

การผลิตโดยเกีรต์นมแพะผงโดยการทำแห้งแบบพ่น

นางสาวฐิตาภรณ์ รัตริน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PRODUCTION OF GOAT MILK YOGURT POWDER BY SPRAY DRYING

Miss Thitaporn Rutrin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตโยเกิร์ตนมแพะผงโดยการทำแห้งแบบพ่น
โดย	นางสาวฐิติตาภรณ์ รัตริน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลหาสงคราม

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิตพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลหาสงคราม)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเจียร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. รสริน สมิตะพินทุ)

ฐิตาภรณ์ รัตริน: การผลิตโยเกิร์ตนมแพะผงโดยการทำแห้งแบบพ่น.

(PRODUCTION OF GOAT MILK YOGURT POWDER BY SPRAY DRYING)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ. ดร. กัลยา เลหาสงคราม, 108 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตโยเกิร์ตนมแพะผงโดยการทำแห้งแบบพ่น โดยขั้นแรกศึกษาผลของสารพรีไบโอติก 2 ชนิดคือ Inulin (DP=2-60) และ Oligofructose (DP=2-10) ที่ความเข้มข้น (1-4%w/v) ต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการหมักของโยเกิร์ต พบว่า Inulin ช่วยกระตุ้นการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตได้ดีกว่า Oligofructose และปริมาณพรีไบโอติกที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของโยเกิร์ตเพิ่มขึ้น ขั้นที่สองศึกษาปริมาณ Inulin และน้ำตาลที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ต โดยแปรปริมาณ Inulin (1-5%w/w) และน้ำตาล (4-10%w/w) วิเคราะห์ความหนืดของโยเกิร์ตและการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ เลือกภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ Response Surface Method (RSM) พบว่า ปริมาณ Inulin และน้ำตาลที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะคือ 3%w/w และ 9%w/w ขั้นที่สามศึกษาภาวะการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่เหมาะสมโดยแปรปริมาณ Maltodextrin DE10 (5-15%w/w) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (160 -180°C) ที่อัตราป้อนคงที่ที่ 40 ml/min วิเคราะห์ ค่า a_w , ความชื้น, ความสามารถในการละลายและ Particle density ของโยเกิร์ตผง พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งคือ การเติม Maltodextrin 15% w/w และใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170°C จากนั้นศึกษาการคืนรูปของโยเกิร์ตผง โดยแปรอัตราส่วนโยเกิร์ตผงต่อน้ำที่อุณหภูมิ 30°C (1:2-1:4) ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าอัตราส่วนโยเกิร์ตผงต่อน้ำ 1:2 มีคะแนนการยอมรับมากที่สุด ขั้นสุดท้ายศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโยเกิร์ตนมแพะผงบรรจุในถุงลามิเนต (PE/Al/PE) โดยอัดก๊าซไนโตรเจนเก็บที่อุณหภูมิ 30-55°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นความสามารถในการละลาย, ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและ ปริมาณเชื้อ *Streptococcus thermophilus* ลดลงแต่การเปลี่ยนแปลงของสี, ค่า Thiobarbituric Acid, ความชื้นและค่า a_w เพิ่มขึ้น ปริมาณทอรีนในโยเกิร์ตนมแพะผงหลังการเก็บเวลา 10 สัปดาห์มีค่าน้อยกว่าปริมาณเริ่มต้นและเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณทอรีนลดลงมากขึ้น คะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ยของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่ 55, 45 และ 30°C มีคะแนนต่ำกว่า 3 คะแนน (5 Hedonic scale, 3 = เฉยๆ) ในสัปดาห์ที่ 4, 8 และ 10 ของการเก็บรักษาตามลำดับ

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
 ปีการศึกษา 2554.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5272678023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : GOAT MILK / YOGURT / PREBIOTIC / SPRAY DRYING

THITAPORN RUTRIN : PRODUCTION OF GOAT MILK YOGURT POWDER BY SPRAY DRYING. ADVISOR : ASSOC. PROF. SAIWARUN CHAIWANICHSIRI, Ph.D., CO-ADVISOR : : ASSOC. PROF KALAYA LAOHASONGKRAM, Ph.D., 108 pp.

This research aimed to develop goat milk yogurt powder by spray drying. Firstly the activities of two prebiotic types (inulin, DP = 2-60) and (oligofructose, DP = 2-10) at different concentration (1-4%w/w) and properties of goat milk yoghurt were measured. The result showed that inulin was more specific to the growth of bacteria than oligofructose. Increasing the prebiotics would increase viscosity of goat milk yoghurt. In the second step, the optimum conditions of making goat milk yoghurt were investigated by varying amount of inulin (1-5%w/w) and sugar (4-10%w/w). The viscosity was measured and the sensory qualities were evaluated. The response surface methodology (RSM) was used to determine the optimum condition. It was found that the optimum amounts of inulin and sugar were found to be 3%w/w and 9%w/w. In the third step, the optimum conditions of spray drying were investigated by varying amount of maltodextrin (5-15%w/w) and inlet drying temperature (160-180°C) at constant feed rate of 40 ml/min. The water activity (a_w), moisture content, solubility and particle density of powder were measured. It was found that the appropriated condition of spray drying was 15% maltodextrin and inlet drying temperature of 170°C. Next step, the optimum condition for rehydrating the yogurt powder at 30°C was studied by varying the ratio of yogurt powder to water (1:2 – 1:4). The sensory qualities were evaluated. It was found that the ratio of yogurt powder to water at 1:2 had the highest overall acceptability score. Finally, the yogurt powder was packed in laminated pouch (PE/Al/PE) under nitrogen gas flushing and kept at 30-55°C to investigate the qualities changes during storage for 10 weeks. The result showed that increasing storage temperature and time decreased solubility, total bacterial count and *Streptococcus thermophilus* but increased color change, thiobarbituric acid, moisture content and a_w . The taurine content of the sample stored for 10 weeks was lower than the initial taurine content and increasing storage temperature decreased taurine content. The overall acceptability score of goat milk yogurt powder storage at 55, 45 and 30°C were lower than 3 (5 - hedonic scale, 3 = neither like nor dislike) at

Department : Food Technology..... Student's Signature

Field of Study : Food Technology..... Advisor's Signature

Academic Year : 2011..... Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จาก รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬห์ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาสงคราม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนความเอาใจใส่ดูแลและให้ความช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดมาโดยตลอดรวมถึงกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเธียร และดร.รสริน สมิตะพินทุ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และพี่ๆเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น

ขอขอบคุณทุน 72 พรรษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.-สถาบันการศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอบคุณบริษัท รอยัลสยามโกลท์กรุ๊ป จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าร่วมกับงานวิจัยนี้ และคุณสมาน ชื่นจิตต์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานกับทางบริษัท

ขอบคุณพี่ น้องและเพื่อนๆ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดการทำวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน สำหรับการอำนวยความสะดวกในการวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้สั่งสอนให้ผู้วิจัยมีความอดทน ให้กำลังใจและความห่วงใยพร้อมทั้งสนับสนุนในด้านทุนทรัพย์ให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 นมแพะ.....	2
2.2 โยเกิร์ต.....	8
2.3 Inulin และ Oligofructose.....	11
2.4 การทำแห้งแบบพ่นกระจาย.....	14
2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมผง.....	16
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1 วัตถุประสงค์.....	19
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	19
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์.....	19
3.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของนมแพะ.....	19
3.2.3 การศึกษาผลของสารพรีไบโอติกต่อ Prebiotic activity ของ เชื้อจุลินทรีย์และการหมักโยเกิร์ต.....	20
3.2.4 การหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ต.....	20
3.2.5 การหาภาวะการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่เหมาะสมในการผลิตโย เกิร์ตนมแพะผง.....	21
3.2.6 การศึกษาภาวะการคืนรูปโยเกิร์ตนมแพะผง.....	21
3.2.7 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาโยเกิร์ตนมแพะผง.....	22

4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	23
4.1 องค์ประกอบของนมแพะ.....	23
4.2 การศึกษาผลของสารฟรีไบโอติกต่อเชื้อจุลินทรีย์และคุณภาพของโยเกิร์ต.....	24
4.3 การหาภาวะการผลิตโยเกิร์ต.....	26
4.4 การหาภาวะการทำแห้งแบบพ่นที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะผง.....	31
4.5 การศึกษาภาวะการคืนรูปโยเกิร์ตนมแพะผง.....	37
4.6 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตนมแพะผง.....	38
4.6.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ.....	39
4.6.1.1 ความสามารถในการละลาย.....	39
4.6.1.2 ค่าสี.....	40
4.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี.....	43
4.6.2.1 Thiobarbituric Acid (TBA).....	43
4.6.2.2 ความชื้น.....	44
4.6.2.3 a_w	45
4.6.2.4 ปริมาณทอรีน.....	46
4.6.3 การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์.....	47
4.6.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านทางประสาทสัมผัส.....	49
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	51
รายการอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก.....	63
ภาคผนวก ข.....	85
ภาคผนวก ค.....	93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบพื้นฐานของสารอาหารในนมแพะ นมวัวและนมแม่.....	3
2.2	ปริมาณกรดไขมันเฉลี่ยในนมแพะและนมวัว.....	5
2.3	ปริมาณกรดอะมิโนเฉลี่ยในนมแพะและนมโค.....	6
2.4	ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินในนมแพะ นมวัว และนมแม่.....	7
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของนมแพะ.....	23
4.2	ค่า Prebiotic activity ของ Inulin และ Oligofructose ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ...	24
4.3	ค่า pH, ปริมาณกรดแลคติก และความหนืดของโยเกิร์ตที่เติมสารพรีไบโอติกที่ระดับต่างๆ.....	25
4.4	ค่า pH, ปริมาณกรดแลคติก และความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาลและ Inulin ที่ระดับต่างๆ.....	26
4.5	คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาล และ Inulin ที่ระดับต่างๆ.....	27
4.6	สมบัติทางเคมีและคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตจากการทวนสอบและการแทนค่าในสมการ.....	31
4.7	ความชื้น, a_w , Solubility, Particle density ของโยเกิร์ตผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นโดยแปรปริมาณ Maltodextrin (DE10) (5, 10 และ 15%w/w) และแปรอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (160, 170 และ 180°C).....	32
4.8	แผนการทดลอง Central Composite Rotatable Designs (CCRD)	32
4.9	ลักษณะทางเคมีและกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้จากการทำแห้งสภาวะต่างๆ.....	35
4.10	สมบัติทางเคมีและกายภาพโยเกิร์ตนมแพะผงจากการทวนสอบและการแทนค่าในสมการ.....	37
4.11	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะผงคือนรูปที่อัตราส่วนต่างๆ.....	38

ตารางที่	หน้า
4.12 ปริมาณ Taurine ในโยเกิร์ตผงในวันเริ่มต้นของการเก็บและในวันที่ 70 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°, 45° และ 55°C.....	47
4.13 การเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียทั้งหมดในโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์.....	48
4.14 การเปลี่ยนแปลงของ <i>Streptococcus thermophilus</i> ในโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์	49
4.15 คะแนนการยอมรับโดยรวมของโยเกิร์ตผงเก็บรักษาที่ 30°, 45° และ 55°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์.....	50

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แพะนมพันธุ์ชาเนน.....	2
2.2	โครงสร้าง Inulin.....	11
4.1	ผลของน้ำตาลและ Inulin ต่อค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะ.....	28
4.2	ผลของน้ำตาลและ Inulin ต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้าน (a) ลักษณะปรากฏ, (b) รสชาติ, (c) เนื้อสัมผัส และ (d) การยอมรับโดยรวมของโยเกิร์ตนมแพะ.....	29
4.3	Overlay Plot ของค่า pH, ปริมาณกรดแลคติก, ความหนืด และคะแนนทางประสาทสัมผัส เมื่อเติมน้ำตาล (4, 7 และ 10%(w/w)) และ Inulin (1, 3 และ 5%(w/w)).....	30
4.4	ผลอุณหภูมิความร้อนฆ่า (170-180 °C) และ ปริมาณ Maltodextrin (10-15%) ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะ: (a) a_w , (b) ความชื้น และ (c) ความสามารถในการละลาย.....	36
4.5	ความสามารถในการละลายของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ..	40
4.6	ค่า L ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	41
4.7	ค่า a ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	41
4.8	ค่า b ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	42
4.9	ค่า ΔE ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	42
4.10	ค่า TBA ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	44
4.11	ความชื้นของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	45
4.12	ค่า a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	46

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเกษตรกรทำการเลี้ยงแพะกันเพิ่มมากขึ้น (กรมปศุสัตว์, 2553) เนื่องจากแพะเป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย ใช้พื้นที่ในการเลี้ยงน้อย ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว ทำให้ต้นทุนการเลี้ยงต่ำ (สุรชน ต่างวิวัฒน์, 2546) อีกทั้งนมแพะเป็นนมที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีไขมันจำเป็นสายสั้น ซึ่งมนุษย์ดูดซึมได้ง่ายและนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว (Alferez *et al.*, 2001) อีกทั้งยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็น โดยเฉพาะทอรีนที่มีสมบัติต้านกระบวนการออกซิเดชัน (Rassin, Sturman, and Gual, 1978; Tripaldi, Martillotti, and Terramoccia, 1998) นอกจากนี้เมดไขมันในนมแพะมีขนาดเล็ก จึงไม่เกิดการแยกชั้นของไขมัน ไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ ซึ่งในปัจจุบันมีการผลิตผลิตภัณฑ์จากนมแพะหลายชนิด เช่น ไอศกรีมนมแพะ นมอัดเม็ด เป็นต้น (สมชัย สวาสดิพันธ์ และณิชารัตน์ สวาสดิพันธ์, 2548) แต่ผลิตภัณฑ์จากนมแพะยังไม่เป็นที่นิยมนัก เนื่องจากกลิ่นเฉพาะตัว (บรรจง จงรัชชัฒนา, 2548) การผลิตโยเกิร์ตนมแพะจึงเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค เนื่องจากโยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคอย่างแพร่หลายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เพราะมีรสชาติดี อีกทั้งมีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่โยเกิร์ตนมแพะมี Curd ที่อ่อนนุ่มกว่าโยเกิร์ตนมวัว เนื่องจากมีปริมาณ α -Casein น้อยกว่า การเติมพรีไบโอติก เป็นการพัฒนาเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตและยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้แก่ผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องของโยเกิร์ตสั้น ต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทำให้เป็นปัญหาต่อการขนส่ง และการจัดเก็บที่ต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม การแปรรูปโยเกิร์ตให้เป็นโยเกิร์ตผงจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตโยเกิร์ตนมแพะผงโดยวิธีทำแห้งแบบพ่น (Spray drying) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ต ตลอดจนศึกษาการคืนรูปของโยเกิร์ตผง และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ระหว่างเก็บรักษา

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 นมแพะ

แพะนมเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีขนาดเล็กมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capra hircus aegagrus* จัดอยู่ในตระกูลแคพรา (Capra) แพะนมที่นิยมเลี้ยงในประเทศไทยมีทั้งพันธุ์พื้นเมืองที่ให้ผลผลิตต่ำและพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งพันธุ์ที่ส่งเสริมให้เลี้ยงได้แก่ แองโกลนูเบียน (Anglonubian) ซาเนน (Saanen) หลาวซาน (Laosan) อัลไพน์ (Alpine) ทอกเกนเบิร์ก (Toggenburg) ลามานชา (La Mancha) โดยพันธุ์แองโกลนูเบียนเป็นได้ทั้งแพะนมและแพะเนื้อปกติแพะนมจะผลิตนมได้ในช่วง 2-4 ลิตรต่อวัน ซึ่งปริมาณและคุณภาพของนมที่รีดได้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อาหารที่ใช้เลี้ยง สภาพภูมิอากาศ ลักษณะการเลี้ยง การดูแลเอาใจใส่และระบบการจัดการต่างๆ (สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ และคณะ, 2550; Kondyli, Katsiari, and Voutsinas, 2007)



รูปที่ 2.1 แพะนมพันธุ์ซาเนน

ที่มา : สารสินธุ์ฟาร์ม (2552)

นมแพะมีองค์ประกอบแตกต่างจากนมวัวและนมแม่ (ตารางที่ 2.1) ทำให้นมแพะมีลักษณะทางเคมีและกายภาพ เช่น ความหนาแน่น, ความหนืด, แรงตึงผิว, ความสามารถในการนำไฟฟ้า, pH เป็นต้น ที่แตกต่างจากนมวัวและนมแม่ (Park *et al.*, 2007) โดยองค์ประกอบที่สำคัญในนมแพะ ได้แก่

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของสารอาหารในนมแพะ นมวัวและนมแม่

องค์ประกอบ	นมแพะ	นมวัว	นมแม่
ไขมัน (%)	3.8	3.6	4.0
ของแข็งไม่รวมไขมัน (%)	8.9	9.0	8.9
น้ำตาลแลคโตส (%)	4.1	4.7	6.9
โปรตีน (%)	3.4	3.2	1.2
Casein (%)	2.4	2.6	0.4
Albumin, globulin (%)	0.6	0.6	0.7
Non-Protein Nitrogen (%)	0.4	0.2	0.5
แร่ธาตุ (%)	0.8	0.7	0.3
พลังงาน / 100 มิลลิลิตร	70	69	68

ที่มา: Park *et al.* (2007)

2.1.1 ไขมัน

ไขมันเป็นสารอาหารที่กำหนดราคา และมีผลต่อลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของนม ไขมันในนมแพะมีลักษณะเป็นเม็ดกลม (Globule) ขนาดเล็กกว่าไขมันในนมวัวมาก โดยขนาดเม็ดไขมันเฉลี่ยในนมแพะเท่ากับ 2.76 ไมครอน ส่วนนมวัวมีขนาดเม็ดไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 ไมครอน (Attaie and Richtert, 2000) ดังนั้นไขมันในนมแพะมีพื้นที่ผิวมากกว่านมวัวประมาณ 1.3 เท่า จึงทำให้น้ำย่อยไลเปสในลำไส้เล็กทำปฏิกิริยาได้ทั่วถึงมากกว่า และไขมันถูกย่อยได้ดีกว่า ร่างกายจึงสามารถดูดซึมได้ดี นอกจากนี้ในนมแพะไม่มี Agglutinin ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่บริเวณผิวของเม็ดไขมันมีทำหน้าที่ทำให้เม็ดไขมันรวมตัวกัน ฉะนั้นเม็ดไขมันในนมแพะจะกระจายตัวอยู่ในนมได้ดีและเกิดการแยกชั้นของไขมันน้อย ในขณะที่นมวัว

มี Agglutinin ทำให้นมวัวเกิดการแยกชั้นของไขมันขึ้นตามธรรมชาติเมื่อตั้งทิ้งไว้ (Jeness and Parkash, 1971) ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์นมแพะจึงไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการทำให้ไขมันแตกตัว (Homogenization) เพื่อลดการแยกชั้นของไขมัน

นอกจากนี้นมแพะยังมีปริมาณกรดไขมันสายสั้นและกลางได้แก่ Butyric acid (C4:0), Caproic acid (C6:0), Caprylic acid (C8:0), Capric acid (C10:0), Lauric acid (C12:0), Palmitic acid (C16:0), Stearic acid (C18:0), Oleic acid (C18:1) และ Linoleic acid (C18:2) สูงกว่านมวัวแต่มี Myristic acid (C14:0) และ Linolenic acid (C18:3) ต่ำกว่าในนมวัว (ตารางที่ 2.2) โดยมีปริมาณกรดไขมันสายกลาง (C6–C14) มากกว่านมวัวถึง 46% (Haenlein, 2004) ซึ่งกรดไขมันกลุ่มนี้มีประโยชน์ในการรักษาโรค Malabsorption syndrome, Intestinal disorders, Pre-mature infant nutrition, Cystic fibrosis, Gallstone (บรรจง จงรักษ์วัฒนา, 2548) โดยกรดไขมันสายสั้นจะช่วยยับยั้งการสร้างคอเลสเตอรอลจากตับและลำไส้ โดยร่างกายสามารถย่อยและดูดซึมไปใช้งานได้ดีกว่ากรดไขมันสายยาว (Alferez *et al.*, 2001)

2.1.2 โปรตีน

โปรตีนในนมมีค่าแปรผันตามพันธุ์, อาหารที่ใช้เลี้ยง, สภาพภูมิอากาศ ลักษณะการเลี้ยง องค์ประกอบของโปรตีนในนมแพะคล้ายคลึงกับนมวัวแต่นมแพะมีปริมาณ Non-Protein Nitrogen สูงกว่านมวัวและมีสัดส่วนของชนิด Casein (α_{s1} - Casein, α_{s2} - Casein, β - Casein และ κ -Casein) ที่แตกต่างจากนมวัว (Bevilacqua *et al.*, 2001) โดยนมแพะมีปริมาณ α_{s1} -Casein ต่ำกว่านมวัว (Jeness, 1980) ซึ่ง α_{s1} - Casein สามารถทำปฏิกิริยากับเอนไซม์เรนเนท (Rennet) ในการย่อยโปรตีนเกิดเป็นตกตะกอนลิ่มนม (Curd) ดังนั้น Curd ของนมแพะจึงอ่อนนุ่มกว่า Curd ของนมวัว (บรรจง จงรักษ์วัฒนา, 2548) นอกจากนี้นมแพะยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายได้แก่ Threonine, Isoleucine, Lysine, Cystine, Tyrosine และ Valine สูงกว่าในนมวัว (ตารางที่ 2.3) (Haenlein, 2004) และมีปริมาณทอรีน (Taurine) (46– 91 mg/l) สูงกว่าในนมวัว (2.4 – 12.0 mg/l) และใกล้เคียงกับนมแม่ (18 – 129 mg/l) ซึ่งทอรีนเป็นกรดอะมิโนอิสระที่มีสมบัติต้านกระบวนการออกซิเดชันช่วยรักษาสุขภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และปรับสมดุลของระบบประสาท (Rassin *et al.*, 1978; Saidi, 1990; Stapleton *et al.*, 1997; Tripaldi *et al.*, 1998; Cataldi, Telesca and Bianco, 2004)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณกรดไขมันเฉลี่ยในนมแพะและนมวัว (g/ 100g milk)

กรดไขมัน (mg)	นมแพะ	นมวัว
C4:0 butyric	0.13	0.11
C6:0 caproic	0.09	0.06
C8:0 caprylic	0.10	0.04
C10:0 capric	0.26	0.08
C12:0 lauric	0.12	0.09
C14:0 myristic	0.32	0.34
C16:0 palmitic	0.91	0.88
C18:0 stearic	0.44	0.40
C6-14 total MCT	0.89	0.61
C4-18 total SAFA	2.67	2.08
C16:1 palmitoleic	0.08	0.08
C18:1 oleic	0.98	0.84
C16:1-22:1 total MUFA	1.11	0.96
C18:2 linoleic	0.11	0.08
C18:3 linolenic	0.04	0.05
C18:2-18:3 total PUFA	0.15	0.12

หมายเหตุ MCT: Medium chain triglycerides; SAFA: Saturated fatty acids; MUFA:

Monounsaturated fatty acids; PUFA: Polyunsaturated fatty acids.

ที่มา : Haenlein (2004)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณกรดอะมิโนเฉลี่ย (g/100g milk) ในนมแพะและนมโค

กรดอะมิโน (mg)	นมแพะ	นมวัว
Tryptophan	0.044	0.046
Threonine	0.163	0.149
Isoleucine	0.207	0.199
Leucine	0.314	0.322
Lysine	0.290	0.261
Methionine	0.080	0.083
Cystine	0.046	0.030
Phenylalanine	0.155	0.159
Tyrosine	0.179	0.159
Valine	0.240	0.220

ที่มา: Haenlein (2004)

2.1.3 แร่ธาตุและวิตามิน

นมแพะมีปริมาณ Ca, P, Mg, K, Cl, Zn และ I สูงกว่านมวัวและนมแม่ (ตารางที่ 2.4) แต่มีปริมาณ Fe และ Cu น้อยกว่านมวัวและนมแม่ ปริมาณ Na และ S น้อยกว่านมวัวแต่สูงกว่านมแม่ และปริมาณ Mn และ Se มากกว่านมวัวแต่น้อยกว่านมแม่ (Park *et al.*, 2007)

จากตารางที่ 2.4 จะเห็นได้นมแพะว่ามีวิตามิน D, Thiamine, Riboflavin, Niacin และวิตามิน B₆ สูงกว่านมวัวและนมแม่ สำหรับวิตามิน A และวิตามิน C ในนมแพะจะมีปริมาณสูงกว่านมวัวแต่น้อยกว่านมแม่ แต่ Pantothenic acid, Biotin และวิตามิน B₁₂ ในนมแพะมีปริมาณต่ำกว่านมวัวแต่สูงกว่านมแม่ และปริมาณ Folic acid ในนมแพะมีปริมาณน้อยกว่าทั้งในนมวัวและนมแม่ (Park *et al.*, 2007)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินในนมแพะ นมวัว และนมแม่ (ต่อปริมาณ 100 กรัม)

องค์ประกอบ	นมแพะ	นมวัว	นมแม่
<u>แร่ธาตุ</u>			
Ca (mg)	134	122	33
P (mg)	121	119	43
Mg (mg)	16	12	4
K (mg)	181	152	55
Na (mg)	41	58	15
Cl (mg)	150	100	60
S (mg)	28	32	14
Fe (mg)	0.07	0.08	0.20
Cu (mg)	0.05	0.06	0.06
Mn (mg)	0.032	0.02	0.07
Zn (mg)	0.56	0.53	0.38
I (mg)	0.022	0.021	0.007
Se (mg)	1.33	0.96	1.52
<u>วิตามิน</u>			
วิตามิน A (IU)	185	126	190
วิตามิน D (IU)	2.3	2.0	1.4
Thiamine (mg)	0.068	0.045	0.017
Riboflavin (mg)	0.21	0.16	0.02
Niacin (mg)	0.27	0.08	0.17
Pantothenic acid (mg)	0.31	0.32	0.20
วิตามิน B ₆ (mg)	0.046	0.042	0.011
Folic acid (μ g)	1.0	5.0	5.5
Biotin (μ g)	1.5	2.0	0.4
วิตามิน B ₁₂ (μ g)	0.065	0.357	0.03
วิตามิน C (mg)	1.29	0.94	5.00

ที่มา : Park *et al.* (2007)

2.2 โยเกิร์ต

โยเกิร์ต (Yoghurt) เป็นผลิตภัณฑ์นมที่ได้จากการหมักน้ำนมสัตว์ด้วย *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* หรือ *Lactobacillus* สายพันธุ์อื่นๆ (กระทรวงสาธารณสุข, 2548) โดยมีวิธีการผลิตดังนี้

2.2.1 การปรับมาตรฐานนม

นมที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตแต่ละครั้งอาจมีปริมาณไขมันและของแข็งทั้งหมดแตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติของโยเกิร์ต โดยปริมาณของแข็งทั้งหมด ไม่รวมไขมันในนมที่นิยมใช้ในการผลิตโยเกิร์ตคือประมาณ 15% และปริมาณไขมันจะแตกต่างกันตามชนิดของโยเกิร์ต คือประมาณ 0.1- 4.0% โดยอาจแบ่งชนิดของโยเกิร์ตได้ตามปริมาณไขมัน เป็น High fat yoghurt, Low fat yoghurt และ Fat free yoghurt ซึ่งมีปริมาณไขมันมากกว่า 3.0%, 1.5% และประมาณ 0.1% ตามลำดับดังนั้นจึงต้องปรับปริมาณไขมันและของแข็งไม่รวมไขมันในนมให้มีสัดส่วนที่เหมาะสม (Tamime and Robinson, 1999)

การปรับมาตรฐานไขมันหากไขมันในนมที่มีปริมาณสูงกว่าที่ต้องการจะทำการปั่นเหวี่ยงแยกไขมันออกจากนม และถ้าไขมันมีปริมาณไขมันต่ำกว่าที่ต้องการ จะทำการเติมครีมหรือนมไขมันเต็ม และการปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่รวมไขมันหากนมมีปริมาณต่ำกว่าทำได้หลายวิธี เช่น การเติมนมผงขาดมันเนย หรือ Whey powder เป็นต้น (Chandan *et al.*, 2006)

2.2.2. การเติม Emulsifier/Stabilizer

การเติม Emulsifier/Stabilizer มีจุดประสงค์เพื่อรักษาลักษณะของโยเกิร์ต เช่น รูปร่าง, เนื้อสัมผัส, ความหนืด, ความคงตัว เป็นต้น โดย Emulsifier/Stabilizer ที่ใช้มีหลากหลาย เช่น Gelatin, Carrageenan เป็นต้น ซึ่งปริมาณที่เติมขึ้นกับชนิดของ Emulsifier/Stabilizer ที่ใช้ (Tamime and Robinson, 1999; Chandan *et al.*, 2006)

2.2.3. การเติมสารให้ความหวาน

มีจุดประสงค์เพื่อ ลดความเปรี้ยวของโยเกิร์ตลง โดยสารให้ความหวานอาจมาจากน้ำตาลในนม ได้แก่ น้ำตาลแลคโตส, น้ำตาลกาแลคโตส และ น้ำตาลกลูโคส หรือน้ำตาลที่มีอยู่ตามธรรมชาติในผลไม้ที่เติมในโยเกิร์ต เช่น น้ำตาลซูโครส, น้ำตาลฟรุกโตส, น้ำตาลกลูโคส

และน้ำตาลมอลโทส เป็นต้น หรือน้ำตาลที่เติมลงไปในการบวนการผลิตเช่น น้ำตาลซูโครส เป็นต้น (Tamime and Robinson, 1999)

2.2.4. Homogenization

Homogenization เป็นกระบวนการที่ใช้ลดขนาดไขมันในนม โดยนมจะได้รับความร้อนก่อนเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์เพื่อช่วยให้ลดขนาดเม็ดไขมันได้ง่ายขึ้น ความดันทำให้ไขมันนมแตกตัวออกจากกันและมีขนาดเล็กกระจายตัวในนมอย่างทั่วถึง โยเกิร์ตที่ไขมันกระจายตัวอย่างทั่วถึง จะทำให้โยเกิร์ตมีความแน่นเนื้อและเนื้อสัมผัสเรียบเนียนมากขึ้น โดย Homogenization ขั้นตอนนี้จะใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 65-70°C ที่ความดัน 15-20 MPa (Tamime and Robinson, 1999)

2.2.5. กระบวนการให้ความร้อน

การผลิตโยเกิร์ตต้องการกระบวนการให้ความร้อน เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค และลดปริมาณจุลินทรีย์ในนม รวมถึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในนม เช่น ไลเปส ทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้ในการบ่มโยเกิร์ตทำงานได้ดีขึ้น เนื่องจากไม่ต้องแข่งขันกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆในนม นอกจากนั้นกระบวนการให้ความร้อนยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโปรตีนในนม โดยทำให้ Whey protein เสียสภาพประมาณ 70-90% เกิดการสร้างพันธะระหว่าง Whey protein และ α -Casein ขึ้น ทำให้ความสามารถในการคั่งน้ำของโยเกิร์ตเพิ่มขึ้น เนื้อสัมผัสโยเกิร์ตเรียบเนียน ความหนืดสูงขึ้น และเกิด Syneresis ต่ำลง กระบวนการให้ความร้อนที่เหมาะสมในการทำโยเกิร์ตอยู่ในช่วง 90-95 °C เป็นเวลา 3-10 นาที (Chandan *et al.*, 2006)

2.2.6. การหมัก

หลังจากกระบวนการให้ความร้อนแล้วจะทำให้นมเย็นลงมาที่ 40-45 °C จึงเติมเชื้อผสมของ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus sp.* ลงในนํ้านมและบ่มที่อุณหภูมิประมาณ 43 °C จนได้ pH ถึงประมาณ 4.6 ในขั้นตอนนี้กระบวนการหมักเกิดจาก *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus sp.* ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพา (Symbiosis relationship) โดย *Streptococcus thermophilus* มีความสามารถทนต่อสภาวะที่มีออกซิเจนสูงได้ดีกว่า *Lactobacillus sp.* ดังนั้น *Streptococcus thermophilus* จะเจริญเติบโตก่อน และใช้ออกซิเจนในนมจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนในนมลดต่ำลงซึ่งจะกระตุ้นการเจริญของ

Lactobacillus sp. ซึ่งในระหว่างกระบวนการหมักนี้แบคทีเรียจะสร้างสารประกอบให้กลิ่นรสของโยเกิร์ตขึ้น เช่น Acetaldehyde เป็นต้น และเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสเป็นกรดแลคติกทำให้ pH ของนมค่อยๆ ลดลงจนถึง 4.6 ซึ่งเป็น Isoelectric point ของ α -Casein จึงทำให้ α -Casein ตกตะกอนและรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหทำให้เนื้อสัมผัสโยเกิร์ตมีลักษณะข้นหนืดขึ้น (Tamime and Robinson, 1999; Chandan *et al.*, 2006)

2.2.7. การทำให้เย็น

มีจุดประสงค์เพื่อหยุดการเจริญเติบโตและชะลอกิจกรรมต่างๆ ของเชื้อจุลินทรีย์ในโยเกิร์ต โดยลดอุณหภูมิของโยเกิร์ตให้ต่ำกว่า 10°C (Tamime and Robinson, 1999)

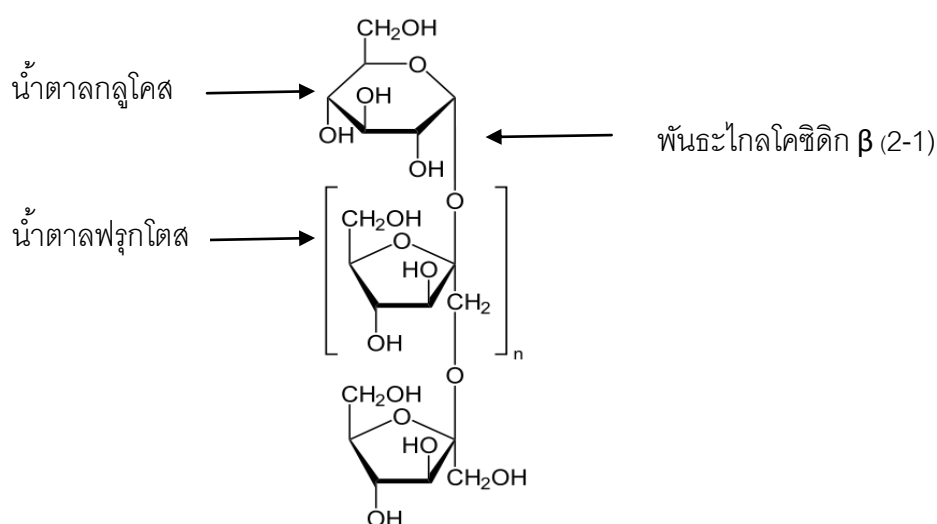
การผลิตโยเกิร์ตทั่วไปอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

- ก. Set type yoghurt คือโยเกิร์ตที่ผลิตโดยนำนมผสมกับเชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus sp.* บรรจุลงในภาชนะย่อยที่ใช้จำหน่ายหรือบริโภค แล้วเกิดกระบวนการหมักขึ้นในภาชนะย่อยที่ใช้จำหน่ายหรือบริโภค
- ข. Stirred type yoghurt คือโยเกิร์ตที่ผ่านกระบวนการหมักในถังหมักใหญ่แล้ว ถูกลงไปกวนเบาๆ ก่อน บรรจุลงในภาชนะย่อยที่ใช้จำหน่ายหรือบริโภค

โยเกิร์ตนมแพะมีลักษณะที่แตกต่างจากโยเกิร์ตนมวัว เนื่องจากมีองค์ประกอบต่างๆ ในนมที่ต่างกัน เช่น ปริมาณของ Casein ชนิดต่างๆ, ชนิดของโปรตีน, ขนาดของไขมัน, ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นผลทำให้โยเกิร์ตนมแพะมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม ความคงตัวและความหนืดน้อยกว่าโยเกิร์ตนมวัว (Vargus *et al.*, 2008) ซึ่งได้มีการศึกษาพัฒนาเนื้อสัมผัสและการยอมรับของโยเกิร์ตนมแพะ พบว่าการปรับโยเกิร์ตนมแพะที่มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งจะทำให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดมีหลายวิธี เช่น การเติมนมผงขาดมันเนย (Kehagias, Zervoudaki and Parlama, 1989), การเติม Whey protein concentrate (Martin-Diana *et al.*, 2003), การทำให้เข้มข้นโดย Ultrafiltration (Domagala and Kupiec, 2003) เป็นต้น

2.3 Inulin และ Oligofructose

Inulin และ Oligofructose เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) จัดอยู่ในกลุ่ม Fructan ประกอบด้วยสายตรงของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกับโมเลกุลน้ำตาลฟรุกโตสหลายๆหน่วยด้วยพันธะไกลโคซิดิก $\beta(2-1)$ โดย Inulin มี Degree of polymerization (DP) ตั้งแต่ 2 – 60 หน่วย ส่วน Oligofructose มี DP ประมาณ 2-10 หน่วย ซึ่งอาจเรียกอีกชื่อว่า Fructo-oligosaccharide (FOS) (Niness, 1999; Collins and Rastall, 2008)



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง Inulin

ที่มา: Collins and Rastall (2008)

Inulin และ Oligofructose เป็นองค์ประกอบของอาหารตามธรรมชาติที่พบได้ทั่วไปในพืชมากกว่า 36,000 ชนิดทั่วโลก เช่น หัวหอม, กัลฉวย, กระเทียม เป็นต้น โดย Inulin และ Oligofructose ทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตของพืช Inulin และ Oligofructose ที่ใช้ทางการค้าในอุตสาหกรรมอาหารได้มาจากการสังเคราะห์จากน้ำตาลซูโครสหรือจากการสกัดจากหัว Chicory (Niness, 1999)

จากการศึกษาด้านพิษวิทยาของ Inulin และ Oligofructose พบว่าการบริโภค Inulin และ Oligofructose ไม่ก่อให้เกิดพิษแก่ร่างกายทั้งในทางตรงและทางอ้อม (Carabin and Flamm, 1999; Coussement, 1999) ดังนั้นในทางกฎหมาย Inulin และ Oligofructose ถูกจัดอยู่

ในกลุ่ม Generally Recognized As Safe (GRAS) นอกจากนี้ Inulin และ Oligofructose ยังจัดเป็น Functional food และใยอาหารประเภท Soluble and Fermented fiber เนื่องจาก Inulin และ Oligofructose ไม่ถูกย่อยและดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร เพราะเอนไซม์ Glucosidase ในระบบทางเดินอาหารไม่มีความจำเพาะต่อ Glycosidic linkage β (2-1) อีกทั้ง Inulin และ Oligofructose ยังช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตอย่างจำเพาะต่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่ (Probiotic bacteria) เช่น Bifidobacteria และ Lactobacilli ดังนั้น Inulin และ Oligofructose จึงจัดเป็นสารพรีไบโอติกอีกด้วย การหมักของ Inulin และ Oligofructose โดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่เกิดขึ้นหลายขั้นตอนโดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้เป็น Short chain fatty acid (SCFA) และก๊าซต่างๆ (CH_4 , H_2 , CO_2) ซึ่ง SCFA ที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ pH ในลำไส้ใหญ่ลดลงมีผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของ Pathogenic bacteria (Carabin and Flamm, 1999; Green, 2001; Kaur and Gupta, 2002; Roberfroid, 2002; เฉลิมขวัญ คำคำ และ มัลลิกา ชมนาวัง, 2548) ซึ่งการบริโภค Inulin และ Oligofructose จะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ร่างกายคือ หลังจากการบริโภค Inulin และ Oligofructose ระดับน้ำตาลในเลือดจะไม่เพิ่มเนื่องจากร่างกายไม่สามารถย่อยได้ Inulin และ Oligofructose มีความสามารถในการดูดน้ำซึ่งจะทำให้อุจจาระบวมขึ้น ลดโอกาสของการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ และโรคอุดตันที่ลำไส้ใหญ่ได้มากขึ้น ยังช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (Probiotic bacteria) และช่วยลด Pathogenic bacteria ในลำไส้ใหญ่ อีกทั้งมีงานวิจัยพบว่า การบริโภค Inulin และ Oligofructose ทำให้มีการดูดซึมแคลเซียมได้ดีขึ้น (Van den Heuvel *et al.*, 1999)

จากความยาวของโมเลกุลที่แตกต่างกัน Inulin และ Oligofructose จึงทำให้สารทั้งสองมีคุณสมบัติต่างๆแตกต่างกัน เช่น การละลาย, ความหวาน เป็นต้น โดย Oligofructose มีความยาวโมเลกุลสั้น (DP ประมาณ 2-10) การละลายจึงสูงและมีความหวานมากกว่า Inulin ดังนั้น Oligofructose จึงมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำตาลมากกว่า Inulin ส่วน Inulin ที่มี DP สูงการละลายจะต่ำและเมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์จะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นมากกว่า Oligofructose จึงนิยมใช้ Inulin ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ข้นหนืดมากกว่า Oligofructose (Schaller-Povolny, Smith and Labuza, 2000; Meyer *et al.*, 2011)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าความเข้มข้นและ DP ของ Inulin มีผลต่อความหนืดของโยเกิร์ต โดยความเข้มข้นและ DP ของ Inulin ที่สูงขึ้นทำให้ความหนืด, Yield stress, Storage modulus และ Loss modulus ของโยเกิร์ตเพิ่มขึ้น อีกทั้งการเติม Inulin ที่มี DP สูง (DP = 23) มีความสัมพันธ์กับลักษณะ Thick, Airy, Sticky รวมถึงถึงลักษณะ Creamy mouthfeel ของโยเกิร์ตมากกว่าการเติม Inulin ที่มี DP ต่ำ (DP=9) (Kip, Meyer and Jellema, 2006; Paseephol, Small and Sherkat, 2008; Guggisberg *et al.*, 2009)

นอกจากนี้ความแตกต่างของ DP ยังมีผลต่อการกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์แตกต่างกัน ดังในงานวิจัยของ Huebner และคณะ (2008) ที่ศึกษาความสามารถของสารพรีไบโอติก ได้แก่ Oligofructose (NutraFlore P9-5 (DP = 2-4) และ Raftilose P95 (DP = 2-7)), Inulin (Inulin-S (DP = 2-60) และ Raftiline HP (DP เฉลี่ย > 23)) และ Galactooligosaccharides (Purified GOS (DP = 2-4)) ต่อการกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Lactobacilli* และ *Bifidobacteria* พบว่าความสามารถของสารพรีไบโอติกต่างๆ ต่อการกระตุ้นการเจริญจุลินทรีย์สายพันธุ์เดียวกันมีค่าแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะเป็น Oligofructose หรือ Inulin ที่มี DP เท่ากันแต่ต่างกันที่แหล่งผลิต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Oliveira และคณะ (2009) ที่ศึกษาผลของสารพรีไบโอติกชนิดต่างๆ (Maltodextrin, Oligofructose และ Polydextrose) ที่ความเข้มข้น 4 %w/w ต่อปริมาณ co-culture ในโยเกิร์ตไขมันต่ำที่เติม co-culture ชนิดต่างๆ (*Lactobacillus acidophilus* กับ *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus* กับ *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus rhamnosus* กับ *Streptococcus thermophilus* และ *Bifidobacterium lactis* กับ *Streptococcus thermophilus* และพบว่าชนิดของสารพรีไบโอติกมีผลต่อปริมาณ Co-culture ชนิดต่างๆในโยเกิร์ต ($p \geq 0.05$) โดยปริมาณ Co-culture ในโยเกิร์ตที่เติมสารพรีไบโอติกมีมากกว่าโยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมสารพรีไบโอติก แต่ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Aryana และ McGrew (2007) และ Aryana และคณะ (2007) ที่ศึกษาผลของ Inulin ที่ DP ต่างๆ (DP= 23, 10 และ 4) ที่ความเข้มข้น 1.5%w/w ที่เติมลงใน Fat free yoghurt ชนิด set (ไขมัน 0.1 %w/w) ต่อปริมาณ *Lactobacillus casei* และ *Lactobacillus acidophilus* และพบว่าความยาวที่แตกต่างกันของ Inulin ไม่มีผลทำให้ปริมาณ *Lactobacillus casei* และ *Lactobacillus acidophilus* ในโยเกิร์ตแตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่มีปริมาณมากกว่าในโยเกิร์ตที่ไม่ได้เติม Inulin

2.4 การทำแห้งแบบพ่นกระจาย

การทำแห้งเป็นวิธีการหนึ่งในการถนอมอาหาร โดยการระเหยนํ้าอิสระออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้ปริมาณนํ้าอิสระน้อยลงจึงชะลอกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในผลิตภัณฑ์ทำให้อายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น ซึ่งการทำแห้งมีหลายวิธีอาทิเช่น การทำแห้งด้วยวิธีแบบพ่นกระจาย (Spray Drying) แบบลูกกลิ้ง หรือแบบแช่เยือกแข็ง วิธีทำแห้งแบบพ่นกระจายเป็นวิธีที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ผง ถึงแม้ว่าสารประกอบจำพวกกลีโคไลนและสมบัติในการไหลจะสูญเสียไปบ้างในระหว่างการทำแห้ง แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็ยังคงเหลือสารประกอบจำพวกกลีโคไลนอยู่และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผลึกและขนาดที่สมบูรณ์และมีความสามารถคืนสภาพได้ดีกว่าวิธีแห้งอื่นๆ และราคาถูกกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Kumar and Mishra, 2004)

การทำแห้งแบบพ่นกระจาย คือการทำแห้งผลิตภัณฑ์ โดยป้อนผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่น ซึ่งจะป้อนของเหลวผ่านหัวฉีดทำให้เกิดละอองฝอยภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่น หัวฉีดมีหลายชนิดได้แก่ Rotary Atomizer, Pressure Nozzles และ Two-fluid Nozzle เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศแห้งร้อน นํ้าในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยอย่างรวดเร็วจากบริเวณผิวของละอองผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะตกลงสู่ด้านล่างของ Drying chamber และอากาศภายในเครื่องจะพัดผงผลิตภัณฑ์เข้าสู่ Cyclone ซึ่งใช้เก็บผงผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาการผลิตโยเกิร์ตผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นที่ผ่านมามีพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของโยเกิร์ตผงได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า, อุณหภูมิลมร้อนขาออก, ความดันของ Atomizer หากปัจจัยต่างๆ มีค่าสูงจะทำให้ความชื้น, Water activity, อัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตลดลงและการเปลี่ยนแปลงของสีของโยเกิร์ตผงเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลถึงการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตผง โดย Kim and Bhowmik (1990) ศึกษาอัตราการรอดชีวิตของ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* ในโยเกิร์ตระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในช่วง 150-170°C, อุณหภูมิลมร้อนขาออกในช่วง 60-90°C และความดันอากาศของ Atomizer ในช่วง 98-196kPa พบว่าการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 160°C, อุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 60°C และความดันของ atomizer 98kPa ในการทำแห้งแบบพ่นมีอัตราการรอดชีวิตของ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* สูงที่สุด Bielecka and Majkowska (2000) ศึกษาอิทธิพลของ

อุณหภูมิหมักร้อนขาออกต่อการทำแห้งแบบพ่นของโยเกิร์ตเมื่อใช้อุณหภูมิหมักร้อนขาเข้า 180°C และแปรอุณหภูมิหมักร้อนขาออกในช่วง $60-80^{\circ}\text{C}$ ต่อสมบัติต่างๆ ของโยเกิร์ตผง (อัตราการรอดชีวิตของ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus*, ความชื้น และการยอมรับทางประสาทสัมผัส) พบว่าเมื่ออุณหภูมิหมักร้อนขาออกสูงขึ้นอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดต่ำลง โดยอัตราการรอดชีวิตของ *Streptococcus thermophilus* ลดลงไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อใช้อุณหภูมิหมักร้อนขาออกช่วง $60-75^{\circ}\text{C}$ เมื่ออุณหภูมิหมักร้อนขาออกสูงกว่า 75°C อัตราการรอดชีวิตของ *Streptococcus thermophilus* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และอัตราการรอดชีวิตของ *Lactobacillus bulgaricus* ลดลงไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อใช้อุณหภูมิหมักร้อนขาออกช่วง $60-70^{\circ}\text{C}$ เมื่ออุณหภูมิหมักร้อนขาออกสูงกว่า 70°C อัตราการรอดชีวิตของ *Lactobacillus bulgaricus* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ความชื้นของโยเกิร์ตลดลงเมื่ออุณหภูมิหมักร้อนขาออกสูงขึ้น โยเกิร์ตผงที่ได้จากอุณหภูมิหมักร้อนขาออกที่ 75°C มีคะแนนโดยรวมของการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสสูงสุด รองลงมาที่อุณหภูมิหมักร้อนขาออกที่ 70°C และโยเกิร์ตผงที่ได้จากอุณหภูมิ $60, 65$ และ 85°C มีคะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสต่ำสุด จากงานวิจัยนี้ ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตผง คือการทำแห้งแบบพ่นโดยใช้อุณหภูมิหมักร้อนขาออกอยู่ในช่วง $70-75^{\circ}\text{C}$ Koc และคณะ (2010a) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นของต่อคุณสมบัติต่างๆ ของโยเกิร์ต (ความชื้น, a_w , การเปลี่ยนแปลงของสี, อัตราการรอดชีวิตของ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส) โดยแปรอุณหภูมิหมักร้อนขาเข้าในช่วง $150-180^{\circ}\text{C}$, อุณหภูมิหมักร้อนขาออกในช่วง $60-90^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิของโยเกิร์ตก่อนเข้าเครื่องทำแห้งในช่วง $4-30^{\circ}\text{C}$ พบว่าอุณหภูมิหมักร้อนขาออกมีผลต่อความชื้น, a_w , การเปลี่ยนแปลงของสี, อัตราการรอดชีวิตของ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ($p\leq 0.05$) แต่ไม่พบผลของอุณหภูมิหมักร้อนขาออก และอุณหภูมิของตัวอย่างก่อนเข้าเครื่องต่อสมบัติต่างๆ ของโยเกิร์ตผง ($p>0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิหมักร้อนขาเข้าสูงขึ้นทำให้โยเกิร์ตผงมีความชื้น, a_w และ อัตราการรอดชีวิตของ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* และคะแนนการยอมรับ

ทางประสาทสัมผัสลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงของสีมีค่าสูงขึ้น ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตผงคือ อุณหภูมิหมักร้อนขาเข้าที่ 171°C และอุณหภูมิหมักร้อนขาออกที่ 60.5°C

นอกจากปัจจัยจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่น สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงคือ องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะน้ำตาล เช่น กลูโคส กาแลคโตส ซูโครส และกรดเช่น กรดแลคติก ซึ่งมีมวลโมเลกุลและ Glass Transition Temperature (T_g) ต่ำ ทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นมีลักษณะเหนียว และยืดหยุ่นเปลี่ยนรูปร่างได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ผิวของอนุภาคผงมากกว่า T_g จึงเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์ติดผนังเครื่องขึ้น (Bhandari, Datta and Howes, 1997) การเติมสารช่วยทำแห้งจำพวก Maltodextrin ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n ซึ่งเป็น D-glucose ที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และมีค่า Dextrose Equivalent (DE) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงจำนวนแป้งที่ถูกไฮโดรไลซ์หรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 20 และมีมวลโมเลกุลและ T_g สูง หากค่า DE ต่ำจะทำให้ค่า T_g สูงขึ้น Silalai และ Roos (2011) พบว่าค่า Stickiness ของนมผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นมีความสัมพันธ์กับ T_g โดย Stickiness ของนมผงมีค่าต่ำลงเมื่อ T_g สูงขึ้น และการเติม Maltodextrin ที่ระดับ DE ต่ำ (DE9) สามารถเพิ่ม T_g และลด Stickiness ของนมผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นได้ดีมากกว่าการเติม Maltodextrin ที่ระดับ DE สูง (DE17) อีกทั้งการเติมปริมาณ Maltodextrin เพิ่มขึ้น ทำให้ T_g ของนมผงสูงขึ้น

2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมผง

ผลิตภัณฑ์นมผง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นโปรตีน, ไขมัน และน้ำตาลแลคโตสซึ่งโยเกิร์ตผงก็มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน โดยผลิตภัณฑ์นมผงนั้นมีความชื้นและ a_w ต่ำ ซึ่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์นมผงส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยาทางเคมีมากกว่าจากจุลินทรีย์ โดยสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมผงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาจเนื่องมาจาก

2.5.1 การเกิดผลึกของน้ำตาลแลคโตส (Lactose crystallization)

เกิดจากน้ำตาลแลคโตสที่เป็นองค์ประกอบหลักในนมผงซึ่งมีโครงสร้างแบบ Amorphous เกิดการจัดเรียงตัวใหม่จนกลายเป็นโครงสร้างแบบ Crystalline ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้

ทำให้การละลายของผลิตภัณฑ์ลดลงเนื่องจากความสามารถในการละลายของน้ำตาลแลคโตสที่มีโครงสร้างแบบ Crystalline มีค่าน้อยกว่าแบบ Amorphous (Jouppila, Kansikas and Roos, 1997) และโครงสร้างโปรตีนเกิดการจับเรียงตัวใหม่โดยเชื่อมต่อกันโดยใช้ Non-covalent hydrophobic bond ทำให้โมเลกุลใหญ่ขึ้น (Monahan, Clement and German, 1996) ซึ่งเมื่อความร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพิ่มขึ้นการเกิดผลึกของน้ำตาลแลคโตสจะเพิ่มขึ้น (Thomas *et al.*, 2004)

2.5.2 ปฏิกริยา Maillard

เป็นปฏิกิริยาซึ่งเกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ที่มีหมู่เป็นอัลดีไฮด์ (Aldehyde) หรือ คีโตน (Ketone) เข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนโตรเจนในโปรตีน เช่น เอมีน (Amine) เกิดเป็นสารประกอบต่างๆ เช่น Furosine, Melanoidin, Hydroxymethylfurfural (HMF) เป็นต้น (Steele, 2004) ซึ่งทำให้เกิดกลิ่น Cooked flavor และสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ อีกทั้งเกิดโพลีเมอร์ของโปรตีน ทำให้การละลายของผลิตภัณฑ์นมลดลง (Thomas *et al.*, 2004)

2.5.3. ปฏิกริยา Oxidation

เป็นการเกิดปฏิกิริยาของไขมันไม่อิ่มตัวในผลิตภัณฑ์กับออกซิเจน ทำให้เกิดกลิ่นหืน โดยในการตรวจสอบความหืนจากปฏิกิริยา Oxidation มีหลายวิธี เช่น Peroxide value, Anisidine value และ Thiobarbituric acid เป็นต้น โดยการวัดค่า Thiobarbituric acid (TBA) เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีอื่นๆ เพราะทำได้โดยไม่ต้องสกัดไขมันออกจากเนื้อเยื่อก่อน (Pearson, 1976) โดยรายงานผลเป็นปริมาณ Malonaldehyde ต่อน้ำหนักตัวอย่าง ซึ่ง Malonaldehyde เกิดจากการรวมตัวของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนพันธะคู่ตั้งแต่ 3 พันธะขึ้นไป ทำปฏิกิริยากับสาร TBA reagent ทำให้เกิดสารละลายสีชมพูที่ดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่น 532-535 nm (Steel, 2004; Taub and Singh, 1998) นอกจากนี้โปรตีนที่มีกลุ่ม Sulfhydryl เช่น Cysteine และ Cystine เป็นต้น จะถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดพันธะภายในโมเลกุลโปรตีนและระหว่างโมเลกุลโปรตีนอื่นๆ เกิดเป็นสารประกอบโพลีเมอร์ของโปรตีนขึ้นซึ่งทำให้ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์นมลดลง (Thomas *et al.*, 2004)

2.5.3. การเกิด Caking

คือการที่ผลิตภัณฑ์ผงจับตัวเป็นก้อน ซึ่งเกิดจากการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง ทำให้บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์เชื่อมติดกัน โดย Van der Waals interaction ทำให้ผลิตภัณฑ์จับตัวเป็นก้อน (Thomas *et al.*, 2004)

จากงานวิจัยของ Kumar และ Mishira (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บโยเกิร์ตผงที่เติมมะม่วงและนมถั่วเหลืองในถุง High density polypropylene และ Aluminium laminated polyethylene ที่อุณหภูมิ 38°C พบว่าความชื้น, TBA, HMF, Free fatty acid และการเปลี่ยนแปลงของสีมีค่าสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) และเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* มีปริมาณลดลงเมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตผงที่บรรจุใน Aluminium laminated polyethylene มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการใช้ High density polypropylene เช่นเดียวกับ Koc และคณะ (2010b) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บของโยเกิร์ตผงที่บรรจุใน Aluminium laminated polyethylene ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่าความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 7.35%db เป็น 8.66%db, OD₅₃₂ ของ TBA เพิ่มขึ้นจาก 0.09 เป็น 0.196 ในและการเปลี่ยนแปลงของสีมีค่าเพิ่มเป็น 1.7 ในวันที่ 90 ของอายุการเก็บ

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

- นมแพะพันธุ์ซาเนน ซึ่งได้จากกลุ่มเกษตรกร ตำบลบางครุ อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ บรรจุในถุง Poly Ethylene แห่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C
- น้ำตาลทรายขาว ตรา มิตรผล® ซึ่งจากซูเปอร์มาร์เก็ตในเขตกรุงเทพมหานคร
- Inulin (Fibruline® Instant, DP = 2-60) (Food grade) ซึ่งจากบริษัท นิวทรีชั่น เอสซี จำกัด
- Oligofructose (Fibrulose® F90, DP = 2-10) (Food grade) ซึ่งจากบริษัท นิวทรีชั่น เอสซี จำกัด
- Maltodextrin (DE 10) (Food grade) ซึ่งจากบริษัท เบอริดี ยูคเกอร์ สเปเชียลตี้ส์ จำกัด
- เชื้อแบคทีเรีย *Lactobacillus bulgaricus* รหัสสายพันธุ์ TISTR892, *Streptococcus thermophilus* รหัสสายพันธุ์ TISTR 894 และ *Escherichia coli* รหัสสายพันธุ์ TISTR 780 ซึ่งมาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- เชื้อผสม YC380 (*Lactobacillus. bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* อัตราส่วน 1:1) ตรา Chr. Hansen ผลิตที่ประเทศเดนมาร์ก ซึ่งจากบริษัท เบรนน์แท็ก อินกรีเดียนส์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ละลายนมแพะโดยแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ จนนมละลายหมดจึงนำไปใช้ (Katsiari, Voutsinas, and Kondyli, 2002)

3.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของนมแพะ

วิเคราะห์องค์ประกอบของนมแพะได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน ปริมาณของแข็งทั้งหมด และทอร์น (ภาคผนวก ก.1 – ก.4) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2.3 การศึกษาผลของสารพรีไบโอติกต่อ Prebiotic activity ของเชื้อจุลินทรีย์และ การหมักโยเกิร์ต

ก. ผลต่อ Prebiotic activity ของเชื้อจุลินทรีย์

ศึกษาผลของสารพรีไบโอติก 2 ชนิดคือ Inulin (Fibruline® Instant, DP = 2 - 60) และ Oligofructose (Fibrulose® F90, DP = 2 - 10) ที่ความเข้มข้น 1, 2 และ 4 % (w/v) วิเคราะห์ Prebiotic activity ของเชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิดคือ *Lactobacillus bulgaricus* รหัสสายพันธุ์ TISTR892, *Streptococcus thermophilus* รหัสสายพันธุ์ TISTR 894 (ภาคผนวก ก.5)

ข. ผลต่อการหมักโยเกิร์ต

เตรียมตัวอย่างโยเกิร์ตโดยเติมสารพรีไบโอติก (Inulin และ Oligofructose) ใน ปริมาณ 1, 2 และ 4 % (w/w) ลงในนมแพะ จากนั้นพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ $90 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 นาที ทำให้อุณหภูมิลดลงที่อุณหภูมิ 42°C เติมเชื้อผสมระหว่าง *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* (YC380) (อัตราส่วน 1:1) 4 % (w/w) บ่มที่อุณหภูมิ $43 \pm 2^{\circ}\text{C}$ จน pH ของนมแพะเท่ากับ 4.4 - 4.6 แล้วลดอุณหภูมิเป็น 5°C ทันที และเก็บไว้ในตู้เย็น (Union รุ่น UN 618D, ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 5°C จนกว่าจะนำมาวัดความหนืด โดยใช้ Viscometer (Fungilab รุ่น Alpha, ประเทศสเปน) และปริมาณกรดแลคติก (ภาคผนวก ก.6)

วางแผนการทดลองแบบ 3×2 Factorial Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fischer's Least Significant Difference (LSD) เลือกสารพรีไบโอติกที่มี Prebiotic activity สูง ที่สุด เพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.2.4 การหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ต

เตรียมโยเกิร์ตนมแพะตามวิธีที่คัดเลือกในข้อ 3.2.3 ข. โดยแปรปริมาณน้ำตาล 3 ระดับคือ 4, 7 และ 10% (w/w) และปริมาณของสารพรีไบโอติก 3 ระดับคือ 1, 3 และ 5% (w/w) วิเคราะห์คุณภาพของโยเกิร์ตโดยประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (แบบประเมินดังภาคผนวก ก.7) โดยใช้ผู้ทดสอบ ทั่วไป จำนวน 50 คน และ Hedonic scale 5 จุด (1 คะแนน = ไม่ชอบมาก, 3 คะแนน = เฉยๆ

และ 5 คะแนน = ชอบมาก) วางแผนการทดสอบแบบ Balanced Incomplete Block Design (BIB) และวัดความหนืดและปริมาณกรดแลคติก (ภาคผนวก ก.6) วางแผนการทดลองแบบ 3 × 3 Factorial Design ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95% และพิจารณาเลือกภาวะการผลิตโยเกิร์ตที่เหมาะสมด้วยวิธี Response surface methodology (RSM) จากความสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพต่างๆ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต ด้านลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fischer's Least Significant Difference (LSD)

3.2.5 การหาภาวะการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่เหมาะสม

เตรียมตัวอย่างโยเกิร์ตที่ผลิตจากภาวะที่คัดเลือกจากข้อ 3.2.4 โดยแปรปริมาณ Maltodextrin (DE10) 3 ระดับ (5, 10 และ 15%(w/w)) จากนั้นนำไปปั่นโดยใช้เครื่องปั่น (Philips รุ่น HR2021/75, ประเทศจีน) ที่ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 1 นาที และระดับ 2 เป็นเวลา 30 วินาที และอุ่นให้อุณหภูมิของตัวอย่างเป็น 30 °C ก่อนนำไปทำให้แห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น (GEA Niro รุ่น Niro Mobile, ประเทศเดนมาร์ก) ที่อัตราการป้อนคงที่ 40 ml/min แปรอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ (160, 170 และ 180°C) วางแผนการทดลองแบบ 3×3 Factorial วัดและวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้แก่ ปริมาณความชื้น, Particle density (ภาคผนวก ก.8), ความสามารถในการละลาย (ภาคผนวก ก.9) และค่า a_w ด้วยเครื่อง Water activity analyser (Aw Data Logger รุ่น AWLOG 888 version 1.0, ประเทศสวีตเซอร์แลนด์) เลือกสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี RSM จากความสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพของโยเกิร์ตต่างๆ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fischer's Least Significant Difference (LSD)

3.2.6 การศึกษาภาวะการคืนรูปโยเกิร์ตนมแพะผง

นำโยเกิร์ตผงที่เตรียมตามภาวะการทำแห้งแบบพ่นที่คัดเลือกจากข้อ 3.2.5 มาละลายน้ำที่อุณหภูมิ 30 °C โดยแปรอัตราส่วนของโยเกิร์ตผงต่อน้ำ เป็น 3 ระดับ คือ 1:2, 1:3 และ 1:4 ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น, รสชาติ และความชอบโดยรวม (แบบ

ประเมินในภาคผนวก ก.10) โดย Hedonic scale 5 จุด (1 คะแนน = ไม่ชอบมาก และ 5 คะแนน = ชอบมาก) ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 30 คน เลือกภาวะที่มีคะแนนความชอบมากที่สุด เพื่อนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fischer's Least Significant Difference (LSD)

3.2.7 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตนมแพะผง

เตรียมตัวอย่างโยเกิร์ตผงตามภาวะที่คัดเลือกจากข้อ 3.2.5 บรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนแทนที่ในถุงลามิเนต PE-Al-PE เก็บที่อุณหภูมิห้อง 30°, 45° และ 55°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการละลาย (ภาคผนวก ก.8) และค่าสี โดยใช้ Chromameter (Minolta รุ่น CR-400, ประเทศญี่ปุ่น) ทางเคมี ได้แก่ ค่า Thiobarbituric Acid (TBA) (ภาคผนวก ก.11), ความชื้น และ Water activity ทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (ภาคผนวก ก.12), ปริมาณยีสต์รา (ภาคผนวก ก.13), ปริมาณ *Streptococcus thermophilus* (ภาคผนวก ก.14) และ *Lactobacillus bulgaricus* (ภาคผนวก ก.15) ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสหลังคืนรูปตามภาวะที่ได้ในข้อ 3.2.6 (แบบประเมินภาคผนวก ก.16) ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 8 คน (ภาคผนวก ก.17 และแบบประเมินภาคผนวก ก.18) และ Hedonic scale 5 จุด (1 = ไม่ชอบมาก และ 5 = ชอบมาก) จนกว่าตัวอย่างจะได้คะแนนต่ำกว่า 3 และวิเคราะห์ปริมาณทอรีน (ภาคผนวก ก.4) เริ่มต้นและวันสุดท้ายของการเก็บ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fischer's Least Significant Difference (LSD)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบของนมแพะ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของนมแพะ (ตารางที่ 4.1) พบว่านมแพะที่ใช้ทดลองจัดอยู่ในระดับมาตรฐานตามมาตรฐานน้ำนมแพะดิบ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551) ซึ่งกำหนดว่าปริมาณไขมัน โปรตีนและปริมาณของแข็งทั้งหมดควรมีค่า 3.25-2.5%, 3.1-3.4% และ 11.7-12% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณไขมันและโปรตีนเฉลี่ยในนมแพะที่ใช้มีค่าต่ำกว่าปริมาณไขมันและโปรตีนเฉลี่ยของนมแพะพันธุ์ชานเนนและชานเนนลูกผสมที่เลี้ยงในประเทศไทย ($3.44 \pm 0.38\%$ และ $4.22 \pm 1\%$ ตามลำดับ) (สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ และคณะ, 2550) และสูงกว่านมแพะพันธุ์ชานเนนที่เลี้ยงในประเทศไทยได้หวั่น ($2.55 \pm 0.66\%$ และ $3.25 \pm 0.57\%$ ตามลำดับ) (Sung, Wu, and Wang, 1999) นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ปริมาณทอรีนพบว่ามีปริมาณ 23.38 ± 0.04 mg/l ซึ่งต่ำกว่าปริมาณทอรีนของนมแพะที่เลี้ยงในประเทศอิตาลี ($46 - 91$ mg/l) (Cataldi *et al.*, 2004) และนมแพะพันธุ์ Inica (85.06 mg/l) (Minervini *et al.*, 2009) ทั้งนี้อาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สายพันธุ์ของแพะ อาหารที่เลี้ยง ฤดูกาล สภาพภูมิอากาศ ลักษณะการเลี้ยง การดูแลเอาใจใส่ระยะการให้นม และระบบการจัดการต่างๆ (Tripaldi *et al.*, 1998; Sung *et al.*, 1999; Sampelayo *et al.*, 2007)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของนมแพะ

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
น้ำ	87.35 ± 0.03
ไขมัน	3.28 ± 0.05
โปรตีน	3.20 ± 0.03
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	13.44 ± 0.01

4.2 การศึกษาผลของสารพรีไบโอติกต่อการเจริญเชื้อจุลินทรีย์และคุณภาพของโยเกิร์ต

จากการศึกษาผลของชนิดสารพรีไบโอติก (Inulin และ Oligofructose) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (1, 2 และ 4%(w/v)) ต่อค่า Prebiotic activity ของ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* พบว่าชนิดสารพรีไบโอติก, ความเข้มข้นของสารพรีไบโอติก และอิทธิพลร่วมมีผลต่อค่า Prebiotic activity ของ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.1 และ ค.2) โดย Inulin มีผลให้ค่า Prebiotic activity ของ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* สูงกว่า Oligofructose ในทุกระดับความเข้มข้น และค่า Prebiotic activity ของ *Lactobacillus bulgaricus* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้น Inulin และ Oligofructose ในขณะที่ Prebiotic activity ของ *Streptococcus thermophilus* ของ Oligofructose บางค่าติดลบ (ตารางที่ ค.1 และ ค.2) แสดงว่า Oligofructose กระตุ้นการเจริญของ *Streptococcus thermophilus* ได้น้อยกว่ากลูโคส ทั้งนี้เนื่องจากสารพรีไบโอติกแต่ละชนิดสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับรายงานของ Huebner และคณะ (2008) พบว่าสารพรีไบโอติกต่างชนิดกัน มีผลให้ค่า Prebiotic activity ของจุลินทรีย์สายพันธุ์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 ค่า Prebiotic activity ของ Inulin และ Oligofructose ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

สารพรีไบโอติก	Prebiotic activity score	
	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i>
Inulin 1 %(w/v)	0.20 ± 0.01 ^c	0.13 ± 0.02 ^b
Inulin 2 %(w/v)	0.22 ± 0.02 ^b	0.15 ± 0.03 ^a
Inulin 4 %(w/v)	0.35 ± 0.01 ^a	0.18 ± 0.01 ^a
Oligofructose 1 %(w/v)	0.18 ± 0.03 ^d	-0.15 ± 0.03 ^c
Oligofructose 2 %(w/v)	0.20 ± 0.05 ^c	-0.93 ± 0.01 ^d
Oligofructose 4 %(w/v)	0.28 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.01 ^b

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ pH และปริมาณกรดของโยเกิร์ตนมแพะ (ตารางที่ 4.3) พบว่า โยเกิร์ตจะมีค่า pH ระหว่าง 4.51-4.60 ซึ่งเป็นค่า pH ควบคุม และปริมาณกรดมีค่าระหว่าง 0.71-0.90% จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมสารพรีไบโอติก (Inulin และ Oligofructose) ในปริมาณที่แตกต่างกัน (1, 2 และ 4%(w/w) พบอิทธิพลของปริมาณของสารพรีไบโอติก ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลของชนิดสารพรีไบโอติกและอิทธิพลร่วมของชนิดและปริมาณสารพรีไบโอติกต่อความหนืดของโยเกิร์ต ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.3) โดยเมื่อปริมาณสารพรีไบโอติกเพิ่มขึ้น ความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก Inulin และ Oligofructose เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่สามารถจับตัวกับน้ำ โปรตีนและส่วนประกอบต่างๆในนม โดยความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่เติม Inulin มีค่ามากกว่า Oligofructose ซึ่งอาจเนื่องมาจาก Inulin มี DP สูงกว่า Oligofructose ทำให้ Inulin ละลายน้ำได้น้อยกว่าและสามารถจับตัวกับน้ำและส่วนประกอบต่างๆในนมได้มากกว่า (Niness, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kip และคณะ (2006) และงานวิจัยของ Paseephol และคณะ (2008) ที่พบว่า การเติม Inulin ทำให้โยเกิร์ตปราศจากไขมันชนิด Set มีความหนืดสูงกว่าโยเกิร์ตที่ไม่ได้เติม Inulin ดังนั้นงานวิจัยในขั้นต่อไปจึงเลือกใช้ Inulin เป็นสารพรีไบโอติกเนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ได้ดีกว่า Oligofructose

ตารางที่ 4.3 pH, ปริมาณกรดและความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมสารพรีไบโอติกที่ระดับต่างๆ

สารพรีไบโอติก	pH	ปริมาณกรด (%)	ความหนืด (cP)
Control	4.61±0.01	0.71±0.02	542.6±11.5 ^f
Inulin 1 %(w/w)	4.60±0.01	0.72±0.03	547.8±9.4 ^e
Inulin 2 %(w/w)	4.55±0.02	0.77±0.01	569.1±4.6 ^c
Inulin 4 %(w/w)	4.51±0.01	0.90±0.03	590.0±9.9 ^a
Oligofructose 1 %(w/w)	4.59±0.01	0.71±0.01	554.4±2.9 ^d
Oligofructose 2 %(w/w)	4.57±0.03	0.75±0.01	563.0±8.3 ^c
Oligofructose 4 %(w/w)	4.54±0.02	0.84±0.02	578.7±10.9 ^b

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3 การหาภาวะการผลิตโยเกิร์ต

จากการทดลองพบว่าการเติมน้ำตาล และ Inulin มีผลต่อความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตนมแพะทุกตัวอย่างมีค่า pH 4.47-4.56 ซึ่งเป็น pH ควบคุม และมีปริมาณกรดระหว่าง 0.85-1.18% (ตารางที่ 4.4 และ ค.4) เนื่องจากเมื่อปริมาณน้ำตาลและ Inulin เพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งในโยเกิร์ตนมแพะจะเพิ่มมากขึ้นทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Inulin ยังสามารถจับตัวกับน้ำและส่วนประกอบของนมได้ด้วยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guggisberg และคณะ (2009) และ Kip และคณะ (2006) ที่พบว่า การเติม Inulin เพิ่มความหนืดของโยเกิร์ตไขมันต่ำ

ตารางที่ 4.4 pH, ปริมาณกรดแลคติก และความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาลและ Inulin ที่ระดับต่างๆ

ปริมาณน้ำตาล (%, w/w)	ปริมาณ Inulin (%, w/w)	pH	ปริมาณกรดแลคติก (%)	ความหนืด (cP)
4	1	4.48±0.05	1.11±0.16	634.0±11.70 ^g
4	3	4.49±0.07	1.07±0.26	671.0±17.34 ^f
4	5	4.53±0.08	0.94±0.27	711.6±17.40 ^d
7	1	4.49±0.09	1.08±0.32	689.4±12.12 ^e
7	3	4.46±0.07	1.18±0.26	726.0±11.98 ^d
7	5	4.47±0.07	1.15±0.23	777.0±19.18 ^b
10	1	4.51±0.06	1.00±0.21	744.8±15.60 ^c
10	3	4.50±0.09	1.05±0.30	779.6±15.43 ^b
10	5	4.56±0.05	0.85±0.17	846.3±17.79 ^a

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ส่วนการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า การเติมน้ำตาลมีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกด้าน ($p \leq 0.05$) ยกเว้นด้านกลิ่น ($p > 0.05$) และพบอิทธิพลร่วมของน้ำตาลและ Inulin ต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลของ Inulin ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.5 และ ค. 5-9) โดยเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น

คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมมีแนวโน้มสูงขึ้น หรือกล่าวได้ว่าโยเกิร์ตนมแพะมีความหนืดและความหวานเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสและรสชาติของโยเกิร์ตดีขึ้น

ตารางที่ 4.5 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาลและ Inulin ที่ระดับต่างๆ

ปริมาณน้ำตาล (% , w/w)	ปริมาณ Inulin (% , w/w)	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม
4	1	3.3±1.1 ^e	4.3±0.7	2.8±1.0 ^d	3.0±1.0 ^e	2.9±0.9 ^e
4	3	3.4±1.0 ^{de}	4.2±0.6	2.9±1.0 ^d	3.4±1.1 ^{cd}	3.2±1.0 ^{de}
4	5	3.3±1.2 ^e	4.3±0.5	2.9±1.0 ^d	3.2±1.1 ^{de}	3.1±1.0 ^e
7	1	3.9±0.9 ^{ab}	4.2±0.5	3.8±1.1 ^b	3.5±0.9 ^{bc}	3.9±1.0 ^b
7	3	3.5±1.0 ^{cd}	4.2±0.6	3.4±1.0 ^c	3.4±0.9 ^{cd}	3.4±1.0 ^d
7	5	3.7±1.0 ^{bc}	4.2±0.7	3.4±0.7 ^c	3.5±0.8 ^{bc}	3.5±0.7 ^{cd}
10	1	3.8±0.9 ^{abc}	4.3±0.5	3.8±1.0 ^b	3.6±0.9 ^{bc}	3.7±1.0 ^{bc}
10	3	4.0±1.0 ^a	4.2±0.4	4.4±0.9 ^a	3.9±1.0 ^a	4.2±0.8 ^a
10	5	3.7±1.0 ^{cb}	4.2±0.4	3.9±1.0 ^b	3.7±1.0 ^{ab}	3.8±1.0 ^{bc}

^{a, b, c} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้งเดียวกัน ($p > 0.05$)

1 คะแนน = ไม่ชอบมาก, 3 คะแนน = เฉยๆ และ 5 คะแนน = ชอบมาก

จากการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression analysis) (สมการที่ 4.1-4.5) ของความหนืด และคะแนนทางประสาทสัมผัสพบว่าสมการทุกสมการมีค่า R^2 (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ) มากกว่า 0.80 แสดงว่าสมการที่ประมาณได้เป็นตัวแทนที่ดีของประชากรทั้งหมด และเมื่อนำสมการไปสร้าง Contour plot (รูปที่ 4.1 และ 4.2) และนำกราฟของค่าต่างๆ (ความหนืด, คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม) มาซ้อนทับกัน โดยกำหนดว่าความหนืดต้องมากกว่า 600 cP และคะแนนทางประสาทสัมผัสมากกว่า

3.5 (รูปที่ 4.3) พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมคือ บริเวณพื้นที่สีขาว จึงเลือกที่จุดกึ่งกลางของพื้นที่สีขาว คือ น้ำตาล 9%(w/w), Inulin 3%(w/w) เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมโยเกิร์ตนมแพะเพื่อศึกษาการทำแห้งในขั้นตอนต่อไป โดยความหนืด, คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ, ด้านรสชาติ, ด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตนมแพะจากการคำนวณโดยใช้สมการ 4.1-4.5 มีค่าเท่ากับ 770.8 cP, 3.8, 3.9, 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ

$$\text{Viscosity} = 526.082 + 19.894S + 21.883I \quad (R^2 = 0.9882) \dots (4.1)$$

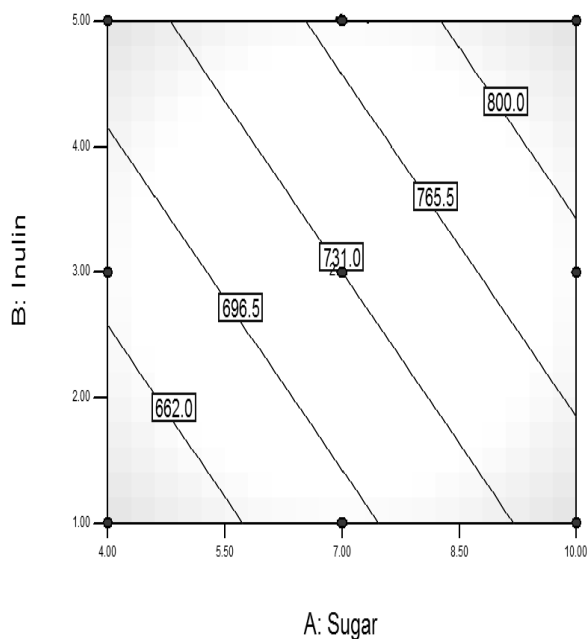
$$\text{Apperance} = 3.059 + 0.087S - 0.023I \quad (R^2 = 0.8223) \dots (4.2)$$

$$\text{Taste} = 2.093 + 0.204S - 0.011I \quad (R^2 = 0.8685) \dots (4.3)$$

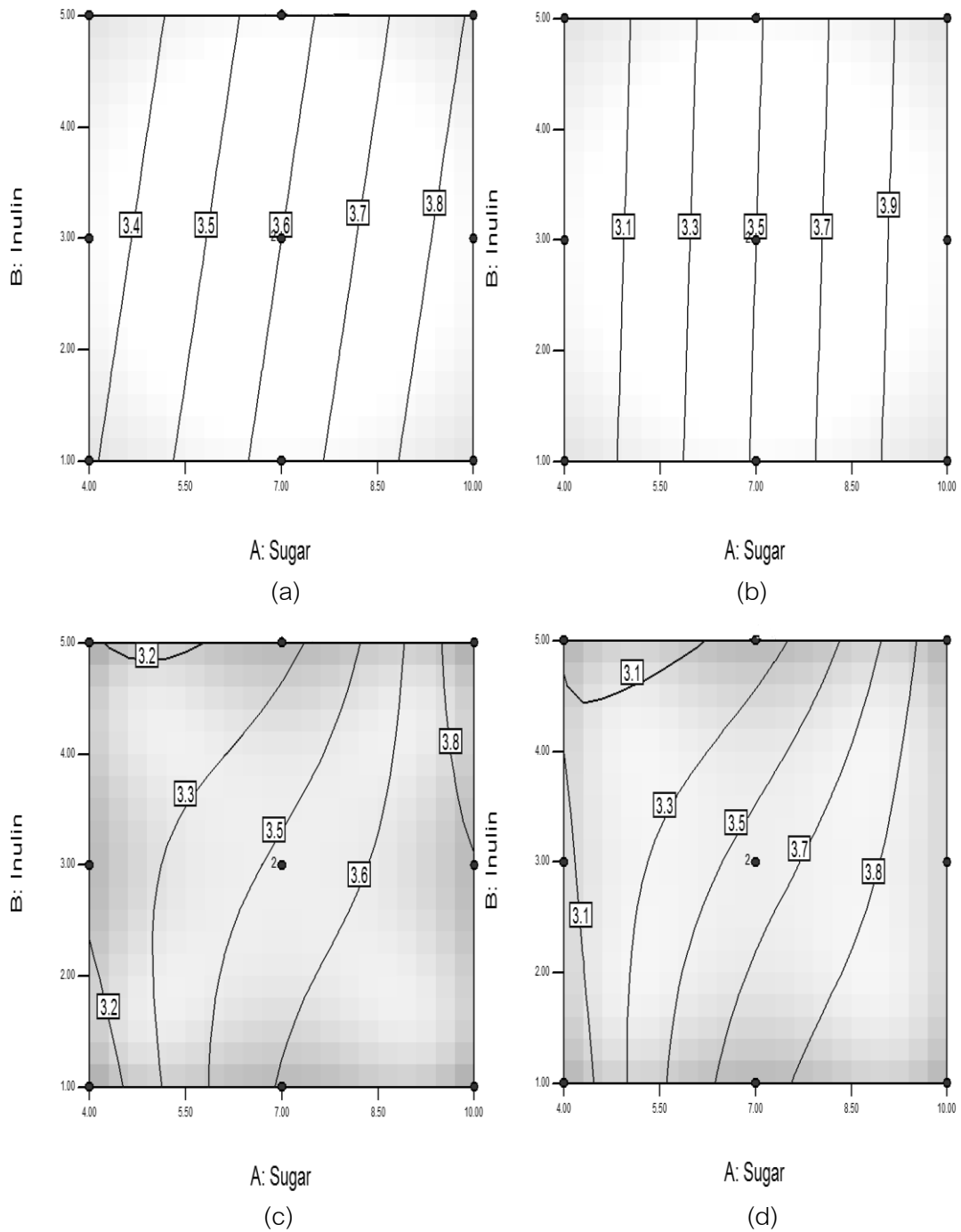
$$\text{Texture} = 0.605 + 0.757S + 0.878I - 0.046S^2 - 0.044I^2 - 0.232SI + 0.015S^2I + 4.792 \times 10^{-3}SI^2 \quad (R^2 = 0.8393) \dots (4.4)$$

$$\text{OAA} = -0.189 + 1.005S + 0.930I - 0.062S^2 - 0.016I^2 - 0.278SI + 0.020S^2I \quad (R^2 = 0.8640) \dots (4.5)$$

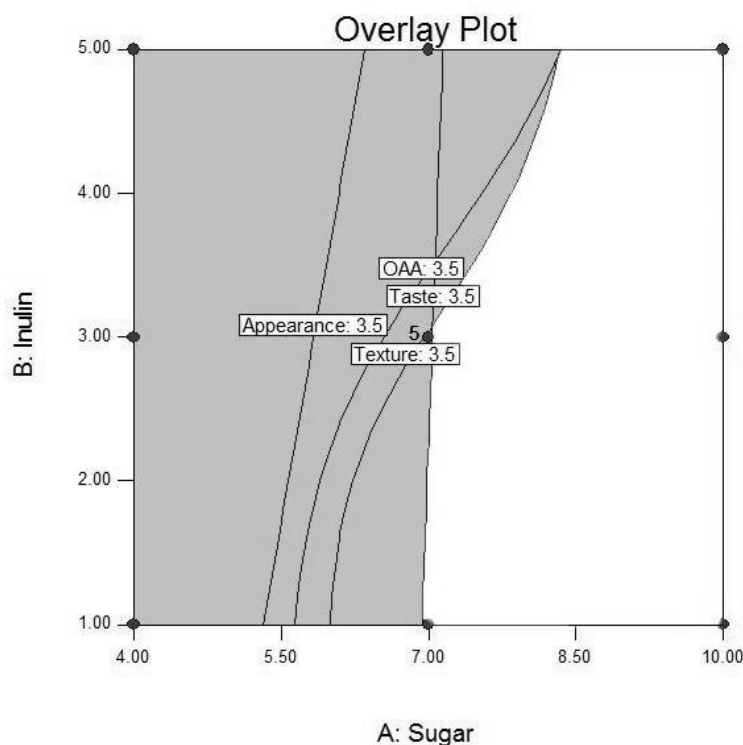
เมื่อ S คือ ร้อยละของน้ำตาล, I คือ ร้อยละของ Inulin



รูปที่ 4.1 ผลของน้ำตาลและ Inulin ต่อค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะ



รูปที่ 4.2 ผลของน้ำตาลและ Inulin ต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้าน (a) ลักษณะปรากฏ, (b) รสชาติ, (c) เนื้อสัมผัส และ (d) การยอมรับโดยรวมของโยเกิร์ตนมแพะ



รูปที่ 4.3 Overlay Plot ของค่า pH, ปริมาณกรด, ความหนืด และคะแนนทางประสาทสัมผัสของ โยเกิร์ตนมแพะเมื่อเติมน้ำตาล (4, 7 และ 10%(w/w)) และ Inulin (1, 3 และ 5%(w/w))

จากการทวนสอบโดยผลิตโยเกิร์ตนมแพะโดยใช้ภาวะที่เลือกคือเติมน้ำตาล 9%(w/w) และ Inulin 3%(w/w) พบว่าโยเกิร์ตนมแพะที่ผลิตได้มี pH, ปริมาณกรด, ความหนืด, คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ, ด้านกลิ่น, ด้านรสชาติ, ด้านเนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวมคือ 4.45 ± 0.07 , $1.13 \pm 0.11\%$, 753.0 ± 16.9 cP, 4.2 ± 0.8 , 4.3 ± 0.7 , 4.1 ± 0.7 , 4.3 ± 0.7 และ 4.1 ± 0.6 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากค่าที่คำนวณได้จากสมการ 4.1-4.5 (ตารางที่ 4.6) โดยความหนืดมีความแตกต่างเพียง 2.31% ซึ่งจัดได้น้อยมาก แต่คะแนนทางประสาทสัมผัสมีความแตกต่างมากกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแปรปรวนของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส อย่างไรก็ตามคะแนนทางประสาทสัมผัสที่ได้แสดงว่าโยเกิร์ตที่ผลิตได้เป็นที่ยอมรับในระดับชอบ

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางเคมีและคะแนนทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะจากการทวนสอบและการแทนค่าในสมการ 4.1-4.5

	ค่าที่ได้จากการ คำนวณ	ค่าที่ได้จากการ ทดลอง	ค่าความแตกต่าง (%)
ความหนืด (cP)	770.8	753.0±16.9	2.31
คะแนนด้านลักษณะปรากฏ	3.8	4.2±0.8	10.52
คะแนนด้านรสชาติ	3.9	4.1±0.7	5.13
คะแนนด้านเนื้อสัมผัส	3.7	4.3±0.7	16.21
คะแนนด้านความชอบโดยรวม	3.8	4.1±0.6	7.89

4.4 การหาภาวะการทำแห้งแบบพ่นที่เหมาะสม

จากการแปรภาวะการทำแห้งโยเกิร์ตแบบพ่น คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ (160°, 170° และ 180°C) และปริมาณ Maltodextrin (DE10) 3 ระดับ (5, 10 และ 15%(w/w)) (ตารางที่ 4.7 และ ค.10-13) พบว่าความชื้น, a_w , ความสามารถในการละลาย, Particle density ของโยเกิร์ตนมแพะผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีบางภาวะของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณการเติม Maltodextrin (160°C, 5%(w/w)), (170°C, 5%(w/w)) และ (160°C, 10%) ที่ไม่สามารถทำแห้งโยเกิร์ตนมแพะได้ โดยโยเกิร์ตนมแพะผงที่ถูกทำแห้งบางส่วนจะติดผนังเครื่อง ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณ Maltodextrin และหิทธิพลร่วมของอุณหภูมิขาเข้าและปริมาณ Maltodextrin ต่อสมบัติต่างๆของโยเกิร์ตผงได้ ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองซ้ำ โดยแปรอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในช่วง 170-180°C และเติม Maltodextrin ในปริมาณ 10-15%(w/w) และเปลี่ยนแผนการทดลองจาก Factorial เป็น Central Composite Rotatable Design (CCRD) (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.7 ความชื้น, a_w , ความสามารถในการละลาย, Particle density ของโยเกิร์ตผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นที่ปริมาณ Maltodextrin (DE10) (5, 10 และ 15%w/w) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (160, 170 และ 180°C)

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	Maltodextrin (% w/w)	ความชื้น (%wb)	a_w	ความสามารถในการละลาย (%)	Particle density (g/cm ³)
160	5	-	-	-	-
170	5	-	-	-	-
180	5	2.46±0.22 ^b	0.234±0.026 ^b	79.51±0.59 ^c	1.32±0.10 ^b
160	10	-	-	-	-
170	10	2.51±0.11 ^b	0.247±0.006 ^b	81.55±0.83 ^{ab}	1.40±0.06 ^a
180	10	2.38±0.24 ^{bc}	0.179±0.026 ^c	79.91±1.75 ^{bc}	1.43±0.07 ^a
160	15	2.94±0.35 ^a	0.310±0.044 ^a	82.30±1.56 ^a	1.48±0.06 ^a
170	15	2.13±0.18 ^{cd}	0.184±0.048 ^c	81.05±1.70 ^{bc}	1.46±0.07 ^a
180	15	1.98±0.10 ^d	0.170±0.042 ^c	81.47±1.53 ^{ab}	1.44±0.05 ^a

- คือ ผลิตภัณฑ์ที่ติดผนังเครื่องอบแห้งแบบพ่น

^{a, b, c} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 แผนการทดลอง Central Composite Rotatable Design (CCRD)

ตัวอย่างที่	a	b	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	Maltodextrin (%w/w)
1	-1	-1	170	10
2	1	-1	180	10
3	-1	1	170	15
4	1	1	180	15
5	1.414	0	182	12.5
6	-1.414	0	167	12.5
7	0	1.414	175	16.035

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แผนการทดลอง Central Composite Rotatable Design (CCRD)

ตัวอย่างที่	a	b	อุณหภูมิร้อนชาเข้า (°C)	Maltodextrin (%w/w)
8	0	-1.414	175	8.965
9	0	0	175	12.5
10	0	0	175	12.5
11	0	0	175	12.5
12	0	0	175	12.5
13	0	0	175	12.5

จากการวัดสมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้ (ตารางที่ 4.9 และ ค.14 -17) พบว่าอุณหภูมิร้อนชาเข้าและปริมาณ Maltodextrin มีผลต่อการละลาย ความชื้น และ a_w ของโยเกิร์ตผง ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อ Particle density ของโยเกิร์ตผง ($p > 0.05$) และมีอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิร้อนชาเข้าและปริมาณ Maltodextrin ต่อความสามารถในการละลาย โดยเมื่อปริมาณ Maltodextrin คงที่ การเพิ่มอุณหภูมิร้อนชาเข้าทำให้ความชื้นและ a_w ของโยเกิร์ตผงมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิร้อนชาเข้าทำให้อัตราการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ความชื้นและ a_w ในโยเกิร์ตลดลง ซึ่งน้ำที่ระเหยเป็นน้ำอิสระจึงทำให้ a_w มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับความชื้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chegini และ Ghobadian (2005) ในน้ำส้ม, Koc และคณะ (2010a) ในโยเกิร์ตและ Moreira และคณะ (2009) ในสารสกัด Acerola pomace เมื่อนำโยเกิร์ตผงที่ได้ไปทดสอบพบว่าเมื่ออุณหภูมิร้อนชาเท่ากับ 170°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดในการทดลองตัวอย่างที่ได้มีการละลายสูงที่สุด เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้นผิวของอนุภาคผงจะมีลักษณะแข็งทำให้น้ำซึมเข้าสู่อนุภาคผงได้น้อยลงทำให้การละลายลดลง (Chegini and Ghobadian, 2005)

เมื่ออุณหภูมิร้อนชาเข้าคงที่ การเติม Maltodextrin ในปริมาณสูงชันทำให้ความชื้น และ a_w ของโยเกิร์ตผงลดลง เนื่องจาก Maltodextrin มีค่า Glass transition temperature (T_g) และมวลโมเลกุลสูง ดังนั้นเมื่อเติม Maltodextrin ในปริมาณสูงชันจะทำให้โยเกิร์ตมีค่า T_g เพิ่มขึ้นและลักษณะ Hygroscopic ลดลง (Adhikari *et al.*, 2004; Bhandari and

Howes, 1999) ดังนั้นการดูดน้ำกลับเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าลดลง ทำให้ความชื้น และ a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Moreira และคณะ (2009) ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณ Maltodextrin ในการทำแห้งของสารสกัด Acerola pomace ทำให้สารสกัดผงมีความชื้นลดลง ส่วนสมบัติด้านการละลายของโยเกิร์ตพบว่าการเติม Maltodextrin ในปริมาณสูงขึ้นไปทำให้การละลายของโยเกิร์ตผงมีค่าสูงขึ้นเนื่องจาก Maltodextrin มีความสามารถในการละลายถึง 99% (Shogren and Biresaw, 2007) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Maltodextrin ทำให้สัดส่วนของ Maltodextrin ในโยเกิร์ตผงมีค่ามากขึ้นซึ่ง Maltodextrin มีการละลายได้ดีกว่าโปรตีนในโยเกิร์ต ดังนั้นการละลายของโยเกิร์ตจึงเพิ่มขึ้น

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะการทำแห้งและสมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะผง พบว่าค่า R^2 ของความสัมพันธ์ (สมการ 4.6-4.8) มีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่าสมการที่พัฒนาได้ สามารถใช้ทำนายสมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้ในช่วงอุณหภูมิลมร้อนชาเข้า 170-180°C และปริมาณ Maltodextrin 10-15%(w/w) และจากความสัมพันธ์สามารถสร้าง Contour plot ได้ดังรูปที่ 4.7

$$\text{ความสามารถในการละลาย} = -181.680 + 1.447I + 18.865M - 0.105IM \quad (R^2 = 0.8079) \dots (4.6)$$

$$\text{ความชื้น} = 12.620 - 0.055I - 0.046M \quad (R^2 = 0.8006) \dots (4.7)$$

$$\begin{aligned} a_w &= -21.559 + 0.258I - 0.030M - 7.66 \times 10^{-4}I^2 - 1.451 \times 10^{-3}M^2 \\ &\quad + 3.133 \times 10^{-4}IM \quad (R^2 = 0.8342) \dots (4.8) \end{aligned}$$

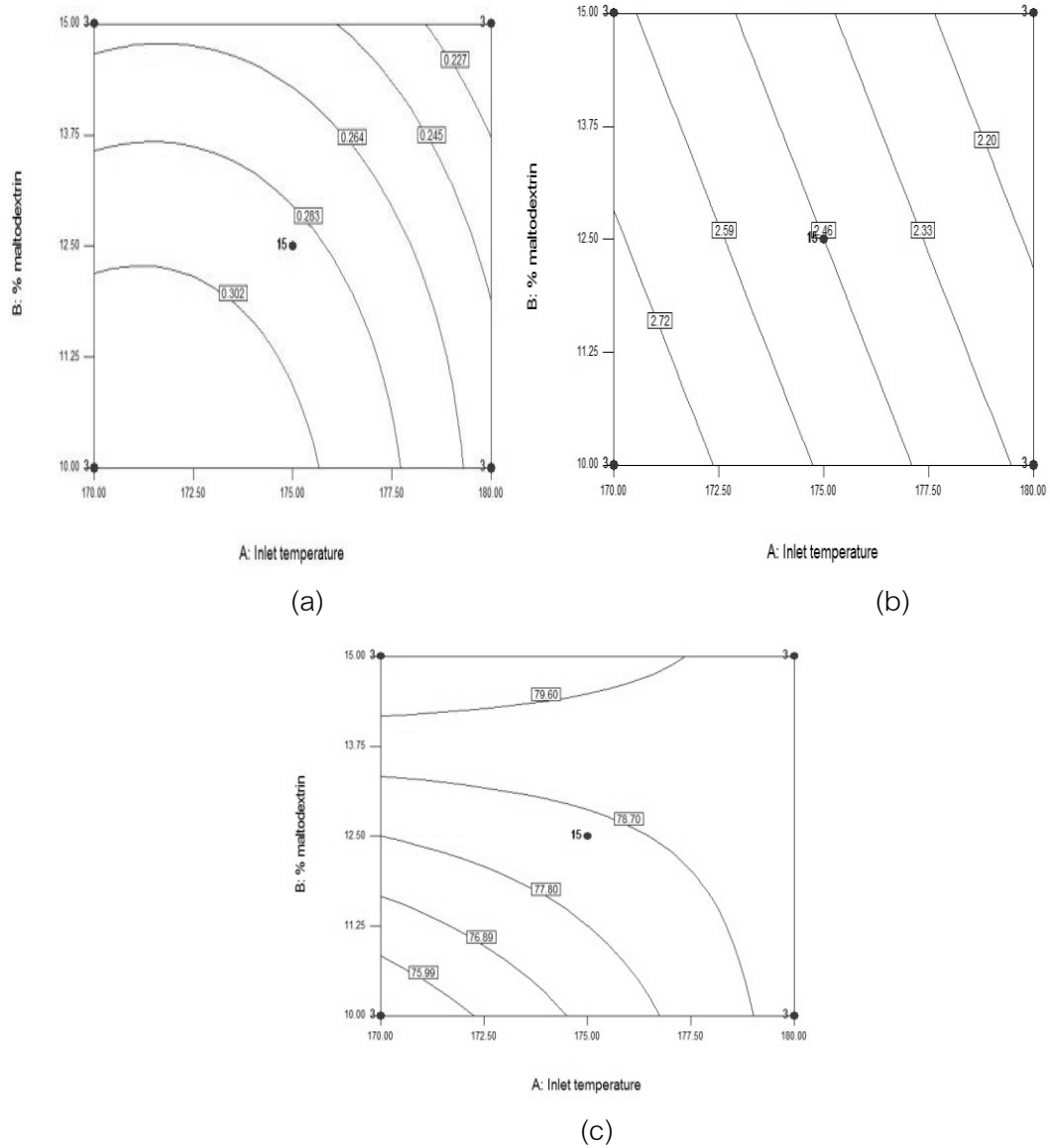
เมื่อ I คือ อุณหภูมิลมร้อนชาเข้า และ M คือ ร้อยละของ Maltodextrin

ตารางที่ 4.9 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้จากการทำแห้งสภาวะต่างๆ

อุณหภูมิ ร้อนชาเข้า (°C)	Maltodextrin (%, w/w)	ความสามารถใน การละลาย (%)	Moisture (%wb)	a_w	Particle density ^{ns} (g/cm ³)
175	12.5	77.59±0.27 ^{ed}	2.55±0.07 ^c	0.281±0.005 ^{bc}	1.41±0.02
170	10	75.09±0.65 ^f	2.95±0.04 ^a	0.322±0.008 ^a	1.42±0.04
180	10	79.41±0.29 ^{bc}	2.31±0.09 ^d	0.247±0.010 ^d	1.41±0.02
180	15	79.53±0.62 ^{abc}	2.12±0.07 ^e	0.213±0.013 ^e	1.46±0.06
175	12.5	79.56±0.26 ^{abc}	2.31±0.08 ^d	0.269±0.009 ^c	1.46±0.02
175	8.96	76.58±0.27 ^e	2.56±0.03 ^c	0.315±0.013 ^a	1.41±0.02
175	12.5	78.08±1.29 ^d	2.31±0.07 ^d	0.296±0.006 ^b	1.41±0.06
175	12.5	78.41±0.97 ^{cd}	2.56±0.08 ^c	0.279±0.013 ^{bc}	1.35±0.04
167.93	12.5	77.85±0.42 ^d	2.76±0.05 ^b	0.281±0.009 ^{bc}	1.42±0.08
182.07	12.5	79.37±0.23 ^{bc}	2.04±0.11 ^e	0.212±0.024 ^e	1.36±0.03
175	12.5	77.84±0.52 ^d	2.64±0.10 ^{bc}	0.318±0.005 ^a	1.40±0.02
170	15	80.43±0.39 ^{ab}	2.65±0.08 ^{bc}	0.273±0.007 ^c	1.46±0.13
175	16.03	80.64±0.84 ^a	2.26±0.12 ^d	0.219±0.007 ^e	1.42±0.04

^{a, b, c} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้งเดียวกัน ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.4 ผลอุณหภูมิผลรวมร้อนขาเข้า (170-180 °C) และ ปริมาณ Maltodextrin (10-15%) ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะผง: (a) a_w , (b) ความชื้น และ (c) ความสามารถในการละลาย

จากการหาภาวะเหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบพ่นโดยกำหนดให้โยเกิร์ตนมแพะผงมีความชื้นต่ำกว่า 5%wb (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2524), a_w อยู่ในช่วง 0.2 - 0.4 ที่เป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยา Oxidation ต่ำที่สุด (Labuza, Tannenbaum, and Karel, 1970) และมีค่าการละลายสูงที่สุด พบว่าทุกภาวะมีความชื้นและ a_w อยู่ในช่วงที่กำหนด และจากตารางที่ 4.9 พบว่าเมื่ออุณหภูมิผลรวมร้อนขาเข้าเท่ากับ 175°C และปริมาณ Maltodextrin เท่ากับ 16.03%(w/w)

โยเกิร์ตนมแพะผงมีความสามารถในการละลายสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้จากการทำแห้งที่ภาวะอุณหภูมิลมร้อนชาเข้าเท่ากับ 170°C และปริมาณ Maltodextrin เท่ากับ 15%(w/w) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะผงโดยการทำแห้งแบบพ่นที่อุณหภูมิลมร้อนชาเข้าเท่ากับ 170°C และปริมาณ Maltodextrin เท่ากับ 15%(w/w) เพราะเป็นภาวะที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากกว่าเนื่องจากใช้พลังงานความร้อนในการทำแห้งน้อยกว่า และใช้ปริมาณ Maltodextrin น้อยกว่า

จากการทวนสอบการผลิตโยเกิร์ตนมแพะผงโดยการทำแห้งแบบพ่นจากภาวะที่เลือกคือ อุณหภูมิลมร้อนชาเข้าเท่ากับ 170°C และเติม Maltodextrin ปริมาณ 15%(w/w) พบว่าโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้มีความสามารถในการละลาย, ความชื้น, a_w และ Particle density คือ $81.07\pm 0.48\%$, $2.52\pm 0.04\%wb$, 0.209 ± 0.007 และ $1.43\pm 0.02\text{ g/cm}^3$ ตามลำดับ โดยพบว่าความแตกต่างของความสามารถในการละลายและความชื้นมีค่าน้อยกว่า 5% แต่ a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการคำนวณประมาณ 27% (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางเคมีและกายภาพโยเกิร์ตนมแพะผงจากการทวนสอบและการแทนค่าใน

สมการ 4.6-4.8

	ค่าที่ได้จากการ คำนวณ	ค่าที่ได้จากการ ทดลอง	ค่าความแตกต่าง (%)
ความสามารถในการละลาย (%)	78.49	81.07 ± 0.48	3.29
ความชื้น (%wb)	2.45	2.52 ± 0.04	2.86
a_w	0.288	0.209 ± 0.007	-27.43

4.5 การศึกษาภาวะการคืนรูปโยเกิร์ตนมแพะผง

จากคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น, รสชาติ และการยอมรับโดยรวมและความเหนียวของโยเกิร์ตนมแพะคืนรูปที่อัตราส่วนของโยเกิร์ตนมแพะผงต่อน้ำ (1:2, 1:3 และ 1:4) (ตารางที่ 4.11) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ ค.17-20) พบว่าอัตราส่วนของโยเกิร์ตนมแพะผงต่อน้ำมีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะผงคืนรูปด้านรสชาติ, การยอมรับโดยรวม และความเหนียวของโยเกิร์ตคืนรูป ($p\leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่น

($p>0.05$) โดยเมื่อสัดส่วนของโยเกิร์ตผงเพิ่มขึ้น คะแนนด้านรสชาติ, การยอมรับโดยรวมและความหนืดมีค่าสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนของโยเกิร์ตนมแพะผงต่อน้ำเท่ากับ 1:2 ดังนั้นจึงเลือกใช้เป็นอัตราส่วนนี้ในการทดลองศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษา โยเกิร์ตนมแพะผง

ตารางที่ 4.11 คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะผงในรูปแบบที่

อัตราส่วนต่างๆ (1 คะแนน = ไม่ชอบมาก, 3 คะแนน = เฉยๆ และ 5 คะแนน = ชอบมาก)

อัตราส่วนของโยเกิร์ตผงต่อน้ำ	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม	ความหนืด (cP)
1:2	3.4±0.9	3.7±1.0 ^a	3.7±0.8 ^a	79.9±1.3 ^a
1:3	3.4±0.9	3.1±1.0 ^b	3.2±0.9 ^b	48.5±0.6 ^b
1:4	3.3±1.1	2.8±1.2 ^b	2.8±0.8 ^b	21.9±1.7 ^c

^{a, b} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

^{ns} คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้งเดียวกัน ($p>0.05$)

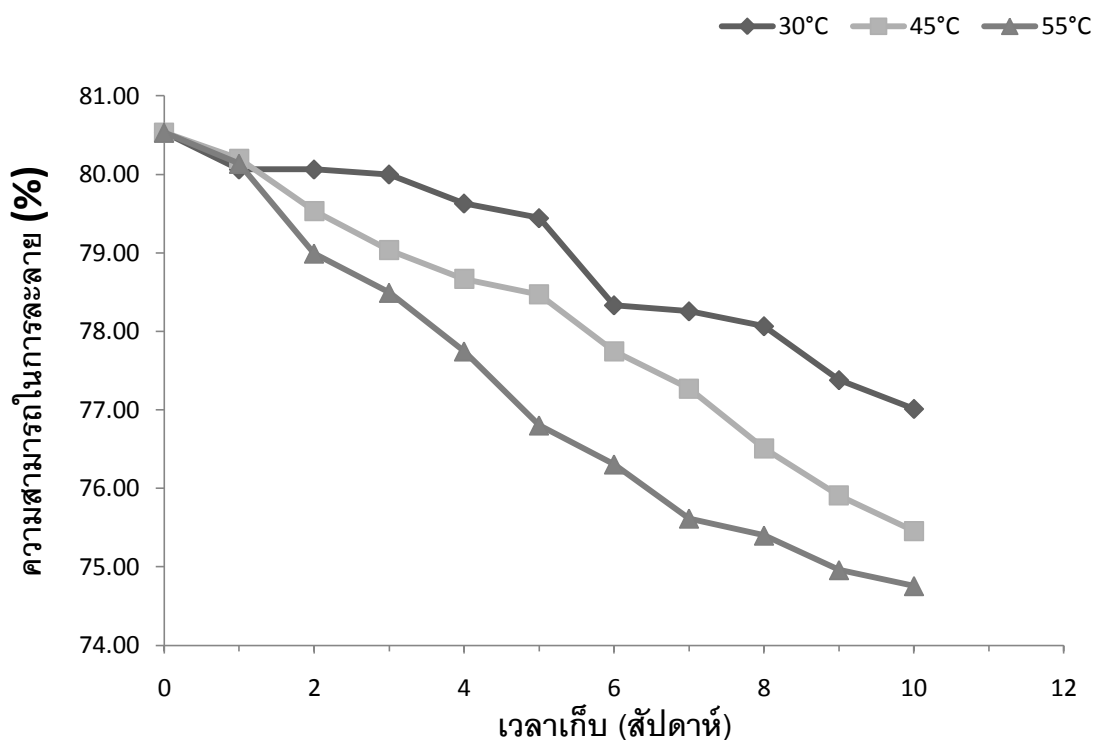
4.6 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาโยเกิร์ตนมแพะผง

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ (ความสามารถในการละลาย และค่าสี) ทางเคมี (Thiobarbituric acid, ความชื้น และ a_w) ทางจุลชีววิทยา (ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด, ปริมาณยีสต์รา ปริมาณ *Lactobacillus bulgaricus* และปริมาณ *Streptococcus thermophilus*) และทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะผงระหว่างการรักษาในถุงลามิเนต PE-Al-PE และแบบตัดแปลงบรรยากาศในถุงโดยการแทนที่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 30^o, 45^o และ 55^oC เป็นเวลา 10 สัปดาห์ และวิเคราะห์ปริมาณทอรีนในวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของการเก็บได้ผลดังนี้

4.6.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ

4.6.1.1 ความสามารถในการละลาย

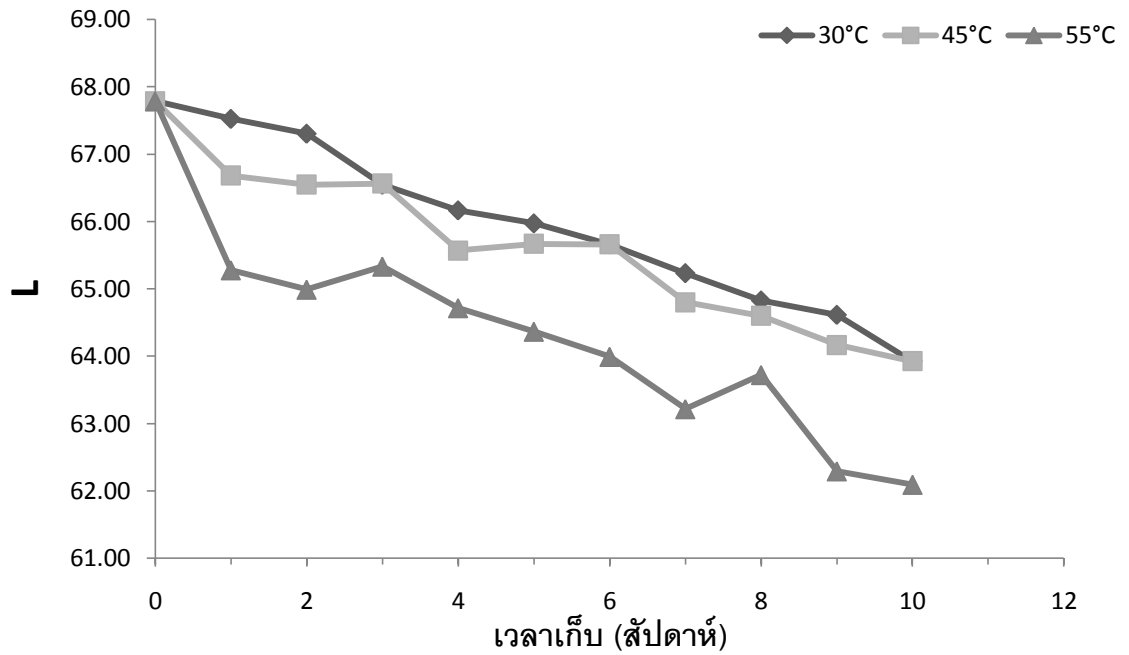
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการละลายของโยเกิร์ตนมแพะผงหลังการเก็บรักษา พบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษา ระยะเวลาการเก็บรักษาและอิทธิพลร่วมมีผลต่อความสามารถในการละลายของโยเกิร์ตนมแพะผง โดยความสามารถในการละลายของโยเกิร์ตนมแพะผงลดลง เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.22) ซึ่งความสามารถในการละลายของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บที่อุณหภูมิ 30°C มีอัตราการลดลงต่ำที่สุด โดยลดจาก $80.53 \pm 0.48\%$ เป็น $77.01 \pm 0.32\%$ ในสัปดาห์ที่ 10 ส่วนที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C ลดลงเป็น $75.46 \pm 0.45\%$ และ $74.25 \pm 0.32\%$ ตามลำดับ (รูปที่ 4.5 และตารางที่ ข.1) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำตาลแลคโตสที่มีโครงสร้างแบบ Amorphous มีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นแบบผลึกหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เกิดการตกผลึกของแลคโตส (Lactose crystallization) ซึ่งน้ำตาลแลคโตสที่มีโครงสร้างแบบผลึกมีความสามารถในการละลายน้อยกว่าแบบ Amorphous (Jouppila *et al.*, 1997) หรืออาจเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของโปรตีนที่สามารถละลายน้ำได้เชื่อมต่อกันโดย Non-covalent hydrophobic bond ทำให้โมเลกุลของโปรตีนใหญ่ขึ้น (Monahan *et al.*, 1996) นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยา Maillard และ Oxidation ในระหว่างการเก็บรักษาอาจทำให้โปรตีนเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ทำให้ความสามารถในการละลายของโยเกิร์ตนมแพะลดลง (Thomas *et al.*, 2004) โดยการเก็บที่อุณหภูมิสูงทำให้การละลายของโยเกิร์ตผงลดลงเร็วขึ้น เพราะความร้อนเร่งการเกิด ปฏิกิริยาต่างๆให้เกิดขึ้น (Mistry and Pulgar, 1996)



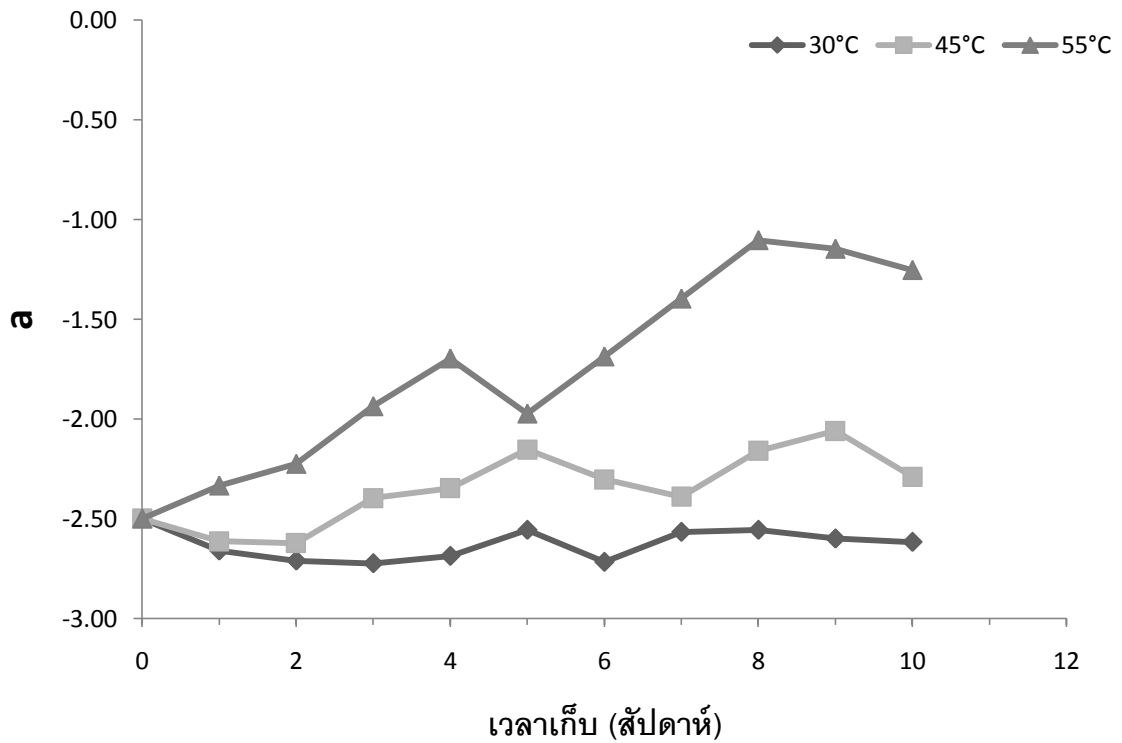
รูปที่ 4.5 ความสามารถในการละลายของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.6.1.2 ค่าสี

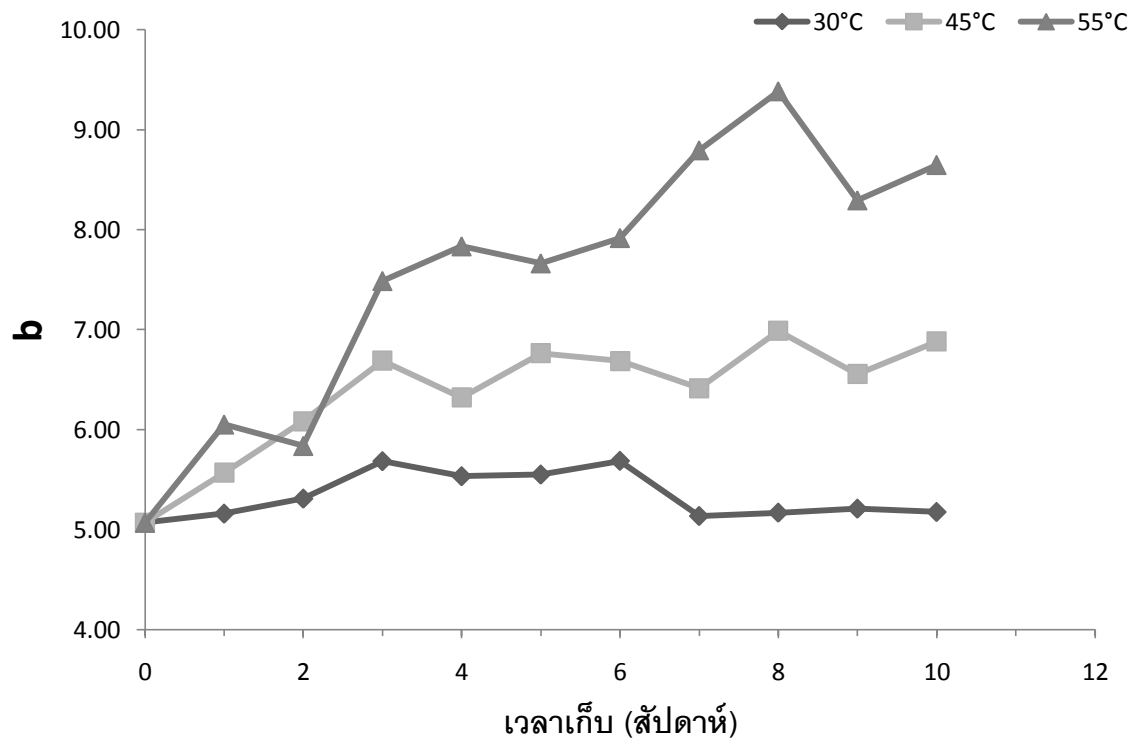
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง (L), ค่าสีเขียว-สีแดง (a), ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b) และการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของโยเกิร์ตนมแพะผงตลอดเวลาการเก็บรักษา พบว่าอุณหภูมิ, เวลา และอิทธิพลร่วมของเวลาและอุณหภูมิมีผลต่อค่าสีของโยเกิร์ตนมแพะผง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.23-26) โดย ΔE , ค่า a และ b มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ค่า L มีค่าลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิสูงขึ้น (รูปที่ 4.6-4.9 และตารางที่ ข.2-5) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีอาจเกิดจากปฏิกิริยา Maillard ซึ่งทำให้เกิด Melanoidins ที่เป็นสารสีน้ำตาลจึงทำให้โยเกิร์ตนมแพะมีสีเข้มขึ้น และที่อุณหภูมิสูงมีการเปลี่ยนแปลงของสีมากกว่าเนื่องจากพลังงานความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งในการเร่งปฏิกิริยา Maillard และเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้นก็ทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard มากขึ้นด้วย (Koc *et al*, 2010b; Kumar and Mishra, 2004; Thomas *et al*, 2004)



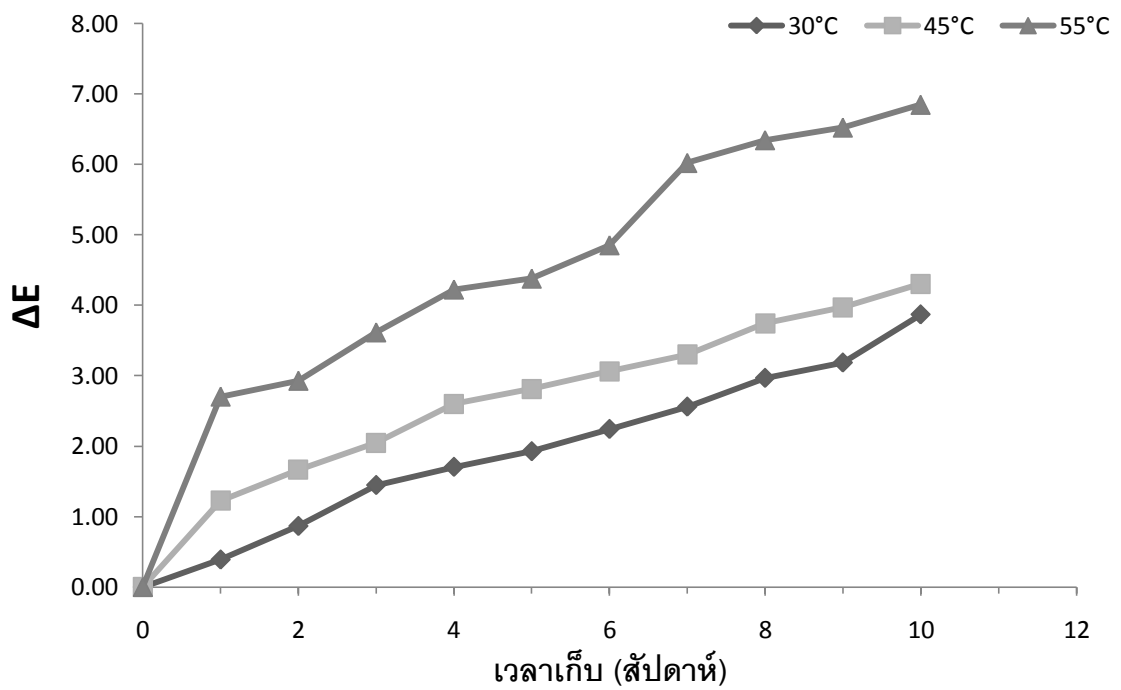
รูปที่ 4.6 ค่า L ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.7 ค่า a ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.8 ค่า b ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

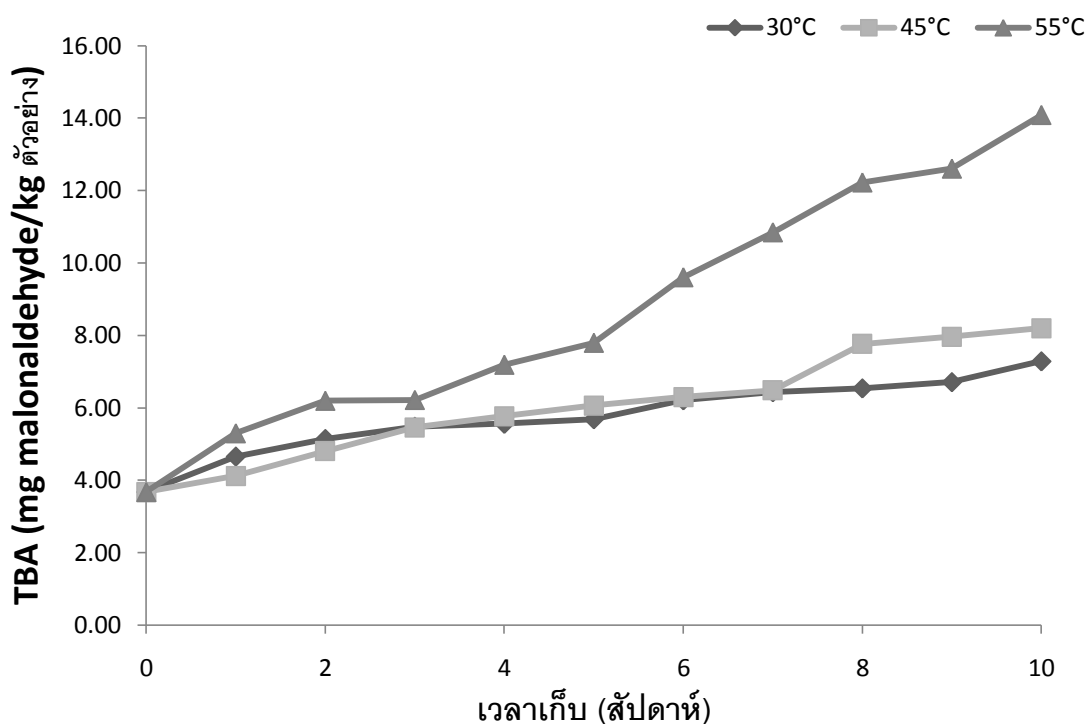


รูปที่ 4.9 ค่า ΔE ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

4.6.2.1 Thiobarbituric Acid (TBA)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ TBA ของโยเกิร์ตนมแพะพบว่าอุณหภูมิ, เวลา และอิทธิพลร่วมมีผลต่อค่า TBA ของโยเกิร์ตนมแพะ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.27) โดยเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการเก็บนานขึ้น ค่า TBA มีแนวโน้มสูง ซึ่งเริ่มต้น TBA มีค่า 3.68 ± 0.14 mg malonaldehyde/kg ตัวอย่าง ($OD_{532} 0.164 \pm 0.006$) และเพิ่มเป็น 7.29 ± 0.35 mg malonaldehyde/kg ตัวอย่าง ($OD_{532} 0.325 \pm 0.016$), 8.20 ± 0.35 mg malonaldehyde/kg ตัวอย่าง ($OD_{532} 0.366 \pm 0.016$) และ 214.08 ± 0.26 mg malonaldehyde/kg ตัวอย่าง ($OD_{532} 0.628 \pm 0.01$) (รูปที่ 4.10 และตารางที่ ข.6) ในสัปดาห์ที่ 10 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30° , 45° และ $55^{\circ}C$ ตามลำดับ โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของ TBA เป็น 2.30×10^{-3} , 2.89×10^{-3} และ $6.63 \times 10^{-3} OD_{532}/$ วัน ที่อุณหภูมิการเก็บ 30° , 45° และ $55^{\circ}C$ ตามลำดับ การที่ค่า TBA มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากก๊าซ Oxygen บางส่วนซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ได้ ซึ่งจากงานวิจัยของ Jena และ Das (2012) พบว่าถุงลามิเนต PE-Al-PE มีค่า Oxygen transmission rate $0.6 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ทำให้ผลิตภัณฑ์ Coconut milk powder ที่เก็บที่ $38^{\circ}C$ เกิด Oxidation ขึ้น เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ Kumar และ Mishra (2004) และ Koc และคณะ (2010b) ที่พบว่า Mango soy fortified yoghurt powder ที่บรรจุในถุงลามิเนต PE-Al-PE ที่อุณหภูมิ $38^{\circ}C$ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของ TBA เป็น $2.45 \times 10^{-3} OD_{532}/$ วัน ซึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิการเก็บ $30^{\circ}C$ และโยเกิร์ตเมงที่บรรจุในถุงลามิเนต PE-Al-PE ที่อุณหภูมิ $25^{\circ}C$ มีค่า TBA เพิ่มขึ้นอัตราการเพิ่มขึ้นของ TBA เป็น $1.18 \times 10^{-3} OD_{532}/$ วัน น้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิการเก็บ $30^{\circ}C$ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของ TBA มาจาก Oxygen transmission rate ของบรรจุภัณฑ์ที่มีค่าแตกต่างกัน และอุณหภูมิในการเก็บที่สูงขึ้นจะเร่งเกิดปฏิกิริยา Oxidation ให้เร็วขึ้น (Thomas *et al*, 2004)

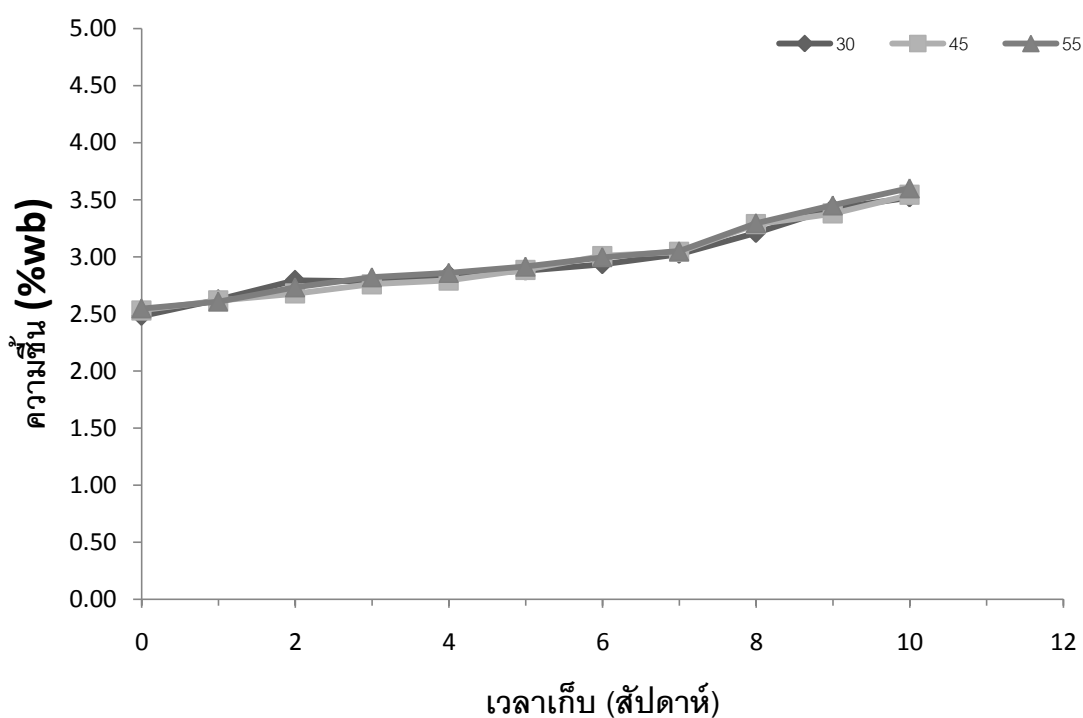


รูปที่ 4.10 ค่า TBA ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.6.2.2 ความชื้น

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นในโยเกิร์ตนมแพะผง พบว่าเวลาไม่ส่งผลต่อความชื้นของโยเกิร์ตนมแพะผง ($p \leq 0.05$) แต่อุณหภูมิในการเก็บไม่ส่งผลต่อความชื้นของโยเกิร์ตนมแพะผง ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.28) โดยความชื้นของโยเกิร์ตผงเริ่มต้นมีค่า $2.52 \pm 0.04\% \text{wb}$ และเพิ่มขึ้นเป็น $3.60 \pm 0.12\% \text{wb}$, $3.54 \pm 0.20\% \text{wb}$ และ $3.52 \pm 0.44\% \text{wb}$ ในสัปดาห์ที่ 10 (วันที่ 70) ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30° , 45° และ 55°C ตามลำดับ (รูปที่ 4.11 และตารางที่ ข.7) ซึ่งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาความชื้นของโยเกิร์ตนมแพะผงมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดคือ $5\% \text{wb}$ (อุตสาหกรรม, 2524) โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นเป็น 1.54×10^{-2} , 1.46×10^{-2} และ $1.42 \times 10^{-2} \% \text{wb/วัน}$ ที่อุณหภูมิกการเก็บ 30° , 45° และ 55°C ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าผลจากงานวิจัยของ Kumar และ Mishra (2004) พบว่า Mango soy fortified yoghurt powder มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นเป็น $3.62 \times 10^{-2} \% \text{wb/วัน}$ เก็บที่อุณหภูมิ 38°C ในถุง Aluminium laminated polyethylene มีค่า Water vapour permeability (WVP) เท่ากับ $6.16 \times 10^{-8} \text{kgm}^{-2} \text{day}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นมากกว่าผลจากงานวิจัยของ Koc และคณะ (2010b) ที่

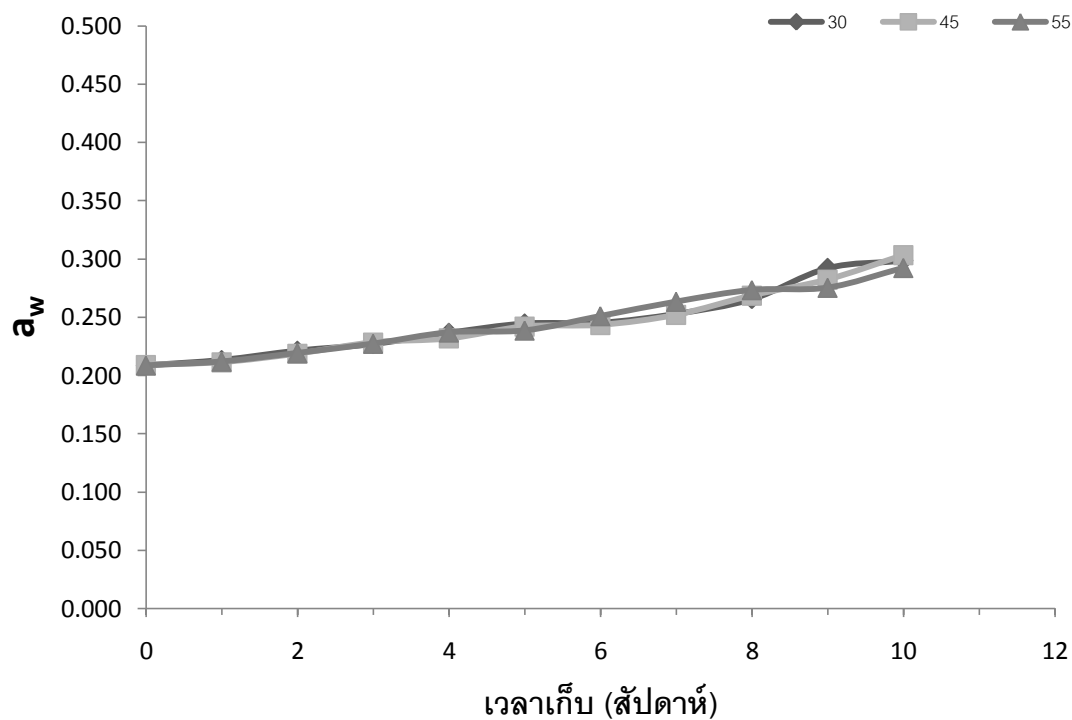
พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นเป็น 1.24×10^{-2} %wb/วัน เก็บที่อุณหภูมิการ 25°C บรรจุในถุง Aluminium laminated polyethylene ซึ่งมีค่า WVP เท่ากับ $9.047 \times 10^{-7} \text{kgm}^{-2} \text{day}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ซึ่งความชื้นที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการที่ถุง Aluminium laminated polyethylene มีการซึมผ่านของน้ำ แม้มี WVP ต่ำแต่ก็พบว่าความชื้นของโยเกิร์ตผงเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 4.11 ความชื้นของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.6.2.3 a_w

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผง พบว่าเวลามีผลต่อ a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.29) แต่อุณหภูมิในการเก็บไม่มีผลต่อ a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผง ($p > 0.05$) ซึ่งค่า a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษาสูงขึ้น โดย a_w มีค่าเริ่มต้น 0.209 ± 0.007 และเพิ่มเป็น 0.324 ± 0.004 , 0.288 ± 0.006 และ 0.271 ± 0.006 ในสัปดาห์ที่ 10 (วันที่ 70 วัน) ที่อุณหภูมิ 55, 45 และ 30°C ตามลำดับ (รูปที่ 4.12 และตารางที่ ข.28) การเพิ่มขึ้นของ a_w เนื่องจากความชื้นของโยเกิร์ตผงเพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ (Steele, 2004)



รูปที่ 4.12 ค่า a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.6.2.4 ปริมาณทอรีน

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Taurine ในโยเกิร์ตนมแพะผงเริ่มต้นและหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิต่างๆ (30⁰, 45⁰ และ 55⁰C) พบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.53) โดยปริมาณ Taurine ในตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (55⁰C) (ตารางที่ 4.13) มีค่าต่ำที่สุดทั้งนี้อาจเนื่องจากทอรีนเกิดปฏิกิริยา Maillard กับน้ำตาลรีดิวิซ์ เช่น น้ำตาล ฟรุคโตส, น้ำตาลกลูโคส เป็นต้น เกิดการเป็นสารประกอบอื่นๆ ซึ่งความร้อนจะเร่งปฏิกิริยา Maillard (Saidi, 1990)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณ Taurine ในโยเกิร์ตผงในวันเริ่มต้นและในสัปดาห์ที่ 10 ของการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 30⁰, 45⁰ และ 55⁰C

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	อุณหภูมิการเก็บ	ปริมาณ Taurine ($\mu\text{g/g}$)
0	-	7.74 \pm 0.03 ^a
10	30 ⁰ C	5.56 \pm 0.04 ^b
10	45 ⁰ C	5.18 \pm 0.17 ^c
10	55 ⁰ C	4.11 \pm 0.11 ^d

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.6.3 การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตนมแพะก่อนการทำแห้ง พบว่ามีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด, *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* เริ่มต้นก่อนการทำแห้งเท่ากับ 9.47 \pm 0.17, 10.13 \pm 0.37 และ 5.02 \pm 0.38 log cfu/g และไม่พบยีสต์และรา เนื่องจากในกระบวนการผลิตโยเกิร์ตผงมีการให้ความร้อนในช่วงการพาสเจอร์ไรซ์ซึ่งจะทำลายยีสต์ราในนมเริ่มต้น (Tamime and Robinson, 1999; Chandan *et al.*, 2006) และหลังทำแห้งแบคทีเรียทั้งหมด, *Streptococcus thermophilus* ลดลงเป็น 8.59 \pm 0.35 และ 9.25 \pm 0.49 log cfu/g ตามลำดับ แต่ไม่พบ *Lactobacillus bulgaricus* เนื่องจากการทำแห้งมีอุณหภูมิสูงซึ่ง *Lactobacillus bulgaricus* เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถทนร้อนได้ต่ำจึง และ *Streptococcus thermophilus* เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถทนร้อนได้ดี เมื่อโยเกิร์ตนมแพะผ่านการทำแห้งแบบพ่นจึงไม่พบ *Lactobacillus bulgaricus* และพบ *Streptococcus thermophilus* ในตัวอย่างแห้ง (พิสิฐุ ไพบูลย์เกียรติ และ สิริวรรณ ชัยธรรมรัตน์, 2546; Kim and Bhowmik, 1990; Bielecka and Majkowska, 2000; Koc *et al.*, 2010b)

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์ (แบคทีเรียทั้งหมด, ยีสต์รา, *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus*) ของโยเกิร์ตนมแพะผระหว่าง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30⁰, 45⁰ และ 55⁰C เป็นเวลา 10 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.14) พบว่าที่ อุณหภูมิการเก็บรักษา 45⁰ และ 55⁰C มีการลดลงของจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและ

Streptococcus thermophilus อย่างรวดเร็วจนไม่สามารถตรวจพบได้ในสัปดาห์ที่ 3 เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดกิจกรรมภายในเซลล์มากขึ้น ทำให้อัตราการตายเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Teixeria et al., 1995) เมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและเชื้อ *Streptococcus thermophilus* มีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากโยเกิร์ตนมแพะผงมีความชื้นต่ำกว่า 5%wb มีค่า a_w ในช่วง 0.2-0.4 ซึ่งเป็นภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้มีการรอดชีวิตของแบคทีเรียทั้งหมดและ *Streptococcus thermophilus* ต่ำลง และพบว่าจำนวน *Streptococcus thermophilus* มีปริมาณสูงกว่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเนื่องจากจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่พบเป็น *Streptococcus thermophilus* ดังนั้นจึงเจริญได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะ M17 มากกว่า Total plate count agar แต่ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาโยเกิร์ตผงยังคงมีปริมาณ *Streptococcus thermophilus* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักมีค่ามากกว่าระดับมาตรฐานที่กำหนดคือมีปริมาณจุลินทรีย์ที่สร้างกรดมากกว่า 7 log cfu/g (สาธารณสุข, 2548)

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียทั้งหมดในโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	แบคทีเรียทั้งหมด (log cfu/g)		
	30°C	45°C	55°C
0	8.59±0.35	8.59±0.35	8.59±0.35
1	8.30±0.23	5.75±0.68	3.45±0.71
2	8.29±0.41	2.13±0.35	nd
3	8.03±0.23	nd	nd
4	7.90±0.20	nd	nd
5	7.76±0.16	nd	nd
6	7.67±0.25	nd	nd
7	7.49±0.26	nd	nd
8	7.34±0.53	nd	nd
9	7.29±0.26	nd	nd
10	7.11±0.27	nd	nd

nd คือ ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของ *Streptococcus thermophilus* ในโยเกิร์ตผงที่เก็บรักษาที่ อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	<i>Streptococcus thermophilus</i> (log cfu/g)		
	30°C	45°C	55°C
0	9.25±0.49	9.25±0.49	9.25±0.49
1	8.89±0.39	6.06±0.48	4.02±0.71
2	8.62±0.34	2.96±0.35	nd
3	8.31±0.28	nd	nd
4	8.18±0.28	nd	nd
5	8.12±0.29	nd	nd
6	8.17±0.38	nd	nd
7	7.97±0.32	nd	nd
8	7.83±0.62	nd	nd
9	7.75±0.39	nd	nd
10	7.36±0.28	nd	nd

nd คือ ตรวจไม่พบ

4.6.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

จากการประเมินการยอมรับโดยรวมของโยเกิร์ตนมแพะคั้นรูป พบว่าเมื่อเวลาและ อุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นคะแนนการยอมรับโดยรวมลดลง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.15 และ ค. 31-33) นอกจากนี้ผู้ทดสอบยังให้ความคิดเห็นว่ามีกลิ่นผิดปกติ และเนื้อสัมผัสหยาบขึ้นซึ่ง สอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงค่า TBA ที่มีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษามาก ขึ้นเช่นกัน โดยเกิดกลิ่นหืนอันเกิดจากปฏิกิริยา Oxidation ของไขมันในโยเกิร์ต และยังอาจเกิด กลิ่น Cooked flavor จากปฏิกิริยา Maillard (Stapelfeldt *et al.*, 1997) และการที่เนื้อสัมผัส หยาบขึ้น อาจเกิดจากความสามารถในการละลายของโยเกิร์ตผงลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บ รักษาและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55°, 45° และ 30°C มี

คะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ยต่ำกว่า 3 คะแนนในสัปดาห์ที่ 4, 8 และ 10 ของการเก็บรักษา นั่นคือโยเกิร์ตนมแพะผงมีอายุการเก็บเพียง 10 สัปดาห์เท่านั้น เนื่องจากเกิดการเสื่อมเสียนั้นจาก กลิ่นเหม็นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Oxidation ในผลิตภัณฑ์ แต่โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ผงควรมีอายุการเก็บ ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อยประมาณ 25 สัปดาห์ (6 เดือน) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อลดการเกิด Oxidation ในผลิตภัณฑ์ และยืดอายุของโยเกิร์ตนมแพะผง

ตารางที่ 4.15 คะแนนการยอมรับโดยรวมของโยเกิร์ตผงเก็บรักษาที่ 30⁰, 45⁰ และ 55⁰C เป็นเวลา 10 สัปดาห์

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	คะแนนการยอมรับโดยรวม		
	30 ⁰ C	45 ⁰ C	55 ⁰ C
0	3.75±0.68 ^a	3.75±0.68 ^a	3.75±0.71 ^a
1	3.63±0.72 ^{ab}	3.38±0.50 ^{ab}	3.38±0.52 ^{ab}
2	3.63±0.50 ^{ab}	3.50±0.52 ^{ab}	3.13±0.35 ^{bc}
3	3.38±0.72 ^{abc}	3.25±0.45 ^b	3.25±0.46 ^{ab}
4	3.38±0.50 ^{abc}	3.25±0.45 ^b	2.63±0.52 ^c
5	3.25±0.45 ^{bc}	3.25±0.68 ^b	-
6	3.38±0.50 ^{abc}	3.25±0.45 ^b	-
7	3.25±0.45 ^{bc}	3.15±0.38 ^b	-
8	3.38±0.50 ^{abc}	2.75±0.46 ^c	-
9	3.13±0.34 ^c	-	-
10	2.63±0.50 ^d	-	-

^{a, b} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

- คือ ไม่ได้ประเมิน

1 คะแนน = ไม่ชอบมาก, 3 คะแนน = เฉยๆ และ 5 คะแนน = ชอบมาก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

นมแพะที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณน้ำ, ไขมัน, โปรตีน, ปริมาณของแข็งทั้งหมด และทอรีนเท่ากับ $87.35 \pm 0.03\%$, $3.28 \pm 0.05\%$, $3.20 \pm 0.03\%$, $13.44 \pm 0.01\%$ (%) และ 23.38 ± 0.04 mg/l ตามลำดับ

ชนิดของสารพรีไบโอติกมีผลต่อค่า Prebiotic activity ของ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* และความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะ โดยการเติม Inulin สามารถเพิ่มความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะมากกว่า Oligofructose และ Inulin มีเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ได้ดี จึงเลือกใช้ Inulin เป็นสารพรีไบโอติกใช้ในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ

ภาวะการผลิตโยเกิร์ตนมแพะที่เลือกคือ น้ำตาล 9%(w/w), Inulin 3%(w/w) โดยโยเกิร์ตนมแพะที่ได้มี pH 4.45 ± 0.07 , ปริมาณกรด $1.13 \pm 0.11\%$ และความหนืด 753.0 ± 16.9 cps.

ภาวะการผลิตโยเกิร์ตนมแพะผงดโดยการทำให้แห้งแบบพ่นที่เลือกคือ อุณหภูมิลมร้อนเข้าเท่ากับ 170°C และเติม Maltodextrin ปริมาณ 15%(w/w) โดยโยเกิร์ตนมแพะผงดที่ได้มีความสามารถในการละลาย $81.07 \pm 0.48\%$, ความชื้น $2.52 \pm 0.04\% \text{wb}$, a_w 0.209 ± 0.07 และ Particle density $1.43 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$

อัตราส่วนของโยเกิร์ตนมแพะผงดต่อน้ำที่เลือกคือ 1:2 มีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาของโยเกิร์ตนมแพะผงดบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนแทนที่ในถุงลามิเนต PE-AI-PE เก็บที่อุณหภูมิ 30° , 45° และ 55°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์พบว่า เมื่อเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสีและ ค่า TBA มีค่าสูงขึ้น แต่ความสามารถในการละลาย, ปริมาณทอรีนและคะแนนการยอมรับโดยรวมของโยเกิร์ตนมแพะผงดมีค่าลดลง เมื่อเวลาในการเก็บรักษาสูงขึ้น ความชื้น และ a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงดมีค่าสูงขึ้นแต่ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด และ *Streptococcus thermophilus* ในโยเกิร์ตนมแพะมีค่าลดลง และในสัปดาห์ที่ 4, 8 และ 10 ของการเก็บรักษาโยเกิร์ต นมแพะผงดมีคะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ยต่ำกว่า 3 คะแนน (3 คะแนน = เฉยๆ) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55, 45 และ 30°C ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการเติมสารปกป้องเซลล์ชนิดต่างๆ เช่น แชนแทนกัม เพื่อศึกษาการรอดชีวิตของ *Lactobacillus bulgaricus* ทำให้ผลิตภัณฑ์มีประโยชน์เพิ่มขึ้น
2. การยืดอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตนมแพะผง โดยปรับเปลี่ยนวิธีการบรรจุ เช่นการใช้ Oxygen absorber เพื่อลดการเกิด Oxidation ในผลิตภัณฑ์

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551.

น้ำนมแพะดิบ มกอช. 6006 –2551. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 125 ตอนพิเศษ 139 ง ลงวันที่ 18 สิงหาคม พุทธศักราช 2551.

เฉลิมขวัญ คำคำ และ มัลลิกา ชมนาวัง. 2548. คุณรู้จัก Prebiotics แล้วหรือยัง. วารสารอาหาร. 35(2): 96-102.

บรรจง จงรักษ์วัฒนา. 2548. การผลิตน้ำนมแพะ. [ออนไลน์]. สำนักสุขศาสตร์สัตว์และสุขอนามัยที่ 9, กรมปศุสัตว์. แหล่งที่มา: <http://www.dld.go.th/region9/index.html> [11 ตุลาคม 2552].

ปศุสัตว์, กรม. 2553. สถิติข้อมูลการปศุสัตว์ 2553. [ออนไลน์]. กรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา: http://www.dld.go.th/ict/th/index.php?option=com_content&view=article&id=368:-2553&catid=74:2009-11-01-07-43-07 [9 เมษายน 2554].

พิสิฐ ไพบูลย์เกียรติ และ สิริวรรณ ชัยธรรมรักษ์. 2546. ผลกระทบของการทำแห้งที่มีต่อคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมข้าวโพด. ปรินญาณิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมชัย สวาสดิพันธ์ และ นิชารัตน์ สวาสดิพันธ์. 2548. นมแพะมูลแพะงานวิจัยและการใช้ประโยชน์. ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. อุบลราชธานี. 83 หน้า.

สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์, สุวรรณ สุภิमारส, กัลยา เลาสงคราม, สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ และรมณี สงวนดีกุล. 2550. การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมแพะสู่ชุมชน การศึกษาสมบัติพื้นฐานทางด้านเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ของน้ำนมแพะจากแหล่งต่าง ๆ. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

สุรชน ต่างวิวัฒน์. 2546. การเลี้ยงแพะ. [ออนไลน์]. กรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา: <http://www.dld.go.th/service/goat/goatmai.html> [11 ตุลาคม 2552].

สาธารณสุข, กระทรวง. 2548. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 289 เรื่อง นมเปรี้ยวราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 122 ตอนพิเศษ 021 ง ลงวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ.2548.

สารสินธุ์ฟาร์ม. 2552. แพะพันธุ์ต่างๆ. [ออนไลน์]. กรุงเทพมหานคร.แหล่งที่มา:
<http://ssgoatfarm.blogspot.com> [12 มกราคม 2554].

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2524. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 559 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมผง ฉบับพิเศษ เล่ม 98 ตอนที่ 218 ราชกิจจานุเบกษา ลงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2524.

ภาษาอังกฤษ

AOAC. 2006. Official Methods of Analysis. 18th ed. Washington, D.C : Association of Official Analytical Chemist .

Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B.R., and Troung, V. 2004. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. Journal of Food Engineering. 62(1): 53–68.

Alferez, M.J., Barrionuevo, M., Lopez, Aliaga I., Sanz-Sampelago, M.R., Lisbona, F., Robles, J.C., and Campos, M.S. 2001. Digestive utilization of goat and cow milk fat in mulabosorption Syndrome. Journal of Dairy Research. 68(3): 451-461.

Anema, S.G. , Pinder, D.N., Hunter, R.J., and Hemar, Y. 2006. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). Food Hydrocolloids. 20(2): 386-393.

Aryana, K.J. and McGrewa, P. 2007. Quality attributes of yogurt with *Lactobacillus casei* and various prebiotics. LWT - Food Science and Technology. 40(10): 1808–1814.

- Aryana, K.J., Plauche, S., Rao, R.M., MCGrew, P., and Shah, N.P. 2007. Fat-free plain yogurt manufactured with inulins of various chain lengths and *Lactobacillus acidophilus*. Journal of Food Science. 72(3): M79-M84.
- Attaie, R. and Richtert, R.L. 2000. Size distribution of fat globules in goat milk. Journal of Dairy Science. 83(5): 940-944.
- Bevilacqua, C., Martin, P., Candalh, C., Fauquant, J., Piot, M., Roucayrol, AM., Pilla, F., and Heyman, M. 2001. Goat's milk of defective alpha (s1)-casein genotype decrease intestinal and systemic sensitization to beta-lactoglobulin in guinea pigs. Journal of Dairy Research. 68(2): 217-227.
- Bhandari, B.R., Datta, N., and Howes, T. 1997. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. Drying Technology. 15(2): 671-684.
- Bhandari, B.R., and Howes, T. 1999. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. Journal of Food Engineering. 40(1): 71-79.
- Bielecka, M. and Majkowska, A. 2000. Effect of spray drying temperature on yoghurt. Nahrung. 44(4): 257-260.
- Buma, T.J. 1965. The true density of spray milk powder and of certain constituents. Netherlands Milk and Dairy Journal. 19: 249-265.
- Carabin, I.G., and Flamm, W.G. 1999. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 30(3): 268-282.
- Castele, S.V., Vanheuverzwijn, T., Ruysena, T., Van Assche, P., Swings, J., and Huys, G. 2006. Evaluation of culture media for selective enumeration of probiotic strains of lactobacilli and bifidobacteria in combination with yoghurt or cheese starters. International Dairy Journal. 16(12): 1470-1476.
- Cataldi, T.R.I., Telesca, G., and Bianco, G. 2004. Improved determination of taurine by high-performance anion-exchange chromatography with integrated pulsed

- amperometric detection (HPAEC-IPAD). Analytical and Bioanalytical Chemistry. 378(3): 804–810.
- Chandan, R.C., White, C.H., Kilara, A., and Hui, Y.H. 2006. Manufacturing yogurt and fermented milks. Iowa: Blackwell Pub. 364 p.
- Chegini, G.R., and Ghobadian, B. 2005. Effect of spray-drying condition on physical properties of orange juice powder. Drying Technology. 23(3): 657-668.
- Collins, M. E., and Rastall, R. A. 2008. Oligosaccharides in food and agriculture. Glycoscience. 1185-1204.
- Coussement, P.A.A. 1999. Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. The Journal of Nutrition. 129: 1412S-1417S.
- Dave, R.I., and Shah, N.P. 1996. Evaluation of media for selective enumeration of *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, and *Bifidobacteria*. Journal of Dairy Science . 79(9): 1529-1536.
- Domagala, J., and Kupiec, B.E. 2003. Changes in texture of yoghurt from ultrafiltrated goat's milk as influenced by different membrane types. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. 6(1): 1-6.
- Ferreira, I.M.P.L.V.O., Nunes, M.V., Mendes, E., Remiilo, F., and Ferreira, M.A. 1997. Development of an HPLC-UV method for determination of taurine in infant formulae and breast milk. Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies. 20(8): 1269-1278.
- Green, C. J. 2001. Fibre in enteral nutrition. Clinical Nutrition. 20(1): 23-39.
- Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., Piccinali, P., Butikofer, U., and Eberhard, P. 2009. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. International Dairy Journal. 19(2): 107–115.

- Haenlein, G.F.W. 2004. Goat milk in human nutrition. Small Ruminant Research. 51(2): 155-163.
- Hough, G., Sánchez, R.H., Garbarini, P.G., Sánchez, R.G., Calderón, V.S., Giménez, A.M., and Gámbaro, A. 2002. Consumer acceptability versus trained sensory panel scores of powdered milk shelf-life defects. Journal of Dairy Science. 85(9): 2075-2080.
- Huebner, J., Wehling, R.L., and Hutkins, R.W. 2007. Functional activity of commercial prebiotics. International Dairy Journal. 17(7): 770-775.
- Huebner, J., Wehling, R.L., Parkhurst, A., and Hutkins, R.W. 2008. Effect of processing conditions on the prebiotic activity of commercial prebiotics. International Dairy Journal, 18(3): 287–293.
- Jena, S. and Das, H. 2012. Shelf life prediction of aluminum foil laminated polyethylene packed vacuum dried coconut milk powder. Journal of Food Engineering. 108(1): 135–142.
- Jeness, R. 1980. Composition and characteristics of goat milk. Journal of Dairy Science. 63(10): 1605-1630.
- Jeness, R., and Parkash, S. 1971. Lack of a fat globule clustering agent in goat's milk. Journal of Dairy Science. 54(1): 123-126.
- Jouppila, K., Kansikas, J., and Roos, Y.H. 1997. Glass transition, water plasticization, and lactose crystallization in skim milk powder. Journal of Dairy Science. 80(12): 3157–3160.
- Katsiari, M.C., Voutsinas, L.P., and Kondyli, E. 2002. Manufacture of yoghurt from stored frozen sheep's milk. Food Chemistry. 77(4): 413-420.
- Kaur, N., and Gupta, A.K. 2002. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. Journal of Biosciences. 27(7): 703–714.

- Kehagias, C., Zervoudaki, A., and Parlama, C. 1989. Influence of composition and additives on properties of set-type yoghurt from goat milk. Small Ruminant Research. 2(1): 35-45.
- Kip, P., Meyer, D., and Jellema, R.H. 2006. Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts. International Dairy Journal. 16(9):1098–1103.
- Kim, S.S., and Bhowmik, S.R. 1990. Survival of lactic acid bacteria during spray drying of plain yoghurt. Journal of Food Science. 55(4): 1008-1010, 1048.
- King, R.L. 1962. Oxidation of milk fat globule membrane material. I. Thiobarbituric acid reaction as a measure of oxidized flavour in milk and model system. Journal of Dairy Science. 45(10): 1165–1171.
- Koc, B., Yilmazer, M.S., Balkir, P., and Ertekin, F.K. 2010a. Spray dry of yoghurt: Optimization of process condition for improving viability and other quality attributes. Drying Technology. 28(4): 495-507.
- Koc, B., Yilmazer, M.S., Balkir, P. and Ertekin, F.K. 2010.b Moisture sorption isotherms and storage stability of spray-dried yogurt powder. Drying Technology. 28(6): 816–822.
- Kondyli, E., Katsiari, C., and Voutsinas, L.P. 2007. Variations of vitamin and mineral contents in raw goat milk of the indigenous Greek breed during lactation. Food Chemistry. 100(1): 226-236.
- Kumar, P., and Mishra, H.N. 2004. Yoghurt powder-a review of process technology, storage and utilization. Food and Bioproducts Processing. 82(C2): 133–142.
- Labuza, T.P., Tannenbaum, S.R., and Karel, M. 1970. Water content and stability of low moisture and intermediate moisture foods. Food Technology. 24(5): 543-550.
- Martín-Diana, A. B., Janer, C., Peláez, C., and Requena, T. 2003. Development of a fermented goat's milk containing probiotic bacteria. International Dairy Journal. 13(10): 827-833.

- Meyer, D., Bayarri, S., Tárrega, A., and Costell, E. 2011. Inulin as texture modifier in dairy products. Food Hydrocolloids. 25(8): 1881-1890.
- Mistry, V.V., and Pulgar, J.B. 1996. Physical and storage properties of high milk protein powder. International Dairy Journal. 6(2): 195-203.
- Monahan, F.J., Mc Clements, D.J., and German, J.B. 1996. Disulfide mediated polymerization reactions and physical properties of heated WPI-stabilized emulsions. Journal of Food Science. 61(3): 504–509.
- Moreira, G.E´.G., Costa, M.G.M., Souza, A.C.R., Brito, E.S., Medeiros, M.F.D., and Azeredo, H.M.C. 2009. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. LWT - Food Science and Technology. 42(2): 641–645.
- Niness, K.R. 1999. Inulin and Oligofructose. The Journal of Nutrition. 129(7): 1402-1406.
- Oliveira, R.P.S., Florence, A.C.R., Silva, R.C., Perego, P., Converti, A., Gioielli, L.A., and Oliveira M.N. 2009. Effect of different prebiotics on the fermentation kinetics, probiotic survival and fatty acids profiles in nonfat symbiotic fermented milk. International Journal of Food Microbiology. 128(3): 467–472.
- Park, Y.W., Juárez, M., Ramos, M., and Haenlein, G.F.W. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. Small Ruminant Research. 68(1): 88–113.
- Paseephol, T., Small, D.M., and Sherkat, F. 2008. Rheology and texture of set yogurt as affected by Inulin addition. Journal of Texture Studies. 39(6): 617–634.
- Pearson, D. 1976. The Chemical analysis of foods. Edinburgh: Chemical Publishing. 575p.
- Rassin, D.K., Sturman, J.A., and Gull, G.E. 1978. Taurine and other free amino acid in milk of mammals. Early Human Development. 2(1): 1-13.
- Roberfroid, M. 2002. Functional food concept and its application to prebiotics. Digestive and Liver Disease. 34(2): S105-S110.

- Saidi, B. 1990. Analysis and heat stability of taurine in milk. Journal of Dairy Science. 73(7): 1700-1706.
- Sampelayo, M.R.S., Chilliard, Y., Schmidely, P., and Boza, J. 2007. Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. Small Ruminant Research. 68(1): 42-63.
- Schaller-Povolny, L.A.D., Smith, E. and Labuza, T. P. 2000. Effect of water content and molecular weight on the moisture isotherms and glass transition properties of Inulin. International Journal of Food Properties. 3(2): 173-192.
- Shogren, R., and Biresaw, G. 2007. Surface properties of water soluble maltodextrin, starch acetates and starch acetates/alkenylsuccinates. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 298: 170-176.
- Silalai, N., and Roos, Y.H. 2011. Mechanical relaxation times as indicators of stickiness in skim milk-maltodextrin solids systems. Journal of Food Engineering. 106(4): 306-317.
- Stapelfeldt, H., Nielsen, B.R., and Skibsted, L.H. 1997. Effect of heat treatment, water activity and storage temperature on the oxidative stability of whole milk powder. International Dairy Journal. 7(5): 331-339.
- Stapleton, P.P., Charles, R.P., Redmond, H.P., and Bouchier-Hayes, D.J. 1997. Taurine and human nutrition. Clinical Nutrition. 16(3): 103-108.
- Steele, R. 2004. Understanding and measuring the shelf-life of food. Boca Raton: CRC Press. 407p.
- Sung, Y.Y., Wu, T.I., and Wang, P.H. 1999. Evaluation of milk quality of Alpine, Nubian, Saanen and Toggenburg breeds in Taiwan. Small Ruminant Research. 33(1): 17-23.
- Tamime, A.Y., and Robinson, R. K. 1999. Yoghurt science and technology. Boca Raton: Cambridge. 619p.

- Taub, I. A., and Singh, R.P. 1998. Food storage stability. . Boca Raton : CRC Press. 539p.
- Teixeira, P.C., Castro, M.H., Malcata, F.X., and Kirby, R.M. 1995. Survival of *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* Following Spray-Drying. Journal of Dairy Science. 78(5): 1025-1031.
- Thomas, M.E.C., Scher, J., Desobry-Banon, S., and Desobry, S. 2004. Milk Powders Ageing: Effect on Physical and Functional Properties. Food Science and Nutrition. 44(5): 297-322.
- Tripaldi, C., Martillotti, F., and Terramoccia, S. 1998. Content of taurine and other free amino acids in milk of goats bred in Italy. Small Ruminant Research. 30(2): 127-138.
- Van den Heuvel, E.GHM., Muys, T., Van Dokkum, W., and Schaafsma, G. 1999. Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. American Journal of Clinical Nutrition. 69(3): 544-548.
- Vargus, M., Cháfera, M., Alborsa, A., Chiralta, A., and González-Martínez, C. 2008. Physicochemical and sensory characteristics of yoghurt produced from mixtures of cows' and goats' milk. International Dairy Journal. 18(12): 1146-1152.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด (ดัดแปลงจาก AOAC, 2006)

วิธีทดลอง

1. ปิเปตนม 3 ml ใส่ในภาชนะอะลูมิเนียมที่แห้งสนิท ชั่งนมให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
2. เปิดฝาตัวอย่างและอบตัวอย่างในตู้อบลมร้อน (WTB Binder รุ่น E53, Germany) ที่อุณหภูมิ $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ นาน 4 ชั่วโมง
3. นำออกจากตู้อบ ปิดฝาภาชนะอะลูมิเนียม แล้วใส่ใน Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชั่งน้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมและฝาพร้อมตัวอย่าง

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น(\%wb)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (\%)} = \frac{B}{A} \times 100$$

เมื่อกำหนดให้ A คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง (กรัม), B คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง (กรัม)

ก. 2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2006)

สารเคมี

1. Ammonia 26% v/v
2. Ammonium hydroxide
3. Petroleum ether
4. Ethanol 95%
5. Ethyl ether
6. Phenolphthalein indicator (0.5%w/v in Alcohol)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนัก Erlenmeyer flask
2. ปิ่ปเตนมตัวอย่างอย่างละ 10 ml ใส่ใน Mojonnier extraction tube และชั่งน้ำหนักนมเริ่มต้น
3. เติม Ammonium hydroxide 1.5 ml และ หยด Phenolphthalein indicator 3 หยด
4. เติม Ethanol 95% 10 ml ปิดจุก Mojonnier extraction tube และเขย่าเป็นเวลา 15 วินาที
5. เติม Ethyl ether 25 ml ลงใน Mojonnier extraction tube ปิดจุกและเขย่าเป็นเวลา 1 นาที
6. เติม Petroleum ether 25 ml ลงใน Mojonnier extraction tube ปิดจุกและเขย่าเป็นเวลา 1 นาที
7. ปั่นเหวี่ยง Mojonnier extraction tube ที่ 600 rpm 1 นาที
8. แยกชั้น Ether ลงใน Erlenmeyer flask
9. สกัดซ้ำเติม Ethanol 95% 5 ml ปิดจุก Mojonnier extraction tube และเขย่าเป็นเวลา 15 วินาที

10. เติม Ethyl ether 15 ml ลงใน Mojonnier extraction tube ปิดจุกและเขย่าเป็นเวลา 1 นาที
11. เติม Petroleum ether 15 ml ลงใน Mojonnier extraction tube ปิดจุกและเขย่าเป็นเวลา 1 นาที
12. ปั่นเหวี่ยง Mojonnier extraction tube ที่ 600 rpm 1 นาที
13. สกัดซ้ำโดยเติมสารเคมีเหมือนการสกัดครั้งที่ 2
14. สารละลายใน Distillation flask ที่ได้นำไประเหยตัวทำละลายออกใน อ่างควบคุม อุณหภูมิที่ 50 °C
15. อบ Distillation flask โดยใช้เตาอบลมร้อนที่ 100 °C ประมาณ 1 ชั่วโมง

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ปริมาณไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน}}{\text{น้ำหนักนมเริ่มต้น}} \times 100$$

เมื่อกำหนด น้ำหนักไขมันคือน้ำหนัก Distillation flask (1) - น้ำหนัก Distillation flask (15)

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (ดัดแปลงจาก AOAC, 2006)

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดสกัดโปรตีน (BUCHI ประกอบด้วย Digestion unit รุ่น K-424, Distillation unit รุ่น B-324, Scrubber รุ่น B-414)

สารเคมี

1. Conc. H_2SO_4 (A.R Grade)
2. สารละลายมาตรฐาน HCl (A.R Grade) 0.1 N 0.1 N ที่ปรับมาตรฐานด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH
3. NaOH (A.R Grade) 50%
4. Boric acid (A.R Grade) 4%
5. Selenium mixture
6. Indicator เตรียมโดยละลาย Methyl red 0.125 กรัมและ Methylene blue 0.0825 กรัมใน Ethanol 90% จำนวน 100 มิลลิลิตร

วิธีทดลอง

1. บีเปิดนม 5 ml Kjeldahl tube และชั่งน้ำหนักนม แล้วใส่ Antibumping beads 2-3 เม็ด
2. เติม Selenium mixture 5 กรัม และ Conc. H_2SO_4 25 ml
3. นำไปย่อยด้วยเครื่อง Kjeldahl Thm ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในการย่อยเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ใช้อุณหภูมิ $250^{\circ}C$ เป็นเวลาประมาณ 15-20 นาที ช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ $400^{\circ}C$ เป็นเวลาประมาณ 30-45 นาที หรือจนตัวอย่างใส เป็นสีฟ้าอ่อนหรือไม่มีสี แล้วย่อยต่อไปอีกนาน 30 นาที
4. ทิ้งให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร แล้วนำ Kjeldahl tube ต่อเข้ากับเครื่อง Vapodest เติมสารละลาย NaOH เข้มข้น 50% จนสารละลายตัวอย่างกลายเป็นสีดำ

5. รองรับสารที่กลั่นด้วยสารละลาย Boric acid เข้มข้น 4% ปริมาตร 50 มิลลิลิตรแล้วเติม Indicator 3-4 หยด
6. กลั่นตัวอย่างจนในขวดรองรับมีสารละลายปริมาตร 250 มิลลิลิตร
7. นำสารละลายในขวดรองรับมาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน HCl 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{V \times 1.4007}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

เมื่อกำหนด V คือ ปริมาณกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง-ปริมาตรกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรท Blank

ก. 4 การวิเคราะห์ปริมาณทอรีน (ดัดแปลงจาก Ferreira *et al.*, 1997)

สารเคมี

1. สาร Taurine มาตรฐาน
2. สาร Derivertize (O-phtaldehyde 40 mg ใน Absolute ethanol 0.8 ml และ 2-Mercaptoethanol 40 μ l ใน 0.5 M Borate buffer pH 10.4)
3. Trichloroacetic acid 12%w/v (TCA)
4. Methanol

วิธีทดลอง

1. ชั่งนมประมาณ 10 กรัม และเติม TCA 12%w/v 20 ml
2. นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส่ออกมา จากนั้นกรองผ่าน Filter ขนาด 0.45 μ m
3. นำส่วนใสผสม 200 μ l กับ สาร Derivertize 200 μ l เป็นเวลา 1.5 นาทีจึงฉีดเข้าเครื่อง HPLC (HPLC Agilent 1100) ใช้ Column: Phenomenex, Hyperclone 5 μ ODS(C18), Mobile phase: KH_2PO_4 0.05M: Methanol = 60:40, Flow rate: 1.5 ml/นาที และ Detector: DAD 350nm
4. เตรียมสาร Taurine มาตรฐาน ความเข้มข้น 0-70 μ g/ml เพื่อหาค่ากราฟมาตรฐานและ Retention time ของ Taurine

ก.5 การวิเคราะห์ Prebiotic activity (ดัดแปลงจาก Huebner, Wehling and Hutkins, 2007)

สารเคมี

1. อาหารเหลว DE MAN, ROGOSA, SHARPE (MRS)
2. อาหารเหลว Tomato juice
3. อาหารเหลว M9 minimal medium
4. MRS agar
5. M17 agar
6. Tryptone soya agar

เชื้อจุลินทรีย์

- เชื้อแบคทีเรีย *Lactobacillus bulgaricus* รหัสสายพันธุ์ TISTR892, *Streptococcus thermophilus* รหัสสายพันธุ์ TISTR 894 และ *Escherichia coli* รหัสสายพันธุ์ TISTR 780 ที่มาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

วิธีการทดลอง

1. เตรียมอาหารเหลว MRS, อาหารเหลว Tomato juice และ อาหารเหลว M9 minimal medium ที่เติมกลูโคสหรือสารฟรีไบโอติกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ
2. สำหรับการวิเคราะห์ Prebiotic activity score ของ *Lactobacillus bulgaricus* ที่ระดับความเข้มข้นใดๆ ทำได้โดยถ่ายเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* ปริมาณ 1%(v/v) ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเหลว MRS ที่เติมกลูโคสที่ความเข้มข้นที่ต้องการและหลอดที่เติมสารฟรีไบโอติกที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน และถ่ายเชื้อ *E.coli* ปริมาณ 1%(v/v) ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเหลว M9 minimal medium ที่เติมกลูโคสและหลอดที่เติมสารฟรีไบโอติกที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน

ส่วนการวิเคราะห์ Prebiotic activity score ของ *Streptococcus thermophilus* ทำได้โดยถ่ายเชื้อ *Streptococcus thermophilus* ปริมาณ 1%(v/v) ลงในหลอดทดลองที่มี

อาหารเหลว Tomato juice ที่เติมกลูโคสที่ความเข้มข้นที่ต้องการและหลอดที่เติมสารฟรีไบโอติกที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน และถ่ายเชื้อ *E.coli* ปริมาณ 1%(v/v) ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเหลว M9 minimal medium ที่เติมกลูโคสและหลอดที่เติมสารฟรีไบโอติกที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน

2. บ่ม *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ที่อุณหภูมิ 37°C สภาวะ Anaerobic และบ่มเชื้อ *E. coli* ที่อุณหภูมิ 37 °C สภาวะ Aerobic เป็นเวลา 0 และ 24 ชั่วโมง
3. ตรวจนับจำนวนโคโลนีของเชื้อแต่ละหลอดโดยถ่ายเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* จากอาหารเหลว MRS ลง MRS agar, ถ่ายเชื้อ *Streptococcus thermophilus* จากอาหารเหลว Tomato juice ลง M17 agar และถ่ายเชื้อ *E.coli* จากอาหารเหลว M9 minimal medium ลง Tryptone soya agar บ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงตรวจนับจำนวนโคโลนี

วิธีคำนวณ

$$\text{Prebiotic activity} = \frac{A - B}{C - D}$$

เมื่อกำหนด

- A = จำนวน Probiotic bacteria (log cfu/ml) ในสารฟรีไบโอติกที่เวลา 24 ชั่วโมง – จำนวน Probiotic bacteria ที่ เจริญในสารฟรีไบโอติก (log cfu/ml) ที่เวลาเริ่มต้น
- B = จำนวน Probiotic bacteria (log cfu/ml) ในกลูโคสที่เวลา 24 ชั่วโมง – จำนวน Probiotic bacteria (log cfu/ml) ในกลูโคสที่เวลาเริ่มต้น
- C = จำนวน *E.coli* (log cfu/ml) ในสารฟรีไบโอติกที่เวลา 24 ชั่วโมง – จำนวน *E.coli* (log cfu/ml) ในสารฟรีไบโอติกที่เวลาเริ่มต้น
- D = จำนวน *E.coli* (log cfu/ml) ในกลูโคสที่เวลา 24 ชั่วโมง – จำนวน *E.coli* (log cfu/ml) ในกลูโคสที่เวลาเริ่มต้น

ก.6 การวิเคราะห์ปริมาณกรดในนม (AOAC, 2006)

สารเคมี

1. 0.1 N NaOH
2. Phenolphthalein indicator เตรียมโดยละลาย Phenolphthalein 1 กรัมใน Ethanol 95% จำนวน 100 มิลลิลิตร

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 20 กรัมเจือจางด้วยน้ำกลั่นปลอดคาร์บอนไดออกไซด์ 3 ml
2. เติม Phenolphthalein indicator ประมาณ 2-3 หยด
3. ไตเตรทด้วย 0.1 N NaOH จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะได้สีชมพูอ่อน

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรด (\%)} = \frac{V \times 0.009}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

เมื่อกำหนด V คือ ปริมาณกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง-ปริมาตรกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรท Blank

ก. 7 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะ

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ _____

คำแนะนำ : กรุณาบอกระดับความรู้สึก ต่อลักษณะโยเกิร์ตนมแพะด้านต่างๆ ลงในช่องว่าง

1 = ไม่ชอบมาก, 2 = ไม่ชอบ, 3 = เฉยๆ, 4 = ชอบ, 5 = ชอบมาก

รหัสตัวอย่าง คะแนนทาง ประสาทสัมผัส						
ลักษณะปรากฏ						
กลิ่น						
รสชาติ						
เนื้อสัมผัส						
การยอมรับโดยรวม						

ข้อเสนอแนะ _____

ก.8 การวิเคราะห์ Particle density (Buma, 1965)

สารเคมี

1. Petroleum ether

วิธีการทดลอง

1. ใส่ตัวอย่างผงประมาณ 25 กรัมลงในกระบอกตวงปริมาตร 100 ml
2. เติม Petroleum ether 50 ml ลงในกระบอกตวงโดยใช้ปิเปต จากนั้นเขย่าเบาๆ ให้ผลิตภัณฑ์ผงทั้งหมดแขวนลอย
3. ใช้แท่งแก้วเขี่ยผลิตภัณฑ์ผงที่ติดในกระบอกตวงจนหมด ล้างแท่งแก้วโดยใช้ Petroleum ether 10 ml
4. อ่านปริมาตรรวมของ Petroleum ether และผลิตภัณฑ์ผง

วิธีคำนวณ

$$\text{Particle density } \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{W_{\text{sample}}}{V_{\text{ether}} - 60}$$

เมื่อกำหนด W_{sample} คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ผง

V_{ether} คือ ปริมาตรรวมของ Petroleum ether และผลิตภัณฑ์ผง

ก.9 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (ดัดแปลงจาก Anema *et al.*, 2006)

วิธีการทดลอง

1. ใส่ตัวอย่างผงประมาณ 1 กรัมในน้ำ 30 ml ในหลอดปั่นเหวี่ยง
2. ใส่หลอดปั่นเหวี่ยงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 30 นาที
3. ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่ 3000g เป็นเวลา 10 นาที
4. แยกส่วนใสใส่ถ้วยอะลูมิเนียมที่แห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
5. อบตัวอย่างในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 ± 3°C นาน 4 ชั่วโมง

วิธีคำนวณ

$$\begin{aligned} & \text{ความสามารถในการละลาย (\%)} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักของแห้งในสารละลายส่วนใส (น้ำหนักแห้ง)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง)}} \times 100 \end{aligned}$$

ก.10 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะคืนรูป

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ _____

คำแนะนำ : กรุณาบอกระดับความรู้สึก ต่อลักษณะโยเกิร์ตนมแพะด้านต่างๆ ลงในช่องว่าง

1 = ไม่ชอบมาก, 2 = ไม่ชอบ, 3 = เฉยๆ, 4 = ชอบ, 5= ชอบมาก

รหัสตัวอย่าง คะแนนทาง ประสาทสัมผัส			
กลิ่น			
รสชาติ			
การยอมรับโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ _____

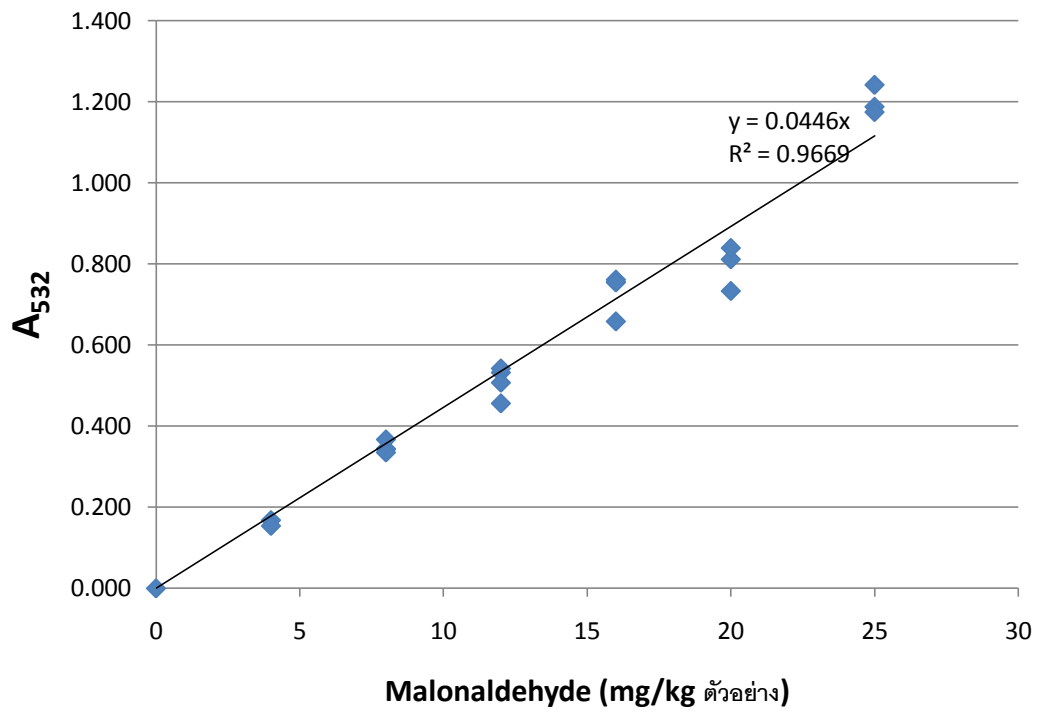
ก.11 การวิเคราะห์ Thiobarbituric acid (TBA) (King, 1962)

สารเคมี

1. TBA solution (1.4 กรัม 2-Thiobarbituric acid ใน 100 มิลลิลิตร 95% Ethanol)
2. Trichloroacetic acid solution (Trichloroacetic acid 1 กรัม/มิลลิลิตร)
3. 95% Ethanol
4. Malonaldehyde bis

วิธีทดลอง

1. บีบตัวอย่าง 17.6 ml ใส่ขวดรูปชมพู่มีฝาปิด อุ่นตัวอย่างจนอุณหภูมิถึง 30°C
2. เติม Trichloroacetic acid solution 1 ml และ 95% ethanol 2 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 10 วินาที
3. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman no. 42
4. บีบสารละลายใส่ที่กรองได้ 4 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดแก้วที่มีฝาปิด
5. เติม TBA solution ที่เตรียมไว้ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำให้เย็น
7. นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (Milton Roy, Spectronic 601, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตรโดยใช้น้ำ 4 ml รวมกับ TBA solution 1 ml เป็นตัวเทียบ (Blank)
8. เตรียมกราฟมาตรฐาน โดยใช้ Malonaldehyde bis (dimethyl acetal) (MDA) ที่ความเข้มข้นจาก 0 ถึง 25 mg/kg ตัวอย่าง ดังภาพผนวกที่ 1 และแสดงผล TBA ในรูปของ มิลลิกรัม Malonaldehyde ต่อ กิโลกรัมของตัวอย่าง



รูปที่ ก1 กราฟมาตรฐานของ Malonaldehyde

ก.12 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2006)

สารเคมี

1. Plate count agar (PCA)
2. สารละลาย Normal saline (เกลือร้อยละ 0.85)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ด้วยวิธีปราศจากเชื้อ (Aseptic technique) และใส่ตัวอย่างลงในสารละลาย Normal saline ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 90 มิลลิลิตร
2. บั่นตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนที่ 1 ให้เข้ากันด้วยเครื่องบั่นตัวอย่าง จากขั้นตอนนี้จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 1:10
3. เจือจางสารละลายตัวอย่างให้มีระดับความเจือจาง 1:100 ถึง 1:10⁶ ตามลำดับ
4. ปิเปตตัวอย่างแขวนลอย 0.1 ml จากระดับการเจือจางต่อเนื่อง 3 ระดับ ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA จากนั้นใช้แท่งแก้วที่ฆ่าเชื้อแล้วเกลี่ยจนผิวหน้าของอาหารแห้ง
5. บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง
7. อ่านผลโดยนับจำนวนโคโลนีทั้งหมดในช่วง 30-300 โคโลนีบนจานเพาะเชื้อ และคำนวณเป็นปริมาณจุลินทรีย์รวม cfu ต่อกรัมตัวอย่าง

ก.13 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2006)

สารเคมี

1. Potato dextrose agar (PDA)
2. สารละลาย Normal saline (เกลือร้อยละ 0.85)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ด้วยวิธีปราศจากเชื้อ (Aseptic technique) และใส่ตัวอย่างลงในสารละลาย Normal saline ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 90 มิลลิลิตร
2. บั่นตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนที่ 1 ให้เข้ากันด้วยเครื่องบั่นตัวอย่าง จากขั้นตอนนี้จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 1:10
3. เจือจางสารละลายตัวอย่างให้มีระดับความเจือจาง 1:100 และ 1:1000 ตามลำดับ
4. ปิเปตตัวอย่างแขวนลอย 0.1 ml จากระดับการเจือจางต่อเนื่อง 3 ระดับ ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA จากนั้นใช้แท่งแก้วที่ฆ่าเชื้อแล้วเกลี่ยจนผิวหน้าของอาหารแห้ง
5. บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง
7. อ่านผลโดยนับจำนวนโคโลนีทั้งหมดในช่วง 30-300 โคโลนีบนจานเพาะเชื้อ และคำนวณเป็นปริมาณจุลินทรีย์รวม cfu ต่อกรัมตัวอย่าง

ก.14 วิเคราะห์ปริมาณ *Streptococcus thermophilus* (Castele et al., 2006)

สารเคมี

1. M17 agar (PCA)
2. สารละลาย Normal saline (เกลือร้อยละ 0.85)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ด้วยวิธีปราศจากเชื้อ (Aseptic technique) และใส่ตัวอย่างลงในสารละลาย Normal saline ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 90 มิลลิลิตร
2. บั่นตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนที่ 1 ให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นตัวอย่าง จากขั้นตอนนี้จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 1:10
3. เจือจางสารละลายตัวอย่างให้มีระดับความเจือจาง 1:100 และ 1:1000 ตามลำดับ
4. ปิเปตตัวอย่างแขวนลอย 0.1 ml จากระดับการเจือจางต่อเนื่อง 3 ระดับ ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ M17 จากนั้นใช้แท่งแก้วที่ฆ่าเชื้อแล้วเกลี่ยจนผิวหน้าของอาหารแห้ง
5. บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ± 3 ชั่วโมง
7. อ่านผลโดยนับจำนวนโคโลนีทั้งหมดในช่วง 30-300 โคโลนีบนจานเพาะเชื้อ และคำนวณเป็นปริมาณจุลินทรีย์รวม cfu ต่อกรัมตัวอย่าง

ก.15 การวิเคราะห์ปริมาณ *Lactobacillus bulgaricus* (Dave and Shah, 1996)

สารเคมี

1. MRS agar
2. สารละลาย Normal saline (เกลือร้อยละ 0.85)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ด้วยวิธีปราศจากเชื้อ (Aseptic technique) และใส่ตัวอย่างลงในสารละลาย Normal saline ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 90 มิลลิลิตร
2. บั่นตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนที่ 1 ให้เข้ากันด้วยเครื่องบั่นตัวอย่าง จากขั้นตอนนี้จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 1:10
3. เจือจางสารละลายตัวอย่างให้มีระดับความเจือจาง 1:100 และ 1:1000 ตามลำดับ
4. ปิเปตตัวอย่างแขวนลอย 0.1 ml จากระดับการเจือจางต่อเนื่อง 3 ระดับ ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS จากนั้นใช้แท่งแก้วที่ฆ่าเชื้อแล้วเกลี่ยจนผิวหน้าของอาหารแห้ง
5. บ่มจานเพาะเชื้อในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) โดยใส่ใน Anaerobic jar ที่ใส่ Gas sachet (AnaeroGen™, Oxide) บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ± 3 ชั่วโมง
7. อ่านผลโดยนับจำนวนโคโลนีทั้งหมดในช่วง 30-300 โคโลนีบนจานเพาะเชื้อ และคำนวณเป็นปริมาณจุลินทรีย์รวม cfu ต่อกรัมตัวอย่าง

ก.16 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตผง (ดัดแปลง
จาก Hough และคณะ, 2002)

การคัดเลือกผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ใช้ผู้ทดสอบจากนิสิตในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คัดเลือกผู้ทดสอบให้ได้
จำนวน 8 คน ใช้การทดสอบแบบ Multiple comparison โดยเสิร์ฟโยเกิร์ตคั้นรูปที่มีความหืน
แตกต่างกัน 5 ตัวอย่าง แล้วให้ผู้ทดสอบเรียงลำดับกลิ่นหืนจากน้อยไปมาก ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ
เลือกผู้ทดสอบที่เรียงลำดับถูกต้องมากที่สุดจำนวน 8 คน

แบบประเมินที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ทดสอบแสดงดังภาคผนวก ก.17

การกึ่งฝึกฝนผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ขั้นตอนนี้ทำเพื่อฝึกฝนผู้ทดสอบให้มีความคุ้นเคยกับกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดในโย
เกิร์ตนมแพะผง โดยใช้โยเกิร์ตนมแพะที่มีความหืนมีค่า TBA ประมาณ 14.58 mg
malonaldehyde/kg ผสมกับโยเกิร์ตผงเริ่มต้นที่มีความหืนประมาณ 3.68 mg
malonaldehyde/kg ในอัตราส่วนต่างๆ (0:1, 1:10, 1:8, 1:6, 1:4 และ 1:2) จากนั้นนำมาละลาย
น้ำในอัตราส่วนน้ำต่อโยเกิร์ตผงเป็น 2:1 และให้ผู้ทดสอบดม และ คุลัักษณะเนื้อสัมผัสของ
ตัวอย่างโยเกิร์ตคั้นรูป และระดมความคิดเรื่องกลิ่นและเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันของตัวอย่าง
โยเกิร์ตคั้นรูป จากนั้นประชุมกลุ่มเพื่อสร้างความเข้าใจที่ตรงกันเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

การเสิร์ฟตัวอย่างในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเสิร์ฟโยเกิร์ตนมแพะคั้นรูปที่เก็บ
รักษาที่อุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ที่แช่เย็นประมาณ 5 °C ปริมาตร 30 ml ในถ้วย
พลาสติก และประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะคั้นรูป (แบบประเมิน
ภาคผนวก ก.18) ทำการประเมิน 2 ครั้งทุกสัปดาห์ หากตัวอย่างที่มีคะแนนการยอมรับเฉลี่ยต่ำ
กว่า 3 คะแนน จะหยุดทำการประเมินทางประสาทสัมผัสในสัปดาห์ต่อไป

ก.17 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะคั้นรูป

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ _____

คำแนะนำ: กรุณาจัดอันดับกลิ่นหืนของโยเกิร์ตนมแพะคั้นรูปจากน้อยที่สุดไปมากที่สุด

	รหัสตัวอย่าง
กลิ่นหืนมากที่สุด	
กลิ่นหืนน้อยที่สุด	

ข้อเสนอแนะ

ก.18 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะคีนรูป

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ _____

รหัสตัวอย่าง _____

คำแนะนำ : กรุณาบอกระดับความรู้สึก ต่อการยอมรับโดยรวมโยเกิร์ตนมแพะด้านต่างๆ ลงใน

ช่องว่าง (1 คะแนน = ไม่ชอบมาก, 2 คะแนน = ไม่ชอบ, 3 คะแนน = เฉยๆ, 4 คะแนน = ชอบ และ

5 คะแนน = ชอบมาก)

	คะแนนทางประสาทสัมผัส
การยอมรับโดยรวม	

ข้อเสนอแนะ _____

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ความสามารถในการละลายของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่ 30^oC, 45^oC และ 55^oC

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	ความสามารถในการละลาย (%)		
	30 ^o C	45 ^o C	55 ^o C
0	80.53±0.48	80.53±0.48	80.53±0.48
1	80.06±0.51	80.20±0.24	80.14±0.64
2	80.06±0.51	79.53±0.48	78.99±0.75
3	80.00±0.40	79.03±0.48	78.49±0.75
4	79.63±0.44	78.67±0.59	77.75±0.88
5	79.44±0.18	78.47±0.80	76.80±0.17
6	78.33±0.51	77.75±0.77	76.31±0.86
7	78.26±0.45	77.27±0.47	75.62±0.75
8	78.07±0.81	76.51±0.30	75.40±0.24
9	77.38±0.30	75.91±0.57	74.96±0.26
10	77.01±0.32	75.46±0.45	74.76±0.45

ตารางที่ ข.2 ค่า L ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่ 30⁰C, 45⁰C และ 55⁰C

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่า L		
	30 ⁰ C	45 ⁰ C	55 ⁰ C
0	67.79±0.35	67.79±0.35	67.79±0.35
1	67.53±0.32	66.68±0.11	65.28±0.07
2	67.31±0.66	66.55±0.18	64.99±0.17
3	66.55±0.09	66.56±0.21	65.33±0.76
4	66.17±0.05	65.57±0.26	64.72±0.16
5	65.97±0.23	65.67±0.33	64.37±0.46
6	65.66±0.02	65.66±1.18	63.99±0.42
7	65.23±0.13	64.80±0.25	63.22±0.26
8	64.83±0.14	64.60±0.13	63.72±1.52
9	64.61±0.12	64.17±0.31	62.29±0.07
10	63.93±0.30	63.93±0.28	62.09±0.13

ตารางที่ ข.3 ค่า a ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่ 30°C, 45°C และ 55°C

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่า a		
	30°C	45°C	55°C
0	-2.50±0.05	-2.50±0.05	-2.50±0.05
1	-2.66±0.05	-2.61±0.07	-2.33±0.12
2	-2.71±0.14	-2.62±0.12	-2.23±0.24
3	-2.72±0.07	-2.40±0.07	-1.94±0.30
4	-2.69±0.10	-2.35±0.09	-1.70±0.18
5	-2.56±0.17	-2.15±0.24	-1.97±0.19
6	-2.72±0.07	-2.30±0.16	-1.69±0.12
7	-2.57±0.07	-2.39±0.17	-1.40±0.33
8	-2.56±0.09	-2.16±0.13	-1.10±0.25
9	-2.60±0.07	-2.06±0.07	-1.15±0.36
10	-2.62±0.04	-2.29±0.21	-1.25±0.18

ตารางที่ ข.4 ค่า b ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่ 30⁰C, 45⁰C และ 55⁰C

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่า b		
	30 ⁰ C	45 ⁰ C	55 ⁰ C
0	5.07±0.11	5.07±0.11	5.07±0.11
1	5.16±0.15	5.57±0.14	6.05±0.08
2	5.31±0.29	6.08±0.48	5.84±0.21
3	5.68±0.40	6.69±0.12	7.49±0.62
4	5.53±0.13	6.32±0.46	7.83±0.28
5	5.55±0.41	6.76±0.60	7.66±0.54
6	5.69±0.28	6.69±1.10	7.92±0.57
7	5.14±0.08	6.41±0.37	8.79±0.40
8	5.17±0.08	6.99±0.18	9.38±1.19
9	5.21±0.18	6.56±0.45	8.29±0.01
10	5.18±0.13	6.88±0.47	8.65±0.22

ตารางที่ ข.5 ค่า ΔE ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่ 30⁰C, 45⁰C และ 55⁰C

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่า ΔE		
	30 ⁰ C	45 ⁰ C	55 ⁰ C
0	-	-	-
1	0.39±0.26	1.22±0.14	2.70±0.10
2	0.87±0.21	1.67±0.22	2.93±0.19
3	1.45±0.15	2.05±0.04	3.61±0.03
4	1.70±0.03	2.60±0.05	4.22±0.07
5	1.93±0.17	2.81±0.11	4.38±0.15
6	2.24±0.08	3.06±0.04	4.85±0.28
7	2.56±0.14	3.30±0.17	6.02±0.20
8	2.97±0.14	3.74±0.05	6.34±0.08
9	3.18±0.13	3.97±0.10	6.52±0.03
10	3.87±0.30	4.30±0.09	6.85±0.08

ตารางที่ ข.6 ค่า TBA ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่ 30°C, 45°C และ 55°C

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่า TBA (mg Malonaldehyde/kg ตัวอย่าง)		
	30°C	45°C	55°C
0	3.68±0.14	3.68±0.14	3.68±0.14
1	4.66±0.22	4.12±0.37	5.30±0.65
2	5.14±0.39	4.81±0.65	6.20±0.12
3	5.48±0.35	5.46±0.18	6.22±0.57
4	5.56±0.28	5.77±0.29	7.19±0.28
5	5.69±0.13	6.06±0.30	7.80±0.39
6	6.21±0.17	6.30±0.13	9.60±0.60
7	6.43±0.16	6.49±0.15	10.84±0.46
8	6.54±0.34	7.77±0.27	12.22±0.49
9	6.71±0.30	7.97±0.38	12.60±0.67
10	7.29±0.35	8.20±0.35	14.08±0.26

ตารางที่ ข.7 ความชื้นของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่ 30⁰C, 45⁰C และ 55⁰C

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	ความชื้น (%wb)		
	30 ⁰ C	45 ⁰ C	55 ⁰ C
0	2.52±0.04	2.52±0.08	2.52±0.08
1	2.57±0.01	2.63±0.01	2.65±0.03
2	2.64±0.09	2.73±0.05	2.83±0.04
3	2.67±0.03	2.84±0.04	2.86±0.02
4	2.72±0.07	2.86±0.06	2.91±0.05
5	2.75±0.02	2.92±0.04	3.01±0.04
6	2.82±0.04	3.01±0.05	3.11±0.03
7	2.89±0.03	3.07±0.04	3.16±0.04
8	3.12±0.03	3.23±0.07	3.43±0.03
9	3.24±0.07	3.41±0.01	3.60±0.04
10	3.46±0.05	3.54±0.05	3.72±0.04

ตารางที่ ข.8 ค่า a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่เก็บรักษาที่ 30⁰C, 45⁰C และ 55⁰C

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	a_w		
	30 ⁰ C	45 ⁰ C	55 ⁰ C
0	0.209±0.007	0.209±0.007	0.209±0.007
1	0.211±0.004	0.215±0.006	0.211±0.004
2	0.212±0.006	0.220±0.005	0.231±0.008
3	0.213±0.007	0.228±0.006	0.242±0.009
4	0.218±0.006	0.231±0.005	0.256±0.008
5	0.226±0.007	0.235±0.005	0.265±0.007
6	0.230±0.008	0.243±0.003	0.267±0.006
7	0.240±0.007	0.255±0.006	0.274±0.005
8	0.250±0.002	0.273±0.004	0.285±0.004
9	0.258±0.007	0.284±0.003	0.302±0.004
10	0.271±0.006	0.288±0.006	0.324±0.004

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่า Prebiotic activity ของ *Lactobacillus bulgaricus* ที่แปรชนิดของสารพรีไบโอติก (A) และที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (B) ที่ความชื้นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	.008	1	0.008	62.227	0.000
B	.053	2	0.026	215.091	0.000
A *B	.003	2	0.001	11.636	0.002
Error	.001	12	0.000		
Total	.064	17			

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่า Prebiotic activity ของ *Streptococcus thermophilus* ที่แปรชนิดของสารพรีไบโอติก (A) และที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (B) ที่ระดับความชื้นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	.178	1	0.178	915.457	0.000
B	.074	2	0.037	190.657	0.000
A * B	.035	2	0.017	89.514	0.000
Error	.002	12	0.00019		
Total	.289	17			

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่แปรชนิดของสารพรีไบโอติก (A) และที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	28.376	1	28.376	3.082	0.105
B	3313.381	2	1656.691	179.912	0.000
A* B	239.601	2	119.801	13.010	0.001
Error	110.500	12	9.208		
Total	3691.858	17			

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาล (A) และ Inulin (B) ที่ระดับต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	125380.612	2	62690.306	256.877	0.000
B	71911.339	2	35955.670	147.330	0.000
A * B	1278.195	4	319.549	1.309	0.281
Error	10982.151	45	244.048		
Total	209552.297	53			

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาล (A) และ Inulin (B) ที่ระดับต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	68.030	2	34.015	33.866	0.000
B	2.547	2	1.274	1.268	0.282
A * B	4.038	4	1.009	1.005	0.404
Error	894.924	891	1.004		
Total	982.866	899			

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้านกลิ่นของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาล (A) และ Inulin (B) ที่ระดับต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	.105	2	0.053	0.184	0.832
B	.021	2	0.010	0.036	0.965
A* B	.319	4	0.080	0.278	0.892
Error	255.112	891	0.286		
Total	255.532	899			

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้านรสชาติของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาล (A) และ Inulin (B) ที่ระดับต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	252.381	2	126.190	128.164	0.000
B	.827	2	0.413	0.420	0.657
A * B	21.257	4	5.314	5.397	0.000
Error	877.279	891	0.985		
Total	1165.262	899			

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาล (A) และ Inulin (B) ที่ระดับต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	63.302	2	31.651	30.377	0.000
B	.739	2	0.370	0.355	0.702
A * B	11.109	4	2.777	2.665	0.031
Error	928.377	891	1.042		
Total	997.262	899			

ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมของโยเกิร์ตนมแพะที่เติมน้ำตาล (A) และ Inulin (B) ที่ระดับต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	134.676	2	67.338	78.551	0.000
B	.730	2	0.365	0.426	0.653
A * B	18.803	4	4.701	5.483	0.000
Error	763.816	891	0.857		
Total	927.500	899			

ตารางที่ ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความชื้นของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นที่สภาวะต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	3.344	5	0.669	14.345	0.000
Error	1.399	30	0.047		
Total	4.742	35			

ตารางที่ ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของ a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นที่สภาวะต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	.087	5	0.017	14.228	0.000
Error	.037	30	0.001		
Total	.123	35			

ตารางที่ ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความสามารถในการละลายของ โยเกิร์ตนมแพะผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นที่สภาวะต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	33.711	5	6.742	3.434	0.014
Error	58.901	30	1.963		
Total	92.612	35			

ตารางที่ ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของ Particle density ของโยเกิร์ตนมแพะ ผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นที่สภาวะต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	.093	5	0.019	4.162	0.005
Error	.135	30	0.004		
Total	.228	35			

ตารางที่ ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความสามารถในการละลายของ โยเกิร์ตนมแพะผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นโดยแปรอุณหภูมิความร้อนขาเข้า (170-180°C) (A) และปริมาณ Maltodextrin (DE10) (10-15%(w/w)) (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	79.09	3	26.36	49.06	< 0.0001
A	11.62	1	11.62	21.63	< 0.0001
B	46.95	1	46.95	87.38	< 0.0001
AB	20.52	1	20.52	38.18	< 0.0001
Residual	18.81	35	0.54		
Lack of Fit	1.55	5	0.31	0.54	0.7441
Error	17.25	30	0.58		
Total	97.89	38			

\

ตารางที่ ค.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความชื้นของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นโดยแปรอุณหภูมิความร้อนขาเข้า (170-180°C) (A) และปริมาณ Maltodextrin (DE10) (10-15%(w/w)) (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	2.13	3	0.71	47.88	< 0.0001
A	1.80	1	1.80	121.54	< 0.0001
B	0.32	1	0.32	21.49	< 0.0001
AB	9.075E-003	1	9.075E-003	0.61	0.4389
Residual	0.52	35	0.015		
Lack of Fit	0.077	5	0.015	1.04	0.4124
Error	0.44	30	0.015		
Total	2.64	38			

ตารางที่ ค.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของ a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นโดยแปรอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (170-180°C) (A) และปริมาณ Maltodextrin (DE10) (10-15%(w/w)) (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	0.047	5	9.387E-003	33.20	< 0.0001
A	0.020	1	0.020	71.46	< 0.0001
B	0.018	1	0.018	63.59	< 0.0001
A ²	7.653E-003	1	7.653E-003	27.07	< 0.0001
B ²	1.716E-003	1	1.716E-003	6.07	0.0192
AB	1.841E-004	1	1.841E-004	0.65	0.4255
Residual	9.330E-003	33	2.827E-004		
Lack of Fit	1.832E-003	3	6.106E-004	2.44	0.0834
Error	7.498E-003	30	2.499E-004		
Total	0.056	38			

ตารางที่ ค.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของ Particle density ของโยเกิร์ตนมแพะ ผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นโดยแปรอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (170-180°C) (A) และปริมาณ Maltodextrin (DE10) (10-15%(w/w)) (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	8.749E-003	3	2.916E-003	0.96	0.4227
A	3.612E-003	1	3.612E-003	1.19	0.2831
B	5.121E-003	1	5.121E-003	1.68	0.2028
AB	1.633E-005	1	1.633E-005	0.00537	0.9420
Residual	0.11	35	3.039E-003		
Lack of Fit	0.015	5	2.983E-003	0.98	0.4470
Error	0.091	30	3.049E-003		
Total	0.12	38			

ตารางที่ ค.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้านกลิ่นของโยเกิร์ตนมแพะผงคืนรูปที่อัตราส่วนต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	0.289	2	0.144	0.165	0.848
Error	76.033	87	0.874		
Total	76.322	89			

ตารางที่ ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส
ด้านรสชาติของโยเกิร์ตนมแพะผงคือนรูปที่อัตราส่วนต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่น
ร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	13.867	2	6.933	6.249	0.003
Error	96.533	87	1.110		
Total	110.400	89			

ตารางที่ ค.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส
ด้านการยอมรับโดยรวมของโยเกิร์ตนมแพะผงคือนรูปที่อัตราส่วนต่างๆ (A) ที่ระดับ
ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	10.556	2	5.278	7.782	0.001
Error	59.000	87	0.678		
Total	69.556	89			

ตารางที่ ค.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะผงคือนรูปที่
อัตราส่วนต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	10103.360	2	5051.680	2.898E3	0.000
Error	26.151	15	1.743		
Total	10129.511	17			

ตารางที่ ค.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความสามารถในการละลายของ
โยเกิร์ตนมแพะผงที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา (A) และระยะเวลาในการเก็บรักษา
ต่างๆ (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
B	482.983	10	48.298	161.818	0.000
A	98.836	2	49.418	165.570	0.000
A * B	33.474	20	1.674	5.607	0.000
Error	49.248	165	0.298		
Total	664.541	197			

ตารางที่ ค.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่า L ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่อุณหภูมิ
ในการเก็บรักษา (A) และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (B) ที่ระดับความเชื่อมั่น
ร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	96.354	2	48.177	247.277	0.000
B	315.451	10	31.545	161.911	0.000
A * B	17.276	20	0.864	4.434	0.000
Error	32.147	165	0.195		
Corrected Total	461.228	197			

ตารางที่ ค.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่า a ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา (A) และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	26.473	2	13.236	490.075	0.000
B	8.609	10	0.861	31.873	0.000
A * B	8.005	20	0.400	14.819	0.000
Error	4.456	165	0.027		
Total	47.543	197			

ตารางที่ ค.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่า b ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา (A) และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	161.150	2	80.575	440.461	0.000
B	75.734	10	7.573	41.400	0.000
A * B	57.507	20	2.875	15.718	0.000
Error	30.184	165	0.183		
Total	324.576	197			

ตารางที่ ค.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของ ΔE ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา (A) และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	216.268	2	108.134	5.622E3	0.000
B	406.778	10	40.678	2.115E3	0.000
A * B	32.563	20	1.628	84.650	0.000
Error	3.174	165	0.019		
Total	658.782	197			

ตารางที่ ค.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่า TBA ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา (A) และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	1.367	10	0.137	523.293	0.000
B	0.688	2	0.344	1.318E3	0.000
A *B	0.395	20	0.020	75.680	0.000
Error	0.043	165	0.000		
Total	2.494	197			

ตารางที่ ค.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความชื้นของโยเกิร์ตนมแพะผงที่
 คุณหมุมิในการเก็บรักษา (A) และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (B) ที่ระดับ
 ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	0.019	2	0.010	0.590	0.557
B	9.864	10	0.986	60.931	0.000
A * B	0.069	20	0.003	0.213	1.000
Error	1.068	66	0.016		
Total	11.020	98			

ตารางที่ ค.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของ a_w ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่คุณหมุมิใน
 การเก็บรักษา (A) และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (B) ที่ระดับความเชื่อมั่น
 ร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	3.638E-5	2	1.819E-5	0.381	0.685
B	0.076	10	0.008	159.078	0.000
A * B	0.001	20	5.668E-5	1.186	0.294
Error	0.003	66	4.778E-5		
Total	0.080	98			

ตารางที่ ค.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณ Taurine ในโยเกิร์ตนมแพะผง
 ที่คุณหมุมิในการเก็บรักษาที่คุณหมุมิต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	20.906	3	6.969	637.244	.000
Error	0.087	8	0.011		
Total	20.994	11			

ตารางที่ ค.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมโยเกิร์ตผงเก็บรักษาที่ 30°C ที่เวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	14.545	10	1.455	4.898	0.000
Error	49.000	165	0.297		
Total	63.545	175			

ตารางที่ ค.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมโยเกิร์ตผงเก็บรักษาที่ 45°C ที่เวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	6.795	8	0.849	3.103	0.003
Error	33.942	124	0.274		
Total	40.737	132			

ตารางที่ ค.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมโยเกิร์ตผงเก็บรักษาที่ 55°C ที่เวลาในการเก็บรักษาต่างๆ (A) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A	5.350	4	1.337	4.864	0.003
Error	9.625	35	0.275		
Total	14.975	39			

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวฐิตาภรณ์ รัตริน เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากสาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

ฐิตาภรณ์ รัตริน, กัลยา เลาสงคราม และสายวรุฬ ชัยวานิชศิริ. 2553. อิทธิพลของฟรีไบโอติกต่อสมบัติต่างๆ ของโยเกิร์ตนมแพะ ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 36 (ภาคบรรยาย). วันที่ 26-28 ตุลาคม 2553 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค กรุงเทพมหานคร.