส่งผลทำให้เชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* ใช้สารบางชนิดในการกระตุ้นการเจริญเติบโตจากเชื้อ *Streptococcus thermophilus* ทำให้ผลิตกรดแลคติกได้ใกล้เคียงกับหัวเชื้อ R05 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตมีปริมาณกรดแลคติกตามมาตรฐานไม่น้อยกว่า 0.6 ของน้ำหนัก (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547)

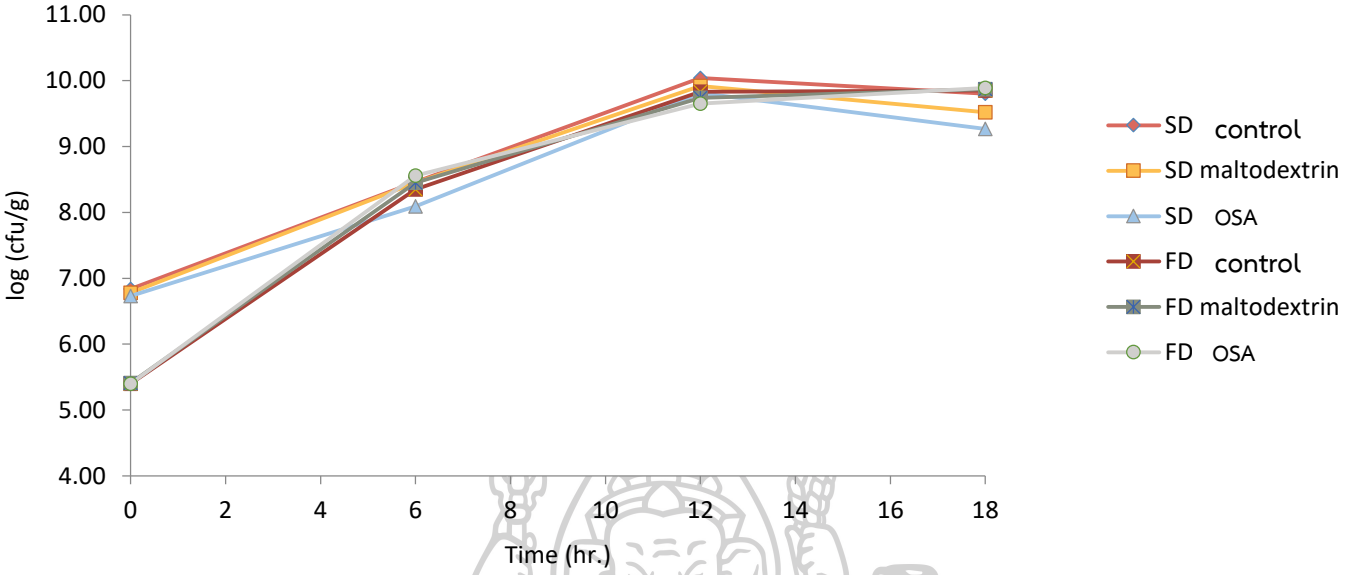
4.4.3 ผลของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

จากการศึกษาผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้งได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลของค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

ระยะเวลาในการหมัก (ชม.)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)					
	Spray dry			Freeze dry		
	control	maltodextrin 10%	osa 10%	control	maltodextrin 10%	osa 10%
0	6.84±0.13 [a]	6.78±0.05 [a]	6.73±0.01 [a]	5.40±0.03 [b]	5.41±0.01 [b]	5.40±0.12 [b]
6	8.46±0.09 [c]	8.45±0.02 [c]	8.09±0.06 [c]	8.35±0.08 [c]	8.45±0.21 [c]	8.56±0.03 [c]
12	9.94±0.22 [c]	9.86±0.08 [c]	9.81±0.19 [c]	9.83±0.03 [c]	9.74±0.04 [c]	9.65±0.01 [c]
18	9.80±0.15 [c]	9.52±0.12 [c]	9.27±0.34 [c]	9.85±0.11 [c]	9.87±0.14 [c]	9.89±0.16 [c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, n=3)



ภาพที่ 21 ผลของค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้ในกระบวนการหมักของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง

จากตารางที่ 14 และภาพที่ 21 พบว่าที่ชั่วโมงที่ 0 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นมากกว่าโยเกิร์ตที่ใช้หัวเชื้อผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นอยู่ที่ log 6 และ log 5 ตามลำดับ แต่เมื่อการหมักเข้าสู่ชั่วโมงที่ 6 หัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จนกระทั่งครบชั่วโมงที่ 18 พบว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองของค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะเห็นได้ว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการเตรียมโดยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เชื้อจุลินทรีย์มีการฟื้นตัวได้เร็วกว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการเตรียมโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย จะเห็นได้ชัดในชั่วโมงการหมักที่ 6 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าเมื่อเชื้อจุลินทรีย์ในหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีการฟื้นตัวได้เร็วจากการบาดเจ็บจากกระบวนการทำแห้งทำให้

ประสิทธิภาพในการหมักโยเกิร์ตนั้นดีขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากผลของการผลิตกรดทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นได้ดีกว่าในชั่วโมงที่ 6 ส่งผลให้ค่าพีเอชนั้นลดลงเร็วไปด้วยตามลำดับ

4.5 ผลของชนิดหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

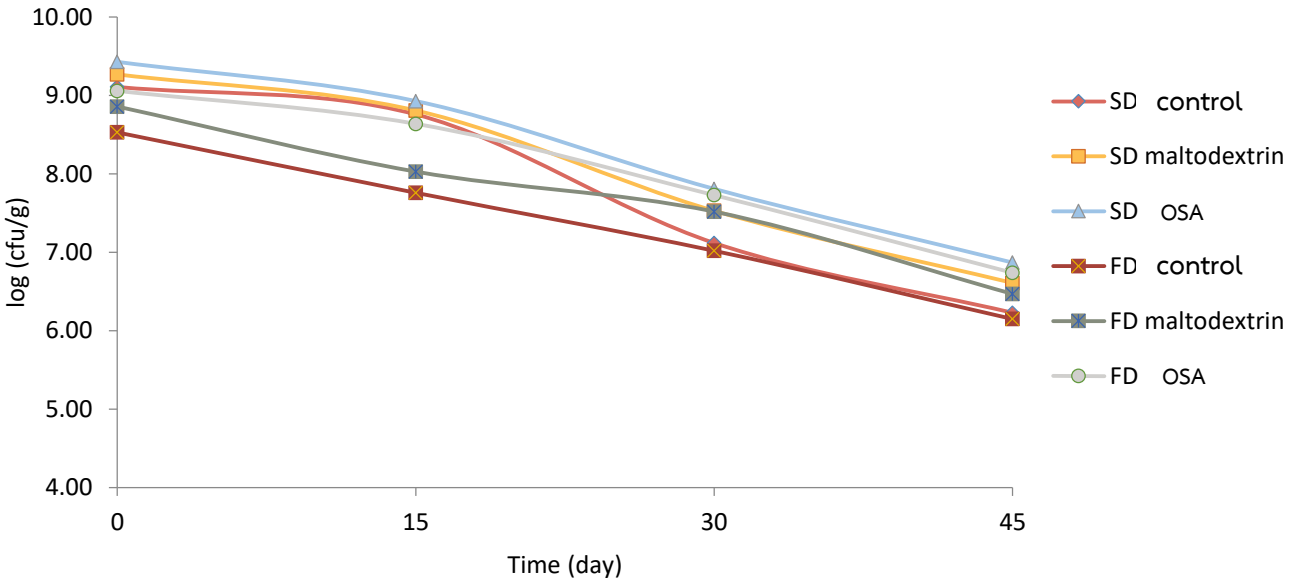
ขั้นตอนนี้ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยนำหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้บรรจุใส่ถุงร้อนแล้วซีลปิดให้สนิท หลังจากนั้นนำไปบรรจุใส่ถุงอะลูมิเนียมฟรอยด์แล้วซีลปิดให้สนิท และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน ซึ่งศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดทุก ๆ 15 วัน

จากการศึกษาผลของชนิดหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ตได้ผลดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลของชนิดหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

ระยะเวลาในเก็บรักษา (วัน)	อายุการเก็บรักษา (log cfu/g)					
	Spray dry			Freeze dry		
	control	maltodextrin 10%	osa 10%	control	maltodextrin 10%	osa 10%
0	9.11±0.02 [a]	9.27±0.15 [a]	9.43±0.02 [a]	8.53±0.02 [b]	8.86±0.06 [b]	9.06±0.02 [ab]
15	8.76±0.04 [b]	8.81±0.02 [b]	8.93±0.09 [b]	7.76±0.12 [c]	8.03±0.08 [c]	8.64±0.03 [b]
30	7.12±0.12 [d]	7.53±0.11 [c]	7.81±0.02 [c]	7.02±0.05 [d]	7.52±0.06 [c]	7.73±0.11 [c]
45	6.43±0.01 [d]	6.61±0.18 [d]	6.87±0.21 [d]	6.12±0.02 [d]	6.29±0.11 [d]	6.70±0.24 [d]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนและแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, $n=3$)



ภาพที่ 22 ผลของชนิดหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง และระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักต่ออายุการเก็บรักษา

จากตารางที่ 15 และภาพที่ 22 พบว่าทุก ๆ 15 วันของอายุการเก็บรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในหัวเชื้อโยเกิร์ตผงที่ได้จากการกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณลดลงประมาณ 1 log CFU/g เมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 45 จะเห็นได้ว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 6.12±0.02 ถึง 6.87±0.21 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์นมหมักรวมไปถึงผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต จะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่น้อยกว่า 10^7 โคโลนีต่อกรัม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ ๓๕๓) พ.ศ. ๒๕๕๖

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองคัดเลือกชนิดหัวเชื้อที่เหมาะสมในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการหมักโยเกิร์ตใช้ระยะเวลาที่เหมาะสม คือ 18 ชั่วโมง อุณหภูมิในการบ่ม 42 องศาเซลเซียส โดยเลือกใช้หัวเชื้อผสม C เนื่องจากให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ตหลังการหมักที่มากกว่าหัวเชื้อผสม A และ B โดยมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 9.70±0.19 log CFU/g

ในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งโยเกิร์ตผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งหมดของโยเกิร์ตดีกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เมื่อนำมาเตรียมหัวเชื้อในการผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผง การทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ใกล้เคียงกับหัวเชื้อผสม C ที่เป็นหัวเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการหมักโยเกิร์ตคือ control อยู่ที่ 9.11±0.02 Log CFU/g, มอลโตเดกซ์ตริน 9.25±0.15 Log CFU/g และ OSA 9.43±0.02 Log CFU/g สำหรับการใช้ตัวห่อหุ้ม 2 ชนิด คือ มอลโตเดกซ์ตรินและสตาร์ชดัดแปรชนิด OSA พบว่าให้ผลได้ดีกว่าการใช้ skim milk ตัวเดียวในแง่ของค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้และปริมาณความชื้น ทั้งกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแช่เยือกแข็ง ร้อยละผลิตผลนั้นการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ผลได้ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นหัวเชื้อโยเกิร์ตผงมีการเกาะตามบริเวณตัวเครื่องและท่อ ทำให้ไม่ได้ปริมาณผงโยเกิร์ตที่แท้จริง ซึ่งในการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้ตัวอย่างเพียง 1-1.5 ลิตรต่อตัวอย่าง ซึ่งการทำแห้งในวิธีการนี้อาจจะเหมาะกับการผลิตที่ใช้ตัวอย่างจำนวนมาก คือประมาณ 10-20 ลิตรขึ้นไปอาจจะทำให้ได้ร้อยละผลิตผลที่แม่นมากยิ่งขึ้น

สำหรับการใช้หัวเชื้อผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งทั้ง 2 วิธีในการหมักโยเกิร์ตนั้น พบว่าค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อายุการเก็บรักษาของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากกระบวนการทำแห้งทั้ง 2 วิธี พบว่าหลังจากเก็บไว้ 45 วัน ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อของการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีอัตราการรอดชีวิตที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการทดลองผลิตหัวเชื้อโยเกิร์ตผงโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแช่เยือกแข็ง เห็นได้ว่าประสิทธิภาพโดยรวมของหัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ผล

ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามนอกจากประสิทธิภาพของการผลิตหัวเชื้อผงโยเกิร์ตผง ยังต้องคำนึงถึงต้นทุนและกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาค่าของการละลาย การจับตัวกันเป็นการ และขนาดอนุภาค ของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

5.2.2 ควรมีการศึกษาการนับปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังจากการทำแห้งของจุลินทรีย์ชนิด *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* แยกชนิดกัน

5.2.3 ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาที่เวลา 6 เดือนขึ้นไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

Bennion, M. a. S., B. 2004. Introductory Foods. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall,. (Inc): 12.

Capela, P., Hay, T.K. 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.

Chandan, R. C., and O'Rell, K. R. 2006. Ingredients for yogurt manufacture, In R.C. Chandan (ed.), Manufacturing Yogurt and Fermented Milks, pp. 179-194. Blackwell Publishing, Oxford, U.K.

Chandan, K.M. 1993. Product Manufacturing. Pp. 1-56. in Y.H. Hui(ed.), . Dairy science and Technology Handbook. 2nd ed. VCh Publisher, NY.

Digambar, K., Sujatha, K., Palanisamy, B.D. and Prathapkumar, H.S. 2018. Recent developments on encapsulation of lactic acid bacteria as potential starter culture in fermented foods – A review. Food Bioscience. 21: 34-44.

Fellows, P. J. 2000. Food Processing Technology. Principles and practice. 2nd ed. Boca Raton, Fla: CRC Press.

Fu, M.R. 1995. Spray Drying of Lactococcus lactic ssp. lactis C2 and Cellular Injury. Journal of Food Science. 60: 195-200.

Fuller, R. 1989. Probiotics in man and animals. journal of applied bacteriology. 6: 365-378.

Gardiner, G. E., O'Sullivan, E., Kelly, J., Auty, M.A., Fitzgerald, G.F. and Collins, J.K. 2000. Comparative survival rates of humanderived probiotic Lactobacillus paracasei and L. salivarius strains during heat treatment and spray-drying. Applied and Environmental Microbiology. 66: 2605-2612.

Gong, Z. Q., Zhang, M., Mujumdar, A.S., and Sun, J.C. . 2008. Spray drying and

agglomeration of instant bayberry powder. Drying Technology. 26: 116-121.

Ju, Z. Y., Hettiarachchy, N.S. and Rath, N. 2001. Extraction, Denaturation and Hydrophobic Properties of Rice Flour Proteins. Journal of Food Science. 66: 229-232.

Kenyon, R.J. 1988. Maltodextrins and low-dextrose-equivalence corn syrup solids: production and technology for the flavor industry. In: Flavor Encapsulation (edited by S.J. Risch & G.A. Reineccius). 7-12.

Kim, S.R. 1990. Survival of Lactic Acid Bacteria during Spray Drying of Plain Yogurt. Journal of Food Science. 55: 1008-1010.

Kumar, H.N. 2004a. Yoghurt poeder-a review of process technology, storage and utilization. Food and Bioproducts Processing. 82(C2): 133-142.

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

Liu, Z., Li, Y., Cui, F., Ping, L., Song, J., Ravee, Y., Jin, L., Xue, Y., Xu, J., Li, G., Wang, Y. and Zheng, Y. 2008. Production of octenyl succinic anhydride-modified waxy corn starch and its characterization. . Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56(23): 11499-11506.

Livney, Y. D. 2010. Milk proteins as vehicles for bioactives. Current Opinion in Colloid and Interface Science. 15: 73-83.

Madane, A., Javquot, M., Scher, J. and Desobry, S. . 2006. Flavour encapsulation and controlled release. International Journal of Food Science and Technology. 41(1): 1-21.

Marth, A. H. 1973. Behaviour of food microorganism during freeze preservation, in Low Temperature Preservation of Foods and Living Material, Fennema, O.R., Powrie, W.D. and Marth, E.H. (eds) (Marcel Dekker, New York, USA). pp: 386-408.

Orihara, O., Sakauchi, I., and Nakazawa, Y. . 1992. Types and standards for fermented milks and lactic drinks. In Y. Nakazawa and A. Hosono(eds.), Functions of Fermented Milk: Changes for the health sciences. Elsevier Science Publishers.: 1-16.

Picot, A. and Lacroix, C. 2004. Encapsulation of bifidobacteria in whey protein based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yogurt. International Dairy Journal. 14: 505-515.

Pimentel-González, D. J., Campos-Montiel, R.G., Lobato-Calleros, C., Pedroza-Islas, R. and Vernon-Carter, E.J. 2009. Encapsulationof Lactobacillus rhamnosus in double emulsions formulated with sweet whey as emulsifier and survival in simulated gastrointestinal conditions. Food Research International. 42: 292-297.

Radaeva, I. A., Shul'kina, S.P., Kocherga, S.I. and Efron, B.G.,. 1975. Effect of freezing regimes in freeze-drying on yogurt quality, Molochnaya Promyshlennost. 5: 22-23.

Robinson, R. K., Lucey, J.A. and Tamime, A.Y. 2006. Manufacture of yogurt. In A. Tamime (ed.), Fermented Milk, pp. 53-75. Blackwell Science, Oxford, UK.

Rybka, S. and Kailasapathy, K. 1997. Effect of freeze drying and storage on the microbiological and physical properties of AB yogurt, Milchwissenschaft. 52(7): 390-394.

Shahani, J.R. and Kilara, A. 1976. Natural antibiotic activity of Lactobacillus acidophilus and bulgaricus. cultural conditions for the production of antibiosis. journal of Culture Dairy Product. 11(4): 14-17.

Sharma, 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.

Silva, A.P., Cervantes, MS. and Galindo, H.S.G. . 1997. Acetaldehyde retention during spray drying of yoghurt. Milchwissenschaft. 52: 89-93.

Slocum, S.A., Jasinski, E.M., Anantheswaran, R.C. and Kilara, A. . 1988. Effect of Sucrose on Proteolysis in Yogurt During Incubation and Storage. Journal of Dairy Science. 70(3): 89-93.

Sweedman, M. C., Tizzotti, M.J., Schäfer, C. and Gilbert, R.G. 2013. Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches. Carbohydrate Polymers. 92: 905-920.

Tamime, A.Y. and Marshall, V.M.E. 1997. Microbiology and Biochemistry of Cheeses and

Fermented Milks.

London: Blackie.

Tamsma, O., Hymato, F. and Komoski, T. 1992. Slush evaporation a new method for concentration of liquid food. Journal of Food Science. 39: 248-253.

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

Yoshii, H., Soottitantawat, A., Xiang, DL., Atarashi, T., Furuta, T., Aishima, S., Ohgawara, M., and Linko, P. 2001. Flavor release from spray-dried maltodextrin/gum arabic or soy matrices as a function of storage relative humidity. . Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2: 55-61.

Zeller, B. L., Saleeb, F.Z., and Ludescher, R.D. . 1999. Trends in development of porous carbohydrate food ingredients for use in flavour encapsulation. Trends in Food Science and Technology. 9: 389-394.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Total Titratable Acidity) ตามวิธีของ AOAC (1990) หัวข้อ 33.2.06 บทที่ 33 หน้า 7

การทดสอบเพื่อหาจำนวนของกรดแลคติกที่มีอยู่ในนมซึ่งจะมีผลต่อการทนความร้อนของนม ใช้การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดจะเป็นการหาร้อยละความเป็นกรดโดยใช้ NaOH 0.1 นอร์มัลและคำนวณเป็นร้อยละของกรดแลคติกการไตเตรทด้วย NaOH 0.1 นอร์มัลโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ซึ่งในสารที่เป็นกรดจะอยู่ในสภาวะที่ไม่มีสีและจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูเมื่อมีสภาพเป็นด่างที่พีเอช

1.1 วิธีการ

- ปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร
- หยดฟีนอฟทาลีน 2 หยด (เตรียมโดยใช้ฟีนอฟทาลีน 1 กรัมละลายในแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จนได้ 100 มิลลิลิตร)
- หยด NaOH ลงในตัวอย่างเรื่อย ๆจนกระทั่งตัวอย่างนั้นเปลี่ยนเป็นสีชมพูจาง ๆไม่หายภายใน 30 วินาที
- อ่านค่าของการไตเตรทที่ได้ปริมาณสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่ใช้

1.2 การคำนวณ

คำนวณปริมาตรในรูปกรดแลคติกในสารละลายตัวอย่างจำนวน 100 มิลลิลิตร

ปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ) = $N \times V1 \times 90 \times 100/1000 \times V2$

กำหนดให้ N คือความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1 นอร์มัล

V1 คือปริมาณสารละลายมาตรฐานNaOH ที่ใช้

V2 คือปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (กรัม)

2.การตรวจสอบค่าความเป็นกรดด่าง pH

2.1 อุปกรณ์

เครื่อง pH meter MP 220 METTLER

2.2 วิธีการ

2.2.1 ล้าง probe ด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดแล้วใช้ทิชชูซับให้แห้ง

2.2.2 นำ probe จุ่มในตัวอย่างที่จะวัดอ่านค่าที่ได้บนหน้าจอเครื่อง pH meter

2.2.3 ล้าง probe ด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดแล้วซับด้วยกระดาษทิชชูให้แห้งแล้วจุ่มลงในน้ำยาแช่ probe

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

1.การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

1.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ประกอบด้วย

- Tryptone 5.0 กรัม
- Yeast extract 2.5 กรัม
- Glucose 1.0 กรัม
- Agar 15.0 กรัม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรดด่าง7.0±0.2 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำไปนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

1.2 สารเคมี

สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.85 เปอร์เซนต์ เตรียมได้โดยทำการละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85 กรัมในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

1.3 วิธีวิเคราะห์

เตรียมโดยทำความเจือจาง 10^{-1} - 10^{-3} โดยชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ขวดที่มีสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85 ปริมาตร 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วมาเตรียมจนได้ความเจือจางที่เหมาะสม ปิเปตสารละลายที่ระดับความเจือจางที่เตรียมไว้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ทำการหลอมอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ที่เตรียมไว้และทิ้งให้มีอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส นำมาทำ pour plate technique บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น โดยเลือกนับเฉพาะที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี

1.4 การคำนวณ

จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด = จำนวนโคโลนี x dilution factor (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)

ภาคผนวก ค

ลักษณะทางกายภาพของหัวเชื้อโยเกิร์ตผง

1. ลักษณะผงโยเกิร์ตที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dry)

Skim milk Maltodextrin Capcule

2. ลักษณะผงโยเกิร์ตที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry)

Skim milk Maltodextrin Capcule

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัส โยเกิร์ตชนิดไขมันต่ำ สูตรน้ำตาลน้อย

วันที่ทดสอบ.....รหัสแบบทดสอบ.....

ตัวอย่างทดสอบ .....โยเกิร์ตชนิดไขมันต่ำ สูตรน้ำตาล.....

กรุณากรอกแบบสอบถาม

ท่านชอบรับประทานโยเกิร์ตหรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

ความถี่ในการรับประทานโยเกิร์ต ☐ นานๆ ครั้ง ☐ ค่อนข้างบ่อย ☐ บ่อยมาก

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่าง “โยเกิร์ตชนิดไขมันต่ำ สูตรน้ำตาลน้อย” ต่อไปนี้ตามลำดับจาก ซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนตามความรู้สึกของท่านในแต่ละลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

กรุณาดื่มน้ำเปล่าก่อนชิมตัวอย่างทุกครั้ง

โปรดตรวจสอบรหัสสามหลักที่ตัวอย่างให้ตรงกับในโปรแกรมก่อนให้คะแนน

	_____	_____	_____
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....
กลิ่นรสโยเกิร์ต	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....
รสชาติโดยรวม	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

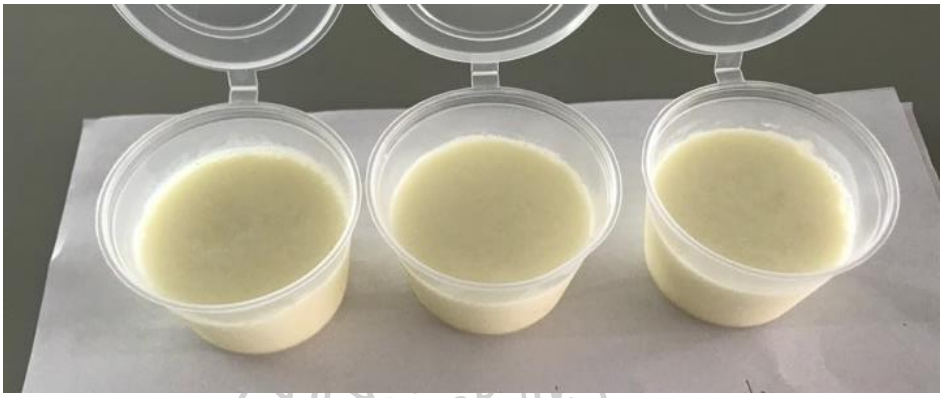
.....

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก จ

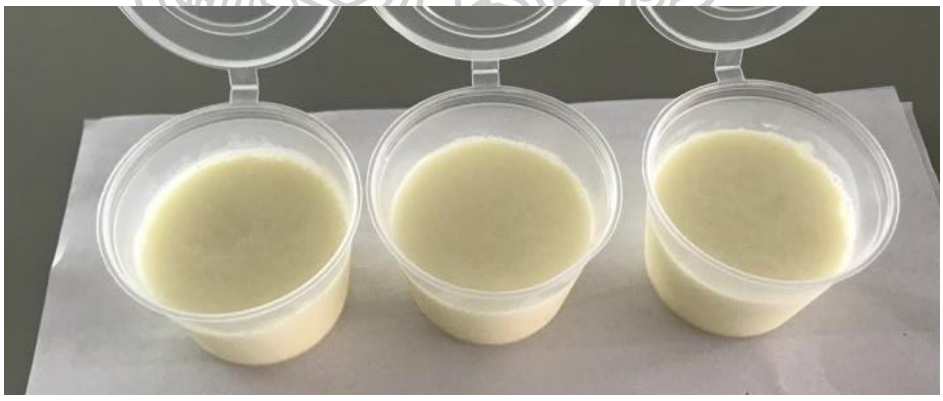
ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ได้จากการใช้หัวเชื้อโยเกร์ตผงในการหมัก

1. โยเกิร์ตที่หมักจากการใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry)



Skim milk Maltodextrin Capsule

2. โยเกิร์ตที่หมักจากการใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตผงจากการทำแห้งแบบแช่งเยือกแข็ง (freeze dry)



Skim milk Maltodextrin Capsule

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จิราภา สาสุนัน
วัน เดือน ปี เกิด	31 ธันวาคม 2536
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2558 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	73 หมู่ 8 ต.จันเสน อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์
ผลงานตีพิมพ์	จิราภา สาสุนัน, พรศรี เจริญพานิช และ อรุณศรี ลีจีรจำเนียร. 2562. เปรียบเทียบการเตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ตผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 48 ร่วมกับการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยศิลปากร, วันที่ 14 มีนาคม 2562, ณ มหาวิยาลัยศิลปากร นครปฐม. (เสนอในรูปแบบโปสเตอร์)