การประยุกต์การกรองแบบอัลทราฟิลเทรชันในการผลิตเนยแข็งเฟตตาด้วยการเติมกรดโดยตรง

นาย นพนันท์ รัตนวิชัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-14-2329-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF ULTRAFILTRATION IN FETTA CHEESE PRODUCTION BY DIRECT ACIDIFICATION

Mr. Noppanan Ratanawichai

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2005
ISBN 974-14-2329-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์การกรองแบบอัลทราฟิลเทรชันในการผลิตเนยแข็งเฟตตาด้วยการเติมกรดโดยตรง
โดย	นาย นพนันท์ รัตนวิชัย
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิมารส
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัษฐ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิมารส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัษฐ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วรภา คงเป็นสุข)

..... กรรมการ

(นางมยุรฉัตร นาทวรทัต)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นพนันท์ รัตนวิชัย : การประยุกต์การกรองแบบอัลทราฟิลเทรชันในการผลิตเนยแข็งเฟตตาด้วยการเติมกรดโดยตรง (APPLICATION OF ULTRAFILTRATION IN FETTA CHEESE PRODUCTION BY DIRECT ACIDIFICATION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุวรรณา สุภิมารส, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.นิ่นนาท ชินประหัษฐ์ 138 หน้า ISBN 974-14-2329-2

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตเนยแข็งเฟตตา ในการลด pH ของนมก่อนตกตะกอนด้วย rennet โดยการเติมกรดโดยตรงแทนวิธีเติมเชื้อจุลินทรีย์ เลือกใช้กรด 3 ชนิด คือ กรด lactic กรด phosphoric และกรด acetic และปรับ pH เป็น 3 ระดับ คือ 5.6 5.4 และ 5.2 ศึกษาหาชนิดของกรด และ pH ของนมหลังเติมกรดที่เหมาะสมในการผลิตเนยแข็งเฟตตาจากตัวอย่างนมดิบ นมดิบที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ ultrafiltration (UF) และนมดิบผสมกับน้ำเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ UF พบว่าการปรับ pH ไปที่ 5.4 และ 5.2 ในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมสดผสมกับน้ำเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ UF ให้ลิ่มนมที่มีลักษณะอ่อนนิ่มและเละ ปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเนยแข็งได้ ส่วนเนยแข็งที่ตกตะกอนด้วยกรด acetic ให้ค่า %โปรตีนสูงที่สุด ตามมาด้วยตัวอย่างที่ตกตะกอนด้วยกรด phosphoric และกรด lactic แต่ค่า %yield นั้นการตกตะกอนด้วยกรด acetic และ phosphoric ให้ผลไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเนยแข็งที่ปรับ pH เป็น 5.6 จะให้ค่า น้ำหนักของเนยแข็ง %เกลือ ค่า hardness และค่า %yield มากที่สุด ตามมาด้วย ที่ pH 5.4 และ 5.2 จึงสรุปได้ว่าการเติมกรด acetic ที่ระดับ pH 5.6 ลงในนมโดยตรงก่อนการตกตะกอนด้วย rennet เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด จึงนำชนิดของกรดและระดับของ pH ดังกล่าวมาผลิตเนยแข็งเฟตตาโดยใช้วัตถุดิบ 3 ชนิด คือ นมดิบ นมดิบที่ผ่านการกรองแบบ UF และนมดิบผสมกับน้ำเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF เก็บที่อุณหภูมิ 4^{0}C ในน้ำเกลือที่ความเข้มข้น 5 % สุ่มตัวอย่างประเมินผลในด้านต่าง ๆ พบว่าน้ำหนัก %ความชื้น %โปรตีน pH %yield และค่าความสว่าง (L^*) ของเนยแข็งจะมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้นไม่ว่าจะผลิตจากนมชนิดใด ส่วน %ไขมัน ปริมาณแคลเซียม ค่า hardness และค่าสีแดง (a^*) ของเนยแข็งจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้นไม่ว่าจะผลิตจากนมชนิดใด ค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะเดือนแรก และจะมีแนวโน้มคงที่และลดลงเล็กน้อยในเดือนถัดมา และคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีแนวโน้มคงที่ตลอดการเก็บรักษา ส่วนเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมดิบผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ได้คะแนนลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ส่วนคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นและรสชาติของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบ และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะเดือนแรก และลดลงอย่างต่อเนื่องในเดือนถัดมา และในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF จะมีคะแนนทางด้านกลิ่นและรสชาตินี้สูงที่สุด

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4572327723 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : FETTA CHEESE / ULTRAFILTRATION / DIRECT ACIDIFICATION

NOPPANAN RATANAWICHAI : APPLICATION OF ULTRAFILTRATION IN FETTA CHEESE PRODUCTION BY DIRECT ACIDIFICATION. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SUWANNA SUBHIMAROS, Dr.Ing., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. NINNART CHINPRAHAST, Ph.D., 138 pp. ISBN 974-14-2329-2.

The objectives of this research were to determine the appropriate acid types and pH values of making Fetta cheese by direct acidification from raw milk, ultrafiltration milk (UF-milk), and combination of raw milk and ultrafiltration whey (UF-whey). These were acidified to pH 5.6, 5.4, and 5.2 with lactic, phosphoric, and acetic acid. In the first part, it was found that curd made from combination of raw milk and UF-whey acidified to pH 5.4 and 5.2 were too soft and with inadequate yield for making a piece of cheese. Fetta cheese obtained by acidification with acetic acid resulted in highest %protein content, followed by those acidified with phosphoric and lactic acid, respectively. When converted to %yield, cheeses made from both acetic and phosphoric were not significantly different. Lowering pH of milks to 5.6 resulted in the highest cheese weight, %salt, hardness and % yield of the cheeses, followed by pH 5.4 and 5.2, respectively. Thus, the suitable condition for Fetta cheese production by direct acidification was to use acetic acid at pH 5.6.

In the second part, storage test (by immersion in 5% brine) of the Fetta cheeses made from raw milk, UF-milk, and combination of raw milk and UF-whey using the above conditions were carried out at 4^{0}C during the periods of 3, 30, 60, 120, 180 days. It was found that cheese weight, moisture content, %protein, protein (%dry basis), pH, %yield and L* values of Fetta cheese decreased, but %fat, fat (%dry basis), calcium content, hardness and a* values of Fetta cheese increased with the extended storage time. The total plate count of cheeses increased in the first 2 months and gradually declined thereafter. The mean scores for appearance, body and texture of Fetta cheese that made from UF-milk was steady during 180 days but those from raw milk and combination of raw milk and UF-whey gradually declined. The flavour scores of cheeses made from raw milk and combination of raw milk and UF-whey increased in the first month and gradually declined while that of combination of raw milk and UF-whey cheese has the highest score for this attribute.

Department.....Food Technology..... Student's signature.....Noppanan Ratanawichai.....

Field of study.....Food Technology..... Advisor's signature.....

Academic year.....2005..... Co-advisor's signature.....Ninnart Chinprahast.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิมารส ที่คอยดูแลให้คำปรึกษา ความเข้าใจ ความใส่ใจ และคอยช่วยเหลือข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัษฐ์ รองศาสตราจารย์ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล และอาจารย์ ดร.วรภา คงเป็นสุข ที่ช่วยให้คำปรึกษาและคอยดูแลเกี่ยวกับงานวิจัย และสละเวลามาตรวจสอบ กลั่นกรอง แก้ไขให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่กรุณาประสิทธิประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาค้นคว้าของงานวิจัยนี้ และในการทำงาน

ขอขอบพระคุณคุณมยุรฉัตร นาทวรทัต คุณพิรุณ หอมเนียม คุณรุจา สารคุณ และพี่ ๆ น้อง ๆ ที่โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ที่คอยเป็นกำลังใจ สนับสนุน และช่วยเหลือข้าพเจ้าตลอดมา

ขอขอบคุณคุณผุสดี และคุณธัญภพ จากบริษัทสิทธิพรแอสโซซิเอท จำกัด ที่ช่วยสอนการใช้งานเครื่องกรองแบบ ultrafiltration ซึ่งจัดตั้งอยู่ที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารอย่างเต็มใจ

ขอขอบคุณน้องหนึ่ง จากบริษัท Caroline จำกัด ที่ช่วยเหลือและให้ข้อมูลเกี่ยวกับเนยแข็ง Feta เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจและเข้าใจในตัวข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณน้องมด น้องวิง น้องเกด น้องจ๊อบ และน้องชิบะ ปี 4 ปริญญาตรีภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่มีส่วนช่วยในงานวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาวของข้าพเจ้าที่ดูแล ให้ความรัก ความห่วงใย และเข้าใจข้าพเจ้าโดยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ซ

สารบัญรูป..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์..... 3

เนยแข็งเฟตตา..... 3

การประยุกต์การกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน..... 17

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเนยแข็งโดยการเติมกรดโดยตรง..... 26

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 40

4.1 สมบัติของนมดิบและเวย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ..... 40

4.2 สมบัติของนมดิบและเวย์หลังผ่านการกรองแบบ UF..... 41

4.3 สมบัติของนมที่ปรับมาตรฐานแล้วเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเนยแข็งเฟตตา... 42

4.4 ศึกษาหาชนิดของกรดและ pH ของนมหลังการเติมกรดที่เหมาะสม
ในการผลิตเนยแข็งเฟตตา..... 43

4.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมต่างชนิดกัน
ระหว่างการเก็บรักษา..... 73

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....105

รายการอ้างอิง.....108

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.....114

ภาคผนวก ข.....124

ภาคผนวก ค.....128

ภาคผนวก ง.....134

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....138

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบกระบวนการและเทคโนโลยีของการผลิต pickled cheese ชนิดต่าง ๆ...	5
2.2	องค์ประกอบและสมบัติต่าง ๆ ของ Feta และ Domiati type cheese ที่ผลิตจากนมวัวและเก็บที่อุณหภูมิห้อง(ประมาณ 20^{0}C)	8
2.3	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของ Domiati และ Feta type cheeses ระหว่างการเก็บรักษา (แสดงในรูป %lactose).....	9
2.4	ส่วนประกอบทั่วไปใน Domiati และ Feta cheeses ที่ผลิตจากนมวัวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	10
2.5	องค์ประกอบของ Domiati cheese ที่มีการเติม NaCl ลงในนมในระดับต่างกัน.....	11
2.6	ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนแต่ละชนิดในนม.....	13
2.7	ค่าเฉลี่ยของส่วนประกอบใน whole milk ก่อนและหลังผ่านการกรองแบบ UF.....	22
2.8	ปัจจัยทางการผลิตที่มีผลต่อการผลิตเนยแข็ง domiati จากนมแพะ ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน.....	25
2.9	ปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบของเนยแข็งที่ผ่านกระบวนการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน	26
2.10	เนยแข็งที่ผลิตขึ้นด้วยวิธีการเติมกรดโดยตรงในย่านต่าง ๆ	27
2.11	องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งต่างชนิดที่ผลิตด้วยวิธีการเติมกรดโดยตรง	28
4.1	สมบัติทางด้านเคมีและจุลชีววิทยาของนมดิบและเวย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	40
4.2	สมบัติทางด้านเคมีของนมดิบและเวย์หลังผ่านการกรองแบบ UF	41
4.3	สมบัติทางด้านเคมีและจุลชีววิทยาของนมที่ปรับมาตรฐานแล้ว เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเนยแข็งเฟตตา.....	42
4.4	ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH.....	45
4.5	การวิเคราะห์ F-value ของสมบัติทางกายภาพในเนยแข็งเฟตตาเมื่อแปรชนิดของนมชนิดของกรดและระดับ pH.....	47
4.6	ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรดและระดับ pH.....	57

ตารางที่ **หน้า**

4.7 การวิเคราะห์ F-value ของสมบัติทางเคมีในเนยแข็งเฟตตาเมื่อแปรชนิดของนมชนิดของกรดและระดับ pH..... 59
4.8 ผลการศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของ กรดและระดับ pH..... 69
4.9 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา..... 74
4.10 ผลการศึกษาค่าสีในเนยแข็ง Feta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา..... 76
4.11 การวิเคราะห์ F-value ของสมบัติทางกายภาพในเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมต่างชนิดกันระหว่างการเก็บรักษา..... 77
4.12 การวิเคราะห์ F-value ของค่าสีในเนยแข็งเฟตตา ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา..... 78
4.13 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีในเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา 88
4.14 การวิเคราะห์ F-value ของสมบัติทางเคมีในเนยแข็งเฟตตา ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา..... 90
4.15 ผลการศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาในเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา..... 97
4.16 ผลการศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสในเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดกันระหว่างการเก็บรักษา..... 99
4.17 การวิเคราะห์ F-value ของผลทางประสาทสัมผัสในเนยแข็งเฟตตา ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา.....100
ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยน้ำหนักเนยแข็ง %ความชื้น %ของแข็งทั้งหมด และ cheese dry matter ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนมชนิดของกรด และระดับ pH.....128
ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) %ไขมันและไขมัน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH..... 128
ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย %เกลือ %เถ้าและปริมาณแคลเซียมของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH.....129

ตารางที่ **หน้า**

ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย pH %yield %yield at 55%MC. Hardness (N) จุลินทรีย์ทั้งหมด(log cfu/g) ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH.....130

ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของ น้ำหนักเนยแข็ง %ความชื้น % ของแข็งทั้งหมด cheese dry matter ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ที่อายุการเก็บต่างกัน.....130

ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของ %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) %ไขมัน ไขมัน (%dry basis) %เกลือ %เถ้า และปริมาณแคลเซียมของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ที่อายุการเก็บต่างกัน.....131

ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของ pH %yield %yield at 55%MC. hardness และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ที่อายุการเก็บต่างกัน.....132

ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าสีแดง (a*) ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ที่อายุการเก็บต่างกัน..... 132

ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติและคะแนนรวมของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ที่อายุการเก็บต่างกัน.....133

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเกิดปฏิกิริยา proteolysis ใน pickled cheeses.....	16
2.2	การกรองแบบดั้งเดิม และการกรองโดยใช้แผ่นกรอง.....	18
2.3	การใช้งานของการกรองโดย membrane วิธีต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมนม.....	19
2.4	ความสามารถในการกรองสารประกอบต่าง ๆ ในนมโดยใช้ membrane แต่ละชนิด.....	20
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า concentration factor ในส่วนประกอบของนมบางชนิด และค่าvolumetric concentration เมื่อนำ whole milk มาผ่านการกรองแบบ UF.....	23
2.6	ส่วนแบ่งทางการตลาดของเนยแข็งชนิดต่าง ๆ ที่ใช้กระบวนการกรองแบบ UF ในการผลิต.....	23
4.1	น้ำหนักของเนยแข็งเฟตตา (g) ที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	48
4.2	%ความชื้นของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	50
4.3	%ของแข็งทั้งหมดของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	51
4.4	cheese dry matter (g) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	52
4.5	%yield ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	53
4.6	%yield at 55%MC ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	54
4.7	ค่า hardness (N) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	55
4.8	%โปรตีนของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	60
4.9	ค่าโปรตีน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pHต่างกัน.....	60
4.10	%ไขมันของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	62
4.11	ค่าไขมัน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	62
4.12	ค่า pH ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	64
4.13	%เกลือของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	65
4.14	%เถ้าของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	67
4.15	ปริมาณแคลเซียมของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน.....	68
4.16	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวแปรต่างกัน.....	70
4.17	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ.....	78

รูปที่ **หน้า**

4.18 การเปลี่ยนแปลง % ความชื้น ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 79
4.19 การเปลี่ยนแปลง % ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 80
4.20 การเปลี่ยนแปลง cheese dry matter (g) ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 81
4.21 การเปลี่ยนแปลง %yield ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 82
4.22 การเปลี่ยนแปลง %yield at 55%MC. ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 83
4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 84
4.24 การเปลี่ยนแปลง ค่าความสว่าง (L*) ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 85
4.25 การเปลี่ยนแปลง ค่าความสว่าง (a*) ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 85
4.26 การเปลี่ยนแปลง ค่าความสว่าง (b*) ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 86
4.27 การเปลี่ยนแปลง % โปรตีน ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 91
4.28 การเปลี่ยนแปลง โปรตีน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 91
4.29 การเปลี่ยนแปลง % ไขมัน ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 92
4.30 การเปลี่ยนแปลงไขมัน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 93
4.31 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 94

รูปที่ **หน้า**

4.32 การเปลี่ยนแปลง %เกลือ ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 95
4.33 การเปลี่ยนแปลง %เถ้า ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 95
4.34 การเปลี่ยนแปลง ปริมาณแคลเซียม ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ..... 96
4.35 การเปลี่ยนแปลง TPC ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ..... 98
4.36 การเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลากาเก็บ.....101
4.37 การเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านเนื้อสัมผัส ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ.....101
4.38 การเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นและรสชาติ ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ.....103
4.39 การเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านคะแนนรวม ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ.....103
ก.1 standard curve ของการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม.....119
ก.2 กราฟจากเครื่อง texture analyzer.....121
ง.1 เนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบ (R1) นมที่ผ่านการกรองแบบ UF (U1) และนมดิบผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF (W1).....134
ง.2 เครื่องกรองนมแบบ ultrafiltration.....135
ง.3 เครื่องกรองเวย์แบบ ultrafiltration.....136
ง.4 1. เครื่อง homogenize 2. เครื่อง pasteurize 3.เครื่องผสมและอุ่นนม.....137

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเนยแข็งถือเป็นผลิตภัณฑ์นมที่เป็นที่รู้จักและยอมรับจากคนทั่วโลก เนื่องจากมีรสชาติเฉพาะและถูกปากผู้บริโภคทั่วไป อีกทั้งมีคุณค่าทางอาหารสูงและมีมากมายหลากหลายชนิด แต่ละชนิดอาจจะมีความแตกต่างเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิต วิธีการผลิต หรือแม้แต่ประเทศที่ผลิตก็มีผลทำให้เนยแข็งชนิดนั้น ๆ มีความจำเพาะในแบบของตน pickled cheese ก็จัดเป็นเนยแข็งอีกประเภทหนึ่งที่เป็นที่รู้จักและนิยมกันมากในปัจจุบัน เป็นเนยแข็งประเภทอ่อนนุ่ม (soft cheese) และมีการเก็บรักษาไว้ในน้ำเกลือ (brine) ตัวอย่างเช่น Fetta cheese ซึ่งเป็นเนยแข็งที่ได้รับความนิยมเป็นอันดับต้น ๆ ของเนยแข็งชนิดนี้ (Robinson and Tamine, 1991)

Fetta cheese เป็นเนยแข็งที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม สีขาว และเก็บบ่มใน brine มีรสค่อนข้างเค็มและออกเปรี้ยวเล็กน้อย มีแหล่งกำเนิดมาจากประเทศกรีซ ผลิตจากนมแกะหรือนมแกะผสมนมแพะ ซึ่งถ้าจำกัดปริมาณของนมแพะไม่ให้เกิน 20-30% จะให้ Fetta cheese ที่มีคุณภาพดี (Robinson and Tamine, 1991) เนื่องจากการนำนมแพะเพียงอย่างเดียวมาทำเนยแข็งดังกล่าว จะได้เนยแข็งที่มีลักษณะแข็งและมีกลิ่นแรงกว่าเนยแข็งที่ผลิตจากนมแกะ แต่นมวัวก็สามารถนำมาผลิตเนยแข็งชนิดนี้ได้ แต่คุณภาพจะแตกต่างจาก Fetta cheese แบบดั้งเดิม

โดยปกติแล้วการผลิต Fetta cheese แบบดั้งเดิมจะผลิตกันภายในครัวเรือนและผลิตครั้งละน้อย ต่อเมื่อมีความต้องการบริโภคเนยแข็งนี้มากขึ้นจึงได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาใช้พัฒนาการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเทคโนโลยีนั้นก็คือ เทคโนโลยีการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน (ultrafiltration:UF) โดย Renner and Abd El-Salam (1991) ได้อธิบายถึงการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชันไว้ว่า เป็นกระบวนการกรองแยกหรือทำให้สารเข้มข้นโดยใช้ขนาดของรูแผ่นกรอง (membrane) เป็นตัวคัดกรองสารที่ต้องการให้คงอยู่หรือกำจัดสารไม่ต้องการออกไป ใช้ความดันเป็นตัวขับเคลื่อนการกรองให้เกิดขึ้น ซึ่งการกรองดังกล่าวสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิต (yield) ลดปริมาณนมที่จะต้องใช้ในกระบวนการผลิต อีกทั้งสามารถประยุกต์ใช้ในการปรับมาตรฐานองค์ประกอบของนม (standardize) ได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้การกรองดังกล่าว ในการกรองกลับองค์ประกอบที่ต้องการ เช่น ไขมัน และโปรตีน ในกรองกรองน้ำเวย์ (whey) ที่ได้จากกระบวนการผลิตเนยแข็ง

เทคโนโลยีอีกรูปแบบหนึ่งที่นำมาใช้ในการผลิตเนยแข็งนั้น คือ เทคนิคการเติมกรดโดยตรง (direct acidification) ลงในนมเพื่อเป็นการลด pH ก่อนการตกตะกอนนม โดยในกระบวนการผลิต Fetta cheese แบบดั้งเดิมนั้นใช้ starter culture เช่น *Lactococcus lactis*,

Lactococcus cremoris หรือ *Streptococcus thermophilus* ฯลฯ เพื่อสร้างกรด ทำให้ pH ของนมลดลงก่อนการตกตะกอนด้วย rennet ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการเร่งการตกตะกอนของลิ่มนม แต่การตกตะกอนโดยใช้ starter culture นั้นยังไม่สามารถทำให้ pH ของนมลดลงอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง (Quarne, Larson and Olson, 1968a) อีกทั้งยังเป็นวิธีที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์อื่น (Quarne et al., 1968b) และปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจส่งผลไม่ดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ การเติมกรดโดยตรงแทนการใช้ starter culture ถือเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว สามารถควบคุมปริมาณและการกระจายตัวของกรดได้ ใช้พื้นที่และแรงงานน้อยกว่า อีกทั้งยังช่วยเพิ่ม yield ของผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Rosenau, Calzada and Peleg, 1978)

ดังนั้นเทคโนโลยีทั้งสองชนิด จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการพัฒนาการผลิตเนยแข็งให้ได้ตามความต้องการทั้งของผู้ผลิตและผู้บริโภคต่อไปในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

เนยแข็งเฟตตา (Fetta cheese)

Fox (1987) ได้กล่าวไว้ว่าการผลิตเนยแข็งชนิดที่มีการเก็บรักษาในน้ำเกลือ (pickled cheese) นั้น แต่ดั้งเดิมมีการผลิตในวงจำกัดเพียงแค่ในกลุ่มประเทศแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และประเทศในแหลมบอลข่าน คือ ยูโกสลาเวีย โรเมเนีย แอลเบเนีย กรีซ และตุรกี ทำให้เนยแข็งชนิดนี้มีความแตกต่างไปตามสถานที่ที่ใช้ในการผลิต รวมถึงสภาพอากาศตามถิ่นฐานที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งชนิดนี้ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของเนยแข็ง สภาพภูมิอากาศที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงหรืออบอุ่นอาจไม่เหมาะกับการผลิตเนยแข็งโดยทั่วไป เนื่องจากในสภาวะนี้อาจทำให้อายุการเก็บรักษาของนมดิบสั้นลง และเนยแข็งที่ผลิตในสภาวะดังกล่าวอาจเกิดการเสื่อมเสียได้เร็วก่อนเข้าสู่กระบวนการบ่ม ดังนั้นการเก็บรักษาเนยแข็งในสารละลายเกลือจึงเป็นกระบวนการที่จำเป็นต่อการยืดอายุในการเก็บรักษา และถือว่ากระบวนการเก็บรักษาเนยแข็งในสารละลายเกลือ (pickling) นี้ เป็นข้อแตกต่างสำคัญระหว่างการผลิตเนยแข็งในเขตอบอุ่นกับเขตหนาว ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาการผลิต pickled cheese ยังมีปริมาณน้อย เนื่องด้วยไม่มีเทคโนโลยีในการปรับมาตรฐานองค์ประกอบ (standardization) ที่เหมาะสม จึงเป็นเหตุให้องค์ประกอบในเนยแข็งที่ได้แตกต่างกันไป แต่ปัจจุบันได้มีวิวัฒนาการที่ทันสมัยขึ้น ทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิต pickled cheese พร้อมกับปรับปรุงคุณภาพและคุณลักษณะให้ได้ตามต้องการได้ ทำให้สามารถเปิดตลาดใหม่และเริ่มเป็นที่รู้จักทั่วโลก มีการขยายการผลิตเนยแข็งดังกล่าวไปยังประเทศต่าง ๆ เช่น Denmark UK USA Australia New-Zealand และ Ireland เป็นต้น นอกจากจะมีเทคโนโลยีการ standardize และเทคโนโลยีใหม่ ๆ เกิดขึ้นเพื่อช่วยปรับปรุงการผลิต pickled cheese แล้ว ยังมีเทคโนโลยีที่มีความสำคัญมากอีกอย่างหนึ่ง ที่ช่วยปรับปรุงการผลิตเนยแข็งดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นั่นก็คือการนำเทคนิคการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน (ultrafiltration techniques) มาใช้ โดย pickled cheese ชนิดที่มีความสำคัญและโดดเด่นเป็นที่นิยมทั่วไปมากที่สุดชนิดหนึ่งก็คือเนยแข็งเฟตตา (Fetta cheese) ซึ่งในประเทศ Denmark มีการผลิตมากกว่าหนึ่งในสามของเนยแข็งที่ผลิตขึ้นทั้งหมด

การจำแนกชนิด pickled cheese

ในปัจจุบันยังไม่มีการจำแนกชนิดของ pickled cheese ไว้อย่างชัดเจนนักเนื่องจากยังขาดข้อมูลในงานวิจัยต่าง ๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับ pickled cheese และบางทีชื่อของเนยแข็งเหล่านั้นก็ไม่ได้มีความเกี่ยวข้องหรือสามารถอธิบายได้ถึงวิธีหรือกระบวนการผลิตเนยแข็งชนิดนั้น ๆ ได้ (Abou Donia, 1981) มีหลายกรณีที่เนยแข็งชนิดนี้ถูกให้นิยามว่าเป็น white pickled cheese และยังมีการใช้ถ้อยคำอีกมากมายในการให้นิยาม ซึ่งความหลากหลายของ pickled cheese นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ (ประเทศที่ผลิตและให้ชื่อของ pickled cheese ชนิดนั้นจะอยู่ในวงเล็บด้านหลัง)

เนยแข็งชนิดอ่อนนุ่ม (soft cheese) มีความชื้นประมาณ 55-65%ได้แก่

พวกที่ตกตะกอนด้วยกรด (acid coagulation)

Mish (Egypt) ผลิตจากนมที่เกิดการหมักตามธรรมชาติแล้วเหลือภายหลังจากแยกชั้นออกจากครีมเปรี้ยว (sour cream) หลังจากนั้นจะมีการโรยเกลือลงบนตะกอนนมที่ได้และตัด curd ในกระบะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดที่เหมาะสมแล้วนำลงแช่น้ำเกลือในภาชนะที่ทำจากดินเผาและเก็บอยู่ในนั้นมากกว่า 1 ปี (El-Gendy et al., 1983)

พวกที่ตกตะกอนด้วยเรนเนท (rennet coagulation)

สภาวะของการผลิต pickled cheese ชนิดต่าง ๆ ที่ตกตะกอน ด้วยเรนเนทอาจสรุปรวมอยู่ในตารางที่ 2.1 แต่อาจแยกย่อยได้อีกจากวิธีการ salting ดังนี้

การ salting บน curd (Fetta type) ได้แก่

-Fetta (Greece)

-Bulgarian white (Bulgaria)

-Telame (Greece, Romania)

-Brinza (Bulgaria, USSR)

-Chanakh (USSR)

-Salamoura (Turkey)

-Istamboli (Turkey)

-Akaawi (Syria)

การ salting ใน นมที่ใช้ในการผลิตเนยแข็ง (Domiati type) ได้แก่

-Domiati (Egypt)

-Danie (Egypt) ซึ่งส่วนใหญ่จะผลิตมาจากนมแกะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบกระบวนการและเทคโนโลยีการผลิต pickled cheese ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของ pickled cheese / ปัจจัยในกระบวนการผลิต	Fetta	Teleme	Bulgarian white	Brinza	Domiati
1.ชนิดของนม	นมแกะ หรือ นมวัว				นมวัวหรือนมควาย
2.ความร้อนที่ใช้ฆ่าเชื้อ	Optional	Optional	-	66-68°C/10-15 นาที	Optional
3.เชื้อที่ใช้	2% *Str.lactis+ Str.cremoris*	2% *Str.lactis+ L.casei* (2:1)	2% *Str.lactis+ Str.cremoris*(2:1)	2% *Str.lactis+ Str.cremoris*(5:2) หรือ *L.bulgaricus+Str.thermophilus*	Optional
4.เวลาที่ใช้ในการหมักนม	2 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	-	1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 33°C (0.2% acidity)	-
5.เรนเนทที่ใช้	เรนเนทที่ละลายน้ำแล้ว(Rennet paste)หรือ เรนเนทที่ได้จากกระเพาะของลูกวัว(Calf rennet) (3 g)+lipase(4 g)/100 kg	Calf rennet(3 g/100 kg)	Calf rennet(3 g/100 kg)	Calf rennet(3 g/100 kg)	Calf rennet(5 g/100 kg)
6.เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนนมด้วยเรนเนท	60 นาที	60 นาที	60 นาที	60-75 นาที	150-180 นาที
7.การตัด curd ที่เกิดขึ้น(cutting)	ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 2 cm	ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 2 cm	-	-	-
8.การจัดการกับตะกอนนม(curd) ภายหลังการตัด(ladling)	ถ่าย curd ที่ได้ใส่ลงในตะแกรง (hoop) และกลับไปกลับมาเรื่อย ๆ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	ถ่าย curd ที่ได้ใส่ลงในตะแกรง(hoop) และกลับไปกลับมาเรื่อย ๆ	ไม่ต้องตัด curd หรือใช้แรงอัด (pressing)เนยแข็ง	ตัด curd และ press เนยแข็งเป็นเวลา 60 นาที	นำใส่ลงในพิมพ์ที่ทำจากกรอบไม้ และ press เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
9.การเพิ่มปริมาณเกลือให้เนยแข็ง (salting)	โรยเกลือผงลงบนผิวเนยแข็งเป็นเวลา 3 วัน	แช่เนยแข็งในสารละลายเกลือ(brine) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	แช่เนยแข็งใน brine ที่อุณหภูมิ 12°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	แช่เนยแข็งใน brine ที่อุณหภูมิ 6-8°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	-
10.การบรรจุเนยแข็งลงในสารละลายเกลือ(pickling)	ล้างเนยแข็งด้วยน้ำสะอาดก่อนบรรจุลงในถังไม้(barrels)และเติม 10% brine	บรรจุลงในกระป๋องโดยเติมน้ำเวย์เปรี้ยว(sour whey)(*L.helveticus+ Str.thermophilus*) ที่มีเกลือ 10%	บรรจุลงในทีบพลาสติก เติม sour whey ที่มีเปอร์เซ็นต์กรดอยู่ที่ 0.36 และมีเกลือ 8-12%	บรรจุลงในภาชนะที่เป็นดีบุกและเติมน้ำเวย์เค็ม (salted whey)แล้วให้ความร้อนจนถึง 85°C	บรรจุลงในภาชนะที่เป็นดีบุก (ขนาด17 kg)และเติมsalted whey ที่ได้จากน้ำเวย์ที่ผลิตจากเนยแข็งชนิดเดียวกัน
11.อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเนยแข็ง	5°C	5°C	6-8°C	6-8°C	อุณหภูมิห้อง

ที่มา : Fox (1987)

เนยแข็งชนิดกึ่งอ่อนกึ่งแข็ง (semi-hard cheese) มีความชื้นประมาณ 45-55% ได้แก่

-Halomi (Cyprus)

-Medafara, Magdola, Shinkalish (Syria, Sudan)

-Arab (Iraq)

-Baladi, Montanian (Lebanon)

ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของ pickled cheese ที่ใช้ rennet coagulation นั้นมีค่อนข้างน้อยและหายาก เนื่องจากเนยแข็งชนิดนี้มีการผลิตไม่มากและไม่ได้รับความสำคัญ แต่จากข้อมูลข้างต้นอาจแบ่ง pickled cheese เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ Fetta type และ Domiati type ซึ่งถือเป็นตัวแทนของกลุ่มที่เรียกได้ว่าเป็นเนยแข็งชนิด rennet coagulated pickled soft cheese

ผลของ sodium chloride ต่อ pickled cheese

จุดเด่นที่สำคัญอย่างหนึ่งของ pickled cheese คือจะมีปริมาณเกลืออยู่ค่อนข้างสูง เนื่องจากถูกเก็บรักษาไว้ใน brine เป็นเวลานาน ดังนั้น NaCl จึงถือเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของ pickled cheese โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะเกิดขึ้นในระบบคอลลอยด์ (colloid system) ของนม และในโปรตีนของเนยแข็งซึ่งอาจสรุปการเปลี่ยนแปลงได้ 4 ประการดังนี้

1. **การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมกับโซเดียมในระบบคอลลอยด์ของนม**

การเติม NaCl ลงในนมจะทำให้ colloidal calcium ที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำละลายออกมาบางส่วน โดยที่ปริมาณของ calcium ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ NaCl ที่เติมลงไปจนถึง 4 g/100 ml การเปลี่ยนแปลงนี้ถึงจะไม่ปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดในนมควายและนมวัว colloidal calcium ประมาณ 23-25% สามารถละลายได้โดยการเติม NaCl และในกรณีที่เป็นนมแพะค่าดังกล่าวนี้จะไม่เกิน 10% และยังพบว่าในสัตว์ชนิดเดียวกันแต่คนละสายพันธุ์การเปลี่ยนแปลงของ colloidal calcium ในนมจะแตกต่างกันไปด้วย (Puri and Parkash, 1965)

2. **การแยกตัวและกระจายตัวของคอลลอยด์ในน้ำนม**

การเติม NaCl (1 M) ลงในน้ำนมหรือเคซีนไมเซลล์ (casein micelles) ที่ผ่านการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน พบว่าช่วยลดความขุ่นและขนาดของ micellar อีกทั้งช่วยเพิ่มระดับการละลายของ casein อีกด้วย โดย Fox (1987) ได้เสนอ model ขึ้นว่า colloidal calcium phosphate ที่อยู่ในนมจะเชื่อมต่ออยู่กับ micelle sub-units โดยกระจายอยู่อย่างไม่

สม่ำเสมอที่ด้านนอกของ sub-units และจับอยู่อย่างไม่แข็งแรง เมื่อเติม NaCl ลงไปจะช่วยกำจัดชั้นด้านนอกของ micelle sub-units จึงทำให้ sub-micelle สามารถละลายได้ และปลดปล่อย colloidal calcium ออกมา

การเติม NaCl จะเพิ่มการกระจายตัวของ casein micelles และทำให้อัตราการตกตะกอนของเคซีน (ในระหว่างการตกตะกอน) ด้วยเรนเนทลดลงรวมทั้งความมีเสถียรภาพของโครงสร้างของตะกอนนมที่ได้และลดความสามารถในการกำจัดน้ำออก (syneresis) อีกด้วย เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนนมด้วยเรนเนทในนมวัว นมควาย นมแพะและนมแกะจะมากขึ้นตามปริมาณ NaCl ที่เติมลงไปจนถึงประมาณ 7.5-10% และจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือเข้าไปอีก (Fox, 1987)

ผลข้างเคียงอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นกับสภาวะคอลลอยด์ในนมที่เกิดจากการเติม NaCl คือ ประสิทธิภาพของตัวตกตะกอน (coagulant) โดยที่ calf rennet จะมีประสิทธิภาพน้อยลงเมื่อมีการเติม NaCl ลงในนม นอกจากนั้นยังทำให้นมมีค่า titratable acidity สูงขึ้น เพราะเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่าง Na^+ กับ กลุ่มของ NH_3^+ อิสระใน casein micelles และปลดปล่อย H^+ ออกมา จนกระทั่งมี NaCl เกิน 5% ค่าจะเริ่มคงที่ (Ling, 1963)

3. การเกิดปฏิกิริยาร่วมกันระหว่าง sodium chloride กับ โปรตีนในนมและในเนยแข็ง

Gal and Bankay (1971) ศึกษาถึงปฏิกิริยาร่วมกันระหว่าง NaCl กับโปรตีนในนมและในเนยแข็งทั้งในสภาวะที่แตกต่างกันและด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน และพบว่าการเติม NaCl จะเพิ่มการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนให้สูงขึ้น แต่จะลดลงตาม water activity (a_w) ที่เพิ่มขึ้น การเชื่อมต่อกันของ NaCl กับ para-kappa-casein จะให้ค่าสูงสุดเมื่อความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) ของโปรตีนมีค่าสูงสุดเช่นกัน และเกลือถือเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อ consistency ของเนยแข็ง ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของ NaCl กับ para-kappa-casein จะแข็งแรงมากขึ้นเมื่อมีความชื้นน้อยลง โดยที่การจับน้ำที่น้อยลงของเนยแข็งจะทำให้เนยแข็งที่ได้มีความแน่นเนื้อ (firmness) มากขึ้นแต่จะมี elasticity และ plasticity ที่น้อยลง ซึ่ง Geurts, Walstra and Mulder (1974) ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง NaCl กับ para-kappa-casein นั้นจะขึ้นอยู่กับ pH ความเข้มข้นของ NaCl และความเข้มข้นของ Ca^{2+}

4. การละลายของ paracaseinate-phosphate complex

ผลของ NaCl หรือ NaCl ร่วมกับ lactic acid ใน soft cheese หรือ ใน paracaseinate-phosphate complex แสดงให้เห็นได้จากการปล่อย calcium phosphate และ

calcium paracaseinate ออกมาเมื่อนำไปเขย่ากับสารละลาย NaCl โดยในสารละลายที่มีการเติม NaCl ในปริมาณมาก NaCl จะสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับทั้ง phosphate และ paracaseinate ด้วยระดับที่เท่ากันและจะทำให้ calcium และ phosphorus ถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้นเมื่อมีการเติม lactic acid ลงในสารละลายด้วย Fox (1987) ได้รายงานไว้ว่าการสลายพันธะเปปไทด์จะเกิดขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่อเติม NaCl ที่มีความเข้มข้นระหว่าง 3-5% โดยให้มี pH อยู่ในช่วง 5.3-5.6 ส่วนที่ pH 5 หรือต่ำกว่าพบว่า NaCl มีผลน้อยมากต่อปริมาณ nitrogen ที่ละลายได้ (soluble nitrogen)

การเปลี่ยนแปลงในเนยแข็งระหว่าง pickling

มีข้อมูลในงานวิจัยต่าง ๆ มากมายที่ได้ศึกษาหาองค์ประกอบเช่น ความชื้น ไขมัน และเกลือ และหาค่า pH และ acidity ใน pickled soft cheeses แต่ก็ยังไม่มีใครสามารถทำการวิจัยครอบคลุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ครบถ้วนทั้งหมดแต่มีหัวข้อสำคัญ ๆ ที่ควรพิจารณาดังนี้

ชนิดของเนยแข็ง

ในการเก็บเนยแข็งนั้น มีสมบัติหลายประการที่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ก็มีสมบัติบางอย่างเช่น pH, acidity ความชื้น และปริมาณเกลือที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้มาก โดยมีข้อเปรียบเทียบระหว่าง Fetta และ Domiati type cheese ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบและสมบัติต่าง ๆ ของ Fetta และ Domiati type cheese ที่ผลิตจากนมวัวและเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20^0C)

	Domiati		Fetta	
	Fresh	3 เดือน	Fresh	3 เดือน
Moisture(%)	65.5	54.0	54.5	48.8
Fat in dry matter(%)	36.6	47.5	-	-
Salt in water(%)	10.6	11.8	3.7	14.4
Acidity(%)	0.27	2.16	0.85	0.45
pH	6.06	3.30	4.97	5.00

ที่มา : Mansour and Alais (1972)

พบว่า fresh Domiati มี pH ความชื้น และปริมาณเกลือที่สูงกว่าแต่มี acidity ที่ต่ำกว่า fresh Fetta type cheese ความแตกต่างที่เกิดขึ้นมาจากขั้นตอนการ salting โดยการเติมเกลือ NaCl ลงในนมก่อนการตกตะกอนด้วยเรนเนททำให้มีการกระจายตัวของเกลือไปทั่ว fresh Domiati cheeses มีผลต่อการควบคุมการหมักก่อนการตกตะกอนนมและยังส่งผลให้มีน้ำเหลืออยู่ใน curd อีกด้วย ส่วนการ salting โดยใช้เกลือผงหรือใช้ brine ในการผลิต Fetta type cheeses นั้น ใช้เวลานานกว่าจะเกิดการแทรกซึมของเกลือผ่านเข้าสู่ curd ทำให้เกิดกรดได้เร็วกว่าจึงขับน้ำออกจาก curd ได้ดีทำให้ fresh Fetta type cheeses มีความชื้นน้อยกว่า (Mansour and Alais, 1972)

pH ของ pickled Domiati cheeses มีค่าต่ำกว่า และค่า acidity ก็มีค่าสูงกว่า Fetta type cheeses ซึ่งผลดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยที่สำคัญ 2 ปัจจัยคือ i) การที่ fresh Domiati cheeses มีความชื้นสูงกว่าจึงทำให้มีน้ำตาลแลกโตสกระจายตัวและหลงเหลืออยู่สูงกว่า Fetta type cheeses (ตารางที่ 2.3) ii) น้ำเวย์ที่ใช้ในการ pickling ใน Domiati cheeses มีส่วนประกอบของน้ำตาลแลกโตสอยู่มาก ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของเชื้อแบคทีเรียระหว่างการหมักเนยแข็งจึงถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลกติกได้มาก Omar and Buchheim (1983) ได้วิจัยโดยใช้ salted whey และ brine มาเป็นส่วนผสมที่ใช้ในการ pickling โดยให้มีเกลืออยู่ในปริมาณที่เท่ากันและพบว่า การลดปริมาณสัดส่วนน้ำเวย์ลงช่วยลดการสร้างกรดใน Domiati cheeses ได้

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของ Domiati และ Fetta type cheeses ระหว่างการเก็บรักษา (แสดงในรูป %lactose)

Storage period(days)	Domiati[a]	Fetta[b]
Fresh	3.50	0.82-1.36
15	3.40	-
30	2.85	-
120	1.65	-
180	–	-

ที่มา : [a]Ahmed et al. (1972)

[b]Omar and Buchheim (1983)

Fox (1987) พบว่าคาร์โบไฮเดรตใน Domiati cheeses หลังจากการเก็บ 6 เดือน เป็นพวกน้ำตาลแลกโตสและกาแลกโตสแต่ไม่พบกลูโคส อาจเป็นเพราะว่าใน Domiati cheeses เกิดการหมักน้ำตาลแลกโตสโดยเชื้อจุลินทรีย์จนกว่าการสร้างกรดจะสิ้นสุดลง แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าน้ำตาลแลกโตสนั้นมีปริมาณมากกว่าที่เชื้อในเนยแข็งจะสามารถนำไปใช้ได้ จึงทำให้ยังคงมีน้ำตาลแลกโตสเหลืออยู่ในเนยแข็งบ้าง ถึงแม้ว่าจะเก็บมาเป็นระยะเวลานานแล้วก็ตาม โดยในขั้นตอนแรกของการหมักนั้น น้ำตาลแลกโตสจะถูกไฮโดรไลส์เป็นน้ำตาลกลูโคสและกาแลกโตส แต่เชื้อในเนยแข็งจะเลือกใช้แต่น้ำตาลกลูโคสเท่านั้น ทำให้มีการสะสมของน้ำตาลกาแลกโตสเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีรายงานผลวิจัยดังกล่าวนี้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตและ Swiss cheese เช่นกัน (Goodenough and Kleyn, 1976) และปริมาณเกลือที่สูงใน Domiati cheeses นี้ทำให้กลบรสหวานจากน้ำตาลที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนใน Fetta type cheeses มีปริมาณน้ำตาลแลกโตสที่น้อยกว่าและจะถูกใช้หมดภายหลังการเก็บได้ 1 เดือนจึงมีรสค่อนข้างเค็ม (Thomas and Crow, 1983)

อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา

การเก็บรักษาเนยแข็งในอุณหภูมิต่ำ จะช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ทำให้ได้เนยแข็งที่มี acidity ต่ำและมี pH สูงกว่าเนยแข็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (Teama, 1967) และพบว่าปริมาณความชื้นของเนยแข็งจะเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนในเนยแข็งมีการบวมพอง (swelling) ซึ่งสัมพันธ์กับค่า pH ที่สูงใน fresh cheese ด้วย โดยปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้เนยแข็งดูดซึมมาจากช่วงของการ pickling และการเก็บเนยแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ๆ นั้นจะทำให้ acidity เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเก็บนานขึ้นแต่จะมีอัตราการเกิดที่ช้ากว่าในเนยแข็งที่เก็บในอุณหภูมิที่สูงกว่า (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบทั่วไปใน Domiati และ Fetta cheeses ที่ผลิตจากนมวัวและเก็บรักษา ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

	Domiati					Fetta				
	Fresh	เก็บรักษาที่อุณหภูมิ				Fresh	เก็บรักษาที่อุณหภูมิ			
		8 ± 2^0C		20 ± 5^0C			5^0C		20^0C	
		1 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	3 เดือน		1 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	3 เดือน
ความชื้น(%)	65.5	66.8	68.2	57.8	55.4	54.5	52.8	55.3	48.5	48.8
Fat in dry matter(%)	36.6	35.1	32.9	43.6	46.2	-	-	-	-	-
Salt in water(%)	10.6	9.9	10.8	11.7	11.9	3.7	13.6	14.3	13.8	19.4
Acidity(%)	0.27	0.40	0.56	1.63	2.16	-	-	-	-	-

ที่มา: Mansour and Alais (1972)

จากตารางพบว่าความชื้นของ Fetta cheese ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำไม่เพิ่มขึ้นในระยะการเก็บช่วงแรก แต่จะเริ่มเปลี่ยนเมื่อเก็บไว้นานขึ้น

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษา

องค์ประกอบใน Domiati cheese เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างระยะเวลาการเก็บ โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดในองค์ประกอบของเนยแข็ง จะเกิดขึ้นในระยะเวลา 1 เดือนแรก พร้อม ๆ กับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุดในเนยแข็งเช่นกัน (Naguib, El-Sadek and Naguib, 1974) หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้า โดยในระหว่างการเก็บปริมาณความชื้นและ pH ของเนยแข็งจะลดต่ำลงในขณะที่ปริมาณไขมันและ acidity จะเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของไขมันในเนยแข็งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากมีการละลายของของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (SNF) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และแพร่ออกจากเนยแข็งเข้าสู่ pickle (Teama, 1967) ส่วนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของ Fetta type cheeses ในระหว่างการเก็บเกิดการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ Domiati cheese (Alichanidis et al., 1984) เนื่องจากอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ต่ำกว่า

ปริมาณเกลือ

มีการเติมเกลือลงในนมก่อนการผลิต Domiati cheese ในระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูกาลและคุณภาพของนม การเติมเกลือปริมาณสูงลงในนมจะส่งผลให้เนยแข็งมีปริมาณความชื้นสูงขึ้นด้วย ตามผลในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของ Domiati cheese ที่มีการเติม NaCl ลงในนมในระดับต่างกัน

	NaCl 8%		NaCl 10%		NaCl 12%		NaCl 15%	
	Fresh	3 เดือน	Fresh	3 เดือน	Fresh	3 เดือน	Fresh	3 เดือน
ความชื้น(%)	58.6	51.4	59.5	52.2	60.9	54.5	61.7	55.8
Fat in dry matter(%)	34.6	49.7	35.0	48.2	32.8	48.7	31.8	45.5
Acidity(%)	0.27	2.24	0.24	2.02	0.21	1.42	0.11	1.00

ที่มา: Alichanidis et al. (1984)

เนื่องจากปริมาณเกลือที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้นและมีผลไปลดความแข็งแรงของ curd ด้วย นอกจากนี้ยังเป็นตัวยับยั้งการสร้างกรดใน Domiati cheese ในระหว่างการ pickling แต่ในทางกลับกันใน Fetta type cheese ที่เก็บอยู่ใน brine ที่มีปริมาณเกลือสูง ๆ จะมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าเนยแข็งที่เก็บรักษาใน brine ที่มีปริมาณเกลือต่ำกว่า (Mansour and Alais, 1972)

ความร้อนที่ให้กับนมและการใช้ reconstituted and recombined milk

การ pasteurize นมที่จะนำไปผลิตเนยแข็ง จะมีผลต่อองค์ประกอบของ pickled soft cheeses เพียงเล็กน้อย ซึ่ง Naguib et al. (1974) พบว่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีการสร้างกรดใน pickled cheeses ลดลง ส่วนการใช้ reconstituted หรือ recombined milk ในการผลิต pickled soft cheeses จะทำให้ความชื้นในเนยแข็งลดลง แต่อย่างไรก็ดีพบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการ reconstitution เช่นการเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids content) ในนมจะทำให้ปริมาณความชื้นใน pickled soft cheeses เพิ่มขึ้นเช่นกัน (Omar and Buchheim, 1983)

การเกิดปฏิกิริยา proteolysis ใน pickled cheeses

การเกิดปฏิกิริยา proteolysis นั้น เกิดขึ้นเนื่องจากโปรตีนในนมเป็นสำคัญ โดยโปรตีนในนมนั้นมีหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งแยกโปรตีนที่สำคัญ ๆ ในนมได้ดังตารางที่ 2.6

pickled cheeses จะเกิดกระบวนการ proteolysis ในระหว่างการเก็บรักษาอย่างต่อเนื่อง ได้มีการศึกษาโดยการตรวจวิเคราะห์ soluble nitrogen fractions โดยใช้วิธีการและเครื่องมือที่มีความละเอียดสูง และได้ข้อสรุปสำหรับ Domiati cheese ดังนี้

การเพิ่มปริมาณเกลือในเนยแข็งจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยา proteolysis ใน Domiati cheese (Teama, 1967)

การ homogenize นมที่ใช้เป็นวัตถุดิบทำให้ปฏิกิริยา proteolysis เกิดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Ahmed et al., 1972)

การใช้เอนไซม์ชนิดอื่น ๆ ที่นอกเหนือจาก calf rennet ในการตกตะกอนนม จะช่วยปรับปรุงการเกิดปฏิกิริยา proteolysis ใน Domiati cheese (Abdou, Ghita and El-Shibiny, 1976)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนแต่ละชนิดในนม

		ปริมาณที่มีในนม (g/kg)	%โปรตีนทั้งหมด (w/w)
Casein			
	α_{s1}-casein	10.0	30.6
	α_{s2}-casein	2.6	8.0
	β-casein	10.1	30.8
	κ-casein	3.3	10.1
Total Casein		26.0	79.5
Whey Proteins			
	α-lactalbumin	1.2	3.7
	β-lactoglobulin	3.2	9.8
	Blood Serum Albumin	0.4	1.2
	Immunoglobulins	0.7	2.1
	Miscellaneous (including Proteose-Peptone)	0.8	2.4
Total Whey Proteins		6.3	19.3
Fat Globule Membrane Proteins		0.4	1.2
Total Protein		32.7	100

ที่มา: Bylund (1995)

การใช้เชื้อเริ่มต้นในการผลิต Domiati cheese ที่ต่างสายพันธุ์กันและที่ความเข้มข้นต่างกันไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา proteolysis ในเนยแข็งที่มีปริมาณเกลือสูง แต่อย่างไรก็ดีการใช้เชื้อสายพันธุ์ที่ทนเกลือได้ก็อาจเป็นเหตุให้เกิดปฏิกิริยา proteolysis เพิ่มขึ้น (Abdou, et al., 1976)

การเติม whey protein, phosphate และ citrate และ capsicum tincture (ethanol extract of paprika) จะส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยา proteolysis ใน Domiati cheese (Alichanidis et al., 1984)

ปฏิกิริยา proteolysis จะเกิดขึ้นช้าถ้าเก็บเนยแข็งไว้ที่อุณหภูมิต่ำ และหากให้ความร้อนแก่นม รวมทั้งถ้ามี H_2O_2-catalase ในนม หรือใช้นมผงในการผลิตเนยแข็งก็จะลดการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ (Fox, 1987)

เนยแข็งที่ผลิตจากนมวัวมีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยา proteolysis เร็วกว่านมควาย (Fox, 1987)

การผลิตเนยแข็งด้วยการใช้ ultrafiltration technique และ direct acidification จะเพิ่มการเกิดปฏิกิริยา proteolysis (Fox, 1987)

Fox (1987) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลง nitrogen fractions ของ Fetta type cheese ในระหว่างการเก็บรักษานั้นมีแนวโน้มที่คล้ายกับใน Domiati cheese แต่อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเนยแข็งทั้งสองชนิดก็ทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากวัตถุดิบส่วนประกอบที่เติมลงไป สภาวะการเก็บรักษา และวิธีการวิเคราะห์แตกต่างกัน โดยทั่ว ๆ ไปแล้วข้อมูลในรูปของ nitrogen fractions ของพวก pickled cheese ในระหว่างการเก็บรักษานั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

ค่า total nitrogen ของเนยแข็งนั้นจะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยในขณะที่ soluble nitrogen fractions จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ว่ามีการเกิดปฏิกิริยา proteolysis อย่างต่อเนื่อง โดยมีการแพร่หรือส่งผ่านผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวเข้าสู่ pickling solution ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวย่อมแสดงถึงการลดลงของ total nitrogen ในระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยา proteolysis อันเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ในเนยแข็งสามารถตรวจวิเคราะห์ได้จากค่า water soluble nitrogen

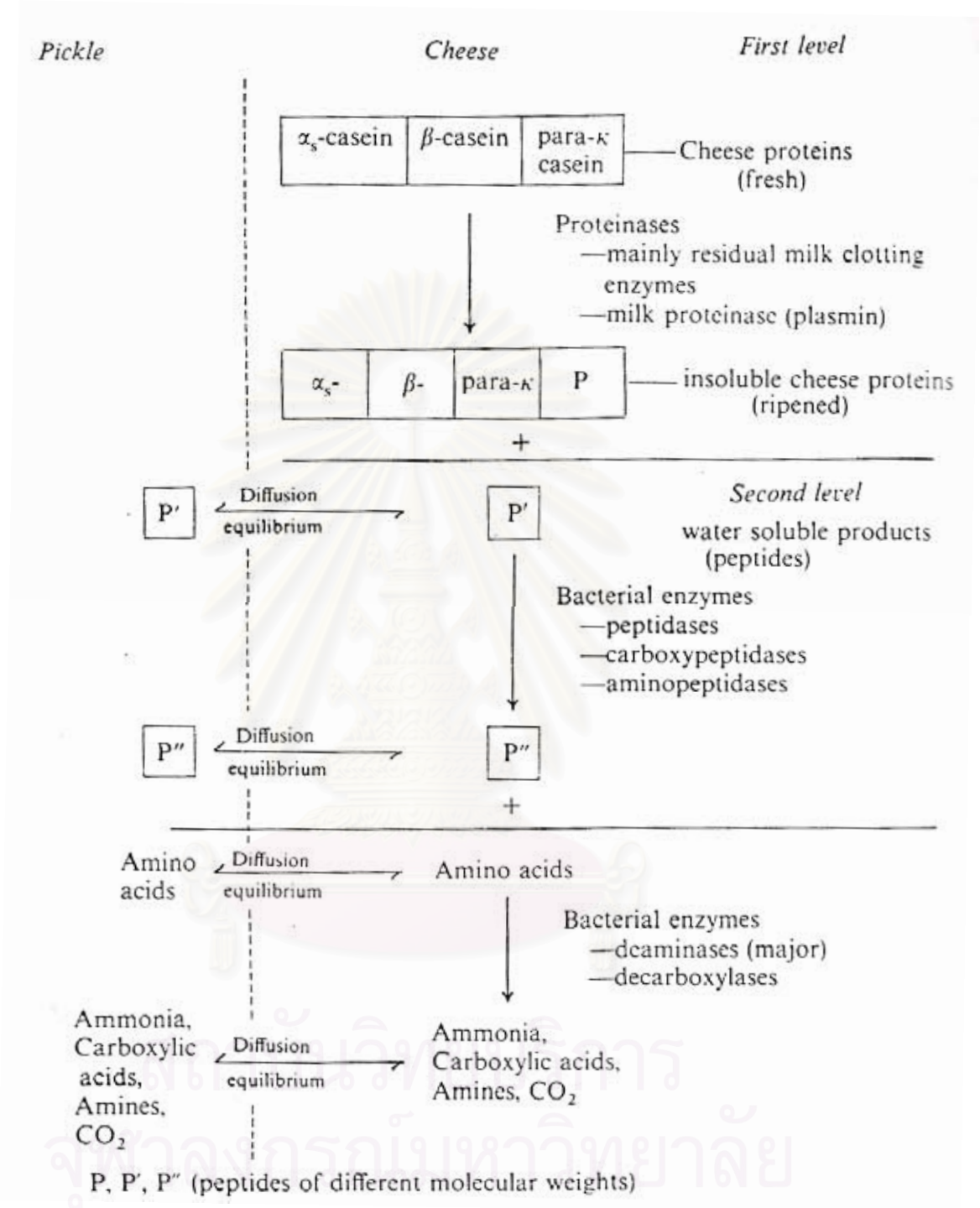
การใช้เอนไซม์ที่แตกต่างกันในการตกตะกอนนม อาจช่วยปรับปรุงการเกิด protein hydrolysis ใน pickled cheese ได้โดยใช้ขอบเขตของการเกิดปฏิกิริยา proteolysis เป็นตัววัดคุณภาพของเอนไซม์

การใช้ electrophoretic และ chromatographic techniques ในการตรวจวิเคราะห์เนยแข็งจะทำให้เข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงของ protein fractions ในระหว่างการเก็บรักษาได้อย่างลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้พบว่าการใช้เอนไซม์ในการตกตะกอนนมจะเพิ่มการ

เกิดปฏิกิริยา proteolysis ใน pickled cheeses เพราะยังมีเอนไซม์หลงเหลืออยู่ทั้งใน cheese curd และใน salted whey ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เหลืออยู่ภายหลังจากการตกตะกอนนม Fox (1987) รายงานว่าในการผลิต Domiati cheese มีการใช้ปริมาณเอนไซม์เพื่อตกตะกอนนมค่อนข้างสูงกว่าเนยแข็งชนิดอื่น ๆ และพบว่าใน Domiati และ Fetta cheese α_{S1}-casein จะถูก hydrolysed อย่างรวดเร็วในขณะที่ β-casein จะต่อต้านการเกิด hydrolysis Mansour and Alais (1972) พบว่า para-κ-casein ใน Syrian white pickled cheese (Fetta type) ที่ผลิตจากนมวัวจะเกิด hydrolysis ตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าวมาจากผลของเอนไซม์เรนเนทที่มีต่อโปรตีนในเนยแข็ง และจากปริมาณเกลือในเนยแข็ง Fox and Walley (1971) พบว่าใน pickled cheeses เช่น Domiati cheese ที่มีปริมาณเกลือสูงจะเสริมให้เกิด polymerization ของ β-casein และsensitive ต่อเอนไซม์เรนเนทน้อยลง การใช้เอนไซม์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่ calf rennet ในการตกตะกอนนม อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในเนยแข็งได้

Fox (1987) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้า แสดงให้เห็นได้ในรูปของ electrophoresis ของโปรตีนใน pickled cheeses โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกสลายของโปรตีนนั้นจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ การแตกตัวของโปรตีนที่มีมวลใหญ่จะมีลักษณะการเกิดที่คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของ α_{S1}-casein ที่เกิดขึ้นโดยการทำงานของเอนไซม์ chymosin ในขณะที่พวกที่มีมวลเล็กกว่าจะมีลักษณะการเกิดที่คล้ายกับ γ-caseins ที่ผลิตขึ้นจาก β-casein โดยเอนไซม์ proteinases (plasmin) ที่มีอยู่ในนม และจะพบว่า β/α_{S1}-casein ratio ใน Domiati cheese จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีนในเนยแข็งที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดขึ้นจะเป็นโปรตีนพวก β-casein เป็นหลัก ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้ Domiati cheese ที่ผ่านการบ่มไว้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มและค่อนข้างเละ

อาจสรุปได้ว่าโปรตีนประเภทต่าง ๆ ใน pickled cheese จะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย proteolysis เป็นหลัก 2 ระดับ (รูปที่ 2.1) โดยในช่วงแรก enzymes ในกลุ่ม proteinases จะย่อยสลาย caseins ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ส่วนในช่วงที่ 2 นั้น enzymes ที่ได้จาก bacteria จะทำให้เกิดการย่อยสลายต่อได้เป็น peptides ที่มีขนาดโมเลกุลต่าง ๆ ซึ่งสามารถแพร่เข้าออกหรือถ่ายโอนมวลระหว่างเนยแข็งกับ pickle solution ได้ และในท้ายที่สุดนั้น enzymes อื่น ๆ ที่ได้จาก bacteria จะย่อยสลายกรดอะมิโนให้กลายเป็นสารที่ยิ่งมีขนาดเล็กลงไปอีกและเกิดการแพร่ที่สะดวกยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยา proteolysis ใน pickled cheeses

ที่มา: Fox (1987)

การประยุกต์การกรองแบบอัลทราฟิลเทรชันในการผลิตเนยแข็ง

การกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน (ultrafiltration:UF) เป็นกระบวนการแยกหรือทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น โดยใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการกรอง (Bylund, 1995) มีอุตสาหกรรมหลาย ๆ อย่างนำการกรองดังกล่าวไปใช้ ซึ่งอุตสาหกรรมนมถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่นิยมนำการกรองแบบนี้มาใช้ และได้มีการพัฒนาอุปกรณ์และเทคนิคต่าง ๆ ขึ้นจากประสบการณ์ในการนำการกรองดังกล่าวไปผลิตผลิตภัณฑ์นม ซึ่งนอกจากจะใช้กระบวนการนี้ในการแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ของนมและทำให้เข้มข้นแล้ว ยังประยุกต์ใช้ในการคิดค้นและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ รวมถึงการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์นมชนิดต่าง ๆ ให้มีคุณสมบัติตามความต้องการของผู้บริโภคได้

การกรองแบบเก่าและการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน

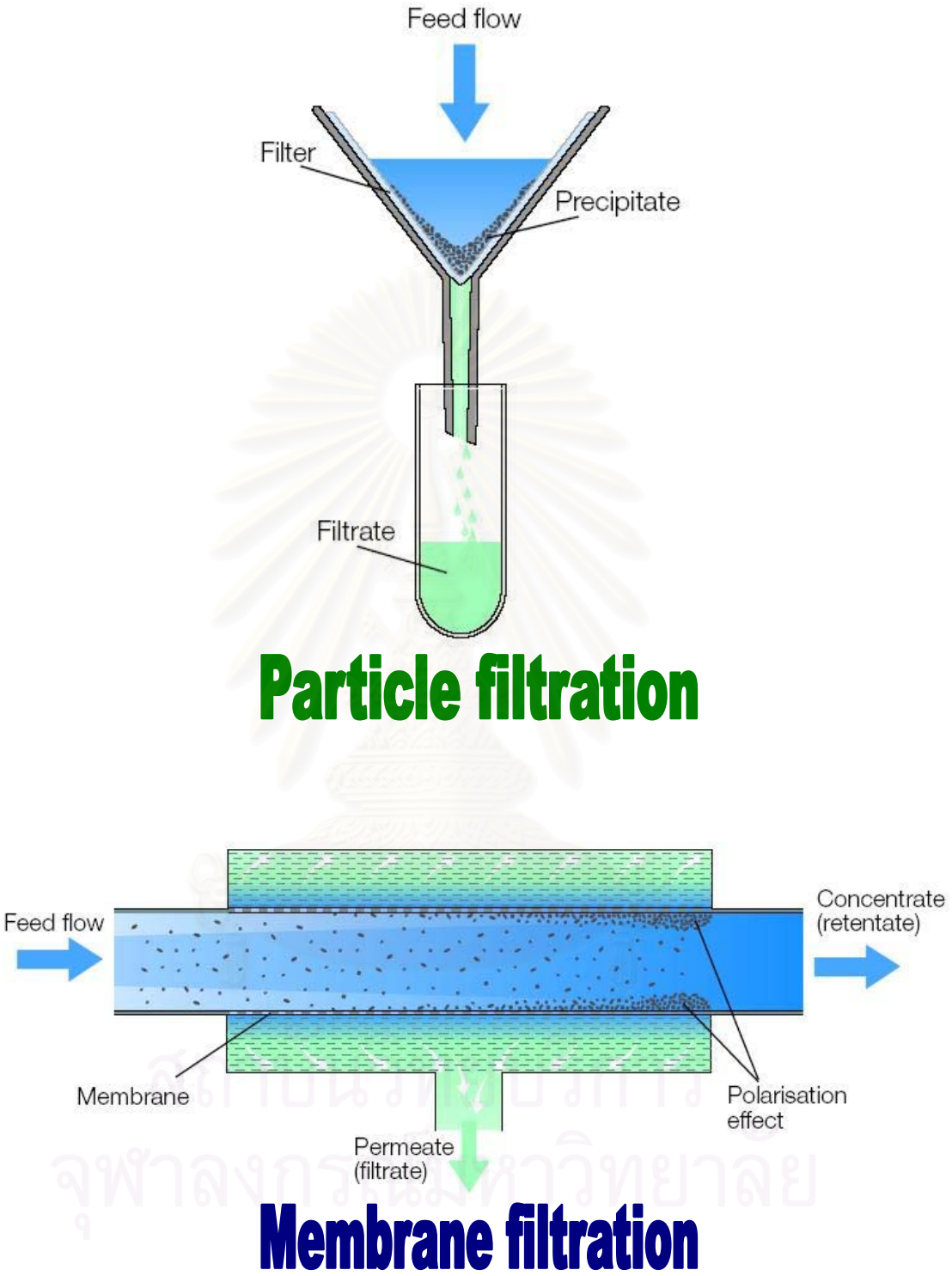
การกรองแบบเก่าหรือแบบดั้งเดิม (traditional, particle filtration) มักใช้การแยกของแข็งออกจากของเหลวอย่างชัดเจน ส่วนใหญ่จะใช้แยกสารที่มีอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 μm ส่วนการกรองแบบใช้แผ่นกรอง (membrane filtration) นั้นจะใช้แยกสารที่มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10^{-4} μm (Renner and Abd El-salam, 1991) ซึ่งความแตกต่างในการกรองของทั้งสองแบบอาจจำลองได้ดังรูปที่ 2.2 และสรุปได้ดังนี้

Particle filtration

เป็นวิธีการที่ใช้กรองแยกของแข็งที่มีอนุภาคใหญ่ออกจากของเหลว โดยใช้แรงดึงดูดของโลก (gravity force) เป็นหลัก ซึ่งอาจใช้ความดันเร่งการกรองได้ ทิศทางของการกรองจะตั้งฉาก (perpendicular) กับ filter และการกรองเกิดขึ้นในระบบเปิด

Membrane filtration

เป็นวิธีการที่ใช้กรองแยกหรือทำให้สารเข้มข้นโดยใช้ขนาดของรูกรอง (pore size) เป็นตัวกรองแยกโดยใช้แรงดัน (pressure force) เป็นตัวขับเคลื่อนหลัก มีทิศทางของการกรองที่ขนาน (parallel) ไปกับ membrane วัสดุที่ใช้ทำ membrane จะเป็นพวก polymer หรือ ceramics และการกรองเกิดขึ้นในระบบปิด



รูปที่ 2.2 การกรองแบบดั้งเดิม (บน) และการกรองโดยใช้แผ่นกรอง (ล่าง)
ที่มา: Bylund (1995)

เทคโนโลยีการประยุกต์การกรองโดยใช้เมมเบรน

Bylund (1995) ได้สรุปการประยุกต์ใช้การกรองด้วย membrane ในอุตสาหกรรมไว้ดังนี้

1. **รีเวอสออสโมซิส** (reverse osmosis:RO)

เป็นการกรองที่ทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้นโดยการกำจัดน้ำออกไป

2. **นาโนฟิลเทรชัน** (nanofiltration:NF)

เป็นการกรองที่ทำให้สารประกอบอินทรีย์เข้มข้นโดยกำจัดพวก monovalent ion บางส่วนออกไป เช่น โซเดียมหรือคลอไรด์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการกำจัดแร่ธาตุออกบางส่วน (partial demineralization)

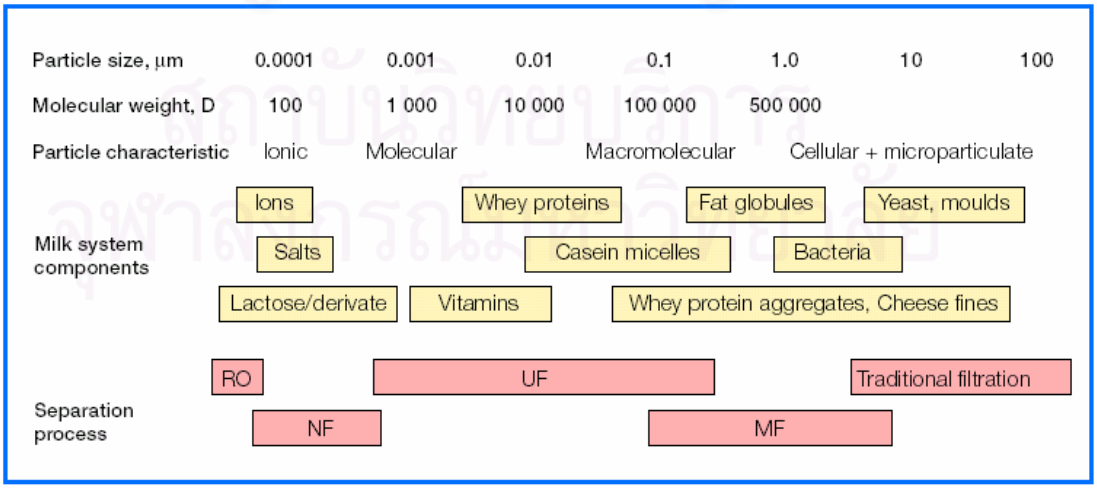
3. **อัลทราฟิลเทรชัน** (ultrafiltration:UF)

เป็นการกรองที่ทำให้สารที่มีอนุภาคใหญ่หรือ macro molecules มีความเข้มข้นมากขึ้น

4. **ไมโครฟิลเทรชัน** (microfiltration:MF)

เป็นการกรองแยกเพื่อกำจัดแบคทีเรียและ macro molecules

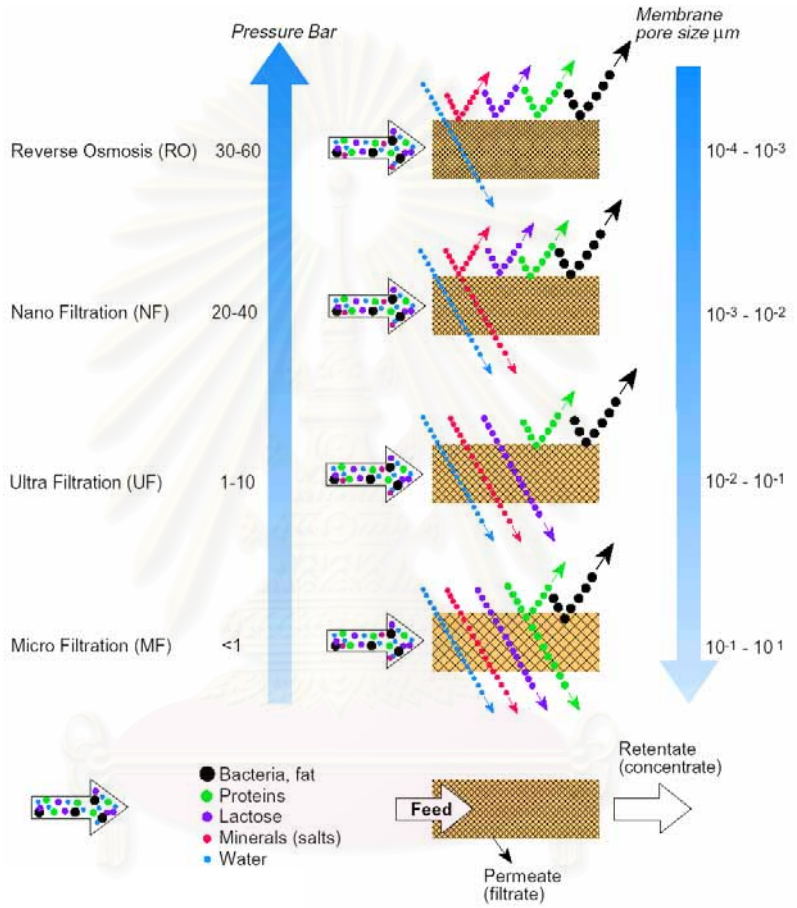
เทคนิคการกรองทั้ง 4 แบบดังกล่าว ถือเป็น membrane filtration ซึ่งสารที่ต้องการกรองจะถูกกรองผ่าน membrane โดยใช้ความดันเป็นตัวขับเคลื่อน โดยที่ retentate จะยังคงอยู่และเข้มข้นขึ้นและส่วน permeate จะถูกแยกออกไปและแผนผังแสดงการใช้งานของ membrane filtration อยู่ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การใช้งานของการกรองโดย membrane วิธีต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมนม

ที่มา: Bylund (1995)

จากรูปจะเห็นว่าการกรองโดยใช้ membrane ในแต่ละแบบมีความสามารถในการกรองหรือแยกสารประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในนมได้ต่างกัน ซึ่งเหตุผลดังกล่าวทำให้สามารถประยุกต์ใช้การกรองโดย membrane ทั้ง 4 ชนิด เพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ กันได้ ซึ่งความสามารถในการกรองโดยทั่ว ๆ ไปของ membrane แต่ละชนิดเพื่อแยกสารประกอบต่าง ๆ หรือแบคทีเรียแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสามารถในการกรองสารประกอบต่าง ๆ ในนมโดยใช้ membrane แต่ละชนิด
ที่มา: Bylund (1995)

การกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน (ultrafiltration:UF) **และการประยุกต์ใช้กับ** whole milk

เป็นกระบวนการกรองแยกหรือทำให้สารเข้มข้นโดยใช้ขนาดของ pore size บน membrane เป็นตัวคัดกรองสารที่ต้องการให้คงอยู่หรือกำจัดสารไม่ต้องการออกไป โดยมีความดันเป็นตัวหลักในการขับเคลื่อนการกรองให้เกิดขึ้น การกรองนี้สามารถกรองแยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight:MW) ในช่วง 10^3-10^6 daltons หรือในช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.001-0.02 µm ได้

Renner and Abd El-salam (1991) ได้ให้นิยามที่เกี่ยวข้องกับการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชันไว้ดังนี้

Retentate/concentrate คือ ส่วนที่ไม่สามารถผ่าน membrane ออกมาได้

Permeate/ultrafiltrate คือ ส่วนที่สามารถผ่าน membrane ออกมาได้

Flux (permeation rate) คือ ปริมาณของ permeate (kg หรือ liter) ต่อพื้นที่ของ membrane (m^2) ต่อเวลา (h)

Concentration factor คือ ปริมาณ หรือ น้ำหนัก ที่ลดลงอันเนื่องมาจากการกรองด้วย UF ซึ่งคำนวณได้จาก ratio ของ ปริมาณ/น้ำหนัก เริ่มแรก ต่อ ปริมาณ/น้ำหนัก สุดท้าย ของ retentate หรือ ratio ของ ความเข้มข้นของส่วนประกอบสุดท้าย ต่อ ความเข้มข้นของส่วนประกอบเริ่มต้น หรือเรียกว่า volumetric concentration factor

Coefficient of retention/rejection คือ ค่าที่บ่งบอกความสามารถของ membrane ในการนำกลับมาของสารที่ต้องการ ภายใต้ปัจจัยในการดำเนินการเฉพาะสภาวะหนึ่ง สามารถคำนวณได้จาก

$$R_i = \frac{C_{ir} - C_{ip}}{C_{ir}} = 1 - \frac{C_{ip}}{C_{ir}}$$

โดยที่ R_i คือ coefficient of retention ของสารประกอบ i

โดยที่ C_{ir} และ C_{ip} คือ ความเข้มข้นของ retentate และ permeate

Molecular weight cut-off คือ น้ำหนักโมเลกุลของส่วนประกอบใน retentate ที่เล็กที่สุดที่ไม่สามารถผ่านรู membrane ที่มีค่า coefficient of retention/rejection = 0.95 ออกไปได้

Membrane fouling คือ การเกิดตะกอนของของแข็งบน membrane ในระหว่างการกรองซึ่งไม่สามารถย้อนกลับ (irreversible) ไปเป็น membrane ที่สมบูรณ์เช่นเดิมได้

Diafiltration คือ การเติมน้ำในสารละลายเริ่มต้นก่อนการกรองเพื่อล้างหรือเจือจางสารประกอบที่เข้มข้นให้สามารถกรองผ่าน membrane ได้ง่ายขึ้น

นมมีส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายมากมาย แต่ในนมมีน้ำตาลแลกโตส ซึ่งผู้บริโภคบางคนไม่มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยน้ำตาลดังกล่าวได้ จึงทำให้เกิดอาการไม่สบายท้อง หรือ lactose intolerance ดังนั้นการประยุกต์ใช้การกรองแบบ UF ในการกรอง whole milk หรือส่วนอื่น ๆ จากนมเพื่อลดปริมาณแลกโตสจึงสามารถช่วยลดปัญหานี้ได้ เนื่องจากอนุภาคของแลกโตสสามารถผ่านรูกรองของ membrane ได้ อีกทั้งการกรองแบบนี้ยังช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามินบางตัวอีกด้วย ความสามารถในการกรอง whole milk ด้วย UF พิจารณาได้จากค่า rejection coefficient ของสารที่ต้องการ (ตารางที่ 2.7) ซึ่ง Yan, Hill and

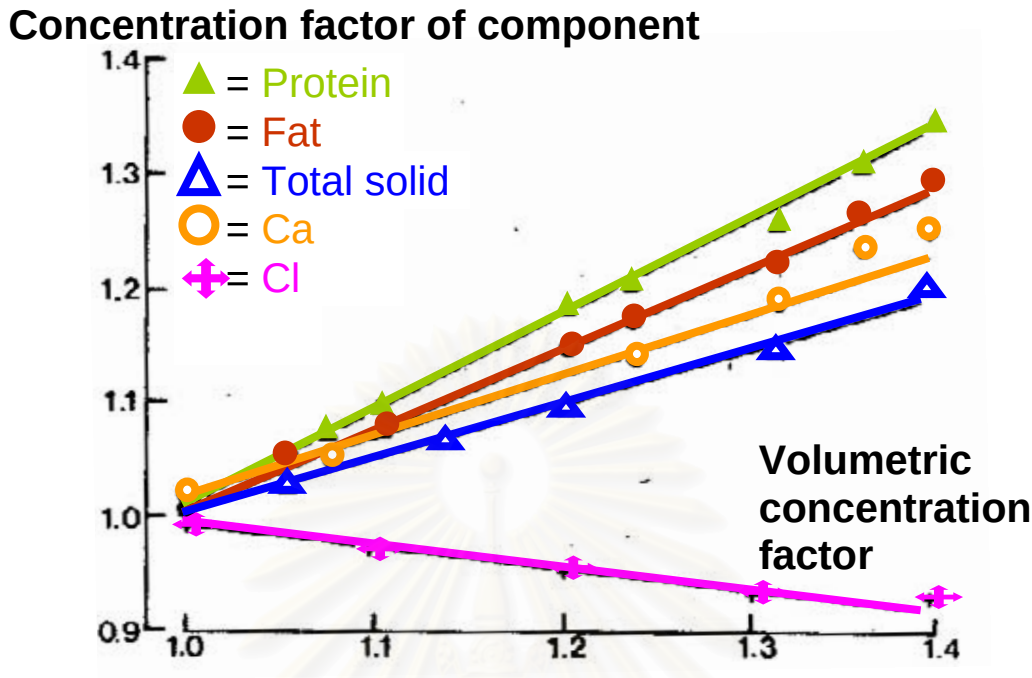
Amundson (1979) ได้ทดลองกรอง whole milk ด้วย UF และพบว่าการกรองแบบดังกล่าวมีค่า rejection coefficient สำหรับโปรตีน และไขมันที่สูงมากคือ 93 และ100 % ตามลำดับ ในส่วนของน้ำตาลแลกโตสมีค่าดังกล่าวนี้เป็น 0 % หมายความว่าแลกโตสสามารถผ่าน membrane ออกไปกับ permeate ได้หมด จึงไม่มีแลกโตสหลงเหลืออยู่ในนมที่ผ่านการกรองแบบ UF อีกส่วนแร่ธาตุมีความสามารถในการนำกลับเพียง 29 % ซึ่งความสามารถในการกรองด้วย UF ช่วยสร้างผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับบุคคลที่มีปัญหา lactose intolerance ได้ นอกจากนี้คุณสมบัติการทำให้ไขมัน และโปรตีนเข้มข้นขึ้น อาจประยุกต์ใช้ในการปรับมาตรฐาน (standardize) ส่วนประกอบของนมเริ่มต้นก่อนนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ หรือประยุกต์ใช้ในการผลิตเวย์โปรตีนเข้มข้น (whey protein concentrates:WPCs) หรือใช้เป็นขั้นตอนเริ่มต้นในการผลิตแลกโตสบริสุทธิ์ได้ อีกทั้งการกรองดังกล่าวยังนิยมนำไปประยุกต์ในการผลิตเนยแข็งชนิดต่าง ๆ เนื่องจากมีส่วนช่วยในการเพิ่มผลผลิต และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดีขึ้นด้วย

ตารางที่ 2.7 ค่าเฉลี่ยของส่วนประกอบใน whole milk ก่อนและหลังผ่านการกรองแบบ UF

Milk components	Composition (%)		Rejection coefficient (%)
	Milk	Permeate	
Protein	3.45	0.25	93
Fat	3.02	0	100
Lactose	4.51	4.50	0
Ash	0.60	0.49	29
Total solids	11.73	5.35	54

ที่มา : Yan et al. (1979)

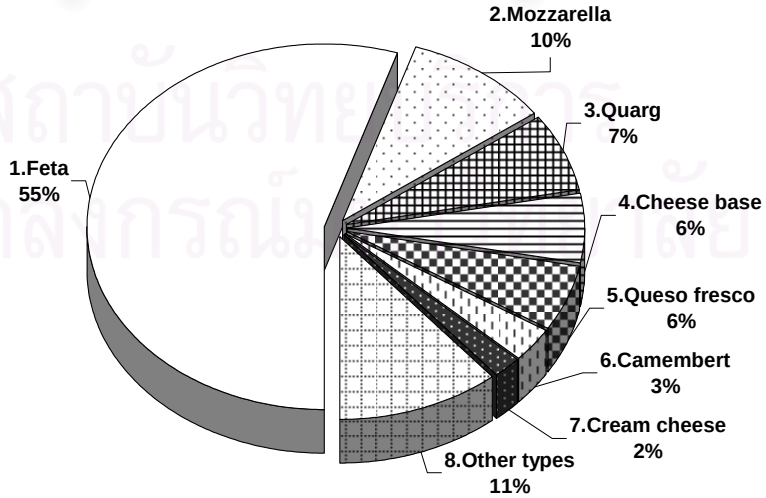
ในการกรอง whole milk ด้วย UF นั้นมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในส่วนประกอบของนมมากมาย ทั้งในส่วนที่ทำให้ส่วนประกอบนั้นเข้มข้นขึ้นและส่วนที่ทำให้เจือจางหรือกำจัดให้หมดไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของ membrane ที่เลือกใช้ประกอบกับลักษณะและขนาดของส่วนประกอบของนมนั้น ๆ ด้วย Bennasar et al. (1982) ศึกษาการกรอง whole milk ด้วย UF พบว่าโปรตีน ไขมัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด และแคลเซียม มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามค่า volumetric concentration factor ที่เพิ่มขึ้น ส่วนคลอไรด์มีปริมาณลดลงตาม volumetric concentration factor ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า concentration factor ในส่วนประกอบของนมบางชนิด และค่าvolumetric concentration เมื่อนำ whole milk มาผ่านการกรองแบบ UF

ที่มา: Bennasar et al. (1982)

จากคุณสมบัติการกรองแบบ UF ดังกล่าวทำให้มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมนมหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตเนยแข็งหลายชนิด ซึ่ง Renner and Abd El-salam (1991) ได้สรุปสัดส่วนทางการตลาดสำหรับเนยแข็งชนิดต่าง ๆ ในการนำการกรองแบบ UF ไปประยุกต์ใช้ได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ส่วนแบ่งทางการตลาดของเนยแข็งชนิดต่าง ๆ ที่ใช้กระบวนการกรองแบบ UF ในการผลิต

ที่มา: Renner and Abd El-salam (1991)

ประโยชน์จากการนำการกรองแบบ ultrafiltration มาใช้ในการผลิตเนยแข็ง

การประยุกต์ใช้การกรองแบบ UF ในการผลิตเนยแข็งได้รับความนิยมเนื่องจากประโยชน์จากหลาย ๆ ด้าน ซึ่ง Renner and Abd El-salam (1991) ได้สรุปไว้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ช่วยลดปริมาตรนมที่จะต้องใช้ในกระบวนการผลิตเนยแข็ง

เมื่อนมผ่านการกรองแบบ UF แล้วจะมีปริมาตรลดลงและมีความเข้มข้นมากขึ้น ยิ่งผ่านการกรองมากเท่าใดปริมาตรของนมก็จะยิ่งน้อยลง ทำให้สามารถจัดการกับนมปริมาตรน้อยลงนั้นได้ง่ายขึ้นและไม่เปลืองเวลาและพลังงานในการจัดการอีกด้วย

ลดขนาดของโรงงานและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

เนื่องจากนมที่ผ่านการกรองแบบ UF แล้วจะมีปริมาตรน้อยลงดังนั้นการจัดการจึงน้อยลงตามไปด้วยทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรต่าง ๆ เช่น แทงก์พักนม เครื่องฆ่าเชื้อ ฯลฯ ที่ใหญ่รองรับนมปริมาตรมาก การจัดการนมก็ใช้เวลาน้อยลง และยังเพิ่มการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

สามารถประยุกต์ใช้การกรองแบบ UF เพื่อปรับมาตรฐานนมเริ่มต้นได้

การกรองแบบ UF สามารถนำสารประกอบในนมโดยเฉพาะโปรตีนและไขมันกลับมาได้เป็นส่วนใหญ่ดังนั้นเมื่อกรองนมไปเรื่อย ๆ จนนมมีปริมาตรลดลงจากตอนเริ่มต้นหลาย ๆ เท่า retentate ที่ได้ก็จะมีไขมันและโปรตีนสูงขึ้นด้วย ซึ่งสามารถนำข้อดีนี้ไปใช้ในการปรับมาตรฐานส่วนประกอบของนมเริ่มต้นก่อนการนำไปผลิตเป็นเนยแข็งได้ เช่นในการผลิตเนยแข็งเฟตตา (Fetta cheese) จะต้องมีการปรับไขมันเริ่มต้นของนมที่จะนำมาใช้ผลิตให้ได้ประมาณ 6.5-8.0 % ก่อน ซึ่งวิธีการปรับเดิมอาจใช้การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันเริ่มต้นแล้วเติมครีมตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้แล้วเพื่อจะให้ได้ปริมาณไขมันดังกล่าว แต่ถ้านำการกรองแบบ UF มาใช้สามารถนำนมเข้าสู่กระบวนการผลิตได้เลยโดยใช้การกรองแบบ UF ในการปรับมาตรฐานไขมันโดยการกรองจนกว่าปริมาณไขมันในนมจะอยู่ในช่วงดังกล่าวแล้วนำไปสู่กระบวนการผลิตเนยแข็งได้เลย

สามารถนำเวย์โปรตีนกลับมาอยู่ในเนยแข็งเพิ่มมากขึ้น

ปกติแล้วขั้นตอนในการผลิตเนยแข็งหลังจากการเติมเอนไซม์เรนเนทเพื่อให้นมตกตะกอนและสร้างลิ่มนม (curd) แล้วตัด curd ที่ได้ซึ่งจะมีน้ำใส ๆ แยกตัวออกมา เรียกว่า เวย์ ซึ่งจะมีเวย์โปรตีน (whey protein) อยู่ การแยกตัวของเวย์โปรตีนนี้จะเกิดขึ้นในปริมาณมากทำให้สูญเสียปริมาณผลผลิตเนยแข็ง และสูญเสียคุณค่าโปรตีนจากเวย์โปรตีนไปด้วย การนำการกรองแบบ UF มาประยุกต์ใช้ในการผลิตเนยแข็งทำให้เวย์โปรตีนเกิดการเสียสภาพและสร้างพันธะ sulphur bridges ระหว่างเวย์โปรตีนกับเคซีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ใน curd ทำให้สามารถนำเวย์

โปรตีนที่เคยสูญเสียไปกลับคืนมาได้มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณผลผลิตเนยแข็งที่ได้เพิ่มมากขึ้นและเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้แก่เนยแข็งที่ได้อีกด้วย

ลดปริมาณเอนไซม์เรนเนทและ starter culture ในการผลิตเนยแข็ง

Mohamed (2001) ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในการผลิตเนยแข็งชนิดหนึ่งที่ชื่อว่า Domiati ซึ่งทำจากนมแพะและเป็น fresh soft white cheese ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับวิธีการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน ได้ผลดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ปัจจัยทางการผลิตที่มีผลต่อการผลิตเนยแข็ง domiati จากนมแพะ ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน

Process	Conventional	Ultrafiltration	% Reduction
Raw milk (kg)	10	10	-
Retentate (kg)	-	2.5	75
Salt used (g)	300 (3% w/w)	50 (2% w/w)	83.3
Starter used (g)	100 (1% w/w)	25 (1% w/w)	75
Rennet used (kg)	2.0	0.35	82.5
Calcium chloride (mg)	2.0 (0.02%)	0.5 (0.5%)	75
Total process time (h)	28-30	4-5	83-85

ที่มา: Mohamed (2001)

พบว่าปริมาณการใช้ starter ในวิธีแบบดั้งเดิมคือ 100 g/10 kg ซึ่งมากกว่าปริมาณการใช้ในวิธีการกรองแบบ UF คือ 25 g/10 kg คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงทั้งนี้เพราะในนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีสารอาหารต่าง ๆ ที่เข้มข้นขึ้นดังนั้น starter จึงนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี โดยไม่จำเป็นต้องใช้ starter เริ่มแรกในปริมาณมาก ส่วนปริมาณการใช้เรนเนท ในวิธีแบบดั้งเดิมคือ 2 kg มากกว่าปริมาณการใช้ในวิธีการกรองแบบ UF เพียง 0.35 kg คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง 82.5 % เนื่องจากเคซีนที่อยู่ในนมเข้มข้นขึ้นเพราะน้ำถูกกำจัดออกไปเป็นส่วนใหญ่ ทำให้เคซีนมีการรวมตัวกันหนาแน่นดีขึ้นและโอกาสที่เรนเนทที่เติมลงไปเพื่อตกตะกอนนมจะเข้าไปตัดพันธะของ k-casien ภายใน casein micelles ตรงระหว่าง Phe_{105} และ Met_{106} ได้เป็น caseinomacropeptide (residues 106-109) ซึ่งเป็นส่วนที่ละลายน้ำ และ para-k-casein (residues 1-105) ซึ่งจะยังคงอยู่ใน micelles และมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำและ

เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดลิ่มนม (curds) ในขั้นตอนต่อ ๆ ไปนั้นมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้ง่ายกว่า ดังนั้นปริมาณเรนเนทที่ใช้จึงน้อยตามไปด้วย

เพิ่มปริมาณผลิต (yield) ให้กับเนยแข็ง

จากที่ได้กล่าวมาเกี่ยวกับความสามารถในการนำเวย์โปรตีนกลับมาในเนยแข็งแล้ว การประยุกต์ใช้กระบวนการกรองแบบ UF กับนมจะทำให้นำเวย์โปรตีนซึ่งเป็นส่วนที่ละลายน้ำและแยกตัวออกจาก curds กลับมาได้ และทำให้ปริมาณผลผลิตในการผลิตเนยแข็งนั้นมากตามไปด้วยเนื่องจากสูญเสียเวย์โปรตีนออกไปน้อยลง โดย Hydamaka et al. (2001) ได้ศึกษาปริมาณผลผลิตและส่วนประกอบในเนยแข็งที่ทำจากนมซึ่งผ่านกระบวนการกรองแบบ UF และพบว่ายิ่งค่า volume concentration ratio มีค่าเพิ่มมากขึ้นเท่าใด % yield และส่วนประกอบในนม เช่น โปรตีน ไขมัน และปริมาณของแข็งทั้งหมด (คิดเทียบเป็น %recovery) ก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบของเนยแข็งที่ผ่านกระบวนการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน

Volume concentration ratio	Yield (%)	Recovery (%)		
		Solid	Protein	Fat
1 : 1	14.0	49.4	88.2	90.4
2 : 1	28.5	68.0	90.1	93.4
3 : 1	43.4	85.9	96.2	98.7
4 : 1	58.7	92.8	101.3	102.8

ที่มา: Hydamaka et al. (2001)

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเนยแข็งโดยการเติมกรดโดยตรง

ขั้นตอนสำคัญในการผลิตเนยแข็งคือขั้นตอนการตกตะกอนนม (ของเหลว) ทำให้ได้ ลิ่มนม (ของแข็ง) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยโปรตีนไขมัน และแร่ธาตุ วิตามินที่สำคัญ ๆ ในนมอีกหลายชนิด การเกิดลิ่มนมโดยทั่วไปนั้นได้จากการทำงานของเอนไซม์ธรรมชาติ และอาจใช้การหมักนมโดยเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลในนมไปเป็นกรดแลกติกร่วมด้วย หรืออาจจะใช้วิธีการ

เติมกรดลงไปในนมโดยตรง (direct acidification) และเนยแข็งที่ผลิตด้วยวิธีนี้มักเป็นประเภท fresh หรือ เป็นเนยแข็งที่ไม่ผ่านการบ่ม ซึ่งมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องดังนี้

ชนิดของเนยแข็งที่ผลิตด้วยวิธีเติมกรดโดยตรง

มีเนยแข็งที่ผลิตขึ้นด้วยวิธีการเติมกรดโดยตรงมากมายหลายชื่อที่ผลิตขึ้นในหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 เนยแข็งที่ผลิตขึ้นด้วยวิธีการเติมกรดโดยตรงในย่านต่าง ๆ

ชื่อของเนยแข็ง	บริเวณ/ประเทศ/ทวีป	ชนิดของนมที่ใช้	สารที่ใช้ตกตะกอน
Armavir	เทือกเขาคอเคซัสตะวันตกระหว่างทะเลสาบแคสเปียนกับทะเลดำ	นมแกะ	นมเปรี้ยว (sour butter milk)
Cecil	อาร์มีเนีย	นมวัว/แกะ	นมเปรี้ยว/เวย์เปรี้ยว/โยเกิร์ต
Chhana	อินเดีย	นมวัว	น้ำมะนาว/กรดแลกติก/กรดซิตริก/calcium lactate/โยเกิร์ต
Kereish	อียิปต์	นมควาย/วัว	นมเปรี้ยว
Kesong Puti	ฟิลิปปินส์	นมควาย	น้ำส้มสายชู
Paneer	อินเดีย/ปากีสถาน	นมควาย/วัว	กรดแลกติก/กรดซิตริก
Queso Blanco	อเมริกาใต้ อเมริกากลาง	นมวัว	น้ำส้มสายชู/น้ำผลไม้
Requeijao	บราซิล	นมวัว	นมเปรี้ยว
Ricotta	อิตาลี	นมวัว(เวย์/นม)	น้ำส้มสายชู
Ziger/Schottenziger	เยอรมัน	นมวัว(เวย์)	น้ำส้มสายชู
Hudelziger/Mascarpone	สวิตเซอร์แลนด์	นมวัว(เวย์)	น้ำส้มสายชู
Recuit/Broccio/ Serac/ Majette/Ceracee	อิตาลี/ยุโรป	นมวัว(เวย์)	น้ำส้มสายชู
Gruau de Montagne	ฝรั่งเศส	นมวัว(เวย์)	น้ำส้มสายชู

ที่มา: Robinson and Tamime (1991)

โดยปกติเนยแข็งที่ผลิตด้วยเทคนิคแบบนี้จะไม่บ่มแต่จะบริโภคทันทีภายใน 2-3 วัน หลังจากผลิต เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนและแร่ธาตุอยู่ในปริมาณสูงแต่มีน้ำตาลแลกโตสต่ำ ทำให้สามารถใช้เป็นอาหารสำหรับผู้ที่ขาดโปรตีนและแพ้น้ำตาลแลกโตสได้เป็นอย่างดี

องค์ประกอบของเนยแข็งที่ได้แต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของนม ปริมาณเกลือที่ใช้ เป็นต้น ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งต่างชนิดที่ผลิตด้วยวิธีการเติมกรดโดยตรง

ชื่อเนยแข็ง	ความชื้น(%)	โปรตีน(%)	ไขมัน(%)	เกลือ(%)	pH
Venezuelan soft Queso Blanco	50.6	19.2	21.4	2.5	5.7
Venezuelan hard Queso Blanc	39.0	24.5	27.4	5.0	5.3
LAW cheese	48.0	24.8	21.0	2.3	5.2
Queso Blanco	55.0	23.0	15.0	2.5	5.2
Paneer(นมควาย)	51.3	17.3	27.0	0	5.4
Chhana(นมวัว)	53.4	17.4	24.8	0	5.7
Mozzarella(นมวัว/ควาย)	54.0	22.1	18.0	0.7	5.2
Mozzarella-low moisture(นมวัว)	47.0	21.0	23.7	1.0	5.2
Cheddar	37.0	25.0	32.2	1.8	5.6

ที่มา: Robinson and Tamime (1991)

ในยุโรป และอเมริกาเหนือพบว่าการผลิตเนยแข็งด้วยวิธีนี้ช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้อย่างมาก นอกจากนั้นเนยแข็งที่ผลิตด้วยวิธีนี้ยังสามารถทนอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดได้ และให้ผลผลิต (yield) สูงใช้เวลาในการผลิตน้อยกว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยวิธีดั้งเดิม

Robinson and Tamime (1991) ได้สรุปประโยชน์ของเนยแข็งที่ผลิตด้วยวิธีนี้ไว้ดังนี้

การผลิตด้วยวิธีการเติมกรดโดยตรงจะช่วยลดเวลาในการผลิต สะดวกและสามารถควบคุมปริมาณและการกระจายตัวของกรดได้ ใช้พื้นที่และแรงงานน้อยกว่า อีกทั้งลดความเสี่ยงจากการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่อาจก่อให้เกิดปัญหาในการผลิต ทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง และเนยแข็งที่ได้มีโปรตีนและแร่ธาตุอยู่ในปริมาณที่สูงแต่มีน้ำตาลแลกโตสที่ต่ำ

มีการศึกษาถึงวิธีการเติมกรดโดยตรงในการผลิตเนยแข็งไว้หลายหัวข้อ ดังนี้

ชนิดของกรดที่ใช้ผลิต

Shehata et al. (1967) ได้ศึกษาการเติมกรดโดยตรงก่อนการเติม rennet ในการผลิต blue cheese โดยใช้กรด phosphoric, กรด hydrochloric, กรด lactic และกรด citric พบว่า ปริมาณแคลเซียมในเนยแข็งที่เติมกรด phosphoric มีค่าสูงและมีนัยสำคัญ ส่วนเนยแข็งที่เติมกรด citric มีปริมาณแคลเซียมต่ำสุด และเนยแข็งที่เติมกรด phosphoric และ hydrochloric มีความชื้นต่ำและมีความแน่นเนื้อมากกว่าเนยแข็งที่เติมกรด lactic หรือกรด citric และ Quarne et al. (1968b) ได้ศึกษาถึงการเติมกรดชนิดต่าง ๆ (hydrochloric, phosphoric และ lactic acid) และการตกตะกอนนมด้วยเอนไซม์ต่าง ๆ (pepsin, veal rennet และ commercial fungal rennet) ในการผลิต pizza cheese โดยการเติมกรดโดยตรงและมีการกวนผสมอย่างต่อเนื่อง พบว่า % recovery of milk solid-not-fat (SNF) ของเนยแข็งที่ผลิตโดยการเติมกรด phosphoric มีค่าสูงสุด ส่วนชนิดของกรดไม่มีผลต่อ % recovery of milk fat และชนิดของเอนไซม์ไม่มีผลต่อ % recovery of milk fat and SNF ต่อมา Keller, Olson and Richardson (1974) ได้ศึกษาการเติมกรดโดยตรง ในการผลิต mozzarella cheese ด้วยกรด phosphoric, กรด acetic, กรด hydrochloric, กรด malic หรือกรด citric จน pH มีค่า 5.6, 5.4 หรือ 5.2 ก่อนการเติม rennet พบว่าค่าความชื้น เกลือแร่ และลักษณะทางกายภาพของเนยแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามชนิดของกรดและค่า pH ที่ใช้ในการตกตะกอน เนยแข็งที่ได้มีกลิ่นรสค่อนข้างอ่อนแต่กลับมีรสขม ทั้งนี้ยังพบว่าที่ pH ในการตกตะกอนต่ำ ๆ จะทำให้เนยแข็งที่ได้มีความชื้นสูงกว่าด้วย

สภาวะและวิธีการเติมกรด

Quarne et al. (1968a) ได้ศึกษาถึงปริมาณ fat recovery และ SNF ในการผลิต pizza cheese โดยกระบวนการผลิตต่าง ๆ คือ 1) traditional procedure (TP) 2)direct acidification with continuous agitation during coagulation of milk (DACA) 3) direct acidification and cutting after coagulation (DAC) พบว่า % recovery of milk fat เรียงจากมากไปน้อยตามวิธีผลิตดังนี้ TP>DACA>DAC ส่วน % recovery of milk SNF เรียงจากมากไปน้อยตามวิธีผลิตดังนี้ TP>DAC>DACA และ % yield เรียงจากมากไปน้อยตามวิธีผลิตดังนี้ TP>DAC>DACA และ Demott (1983) ได้ศึกษาถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเติมกรดต่อปริมาณ fat recovery ในนมดิบ นม reconstituted และ ครีม ที่ใช้ทำ mozzarella cheese พบว่าที่อุณหภูมิการเติมกรดที่ 4^0C ให้ปริมาณ fat recovery ที่มากกว่าที่อุณหภูมิ 35^0C

ผลของการเติมกรดโดยตรงที่มีต่อเนยแข็ง

Breene, Price and Ernstrom (1964) พบว่าการเติมกรดโดยตรงในการผลิตเนยแข็งทำให้ pizza cheese ที่ได้มีความสามารถในการหลอมละลายต่ำ (poor meltability) Keller et al. (1974) ได้ศึกษาถึงปริมาณแคลเซียมที่มีในเนยแข็ง (calcium retention) ระหว่างการตกตะกอนที่มีต่อคุณสมบัติการหลอมละลายของ mozzarella cheese พบว่าเมื่อใดที่ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นความสามารถในการหลอมละลายของเนยแข็งก็จะยิ่งต่ำลง นอกจากนั้น Mahoney, Lazaridis and Rosenau (1982) ได้ศึกษาพบว่าความสามารถในการหลอมละลายยังขึ้นอยู่กับขนาดของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ คือ ยิ่งขนาดของโปรตีนเล็กลงเท่าไร ความสามารถในการหลอมละลายของเนยแข็งก็จะมากขึ้นด้วย แต่ถ้าปล่อยให้เกิดการย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลงจนมากเกินไปเนยแข็งที่ได้จะมีลักษณะแข็ง เป็นเม็ดร่วน และมีรสขม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

นมดิบจากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

น้ำเวย์จากกระบวนการผลิตเนยแข็งเช็ดด้าร์จากโรงเนยแข็ง โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

Anhydrous milk fat (AMF) ของบริษัท Glory Chain จำกัด สำหรับปรับมาตรฐาน (ไขมันนม 99.5%)

หางนมผงจากโรงนมผง โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา สำหรับปรับมาตรฐาน (ไขมัน 0.55% โปรตีน 32.7% ความชื้น 3.9%)

เอนไซม์เรนเนท ของบริษัท CHR-HANSEN ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงเนยแข็งโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา (100% chymosin, activity: 2156 IMCU/g)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำนมและน้ำเวย์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทั้งหมด

เครื่อง Milko-scan (Milko-scan, 130 series)

Water bath (Memmert, W-350)

เครื่อง pH-meter (Suntex, SP-7)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)

ตู้เขี่ยเชื้อ (ISSCO, BVT-123)

Autoclave (Tomy, SS-320)

Colony counter (Gallenkamp)

Hot air oven (Memmert, model 600)

Incubator (WTC Binder)

เตาอบไมโครเวฟ (Daewoo, KOR-63D7)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองแบบ ultrafiltration

ชุดเครื่องกรองแบบ ultrafiltration (Millipore, Pellicon 2)

10 liters glass tank

Membrane pore size = 0.1 μm

Membrane surface area = 0.37 m^2

Recirculation flow = 240 l/h

เครื่องตั้งอยู่ที่ห้อง processing laboratory ภายในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในเตรียมตัวอย่างนม

เครื่อง homogenize (APV Rannie, LAB 22.51)

เครื่อง pasteurize (APV Baker, T4RGS)

เครื่องผสมและอุ่นนม (Carpigiani, Pastomaster 60 tronic DGT)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเนยแข็ง Fetta

Hot plate (E.G.O., 12670)

แม่พิมพ์เนยแข็งรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่าง 7.5 ซม. ด้านบน 9.5 ซม. สูง 12 ซม.

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของเนยแข็ง Fetta

เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter, CR 300 series)

Texturometer (Stable Micro System Texture Analyzer, TA-xT2i)

ชุดเครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldatherm and Vapodest I, Gerhardt, KT 85)

ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (Gerber Apparatus)

ชุดเครื่องมือวิเคราะห์เกลือ

เครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Spectr AA-300, Varian) ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Muffle furnace (Carbolite, CWF-1200)

เครื่อง pH-meter (Suntex, SP-7)

สารเคมี

การกรองแบบ ultrafiltration

น้ำ reverse osmosis:RO	
Sodium hydroxide	(A.R)
Sodium hydroxide	(Industrial grade)

การผลิตเนยแข็ง Fetta

Calcium chloride	(A.R)
Lactic acid ความเข้มข้น 3 M.	(A.R)
Phosphoric acid ความเข้มข้น 3 M.	(A.R)
Acetic acid ความเข้มข้น 3 M.	(A.R)
Sodium chloride	(A.R)

วิเคราะห์คุณสมบัติของเนยแข็ง Fetta

Sulfuric acid	(A.R)
Hydrochloric acid	(A.R)
Boric acid	(A.R)
Sodium hydroxide	(A.R)
Methylene blue	(A.R)
Methyl red	(A.R)
Ethanol	(A.R)
Selenium reagent mixture	(A.R)
Sulfuric acid	(A.R)
Amyl alcohol	(A.R)
Silver nitrate	(A.R)
Nitric acid	(A.R)
Potassium permanganate	(A.R)
Nitrobenzene	(A.R)
Saturated ferric ammonium sulfate	(A.R)
Potassium thiocyanate	(A.R)
Nitric acid	(A.R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Lanthanum (La_2O_3)	(A.R)
Calcium carbonate	(A.R)
Aerobic count plate (แบบแผ่น petrifilm)	(3 M)
Coliform and *E.coli* (แบบแผ่น petrifilm)	(3 M)
Plate count agar	(Merck Co., Ltd)
Potato dextrose agar	(Merck Co., Ltd)

วิธีวิเคราะห์

คุณสมบัติทางจุลินทรีย์ของน้ำนมดิบ

Aerobic count plate	ตามวิธีของ AOAC (1995)
(แบบแผ่น petrifilm)	(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.8)
Coliform and *E.coli* count plate	ตามวิธีของ AOAC (1995)
(แบบแผ่น petrifilm)	(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.9)

คุณสมบัติทางกายภาพของเนยแข็ง Fetta

ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System Texture Analyzer, TA-xT2i)

ค่าสี โดยใช้เครื่อง Minolta Chroma Meter (Minolta Chroma Meter, CR 300 series)

คุณสมบัติทางเคมีของเนยแข็ง Fetta

ปริมาณความชื้น	ตามวิธีของ Kosikowski (1982) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1)
ปริมาณไขมัน	ตามวิธีของ Richardson (1985) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.3)
ปริมาณโปรตีน	ตามวิธีของ Kosikowski (1982) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2)
ปริมาณเกลือ	ตามวิธีของ Kosikowski (1982) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ Marshall (1992)
(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5)

ปริมาณแคลเซียม ตามวิธีของ AOAC (1995)
(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6)

คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของเนยแข็ง Fetta

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ DiLiello (1982)
(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.10)

จำนวนยีสต์และรา ตามวิธีของ DiLiello (1982)
(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.11)

วิธีทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ด้วยวิธี modified flavour profile with scoring (International Dairy Federation:IDF standard, 1987) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 5 คน ซึ่งเป็นพนักงานประจำงานควบคุมคุณภาพ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ใช้แบบทดสอบแบบ scoring test ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบ จะตัดเนยแข็ง Fetta ที่มีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 18±2^{0}C ให้มีขนาด 3×3×2 ซม. เสิร์ฟในถาดสีขาวพร้อมกับน้ำดื่ม ครั้งละ 3 ตัวอย่าง ให้ผู้ทดสอบให้คะแนนตามแบบประเมินในภาคผนวก ข.

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของนมและเวย์

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (%ไขมัน %โปรตีน %แลกโตส %ของแข็งทั้งหมด:total solid;TS และ%ของแข็งไม่รวมไขมัน:solid non fat;SNF) ของนมและ whey ด้วยเครื่อง Milko-scan ค่า pH ด้วย pH-meter จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตรวจหา coliform bacteria และตรวจหา *E.coli*

หลังจากที่ทราบองค์ประกอบของนมและ whey แล้ว นำค่าไขมันและโปรตีนที่ได้ไปใช้ในการคำนวณเพื่อปรับมาตรฐานองค์ประกอบของนมที่จะนำไปผลิตเนยแข็ง Fetta ในการทดลองนี้ใช้นม 3 ชนิดคือ นมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน นมดิบ และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างนมแต่ละชนิดดังนี้

1. วิธีเตรียมตัวอย่างนมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน

นมดิบจากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาที่ผ่านการวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้น

↓

homogenize ที่อุณหภูมิ 60^{0}C ความดัน 18 MPa pasteurize ที่อุณหภูมิ 72^{0}C เป็นเวลา 15 วินาที ลดอุณหภูมินมลงเป็น 50^{0}C

↓

กรองแบบอัลทราฟิลเทรชันจนมี concentration factor เท่ากับ 3:1

↓

นำ retentate ที่ได้มา homogenize ที่อุณหภูมิ 50^{0}C ความดัน 5 MPa ตามด้วยการ pasteurize ที่อุณหภูมิ 77^{0}C เป็นเวลา 60 วินาที แล้วลดอุณหภูมินมเหลือเพียง 4^{0}C แล้วนำไปผลิตเป็นเนยแข็งตามแผนภูมิในหัวข้อ 3.2

2. วิธีเตรียมตัวอย่างนมดิบ

นมดิบจากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาที่ผ่านการวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้น

↓

ปรับให้มีไขมันและโปรตีนอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับ
ตัวอย่างนมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน CF 3:1
โดยใช้นมดิบ, anhydrous milk fat(AMF) และ skim milk powder(SMP)

↓

homogenize ที่อุณหภูมิ 60^{0}C ความดัน 18 MPa
ตามด้วยการ pasteurize ที่อุณหภูมิ 72^{0}C เป็นเวลา 15 วินาที
แล้วลดอุณหภูมินมให้เหลือ 4^{0}C แล้วนำไปผลิตเป็นเนยแข็งตามแผนภูมิในหัวข้อ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ ถึงแม้จะเป็นนมที่ปรับค่ามาตรฐานไขมันและโปรตีนในที่นี้แล้วก็ตาม แต่ในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าเป็นนมดิบตลอดไป

3. **วิธีเตรียมตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน**

น้ำเวย์ที่ได้มาจากกระบวนการผลิตเนยแข็งเช็ดด้าร์
จากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

↓

กรองด้วยผ้ากรองเอาโปรตีนหรือไขมันที่มีอนุภาคใหญ่ออกแล้วลดอุณหภูมิมาที่ 0-5^{0}C

↓

เติม calcium chloride 1.2 กรัม/เวย์ 1 ลิตร ปรับ pH ให้ได้ 7.3 ด้วยสารละลาย
NaOH 6N อุ่นเวย์ให้มีอุณหภูมิ 72 ^{0}C เป็นเวลา 60 วินาที

↓

กรองด้วยกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 15 µm

↓

กรองแบบอัลทราฟิลเทรชันจนมี concentration factor เท่ากับ 10:1

↓

ตัวอย่างเวย์ที่ได้และนมดิบจากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาจะถูกวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้น เมื่อทราบส่วนประกอบของทั้งสองส่วนแล้ว เวย์ CF 10 :1 และนมดิบจะถูกนำมาผสมกันในอัตราส่วน 10:90 แล้วปรับมาตรฐานองค์ประกอบ (standardization) ด้วย AMP และ SMP ให้มีไขมันและโปรตีนอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับ
ตัวอย่างนมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชัน CF 3:1

↓

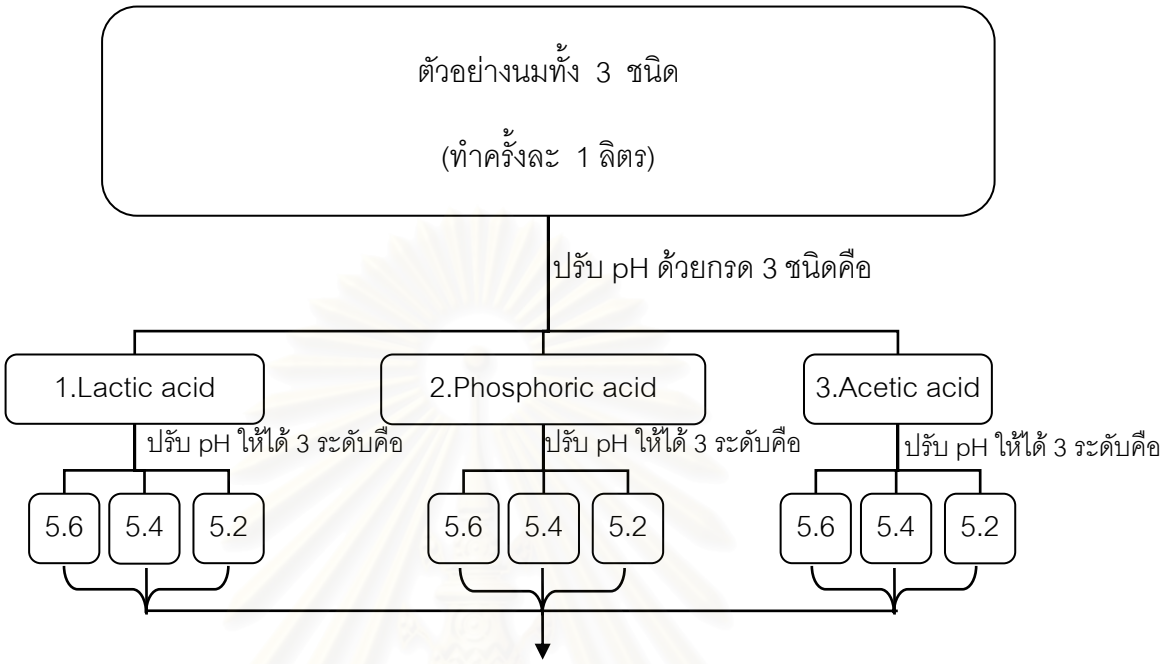
homogenize ที่อุณหภูมิ 60^{0}C ความดัน 18 MPa
ตามด้วยการ pasteurize ที่อุณหภูมิ 72^{0}C เป็นเวลา 15 วินาที
ลดอุณหภูมิเป็น 4^{0}C แล้วนำไปผลิตเป็นเนยแข็งตามแผนภูมิในหัวข้อ 3.2

<u>หมายเหตุ</u> ถึงแม้จะมีการปรับค่ามาตรฐานไขมันและโปรตีนในที่นี้แล้วก็ตามแต่ในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าเป็นนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรองแบบอัลทราฟิลเทรชันตลอดไป

3.2 **ศึกษาหาซนิดของกรดและpH ของนมหลังการเติมกรดที่เหมาะสมในการผลิต เนยแข็ง** Fetta

เมื่อเตรียมตัวอย่างนมทั้ง 3 ชนิดแล้ว นำมาผลิตเป็นเนยแข็ง Fetta ด้วยวิธีการเติมกรดลงไปโดยตรง ใช้กรด 3 ชนิด คือกรด lactic phosphoric และ acetic acid ความเข้มข้น

3 M และในการเติมกรดแต่ละชนิดจะแปร pH 3 ระดับคือ 5.6 5.4 และ 5.2 แล้วนำนมที่ได้ไปผลิตเนยแข็งด้วยขั้นตอนดังแผนภูมิดังต่อไปนี้



ตัวอย่างที่ผ่านการปรับ pH แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิ 30-35 ^{0}C
พร้อมกับเติม calcium chloride 0.5 g/นม 1 กก.

↓

เติม rennet ปริมาณ 0.05 g/นม 1 กก. ทิ้งไว้ 30 นาที

↓

ตัด curd เป็นรูปลูกบาศก์ (2-3 cm^{3}) ทิ้งไว้ 20 นาที

↓

drain whey ทิ้งแล้วนำ curd grains ที่ได้มาใส่ลงในแม่พิมพ์ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง
ด้านล่าง 7.5 ซม. ด้านบน 9.5 ซม. สูง 12 ซม. ทิ้งแม่พิมพ์ไว้ที่อุณหภูมิ 12^{0}C 24 ชั่วโมง

↓

แกะเนยแข็งออกจากแม่พิมพ์และบรรจุในโหลพลาสติก
เติมสารละลายเกลือ NaCl ความเข้มข้น 22% ให้ท่วม
แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4^{0}C เป็นเวลา 4 วัน

↓

เปลี่ยนเนยแข็งลงในโหลพลาสติกใบใหม่ เติมสารละลายเกลือ NaCl ความเข้มข้น 5%
แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4^{0}C เป็นเวลา 3 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำเนยแข็งที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนัก (g) %ความชื้น %ของแข็งทั้งหมด cheese dry matter (g) ค่า hardness (N) %yield %yield at 55%MC %ไขมัน %โปรตีน pH %เกลือ %เถ้า ปริมาณแคลเซียม (mg/100g) และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g) วางแผนการทดลองแบบ 3^3 factorial in completely randomized design ทดลอง 2 ซ้ำ โดยมี ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดของตัวอย่างนมได้แก่ นมดิบ นมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ ultrafiltration และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ ultrafiltration ปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดของกรด ได้แก่ lactic acid phosphoric acid และacetic acid ปัจจัยที่ 3 คือ ระดับ pH ของนมหลังการเติมกรด ได้แก่ pH 5.6 5.4 และ5.2

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

เลือกชนิดของกรดและระดับของ pH ที่เหมาะสมที่สุดหลังจากผลิตเป็นเนยแข็งเฟตตา โดยดูจากคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยา

3.3 ศึกษาคุณภาพและอายุการเปลี่ยนแปลงของเนยแข็งเฟตตา ที่ได้จากการเติมกรดโดยตรงในตัวอย่างนมทั้ง 3 ชนิด

นำชนิดของกรดและระดับของ pH ที่เลือกไว้มาผลิตเป็นเนยแข็งเฟตตาโดยใช้วัตถุดิบนม 3 ชนิดคือ นมดิบ นมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ ultrafiltration และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ ultrafiltration เมื่อมีอายุการเก็บ 3 30 60 120 และ180 วัน นำไปวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้ น้ำหนัก (g) %ความชื้น %ของแข็งทั้งหมด cheese dry matter (g) ค่า hardness (N) %yield %yield at 55%MC ค่าสี %ไขมัน %โปรตีน pH %เกลือ %เถ้า ปริมาณแคลเซียม (mg/100g) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g) และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ด้วยวิธี modified flavour profile with scoring (International Dairy Federation:IDF standard, 1987) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.)

วางแผนการทดลองแบบ 5×3 factorial in completely randomized design ทดลอง 2 ซ้ำ โดยมี ปัจจัยที่ 1 คือ อายุการเก็บที่เวลา 3 30 60 120 และ180 วัน ปัจจัยที่ 2 คือ เนยแข็งที่ผลิตจากวัตถุดิบนม 3 ชนิด

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติของนมดิบและเวย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

วิเคราะห์คุณภาพขององค์ประกอบ และตรวจสมบัติทางเคมีและทาง จุลชีววิทยาของน้ำนมและเวย์ก่อนนำไปกรองแบบ UF หรือก่อนนำไป standardize เพื่อใช้ในการผลิต Fetta cheese ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางด้านเคมีและจุลชีววิทยาของนมดิบและเวย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

องค์ประกอบและสมบัติ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	นมดิบ	เวย์
ไขมัน (%wet basis)	4.00 ± 0.05	0.39 ± 0.01
โปรตีน (%wet basis)	2.85 ± 0.02	1.61 ± 0.02
แลกโตส (%wet basis)	4.75 ± 0.03	5.33 ± 0.02
ของแข็งทั้งหมด (%wet basis)	12.22 ± 0.02	6.36 ± 0.02
ของแข็งไม่รวมมันเนย (%wet basis)	8.31 ± 0.02	4.62 ± 0.02
pH	6.53 ± 0.03	5.98 ± 0.04
จุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	4.90 ± 0.37	6.47 ± 0.12
Coliform bacteria (cfu/g)	0	0
E.coli (cfu/g)	0	0

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

จากผลการวิเคราะห์ พบว่านมดิบมีสมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยาที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 265 (พ.ศ.2545) เรื่อง นมโค คือ มีไขมันไม่น้อยกว่า 3.2% โปรตีนไม่น้อยกว่า 2.8% ของแข็งไม่รวมมันเนยไม่น้อยกว่า 8.25% และมีจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 50,000 (cfu/g) ไม่ปรากฏ coliform bacteria หรือ *E.coli* ส่วนใน

ตัวอย่างเวย์พบว่ามีปริมาณไขมัน โปรตีน ของแข็งทั้งหมด และของแข็งไม่รวมมันเนยที่น้อยกว่าในนมดิบ ทั้งนี้เป็นเพราะเวย์เป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเนยแข็ง จึงทำให้เหลือปริมาณองค์ประกอบดังกล่าวน้อยลง แต่จะสังเกตเห็นว่าเวย์จะมี pH ต่ำและปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าในนมดิบ ทั้งนี้เพราะในการผลิตเนยแข็งมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์เพื่อให้ได้กลิ่นรสที่จำเพาะในเนยแข็ง จึงทำให้เวย์มี pH ต่ำลงและมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าในนมดิบ

4.2 สมบัติของนมดิบและเวย์หลังผ่านการกรองแบบ UF

วิเคราะห์คุณภาพขององค์ประกอบ และตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของนมดิบและเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF CF 3:1 และ 10:1 ตามลำดับ เพื่อใช้ในการผลิต Fetta cheese ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางด้านเคมีของนมดิบและเวย์หลังผ่านการกรองแบบ UF

องค์ประกอบและสมบัติ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	นมดิบหลังกรอง (CF 3:1)	เวย์หลังกรอง (CF 10:1)
ไขมัน (%)	7.09 ± 0.07	1.74 ± 0.02
โปรตีน (%)	6.40 ± 0.07	2.46 ± 0.03
แลกโตส (%)	4.49 ± 0.05	4.66 ± 0.04
ของแข็งทั้งหมด (%)	18.67 ± 0.06	9.56 ± 0.05
ของแข็งไม่รวมมันเนย (%)	11.59 ± 0.11	7.82 ± 0.05
pH	6.62 ± 0.01	6.37 ± 0.06

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ภายหลังจากนำนมดิบและเวย์ไปกรองแบบ UF ที่ concentration factor:CF 3:1 และ 10:1 ตามลำดับ พบว่าทั้งนมดิบและเวย์มี %ไขมัน %โปรตีน รวมทั้ง%ของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่มี %แลกโตสลดลง ทั้งนี้เพราะไขมันและโปรตีนไม่สามารถผ่านแผ่นกรอง (molecular weight cut off $\approx$ 10,000 dalton) ออกมาได้ ทำให้มีการกรองกลับไขมันและโปรตีนในนมและเวย์เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีองค์ประกอบดังกล่าวสูงขึ้น แต่แลกโตสสามารถผ่านแผ่นกรองไปได้ปริมาณที่เหลืออยู่ใน retentate จึงน้อยลง

4.3 สมบัติของนมที่ปรับมาตรฐานแล้ว เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเนยแข็งเฟตตา

วิเคราะห์คุณภาพขององค์ประกอบ และตรวจสอบสมบัติทางเคมีและจุลชีววิทยาของนมดิบหลังปรับมาตรฐาน นมดิบหลังกรองแบบ UF ที่ CF 3:1 และนมดิบผสมเวย์ที่กรองแบบ UF ที่ CF 10:1 แล้วปรับมาตรฐานก่อนนำไปผลิต Fetta cheese ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางด้านเคมีและจุลชีววิทยาของนมที่ปรับมาตรฐานแล้ว เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเนยแข็งเฟตตา

องค์ประกอบและสมบัติ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	นมดิบหลังปรับมาตรฐาน	นมดิบหลังกรองแบบ UF (CF 3:1)	นมดิบผสมเวย์ที่กรองแบบ UF(90:10)แล้วปรับมาตรฐาน
ไขมัน (%)	$6.67^{b} \pm 0.05$	$7.09^{a} \pm 0.07$	$6.17^{c} \pm 0.04$
โปรตีน (%)	$5.90^{b} \pm 0.06$	$6.40^{a} \pm 0.07$	$5.89^{b} \pm 0.07$
แลกโตส (%)	$9.62^{a} \pm 0.08$	$4.49^{c} \pm 0.05$	$8.49^{b} \pm 0.10$
ของแข็งทั้งหมด (%)	$23.03^{a} \pm 0.04$	$18.67^{c} \pm 0.06$	$22.77^{b} \pm 0.04$
ของแข็งไม่รวมมันเนย (%)	$16.32^{b} \pm 0.02$	$11.59^{c} \pm 0.11$	$16.58^{a} \pm 0.06$
pH	$6.52^{b} \pm 0.01$	$6.62^{a} \pm 0.01$	$6.49^{b} \pm 0.01$
จุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	3.27 ± 0.08	3.58 ± 0.06	4.55 ± 0.15

a, b, c ตัวอักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์น้ำนมดิบที่ผ่านการกรองแบบ UF ที่ CF 3:1 แล้ว ได้กำหนดให้ %ไขมัน และ %โปรตีน ของตัวอย่างนี้เป็นค่ามาตรฐานเพื่อใช้ในการปรับองค์ประกอบในน้ำนมดิบ (ที่ไม่ได้กรองแบบ UF) และนมดิบผสมเวย์ที่กรองแบบ UF ที่ CF 10:1 เพื่อให้ได้ค่า %ไขมัน และ %โปรตีน ใกล้เคียงกัน และเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วน %ไขมัน/ %โปรตีน (F/P ratio) ประมาณ 1-1.1 (Robinson and Tamine, 1991) ซึ่งถ้านำค่า%ไขมัน และ %โปรตีน จากตารางที่ 4.3 มาคำนวณหา F/P ratio ในตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด จะได้ค่าดังนี้ นมดิบที่ปรับมาตรฐานมีค่า 1.13 นมดิบที่กรองแบบ UF มีค่า 1.11 นมดิบผสมเวย์ที่กรองแบบ UF แล้วปรับมาตรฐานมีค่า 1.04 และพบว่า %แลกโตส ของตัวอย่างนมดิบที่กรองแบบ UF มีค่าน้อยที่สุดเนื่องจากแลกโตส

สามารถผ่านแผ่นกรองแบบ UF ได้ ส่วนในตัวอย่างนมดิบผสมเวย์ที่กรองแบบ UF แล้ว standardization นั้นถึงจะมีการผสมกับเวย์ที่มีการกรองแบบ UF แต่สัดส่วนในการผสมในนมก่อนทำ standardization มีเพียงแค่ 90:10 โดยมีเวย์ที่กรอง UF เพียงแค่ 10 ส่วนเท่านั้น และในตัวอย่างนมดิบผสมเวย์ที่กรองแบบ UF แล้ว standardization มี pHต่ำ และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าใน 2 ตัวอย่างที่เหลือ เนื่องจากเวย์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็น by-product จากการผลิตเนยแข็งเช็ดด้าร์ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ที่มีการเติมเชื้อ lactic acid bacteria ซึ่ง Robinson and Wilbey (1998) ได้รายงานว่าเชื้อดังกล่าวจะสร้างกรด lactic เป็นหลักและจะให้ค่า acidity ในเวย์อยู่ที่ประมาณ 0.20-0.24% และค่า pH ที่ 6.05-6.10 จึงทำให้ตัวอย่างนมดิบผสมเวย์ที่กรองแบบ UF แล้ว standardization มี pH ต่ำและมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ

4.4 ศึกษาหาชนิดของกรดและ pH ของนมหลังการเติมกรดที่เหมาะสมในการผลิต เนยแข็ง Fetta

การผลิตเนยแข็ง Fetta ในการทดลองนี้ใช้ตัวอย่างวัตถุดิบ 3 ชนิดคือ นมดิบที่ปรับมาตรฐาน (raw milk) นมดิบที่กรองแบบ UF CF 3:1 (UF milk) และนมดิบผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF CF 10:1 แล้วปรับมาตรฐาน (raw milk+UF-whey) และลด pH ด้วยการเติมกรดโดยตรง 3 ชนิด ได้แก่ lactic acid phosphoric acid และ acetic acid และมีปรับ pH 3 ระดับคือ pH 5.2 pH 5.4 และ pH 5.6 ตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 3.1 และ3.2 แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ตามหัวข้อวิธีวิเคราะห์ในบทที่ 3

พบว่าการปรับ pH ไปที่ 5.2 และ 5.4 ในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจาก raw milk+UF-whey ให้ผลผลิตน้อยมากจนไม่สามารถทำเป็นเนยแข็งได้ อีกทั้งให้ลิ่มนมที่มีลักษณะอ่อนนิ่มและเละเกินไป ดังนั้นการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่เคยวางแผนการทดลองแบบ 3^3 factorial in completely randomized design จึงต้องตัดปัจจัยที่ 1 (ชนิดของนม) คือตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ UF ออกไป เป็นการวางแผนการทดลองแบบ 2×3×3 factorial in completely randomized design แต่ยังคงแสดงค่าเฉลี่ยสำหรับสมบัติด้านต่าง ๆ ของตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจาก raw milk+UF-whey ที่ pH 5.6 ได้ โดยไม่มีการวิเคราะห์ความแตกต่าง

เนื่องจากการทำ UF ทำให้เกิดการเสียสภาพ (denaturation) ของเวย์โปรตีน (Renner and Abd El-salam, 1991) ซึ่งจะขัดขวาง (blocking) การเชื่อมข้ามหรือเชื่อมต่อกันของ casein micelles ที่จะมารวมตัวกันสร้างเป็นร่างแหของโปรตีนเจลในลิ่มนม (curds) และ Hinrichs (2001) ได้พบว่าปริมาณเวย์โปรตีนที่เสียสภาพมากขึ้นจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณ caseins ที่มากขึ้น แล้วทำให้เกิด blocking มากขึ้น ซึ่งนอกจากจะหน่วงเหนี่ยงอัตราการทำงานของเอนไซม์เรนเนทในการตกตะกอนให้ได้ลิ่มนมแล้ว ยังทำให้โครงสร้างของโปรตีนเจลในลิ่มนมอ่อนแอลงด้วย

นอกจากนั้นที่ pH ต่ำ ๆ Ca^{2+} จะถูกปล่อยออกมาจาก casein micelles ทำให้เหลือ Ca^{2+} สำหรับการเชื่อมต่อกันของ casein micelles ลดลงทำให้เจลที่ได้ไม่แข็งแรง (Hydamaka et al., 2001) ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาจึงทำให้สรุปได้ว่าในตัวอย่างเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจาก raw milk+UF-whey แล้วปรับ pH ไปที่ 5.2 และ 5.4 เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการผลิตเนยแข็ง Fetta

4.4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH

หลังจากผลิตเนยแข็ง Fetta ด้วยตัวอย่างนมชนิดต่างกัน 3 ชนิด ลด pH ด้วยการเติมกรดโดยตรง โดยมีกรดที่ใช้ 3 ชนิด และมีการปรับระดับ pH ลงมา 3 ระดับก่อนนำไปผลิต Fetta cheese แล้ว ได้ชั่งน้ำหนักเนยแข็งที่ได้ หา%ความชื้นของเนยแข็ง %ของแข็งทั้งหมด (%ของแข็งทั้งหมด=100-%ความชื้น) cheese dry matter (g) ซึ่งคำนวณได้จาก

cheese dry matter (g) = นน.เนยแข็ง-[(นน.เนยแข็ง×%ความชื้น)/100])

ผลแสดงดังตารางที่ 4.4 และหา %yield ซึ่งคำนวณได้จาก

%yield = (นน.เนยแข็ง×100)/1032 (โดย 1032 คือ น้ำหนักนมดิบคิดเป็นกรัม คิดจากการเอาค่า specific gravity ของนมดิบคือ 1.032×ปริมาตรนม ที่ใช้คือ 1000 ml)

%yield at 55%MC ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\%\text{yield at 55 \%MC} = \frac{\langle \{[(\text{นน.เนยแข็ง(g)}/1000)\times(\%\text{ของแข็งทั้งหมด}/100)]/0.45\} \times 100 \rangle}{1.032}$$

และ hardness (N) ผลแสดงดังตารางที่ 4.4 (ต่อ) และ F-value ของค่าดังกล่าวทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH

Trt.	ชนิดนม	ชนิดกรด	pH	น้ำหนักเนยแข็ง	%ความชื้น	%ของแข็งทั้งหมด	cheese dry matter (g)
1	Raw milk	Lactic	5.6	289.77 ^{g} ± 1.72	67.13 ^{bc} ± 1.02	32.87 ^{hi} ± 1.02	95.25 ^{gh} ± 3.51
2	Raw milk	Lactic	5.4	262.54 ^{h} ± 9.79	68.24 ^{ab} ± 0.46	31.76 ^{ij} ± 0.46	83.41 ^{i} ± 4.32
3	Raw milk	Lactic	5.2	241.95 ^{i} ± 15.74	69.66 ^{a} ± 0.54	30.34 ^{j} ± 0.54	73.38 ^{j} ± 3.47
4	Raw milk	Phosphoric	5.6	333.08 ^{cd} ± 3.32	63.41 ^{ef} ± 0.54	36.59 ^{ef} ± 0.54	121.89 ^{cd} ± 3.02
5	Raw milk	Phosphoric	5.4	298.93 ^{fg} ± 2.68	63.76 ^{ef} ± 0.32	36.25 ^{ef} ± 0.32	108.35 ^{ef} ± 1.93
6	Raw milk	Phosphoric	5.2	238.79 ^{i} ± 3.83	65.89 ^{cd} ± 0.37	34.11 ^{gh} ± 0.37	81.47 ^{ij} ± 2.19
7	Raw milk	Acetic	5.6	348.58 ^{bc} ± 1.43	63.88 ^{ef} ± 0.96	36.12 ^{ef} ± 0.96	125.93 ^{bc} ± 3.87
8	Raw milk	Acetic	5.4	325.27 ^{de} ± 0.69	64.95 ^{de} ± 0.10	35.05 ^{fg} ± 0.10	114.02 ^{de} ± 0.10
9	Raw milk	Acetic	5.2	263.17 ^{h} ± 6.46	65.83 ^{cd} ± 0.49	34.17 ^{gh} ± 0.49	89.94 ^{hi} ± 3.49
10	UF-Milk	Lactic	5.6	303.85 ^{fg} ± 4.76	62.76 ^{fg} ± 1.15	37.24 ^{de} ± 1.15	113.19 ^{de} ± 5.27
11	UF-Milk	Lactic	5.4	289.46 ^{g} ± 7.87	65.62 ^{cd} ± 0.23	34.38 ^{gh} ± 0.23	99.54 ^{fg} ± 3.38
12	UF-Milk	Lactic	5.2	269.79 ^{h} ± 2.57	68.00 ^{ab} ± 1.21	32.00 ^{ij} ± 1.21	86.33 ^{hi} ± 2.45
13	UF-Milk	Phosphoric	5.6	356.65 ^{ab} ± 1.81	56.93 ^{j} ± 0.63	43.07 ^{a} ± 0.63	153.61 ^{a} ± 3.04
14	UF-Milk	Phosphoric	5.4	312.61 ^{ef} ± 14.77	57.35 ^{ij} ± 0.32	42.65 ^{ab} ± 0.32	133.30 ^{b} ± 5.30
15	UF-Milk	Phosphoric	5.2	267.25 ^{h} ± 23.75	61.30 ^{gh} ± 0.74	38.70 ^{cd} ± 0.74	103.51 ^{fg} ± 11.17
16	UF-Milk	Acetic	5.6	375.25 ^{a} ± 6.50	58.79 ^{i} ± 0.31	41.21 ^{b} ± 0.31	154.63 ^{a} ± 1.52
17	UF-Milk	Acetic	5.4	341.23 ^{bcd} ± 8.97	60.80 ^{h} ± 0.58	39.20 ^{c} ± 0.58	133.74 ^{b} ± 1.53
18	UF-Milk	Acetic	5.2	290.58 ^{g} ± 5.97	64.57 ^{de} ± 1.72	35.43 ^{fg} ± 1.72	102.89 ^{fg} ± 2.90
19	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.6	276.61 ± 16.79	69.91 ± 0.25	30.09 ± 0.25	83.21 ± 4.37
20	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.4	-	-	-	-
21	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.2	-	-	-	-
22	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.6	309.44 ± 6.48	66.46 ± 1.57	33.54 ± 1.57	103.84 ± 7.04
23	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.4	-	-	-	-
24	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.2	-	-	-	-
25	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.6	322.32 ± 3.69	66.43 ± 2.01	33.57 ± 2.01	108.17 ± 5.24
26	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.4	-	-	-	-
27	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.2	-	-	-	-

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยการตัดค่าต่าง ๆ สำหรับตัวอย่างที่เป็น raw milk+UF-whey ที่ pH 5.4 และ5.2 ออก a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH (ต่อ)

Trt.	ชนิดนม	ชนิดกรด	pH	%Yield	%Yield at 55%MC	Hardness (N)
1	Raw milk	Lactic	5.6	28.08 ^{g} ± 0.17	20.51 ^{gh} ± 0.76	30.99 ^{efg} ± 0.71
2	Raw milk	Lactic	5.4	25.44 ^{h} ± 0.95	17.96 ^{i} ± 0.93	29.81 ^{fgh} ± 0.49
3	Raw milk	Lactic	5.2	23.44 ^{i} ± 1.53	15.80 ^{j} ± 0.75	23.47 ^{k} ± 2.81
4	Raw milk	Phosphoric	5.6	32.28 ^{cd} ± 0.32	26.25 ^{cd} ± 0.65	31.32 ^{defg} ± 1.60
5	Raw milk	Phosphoric	5.4	28.97 ^{fg} ± 0.26	23.33 ^{ef} ± 0.42	27.99 ^{hi} ± 0.71
6	Raw milk	Phosphoric	5.2	23.14 ^{i} ± 0.37	17.54 ^{ij} ± 0.47	19.82 ^{l} ± 0.48
7	Raw milk	Acetic	5.6	33.78 ^{bc} ± 0.14	27.12 ^{bc} ± 0.83	33.30 ^{de} ± 0.21
8	Raw milk	Acetic	5.4	31.52 ^{de} ± 0.07	24.55 ^{de} ± 0.02	28.98 ^{ghi} ± 2.12
9	Raw milk	Acetic	5.2	25.50 ^{h} ± 0.63	19.37 ^{hi} ± 0.75	23.99 ^{jk} ± 0.71
10	UF-Milk	Lactic	5.6	29.44 ^{fg} ± 0.46	24.37 ^{de} ± 1.13	36.46 ^{bc} ± 1.41
11	UF-Milk	Lactic	5.4	28.05 ^{g} ± 0.76	21.43 ^{fg} ± 0.73	34.28 ^{cd} ± 1.60
12	UF-Milk	Lactic	5.2	26.14 ^{h} ± 0.25	18.59 ^{hi} ± 0.53	34.31 ^{cd} ± 1.63
13	UF-Milk	Phosphoric	5.6	34.56 ^{ab} ± 0.17	33.08 ^{a} ± 0.65	36.73 ^{bc} ± 0.39
14	UF-Milk	Phosphoric	5.4	30.29 ^{ef} ± 1.43	28.70 ^{b} ± 1.14	32.46 ^{def} ± 1.41
15	UF-Milk	Phosphoric	5.2	25.90 ^{h} ± 2.30	22.29 ^{fg} ± 2.40	26.51 ^{ij} ± 1.34
16	UF-Milk	Acetic	5.6	36.36 ^{a} ± 0.63	33.30 ^{a} ± 0.33	43.51 ^{a} ± 0.51
17	UF-Milk	Acetic	5.4	33.07 ^{bcd} ± 0.87	28.80 ^{b} ± 0.33	40.96 ^{a} ± 0.70
18	UF-Milk	Acetic	5.2	28.16 ^{g} ± 0.58	22.16 ^{fg} ± 0.62	37.47 ^{b} ± 1.39
19	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.6	26.80 ± 1.63	17.92 ± 0.94	25.96 ± 0.70
20	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.4	-	-	-
21	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.2	-	-	-
22	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.6	29.98 ± 0.63	22.36 ± 1.52	23.96 ± 0.71
23	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.4	-	-	-
24	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.2	-	-	-
25	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.6	31.23 ± 0.36	23.29 ± 1.13	30.45 ± 0.00
26	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.4	-	-	-
27	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.2	-	-	-

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยการตัดค่าต่าง ๆ สำหรับตัวอย่างที่เป็น raw milk+UF-whey ที่ pH 5.4 และ5.2 ออก

a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ F-value ของสมบัติทางกายภาพในเนยแข็งเฟตตาเมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรดและระดับ pH

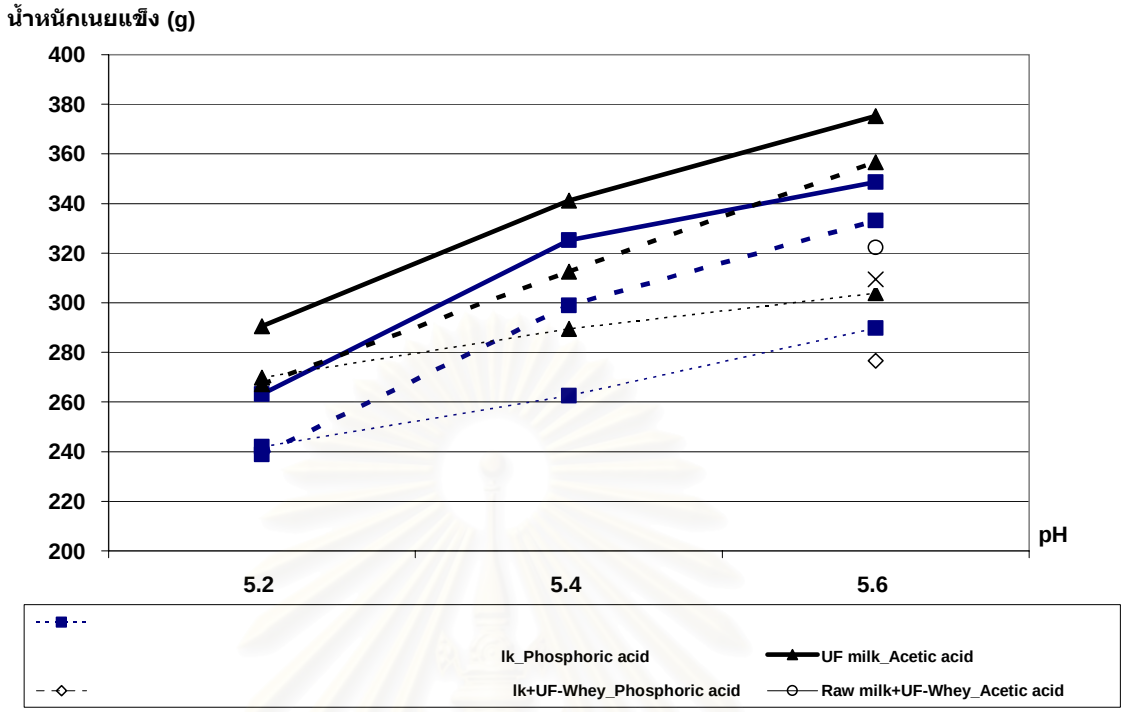
SOV	d.f.	F-value						
		น้ำหนักเนยแข็ง (g)	%ความชื้น	%ของแข็งทั้งหมด	Cheese dry matter (g)	% Yield	% Yield at 55%MC	Hardness (N)
ชนิดนม (A)	1	57.379 **	253.856 **	253.856 **	227.242 **	57.406 **	227.221 **	346.039 **
ชนิดกรด (B)	2	84.576 **	159.764 **	159.764 **	169.100 **	84.607 **	169.079 **	54.608 **
pH (C)	2	197.426 **	73.089 **	73.089 **	253.842 **	197.496 **	253.808 **	108.376 **
A*B	2	0.021 NS	12.279 **	12.279 **	4.904 *	0.021 NS	4.904 *	19.611 **
A*C	2	0.803 NS	10.508 **	10.508 **	4.541 *	0.804 NS	4.541 *	6.504 **
B*C	4	10.252 **	1.228 NS	1.228 NS	8.964 **	10.255 **	8.963 **	5.622 **
A*B*C	4	0.566 NS	0.735 NS	0.735 NS	0.460 NS	0.567 NS	0.460 NS	1.315 NS

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 พบว่าชนิดของนม (A) ชนิดของกรด (B) และระดับของ pH (C) ที่ใช้ในการผลิตเนยแข็ง Fetta มีผลต่อค่าน้ำหนักเนยแข็ง %ความชื้น %ของแข็งทั้งหมด cheese dry matter %yield %yield at 55%MC และ hardness ($p \leq 0.01$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของนมและชนิดของกรดต่อค่า %ความชื้น %ของแข็งทั้งหมด hardness ($p \leq 0.01$) และ cheese dry matter %yield at 55%MC ($p \leq 0.05$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของนมและระดับของ pH ต่อค่า %ความชื้น %ของแข็งทั้งหมด hardness ($p \leq 0.01$) และ cheese dry matter %yield at 55%MC ($p \leq 0.05$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของกรดและระดับของ pH ต่อค่าน้ำหนักเนยแข็ง และ cheese dry matter %yield %yield at 55%MC. และ hardness ($p \leq 0.01$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสามต่อค่าที่ตรวจวัดทั้งหมด ($p > 0.05$) จึงสรุปและอภิปรายผลทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 น้ำหนักของเนยแข็งเฟตตา (g) ที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากการลด pH มาที่ 5.2 ให้น้ำหนักของเนยแข็งน้อยกว่าที่ pH 5.4 และ 5.6 ทั้งนี้ Lucey and Fox (1993) ได้รายงานว่าการตกตะกอนนมที่ระดับ pH ต่ำกว่า 5.6 ในเนยแข็งหลาย ๆ ประเภทจะทำให้ calcium ในนมละลายเพิ่มขึ้น และจะยังคงเหลือ calcium ที่จำเป็นสำหรับการเชื่อมข้ามอยู่ใน micelles แค่ประมาณ 14 % เท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hydamaka et al. (2001) ที่พบว่าการตกตะกอนนมที่ระดับ pH ต่ำ ๆ จะทำให้ colloidal calcium phosphate ที่อยู่ใน curds กลับมาละลายได้มากขึ้น และทำให้ curds ที่ได้มีลักษณะเป็น fine curds และสูญหายไปกับการขับ (expel) น้ำเวย์ออกไป ทำให้เนยแข็งซึ่งตกตะกอนที่ pH ต่ำ ๆ มีน้ำหนักที่น้อยกว่า

ส่วนเมื่อเปลี่ยนชนิดของกรดพบว่า acetic acid มีแนวโน้มที่จะให้ค่าน้ำหนักของเนยแข็งสูงกว่า phosphoric และ lactic ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ด้วยค่า Ka ซึ่งเป็น ค่าคงที่การแตกตัวเป็นไอออนของกรด (dissociation หรือ ionization constant) ซึ่งกรดอ่อนจะมีค่า Ka ที่ต่ำ กล่าวคือกรด acetic (CH_3COOH) มีค่า Ka = 1.8×10^{-5} กรด lactic ($CH_3CH(OH)COOH$) มีค่า Ka = 1.374×10^{-4} กรด phosphoric (H_3PO_4) มีค่า Ka = 7.5×10^{-3} ซึ่งหมายความว่า H_3PO_4 เป็นกรดแก่มากกว่าและมีค่า Ka สูงกว่า CH_3COOH ซึ่งเป็นกรดอ่อนจึงแตกตัวให้ H^+ ได้มากกว่ากรดอ่อนที่มีค่า Ka ต่ำ แต่เมื่อเป็นกรดแก่กว่า คู่เบสของมันจะอ่อนกว่า กล่าวคือ คู่เบส $H_2PO_4^-$ จะอ่อนกว่า คู่เบส CH_3COO^- ส่วนค่า pKa = - log Ka เช่น ค่า pKa

ของกรด acetic มีค่าเป็น 4.75 หมายถึง กรด acetic 1 โมล เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ H^+ เท่ากับ $10^{-4.75}$ โมล และกรดอ่อนที่มีค่า Ka ต่ำจะมีค่า pKa สูง (ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น คู่เบส $H_2PO_4^-$ จะอ่อนกว่า คู่เบส $CH_3CH(OH)COO^-$ และ CH_3COO^- ตามลำดับ หมายความว่าโอกาสที่ CH_3COO^- ของกรด acetic จะจับกับ H^+ ของน้ำมีมากกว่า แต่ถ้าดูจากค่า Ka แล้วพบว่าค่าของทั้ง acetic และ lactic มีค่าใกล้เคียงกันมากกว่า อีกทั้งถ้าพิจารณาถึงโครงสร้างของกรดพบว่ากรด lactic ยังมีหมู่ OH^- ที่สามารถจับกับ H^+ ของน้ำได้อีก ดังนั้นจึงทำให้เนยแข็งที่เติมกรด lactic มีปริมาณความชื้นมากกว่ากรด acetic ซึ่งจากเหตุผลข้างต้นอาจจะสรุปได้ว่าเนยแข็งที่เติมกรด acetic น่าจะมีความชื้นมากกว่ากรด phosphoric แต่จากผลการทดลองพบว่าความชื้นระหว่างเนยแข็งที่เติมกรด acetic และ phosphoric มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกรด phosphoric นั้นมีค่า Ka ถึง 3 ค่าหรือจะเรียกได้ว่ากรด phosphoric เป็นกรดสามโปรตอน (triprotic) ให้โปรตอนได้สามโปรตอนดังนี้

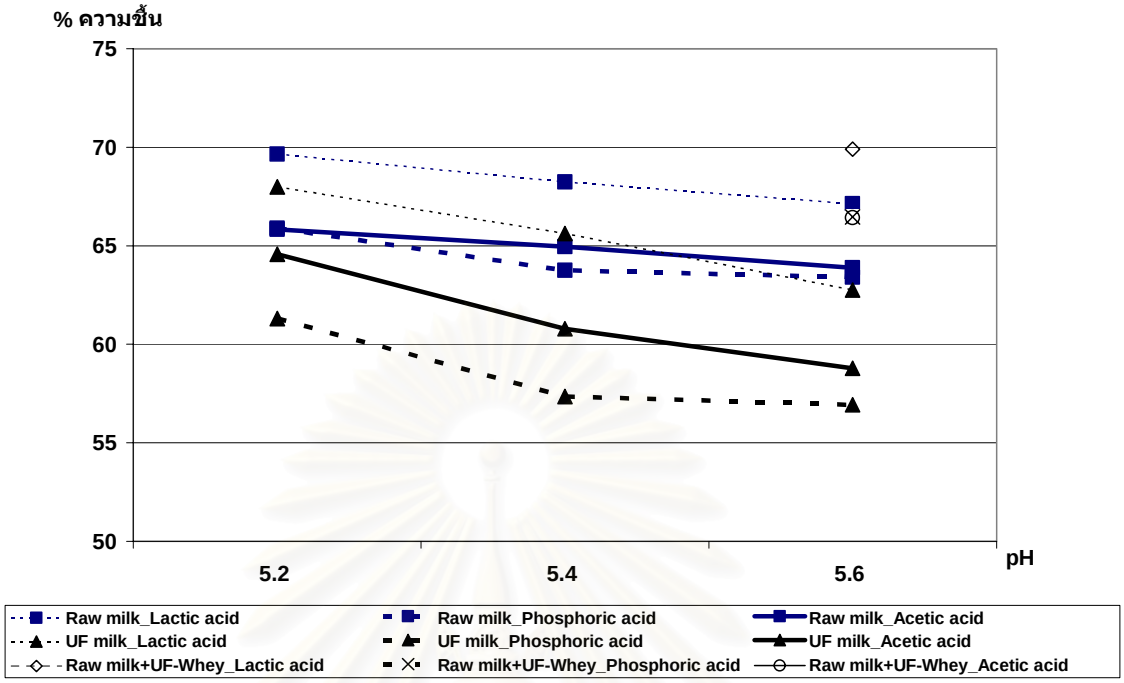
$$H_3PO_4 + H_2O = H_3O^+ + H_2PO_4^- \qquad K1=7.5\times10^{-3}$$

$$H_2PO_4^- + H_2O = H_3O^+ + HPO_4^{2-} \qquad K2=6.2\times10^{-8}$$

$$HPO_4^{2-} + H_2O = H_3O^+ + PO_4^{3-} \qquad K3=1.0\times10^{-12}$$

ทำให้มีประจุลบเพิ่มมากขึ้นและสามารถจับกับ H^+ ของน้ำซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เนยแข็งมีความชื้นใกล้เคียงกับเนยแข็งที่เติมกรด acetic และทำให้ได้น้ำหนักของเนยแข็งที่สูงกว่าพวกที่เตรียมจากกรด lactic

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



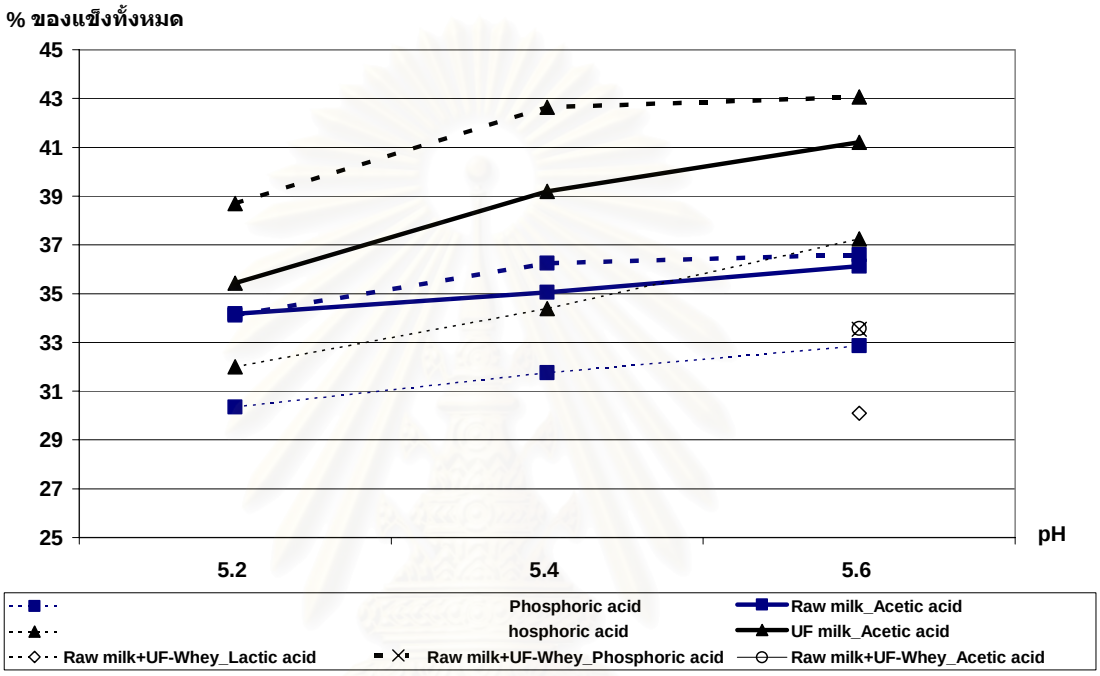
รูปที่ 4.2 %ความชื้นของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF มีปริมาณความชื้นมากที่สุด ตามมาด้วยตัวอย่างนมดิบและนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ซึ่งสอดคล้องกับผลที่อธิบายไว้ว่า การทำ UF ทำให้เกิดการเสียสภาพของเวย์โปรตีนและไปขัดขวางการเชื่อมต่อกันของ casein micelles ที่จะมารวมตัวกันสร้างเป็นร่างแหของโปรตีนเจลในลิ่มนม และยังหน่วงเหนี่ยวอัตราการทำงานของเอนไซม์เรนเนทในการตกตะกอนให้ได้ลิ่มนม และยังทำให้โครงสร้างของโปรตีนเจลในลิ่มนมอ่อนแอลงจากการ deformation ซึ่งการเหตุการณ์ดังกล่าว Keller et al. (1974) ได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ว่าเมื่อมีการขับหรือระบายเวย์ออก ลิ่มนมที่อ่อนแอและเสียรูปจะแผ่ตัวออกทั่วแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว และกักเก็บน้ำที่ควรระบายออกให้ยังคงอยู่ภายในลิ่มนม จึงทำให้การระบายน้ำ (syneresis) ออกช้าลงและเป็นสาเหตุให้เนยแข็งที่ผลิตได้มีความชื้นมากขึ้น

ส่วนในเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะการกรองแบบ UF จะทำให้น้ำแพร่ออกผ่านเมมเบรนไปอยู่ในส่วน permeate มาก จึงมีปริมาณน้ำอยู่ใน retentate ซึ่งก็คือ UF-milk ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเนยแข็งน้อย ดังนั้นเนยแข็งที่ได้จึงมีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด

ผลของระดับของ pH ในการตกตะกอนต่อปริมาณความชื้นในเนยแข็ง พบว่าที่ pH 5.2 มีความชื้นของเนยแข็งมากที่สุด ตามมาด้วยที่ pH 5.4 และ pH 5.2 ตามลำดับ สอดคล้องกับ

รายงานของ Keller et al. (1974) ว่าลิ่มนม (curds) ที่ตกตะกอนที่ระดับ pH 5.2 จะเกิดการเสียรูป (deform) เนื่องจาก colloidal calcium phosphate ที่อยู่ใน curd กลับมาละลายได้มากขึ้นทำให้เนยแข็งมีโครงสร้างไม่แข็งแรงและการเสียรูปนี้ทำให้เกิด syneresis น้อยลง เนยแข็งที่ตกตะกอนที่ pH ต่ำจึงมักมีปริมาณความชื้นสูง

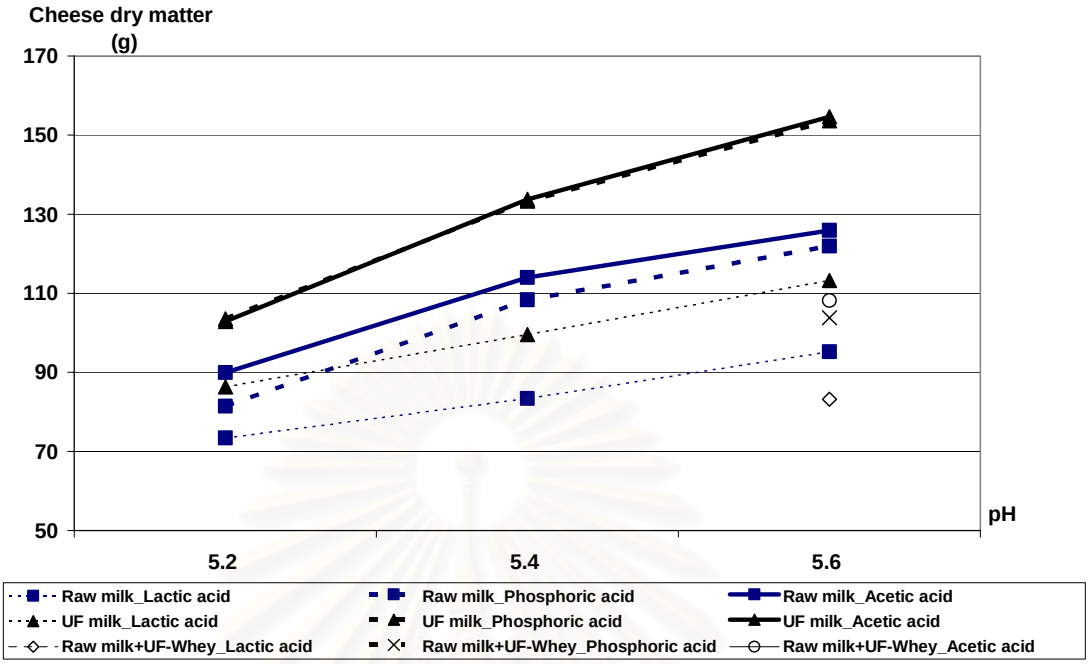


รูปที่ 4.3 %ของแข็งทั้งหมดของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุด ตามมาด้วยตัวอย่างนมดิบ และ ตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ซึ่งผลการทดลองที่ได้แปรผกผันกับปริมาณความชื้นของเนยแข็ง

เมื่อเปลี่ยนชนิดของกรดพบว่า acetic และ phosphoric acid มีแนวโน้มที่จะให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของเนยแข็งใกล้เคียงกัน และให้ค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้กรด lactic

การเปลี่ยนระดับของ pH พบว่า ที่ pH 5.6 เนยแข็งจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุด ตามมาด้วยที่ระดับ pH 5.4 และ pH 5.2 ตามลำดับ ด้วยเหตุผลในทำนองเดียวกับที่ได้อธิบายไว้แล้วในเรื่อง %ความชื้นของเนยแข็ง



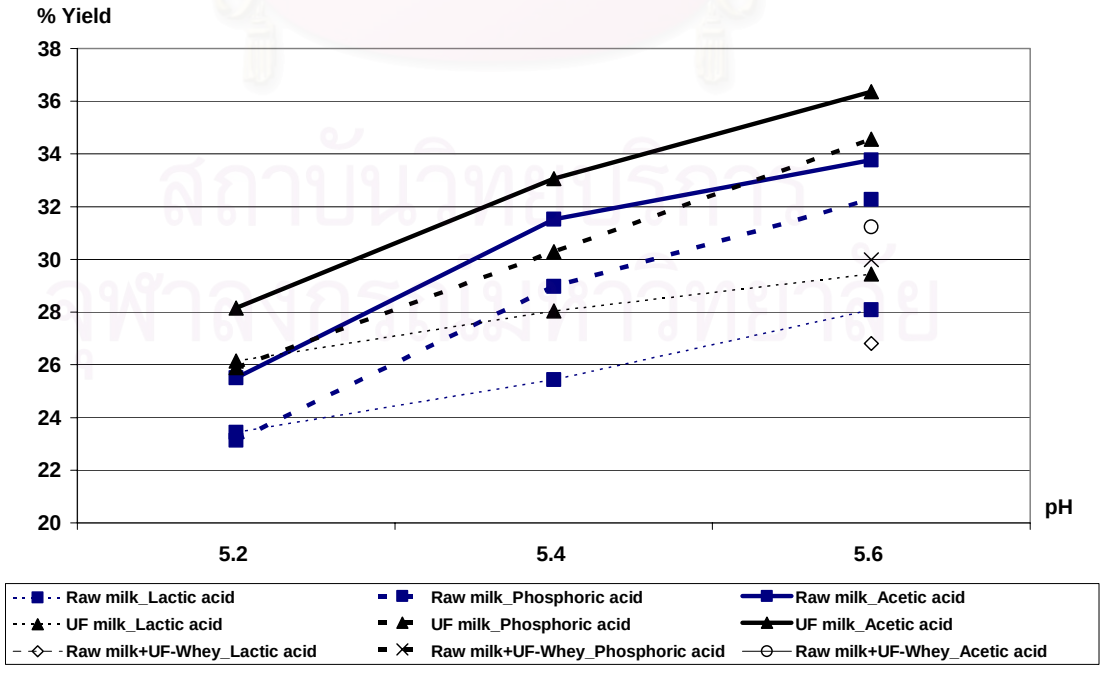
รูปที่ 4.4 cheese dry matter (g) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มี cheese dry matter มากที่สุด ตามมาด้วยตัวอย่างนมดิบ และ ตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Renner and Abd El-salam (1991) ที่กล่าวว่าขนาดของรูเมมเบรนในการกรองแบบ UF นั้นจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-20 nm ทำให้สามารถกรองกลับสารประกอบต่าง ๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูเมมเบรนได้ ซึ่งได้แก่ เม็ดไขมัน 130-1300 nm casein micelles 25-130 nm whey protein 3-5 nm และทำให้สารประกอบที่มีขนาดเล็กกว่าแพร่ออกจากเมมเบรน เช่น น้ำ 0.3 nm แลกโตส 0.8 nm เป็นต้น จึงทำให้มีสารประกอบพวกไขมันและโปรตีนปรากฏอยู่ใน retentate มากโดยมีน้ำอยู่น้อยลง เมื่อนำ retentate ดังกล่าวไปผลิตเป็นเนยแข็งชนิด UF-milk จึงทำให้ได้ cheese dry matter ที่มีปริมาณสูงกว่า ส่วนตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนม raw milk+UF-whey ที่มี %ความชื้นสูงที่สุด แต่เมื่อมาเปรียบเทียบค่า cheese dry matter กับตัวอย่าง raw milk พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตัวอย่าง raw milk+UF-whey มีการกรองเวย์โปรตีน ทำให้ retentate ที่ได้มีปริมาณโปรตีนและของแข็งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า cheese dry matter เพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับตัวอย่าง raw milk

เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของกรดในการตกตะกอนนมพบว่ากรด acetic และ phosphoric มีแนวโน้มให้ค่า cheese dry matter ของเนยแข็งใกล้เคียงกัน และให้ค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้กรด lactic ทั้งนี้เพราะกรดที่สามารถแตกตัวได้ H^+มากกว่าอาจทำให้เกิดการ hydrolysis ของพันธะที่เชื่อมต่อ casein micelles ในลิ่มนมหรือในเนยแข็งได้มากกว่า ดังนั้นกรดที่ให้ค่า Ka มากที่สุดจึงมีโอกาส

ทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้มากกว่า ซึ่งค่า Ka ของกรดทั้งสามชนิดมีค่าดังนี้ กรด lactic มีค่า Ka = 1.374×10^{-4} กรด phosphoric มีค่า Ka = 7.5×10^{-3} กรด acetic มีค่า Ka = 1.8×10^{-5} โดย Yazici and Dervisoglu (2003) ได้อธิบายเสริมไว้ว่าการสลายตัวของพันธะเปปไทด์ (proteolysis) ในโปรตีนจะก่อให้เกิดการฟอร์มตัวของไอออนิกกลุ่มใหม่ ๆ (formation of new ionic groups) ทำให้โปรตีนสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นกรด acetic ซึ่งมีค่า Ka น้อยที่สุด จึงมีโอกาสเกิด hydrolysis (ผ่าน proteolysis) ได้น้อยกว่ากรดชนิดอื่น ทำให้มีโอกาสในการตกตะกอนของโปรตีนมากกว่าจึงทำให้มีค่า cheese dry matter สูงกว่านมที่ตกตะกอนด้วยกรดตัวอื่น ส่วนนมที่ตกตะกอนด้วยกรด phosphoric แล้วทำให้ได้ค่า cheese dry matter ที่ใกล้เคียงกับนมที่ตกตะกอนด้วย acetic ทั้งที่มีค่า Ka สูงที่สุดนั้นเป็นเพราะการตกตะกอนด้วยกรด phosphoric ให้เนยแข็งที่มีปริมาณแคลเซียมสูงกว่ากรดชนิดอื่น เนื่องจากเกิดการตกตะกอนของ calcium phosphate ในโปรตีนนม โดย Creamer and Waugh (1966) ได้รายงานว่าจะมีปริมาณแคลเซียมมากขึ้นเมื่อมีการเติม phosphate ลงใน casein solution ก่อนการตกตะกอนมาเป็น Ca-α_s-casein เพราะ phosphate ทำให้ calcium ยังคงอยู่ในรูป colloid มากกว่าในรูปที่ละลายได้ จึงทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนที่ดีและส่งผลให้ได้ค่า cheese dry matter ที่ใกล้เคียงกับนมที่ตกตะกอนด้วย acetic

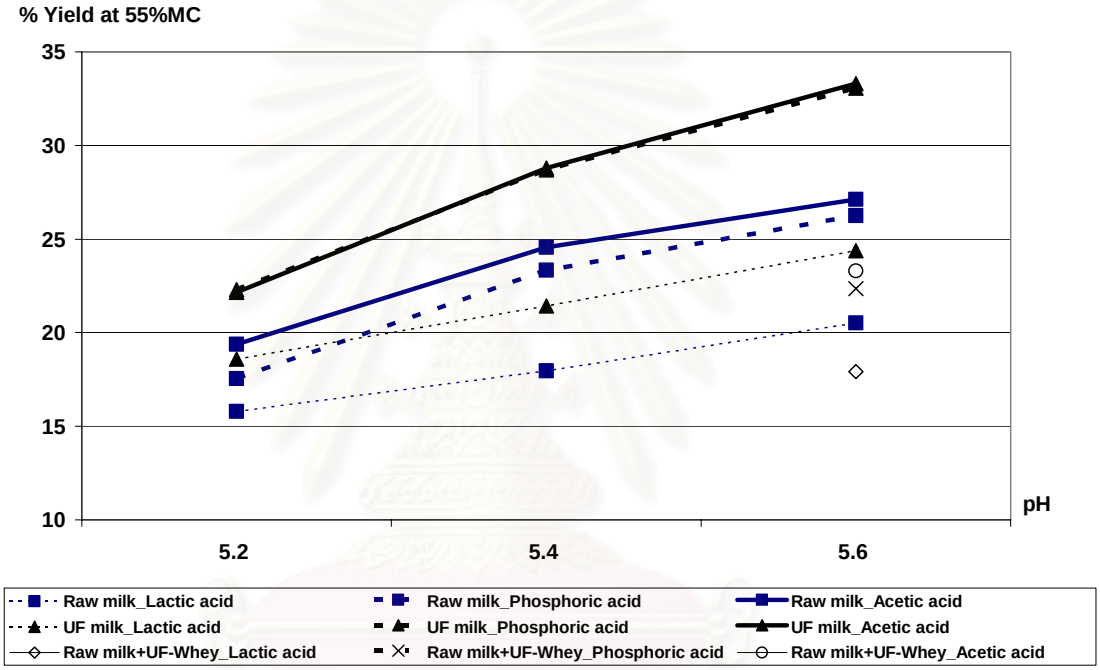
เมื่อเปลี่ยนระดับของ pH ในการตกตะกอนนมพบว่า ที่ pH 5.6 ให้ค่า cheese dry matter ของเนยแข็งมากที่สุด ตามมาด้วยที่ pH 5.4 และ pH 5.2 ตามลำดับ ทั้งนี้อธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันสำหรับน้ำหนักเนยแข็ง ซึ่งได้อธิบายไว้แล้ว



รูปที่ 4.5 %yield ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยการปรับระดับ pH มาที่ 5.2 ให้ค่า %yield ต่ำที่สุด ตามมาด้วยที่ระดับ pH 5.4 และ 5.6 ตามลำดับ ไม่ว่าจะเปลี่ยนไปใช้กรดชนิดใดก็ตาม ทั้งนี้อธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันสำหรับน้ำหนักเนยแข็งซึ่งได้อธิบายไว้แล้ว

ส่วนเนยแข็งที่มีการเติมกรด acetic และ phosphoric จะให้ค่า %yield ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนเนยแข็งที่เติมกรด lactic จะให้ค่า %yield ต่ำที่สุด ทั้งนี้อธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับ cheese dry matter ซึ่งได้อธิบายไว้แล้ว

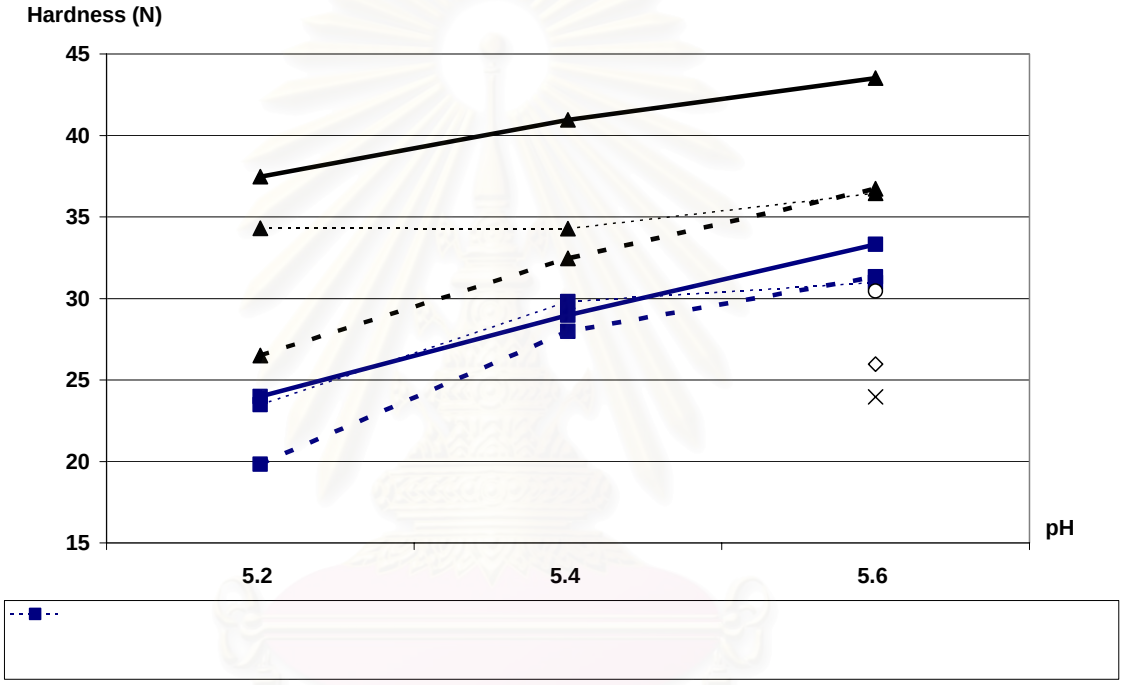


รูปที่ 4.6 %yield at 55%MC ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่า %yield ที่ความชื้น 55% ที่มากที่สุดตามมาด้วยตัวอย่างนมดิบและนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีการกรองกลับของโปรตีน ไขมัน แคลเซียม และธาตุอื่น ๆ จึงทำให้มี %yield ที่ความชื้น 55% (เกณฑ์มาตรฐานสำหรับเนยแข็งประเภทนี้) สูงที่สุด ส่วนเนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF นั้น การกรองเวย์ช่วยทำให้กรองกลับโปรตีน ไขมัน และธาตุอื่น ๆ ได้บางส่วนแต่มีปริมาณน้อยกว่าในนมที่กรองแบบ UF อยู่มากจึงทำให้ %yield ที่ความชื้น 55% มีค่าต่ำกว่าและใกล้เคียงกับเนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวอย่างนมดิบเมื่อคิดที่ความชื้น 55 % เท่ากัน

ส่วนเนยแข็งที่มีการเติมกรด acetic จะให้ค่า %yield ที่ความชื้น 55% ที่สูงสุดและใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมกรด phosphoric ตามมาด้วยกรด lactic ตามลำดับ เนื่องด้วยเหตุผลในทำนองเดียวกับที่ได้อธิบายในหัวข้อ cheese dry matter

พบว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยการปรับระดับ pH มาที่ 5.2 ให้ค่า %yield ที่ความชื้น 55% ต่ำที่สุด ตามมาด้วยที่ระดับ pH 5.4 และ 5.6 ตามลำดับ ทั้งนี้อธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับที่อธิบายในหัวข้อ น้ำหนักเนยแข็ง



รูปที่ 4.7 ค่า hardness (N) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่า hardness มากที่สุดตามมาด้วยตัวอย่างนมดิบและนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ตามลำดับ เนื่องมาจากตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีการกรองกลับของสารประกอบต่าง ๆ โดยเฉพาะโปรตีน และธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ที่มากกว่า จึงทำให้มีการสร้าง gel network ที่แข็งแรง ประกอบกับการที่มีปริมาณแคลเซียมที่มากขึ้น จึงทำให้การเชื่อมต่อกันของ casein micelles ในร่างแหของโปรตีนเจลในลิ่มนมหรือเนยแข็งเป็นไปอย่างทั่วถึงและแข็งแรงขึ้นส่งผลให้ค่า hardness ของเนยแข็งมีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen et al. (1979) ที่ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งชนิดต่าง ๆ พบว่าค่า hardness จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนที่มากขึ้น แต่จะลดลงเมื่อปริมาณไขมัน และปริมาณความชื้นมีค่าสูงขึ้น

ส่วนการที่เนยแข็งที่ผลิตจากตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่าความแข็งน้อยที่สุด

ส่วนเนยแข็งที่มีการเติมกรด acetic จะให้ค่า hardness ที่สูงที่สุดตามมาด้วยกรด lactic และ phosphoric ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกรด phosphoric เป็นกรดแก่ที่แตกตัวได้มากที่สุด ตามมาด้วยกรด lactic และ acetic ดังนั้นการโอกาสที่กรด phosphoric จะเข้าทำลายพันธะ ที่เชื่อมข้าม casein micelles ด้วยการเกิด hydrolysis จึงมีโอกาสมากกว่ากรดอ่อนที่แตกตัวได้น้อยกว่า จึงเป็นผลให้เนยแข็งที่เตรียมจากกรด phosphoric มีค่า hardness ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเนยแข็งที่เตรียมจากกรดอีก 2 ชนิด และเป็นไปในแนวทางเดียวกับงานวิจัยของ Farkye et al. (1995) ที่พบว่าการตกตะกอนนมด้วยกรด acetic และ citric ให้เนยแข็งที่มีค่า hardness สูงกว่าตกตะกอนด้วยกรด lactic เพราะกรด acetic และ citric มีความสามารถเข้าทำลายพันธะ ที่เชื่อมข้าม casein micelles ที่น้อยกว่า กรด lactic จึงทำให้เนยแข็งที่ผลิตด้วยการตกตะกอนด้วยกรด acetic และ citric มีความแข็งแรงของ casein matrix ที่มากกว่าการตกตะกอนด้วยกรด lactic ซึ่งเป็นกรดที่แรงกว่า

เนยแข็งที่ผลิตด้วยการปรับ pH มาที่ 5.2 ให้ค่า hardness ต่ำที่สุด ตามมาด้วยที่ pH 5.4 และ 5.6 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามรายงานของ Keller et al. (1974) ซึ่งอธิบายว่าลิ่มนม (curds) ที่ตกตะกอนที่ระดับ pH 5.2 จะเกิดการเสียรูป (deform) เนื่องจากที่ค่า pH ต่ำ ๆ Ca^{2+} จะถูกปล่อยออกมาจาก casein micelles ทำให้เหลือ Ca^{2+} สำหรับการเชื่อมต่อลดลงทำให้เจลที่ได้ไม่แข็งแรง และการเสียรูปนี้ทำให้การขับน้ำออก (syneresis) เมื่อเวลาตัด curd เกิดขึ้นน้อยลง จึงทำให้เนยแข็งที่ตกตะกอนที่ระดับ pH ต่ำมีปริมาณความชื้นสูงและส่งผลให้ค่า hardness ลดลง

4.4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH

หลังจากผลิตเนยแข็ง Fetta ด้วยตัวอย่างนมชนิดต่างกัน 3 ชนิด ลด pH ด้วยการเติมกรดโดยตรง โดยมีกรดที่ใช้ 3 ชนิด และมีการปรับระดับ pH ลงมา 3 ระดับก่อนนำไปผลิต Fetta cheese แล้วนำมาวิเคราะห์ %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) %ไขมัน ไขมัน (%dry basis) ผลแสดงดังตารางที่ 4.6 แล้ววิเคราะห์ค่า pH %เกลือ %เถ้า และปริมาณแคลเซียม (mg/100g) ผลแสดงดังตารางที่ 4.6 (ต่อ) และค่า F-value ของค่าดังกล่าวทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH

Trt.	ชนิดนม	ชนิดกรด	pH	% โปรตีน	โปรตีน (%dry basis)	% ไขมัน	ไขมัน (%dry basis)
1	Raw milk	Lactic	5.6	9.67 ^{j} ± 0.25	29.44 ^{j} ± 1.66	18.20 ^{c} ± 0.06	55.41 ^{efgh} ± 1.54
2	Raw milk	Lactic	5.4	10.45 ^{i} ± 0.09	32.90 ^{gh} ± 0.20	18.81 ^{c} ± 0.05	59.22 ^{cde} ± 1.01
3	Raw milk	Lactic	5.2	10.51 ^{i} ± 0.10	34.65 ^{efg} ± 0.95	18.76 ^{c} ± 0.14	61.81 ^{bcd} ± 0.63
4	Raw milk	Phosphoric	5.6	11.08 ^{h} ± 0.12	30.29 ^{ij} ± 0.76	18.17 ^{c} ± 0.06	49.67 ^{k} ± 0.58
5	Raw milk	Phosphoric	5.4	11.47 ^{g} ± 0.17	31.64 ^{hi} ± 0.75	18.76 ^{c} ± 0.12	51.76 ^{hijk} ± 0.13
6	Raw milk	Phosphoric	5.2	11.53 ^{fg} ± 0.03	33.80 ^{fg} ± 0.44	18.71 ^{c} ± 0.07	54.84 ^{efghi} ± 0.80
7	Raw milk	Acetic	5.6	11.14 ^{h} ± 0.18	30.84 ^{ij} ± 0.34	18.10 ^{c} ± 0.06	50.14 ^{jk} ± 1.50
8	Raw milk	Acetic	5.4	11.58 ^{fg} ± 0.17	33.02 ^{gh} ± 0.58	18.30 ^{c} ± 0.23	52.20 ^{hijk} ± 0.51
9	Raw milk	Acetic	5.2	11.82 ^{f} ± 0.04	34.59 ^{efg} ± 0.60	18.57 ^{c} ± 0.62	54.37 ^{fghij} ± 2.60
10	UF-Milk	Lactic	5.6	13.17 ^{e} ± 0.12	35.38 ^{ef} ± 0.78	21.70 ^{b} ± 0.20	58.31 ^{def} ± 2.34
11	UF-Milk	Lactic	5.4	13.52 ^{d} ± 0.09	39.32 ^{bc} ± 0.01	21.68 ^{b} ± 0.03	63.06 ^{bc} ± 0.34
12	UF-Milk	Lactic	5.2	13.71 ^{d} ± 0.05	42.86 ^{a} ± 1.78	21.74 ^{b} ± 0.40	68.00 ^{a} ± 3.83
13	UF-Milk	Phosphoric	5.6	15.23 ^{c} ± 0.33	35.37 ^{ef} ± 1.28	21.71 ^{b} ± 0.07	50.40 ^{ijk} ± 0.57
14	UF-Milk	Phosphoric	5.4	15.42 ^{bc} ± 0.09	36.16 ^{de} ± 0.49	21.94 ^{ab} ± 0.27	51.44 ^{hijk} ± 0.26
15	UF-Milk	Phosphoric	5.2	15.60 ^{ab} ± 0.07	40.31 ^{b} ± 0.59	22.16 ^{ab} ± 0.21	57.29 ^{efg} ± 1.64
16	UF-Milk	Acetic	5.6	15.55 ^{ab} ± 0.08	37.75 ^{cd} ± 0.48	21.83 ^{b} ± 0.51	52.96 ^{ghijk} ± 0.84
17	UF-Milk	Acetic	5.4	15.81 ^{a} ± 0.06	40.34 ^{b} ± 0.45	21.85 ^{b} ± 0.98	55.76 ^{efgh} ± 3.34
18	UF-Milk	Acetic	5.2	15.67 ^{ab} ± 0.13	44.26 ^{a} ± 1.79	22.65 ^{a} ± 0.27	64.04 ^{ab} ± 3.88
19	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.6	10.12 ± 0.04	33.62 ± 0.41	16.30 ± 0.12	54.17 ± 0.04
20	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.4	-	-	-	-
21	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.2	-	-	-	-
22	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.6	11.19 ± 0.23	33.40 ± 2.25	16.19 ± 0.21	48.35 ± 2.89
23	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.4	-	-	-	-
24	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.2	-	-	-	-
25	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.6	11.66 ± 0.14	34.80 ± 2.49	16.35 ± 0.14	48.80 ± 3.35
26	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.4	-	-	-	-
27	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.2	-	-	-	-

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยการตัดค่าต่าง ๆ สำหรับตัวอย่างที่เป็น raw milk+UF-whey ที่ pH 5.4 และ5.2 ออก a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH (ต่อ)

Trt.	ชนิดนม	ชนิดกรด	pH	pH เนยแข็ง	% เกลือ	% เถ้า	แคลเซียม (mg/100g)
1	Raw milk	Lactic	5.6	5.66 ^{bc} ± 0.02	3.82 ^{de} ± 0.05	5.37 ^{cd} ± 0.15	435.15 ^{i} ± 1.41
2	Raw milk	Lactic	5.4	5.49 ^{de} ± 0.01	3.58 ^{fg} ± 0.05	5.27 ^{cd} ± 0.03	410.95 ^{j} ± 6.36
3	Raw milk	Lactic	5.2	5.25 ^{hij} ± 0.01	3.50 ^{fg} ± 0.10	5.60 ^{c} ± 0.49	390.95 ^{k} ± 4.95
4	Raw milk	Phosphoric	5.6	5.61 ^{c} ± 0.01	3.79 ^{de} ± 0.10	5.19 ^{cd} ± 0.08	403.95 ^{j} ± 0.71
5	Raw milk	Phosphoric	5.4	5.40 ^{fg} ± 0.03	3.65 ^{ef} ± 0.19	5.09 ^{b} ± 0.06	382.01 ^{k} ± 3.61
6	Raw milk	Phosphoric	5.2	5.21 ^{j} ± 0.02	3.43 ^{g} ± 0.16	5.00 ^{d} ± 0.04	359.45 ^{l} ± 7.07
7	Raw milk	Acetic	5.6	5.69 ^{bc} ± 0.03	3.87 ^{d} ± 0.10	5.39 ^{cd} ± 0.03	459.49 ^{h} ± 11.21
8	Raw milk	Acetic	5.4	5.43 ^{ef} ± 0.01	3.79 ^{de} ± 0.06	5.40 ^{cd} ± 0.03	434.45 ^{i} ± 0.00
9	Raw milk	Acetic	5.2	5.24 ^{ij} ± 0.01	3.69 ^{def} ± 0.07	5.20 ^{cd} ± 0.09	410.45 ^{j} ± 4.24
10	UF-Milk	Lactic	5.6	5.73 ^{ab} ± 0.04	4.32 ^{ab} ± 0.01	6.49 ^{b} ± 0.03	647.17 ^{b} ± 2.30
11	UF-Milk	Lactic	5.4	5.53 ^{d} ± 0.02	4.30 ^{ab} ± 0.01	6.53 ^{ab} ± 0.01	629.79 ^{cd} ± 6.13
12	UF-Milk	Lactic	5.2	5.33 ^{gh} ± 0.02	4.17 ^{bc} ± 0.10	6.30 ^{b} ± 0.07	607.30 ^{e} ± 8.27
13	UF-Milk	Phosphoric	5.6	5.71 ^{ab} ± 0.06	4.32 ^{ab} ± 0.01	6.60 ^{ab} ± 0.20	619.07 ^{de} ± 5.78
14	UF-Milk	Phosphoric	5.4	5.48 ^{de} ± 0.03	4.28 ^{abc} ± 0.00	6.43 ^{b} ± 0.01	591.96 ^{f} ± 7.77
15	UF-Milk	Phosphoric	5.2	5.31 ^{hi} ± 0.01	4.07 ^{c} ± 0.09	6.33 ^{b} ± 0.43	547.86 ^{g} ± 8.90
16	UF-Milk	Acetic	5.6	5.77 ^{a} ± 0.10	4.40 ^{a} ± 0.09	6.57 ^{ab} ± 0.16	661.45 ^{a} ± 4.24
17	UF-Milk	Acetic	5.4	5.68 ^{bc} ± 0.05	4.28 ^{abc} ± 0.06	6.91 ^{ab} ± 0.05	639.80 ^{bc} ± 3.32
18	UF-Milk	Acetic	5.2	5.49 ^{de} ± 0.03	4.19 ^{bc} ± 0.12	6.49 ^{b} ± 0.04	613.52 ^{e} ± 4.29
19	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.6	5.55 ± 0.01	3.39 ± 0.03	5.39 ± 0.10	456.01 ± 2.19
20	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.4	-	-	-	-
21	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.2	-	-	-	-
22	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.6	5.51 ± 0.01	3.32 ± 0.11	5.66 ± 0.13	424.45 ± 4.24
23	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.4	-	-	-	-
24	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.2	-	-	-	-
25	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.6	5.59 ± 0.01	3.39 ± 0.08	5.62 ± 0.13	414.51 ± 2.89
26	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.4	-	-	-	-
27	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.2	-	-	-	-

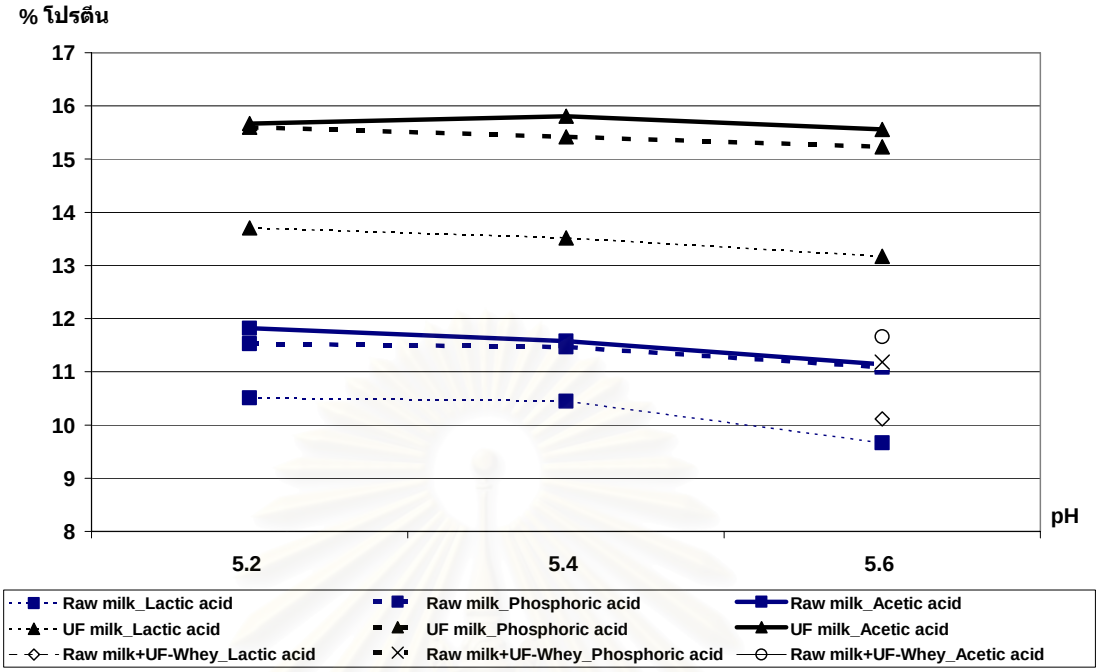
ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยการตัดค่าต่าง ๆ สำหรับตัวอย่างที่เป็น raw milk+UF-whey ที่ pH 5.4 และ5.2 ออก a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ F-value ของสมบัติทางเคมีในเนยแข็งเฟตตาเมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรดและระดับ pH

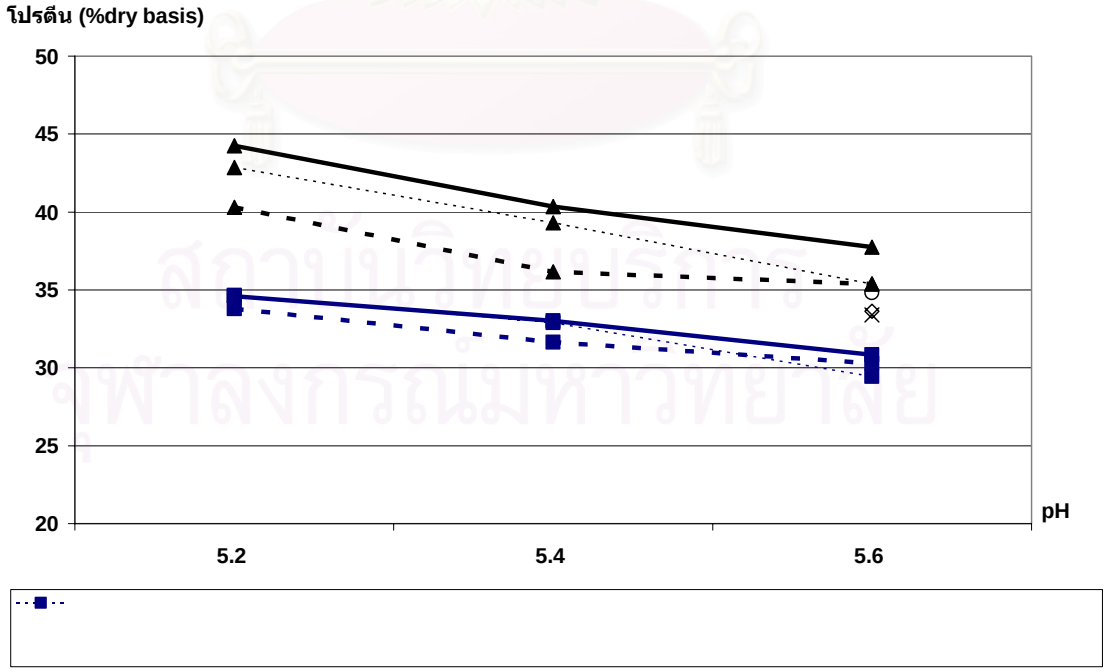
SOV	d.f.	F-value							
		%โปรตีน	โปรตีน (%dry basis)	%ไขมัน	ไขมัน (%dry basis)	pH เนยแข็ง	%เกลือ	%เถ้า	ปริมาณแคลเซียม (mg/100 g)
ชนิดนม (A)	1	6722.434 **	475.177 **	897.456 **	31.529 **	94.299 **	358.317 **	447.989 **	11551.490 **
ชนิดกรด (B)	2	564.819 **	16.991 **	0.233 NS	63.150 **	21.756 **	5.106 *	5.004 *	257.076 **
pH (C)	2	42.510 **	96.101 **	5.851 *	44.859 **	348.064 **	21.726 **	1.772 NS	218.331 **
A*B	2	37.783 **	5.922 *	2.832 NS	4.429 *	11.822 **	1.594 NS	3.251 NS	4.130 *
A*C	2	4.513 *	5.158 *	1.044 NS	4.145 *	1.949 NS	1.050 NS	1.706 NS	1.931 NS
B*C	4	1.753 NS	2.292 NS	0.780 NS	0.671 NS	0.755 NS	0.581 NS	1.534 NS	2.079 NS
A*B*C	4	1.411 NS	0.170 NS	0.407 NS	0.575 NS	2.695 NS	0.644 NS	1.027 NS	2.236 NS

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$), NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 พบว่าชนิดของนม (A) ที่ใช้ในการผลิตเนยแข็ง Fetta มีผลต่อค่า %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) %ไขมัน ไขมัน (%dry basis) pH %เกลือ %เถ้า และปริมาณแคลเซียม ($p \leq 0.01$) และชนิดของกรด(B) มีผลต่อค่า %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) และ %ไขมัน (%dry basis) pH ปริมาณแคลเซียม ($p \leq 0.01$) %เกลือ และ%เถ้า ($p \leq 0.05$) และระดับของ pH (C) มีผลต่อค่า %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) ไขมัน (%dry basis) pH %เกลือ และปริมาณแคลเซียม ($p \leq 0.01$) %ไขมัน ($p \leq 0.05$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของนมและชนิดของกรดต่อค่า %โปรตีน pH ($p \leq 0.01$) โปรตีน (%dry basis) ไขมัน (%dry basis) ปริมาณแคลเซียม($p \leq 0.05$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของนมและระดับของ pH ต่อค่า %โปรตีน โปรตีน(%dry basis) และไขมัน (%dry basis) ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของกรดและระดับของ pH และไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสามต่อค่าที่ตรวจวัดทั้งหมดดังที่กล่าวมา($p > 0.05$)



รูปที่ 4.8 %โปรตีนของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

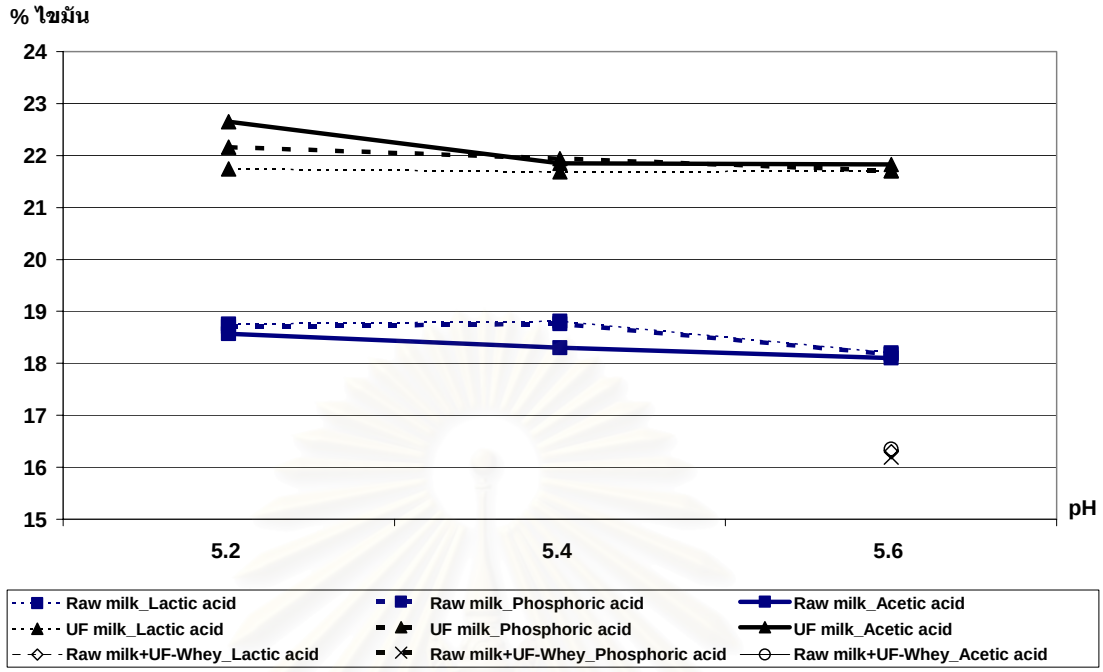


รูปที่ 4.9 ค่าโปรตีน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

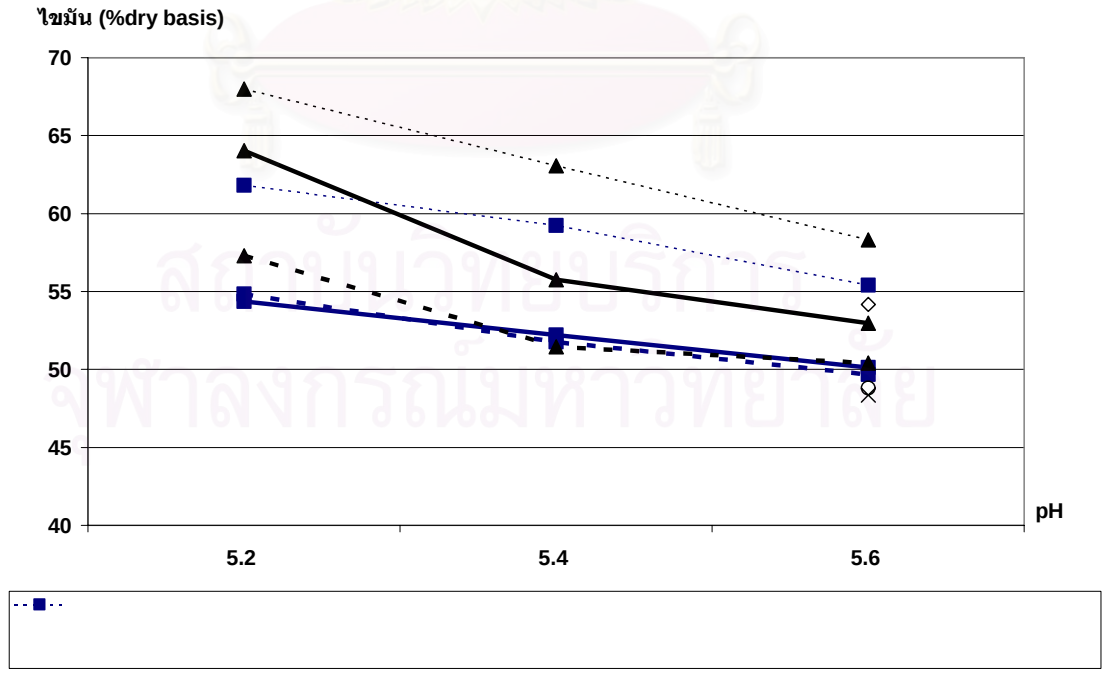
จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่า %โปรตีนสูงสุด ส่วนค่า %โปรตีนในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตด้วยนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF กับตัวอย่างนมดิบใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเปลี่ยนชนิดของกรดเป็นชนิดใดก็ตาม เพราะนมที่ผ่านการกรองแบบ UF เกิดการกรองกลับโปรตีนซึ่งทำให้ยังคงมีปริมาณอยู่ใน retentate สูง เมื่อนำมาผลิตเป็นเนยแข็งจึงทำให้ปริมาณโปรตีนมากขึ้น และจากรายงานของ Bylund (1995) ได้อธิบายเสริมเหตุผลที่กล่าวมาว่า การใช้กรองแบบ UF ในการผลิตเนยแข็งทำให้เวย์โปรตีนเกิดการเสียสภาพและสร้างพันธะ sulphur bridges ระหว่างเวย์โปรตีนกับเคซีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ใน curd ทำให้สามารถดึงเวย์โปรตีนที่เคยสูญเสียไปตอนระบายน้ำเวย์ทิ้งกลับมาได้มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณผลผลิตและปริมาณโปรตีนในเนยแข็งที่ได้เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าโปรตีน (%dry basis) พบว่าเป็นไปในแนวเดียวกับค่า %โปรตีน คือ เนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่าโปรตีน (%dry basis) สูงสุด เพียงแต่ว่าค่าโปรตีน (%dry basis) ของเนยแข็งที่ผลิตด้วยนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF จะมีค่ามากขึ้นกว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวอย่างนมดิบเมื่อคิดโปรตีนในรูปของแข็งแห้ง เพราะในเวย์ที่ได้จากการผลิตเนยแข็ง จะมีองค์ประกอบสำคัญเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ น้ำ 93.6 % แลกโตส 4.8 % โปรตีน 0.55 % เถ้า 0.5 และไขมัน 0.05 % (Bylund , 1995) ซึ่งน้ำ แลกโตส และเถ้านั้นจะแพร่ออกจากเมมเบรนเมื่อนำเวย์ไปกรองแบบ UF จึงเหลือแต่โปรตีนและไขมันที่สามารถกรองกลับได้ จึงทำให้เวย์ที่ผ่านการกรองมีปริมาณโปรตีนที่มากขึ้น โดย Hinrichs (2001) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่าเมื่อเรานำน้ำเวย์เข้มข้นที่ได้ไปผสมกับนมดิบและนำไปผลิตเนยแข็ง whey protein particles (WPP) จะไปฝังตัวอยู่ในช่องของเคซีน (pores of casein network) คล้ายกับเม็ดไขมัน ทำให้ได้ปริมาณโปรตีนในเนยแข็งเพิ่มขึ้น โดยขนาดของ pore size ของ network จะอยู่ที่ประมาณ 10 μm โดยขนาดของ WPP ที่อยู่ระหว่าง 1 -10 μm จะทำให้โครงสร้างของเนยแข็งที่ได้เสถียร แต่ถ้าขนาดใหญ่กว่าขนาดของ pore size จะไปรบกวนการฟอร์มตัวของ network ทำให้ได้เนยแข็งที่มี firmness ลดลง

ส่วนเนยแข็งที่ผลิตด้วยการเติมกรด lactic ให้ค่า %โปรตีนน้อยที่สุด ส่วนกรด phosphoric และ acetic ให้ค่า %โปรตีนที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันสำหรับ cheese dry matter

และเนยแข็งที่ผลิตที่ pH 5.2 5.4 และ 5.6 ให้ค่า %โปรตีนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนเนยแข็งที่ปรับ pH ไปที่ 5.2 ให้ค่า โปรตีน (%dry basis) ที่สูงสุดตามมาด้วย pH 5.4 และ 5.6 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเป็นระดับ pH ที่ใกล้กับ ค่า isoelectric point (pI) ของโปรตีนของนมซึ่งอยู่ที่ประมาณ pH 4.6 มากที่สุด ดังนั้นโอกาสที่โปรตีนจะตกตะกอนออกมาจึงมีมากกว่าที่ระดับ pH ที่ห่างจากจุด pI และเมื่อเปรียบเทียบโดยไม่คิดรวมน้ำแล้วจึงพบความเด่นชัดของค่าดังกล่าวมากขึ้น



รูปที่ 4.10 %ไขมันของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

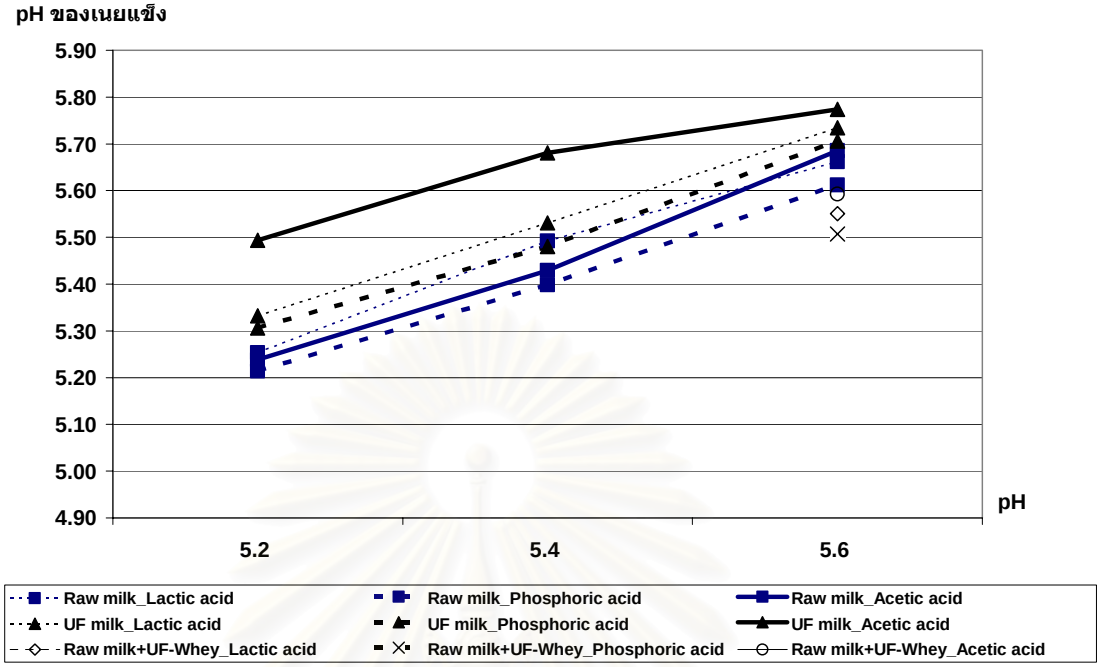


รูปที่ 4.11 ค่าไขมัน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่า %ไขมันและไขมัน (%dry basis) ที่สูงสุด ตามมาด้วยเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบและนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีการกรองกลับของไขมันจึงทำให้มีปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาใช้ผลิตเป็นเนยแข็งจึงทำให้มีปริมาณไขมันมากกว่า ส่วนนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF นั้นถึงจะมีการกรองเวย์กลับอยู่บ้าง แต่ในเวย์นั้นมีปริมาณไขมันอยู่น้อยมาก ดังนั้นเมื่อนำมาผสมกับนมดิบจึงทำให้เกิด dilution effect แล้วเกิดการเจือจางของปริมาณในวัตถุดิบผสมดังกล่าว จึงทำให้ปริมาณไขมันสุดท้ายในเนยแข็งที่ได้ต่ำกว่าตัวอย่างอื่น ๆ โดย Hinrichs (2001) ได้รายงานเพิ่มเติมว่าในเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ปริมาณไขมันต่ำเพราะ WPP ที่ได้จากการกรองกลับนั้นมีขนาดและโครงสร้างที่ใกล้เคียงกับเม็ดไขมัน จึงไปแทรกอยู่ใน casein network แทนที่บริเวณเดิมของเม็ดไขมัน จึงทำให้ปริมาณไขมันที่ผลิตจากตัวอย่างดังกล่าวลดลง

ส่วนเนยแข็งที่ผลิตด้วยการเติมกรด lactic ให้ค่าไขมัน (%dry basis) ที่สูงสุดตามมาด้วยเนยแข็งที่ผลิตด้วยการเติมกรด acetic และ phosphoric ตามลำดับ เนื่องจากไขมันในนมเป็นไขมันประเภท lipoproteins (Bylund , 1995) คือมีโปรตีนหุ้มล้อมรอบอยู่การที่จะทำให้ได้ไขมันออกมาต้องทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพหรือแยกตัวออกมาก่อน แต่เนื่องมาจากกรด phosphoric สามารถให้โปรตอนได้มากกว่ากรดชนิดอื่น และโปรตอนที่ได้ไป protonate หมู่ NH_3^+ ของโปรตีน ทำให้โปรตีนมีประจุรวมเป็นบวก ทำให้เกิดการผลักกันแต่ไม่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลโปรตีน เป็นผลให้โปรตีนสามารถละลายได้มากขึ้นและไม่รวมตัวกันตกตะกอนลงมาในเนยแข็ง จึงไม่สามารถ bind ไขมันเอาไว้ในร่างแหของโปรตีนเจลในลิ่มนมได้มากและทำให้ปริมาณไขมันของเนยแข็งที่เตรียมด้วยกรด phosphoric มีค่าต่ำที่สุด

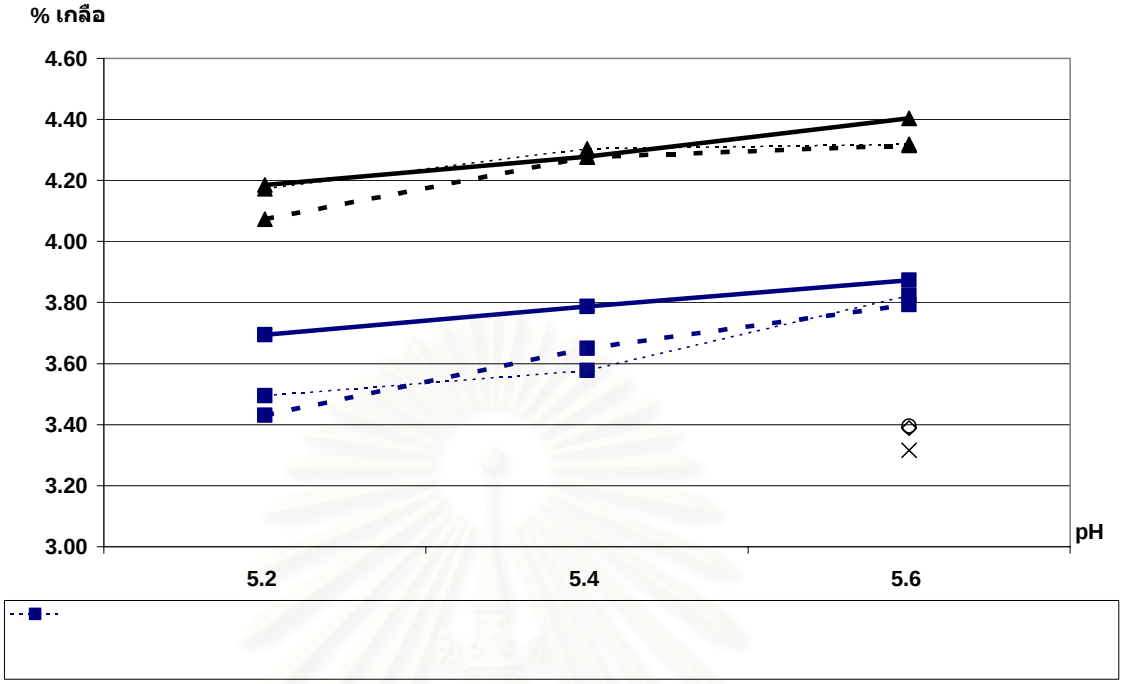
และเนยแข็งที่ปรับ pH ไปที่ระดับ 5.2 ให้ค่า %ไขมันและไขมัน (%dry basis) ที่สูงสุดตามมาด้วย pH 5.4 และ 5.6 ตามลำดับ เนื่องจากเป็นระดับ pH ที่ใกล้กับ ค่า isoelectric point (pI) ของโปรตีนในนม ดังนั้นจึงพลอยทำให้ประจุรวมที่ผิวร่วมระหว่างไขมันกับน้ำเข้าใกล้ศูนย์เช่นเดียวกัน (Bylund, 1995) จึงเกิดการเกาะกลุ่มของเม็ดไขมันและ bind อยู่ในร่างแหของโปรตีนเจลในลิ่มนมได้มาก



รูปที่ 4.12 ค่า pH ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.12 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF และนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีค่า pH ที่ใกล้เคียงกัน และมากกว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวอย่างนมดิบ ทั้งนี้เพราะนมทั้งสองชนิดมีการกรองกลับโปรตีนมากกว่า จึงทำให้เนยแข็งทั้งสองมีประจุเป็นลบซึ่งเป็น net charge ของโปรตีนที่มากกว่าตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบ เลยส่งผลให้มี pH ที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการกรองแบบ UF (นมดิบ)

ส่วนเนยแข็งที่ผลิตจากการเติมกรด phosphoric ให้ค่า pH ต่ำที่สุด ตามมาด้วยกรด lactic และ acetic ตามลำดับ เนื่องจากกรด phosphoric เป็นกรดที่แตกตัวให้ H^+ ได้ง่ายที่สุด (ค่า Ka สูงที่สุด) และเป็นกรดแก่กว่ากรดอีก 2 ชนิด จึงทำให้ค่า pH ของเนยแข็งที่เตรียมโดยกรดชนิดนี้มีค่าต่ำที่สุด ไม่ว่าจะเตรียมจากนมวัตถุดิบชนิดใด ซึ่งเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Farkye et al. (1995) ที่ผลิตเนยแข็ง Queso Blanco โดยการตกตะกอนนมด้วยวิธีเติมกรดโดยตรง พบว่าเนยแข็งที่ตกตะกอนด้วยกรด acetic และ lactic ให้เนยแข็งที่มี pH 5.28 และ 5.27 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่กรด lactic มีค่า Ka ที่สูงกว่า (lactic acid Ka = 1.374×10^{-4} , acetic acid Ka = 1.8×10^{-5}) จึงสามารถแตกตัวให้ H^+ ได้มากกว่าจึงทำให้ได้เนยแข็งที่มี pH ต่ำกว่า



รูปที่ 4.13 %เกลือของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

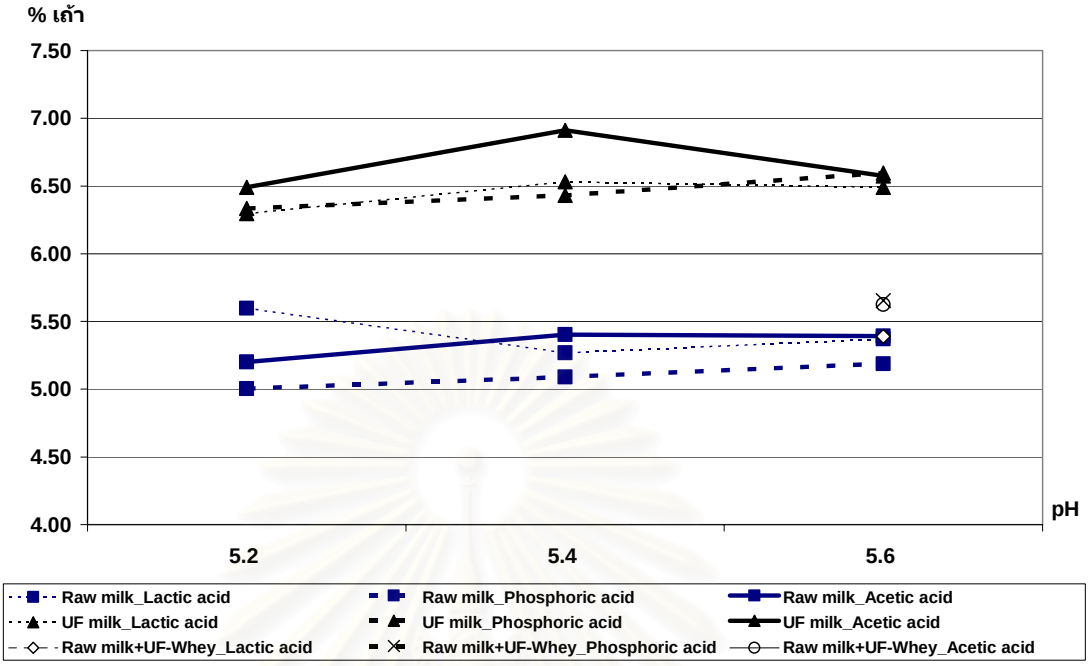
จากรูป 4.13 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่า %เกลือสูงสุด ตามมาด้วยตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบ และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีปริมาณเกลือเหลืออยู่ต่ำที่สุด รองลงไปได้แก่นมดิบ และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF เนื่องจากผลของหน้าที่การกรองด้วยเมมเบรนและการผสมนม เมื่อนำเนยแข็งที่ผลิตด้วยนมวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ไปแช่ในสารละลายเกลือ จึงเกิดอัตราการแพร่เข้าของเกลือ NaCl ที่แตกต่างกันตาม concentration gradient ที่แตกต่างกัน โดย Kaya (2002) ได้ศึกษาถึงการแพร่ของเกลือจาก brine เข้าสู่เนยแข็ง Gaziantep พบว่าเนยแข็งที่จุ่มอยู่ใน brine ที่มีความเข้มข้นของเกลือ 25% จะให้เนยแข็งที่มีปริมาณเกลือมากที่สุดคือ 11.63% ตามมาด้วยเนยแข็งที่จุ่มอยู่ใน brine ที่มีความเข้มข้นของเกลือ 20% 15% 10% และ 5% โดยจะให้ปริมาณเกลือเท่ากับ 8.94% 6.25% 5.75% และ 3.14% ตามลำดับ กล่าวคือ เนยแข็งชนิดที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ UF จะเกิดการแพร่เข้าของเกลือมากที่สุด จึงมีปริมาณเกลือสุดท้ายสูงที่สุด และเนยแข็งที่ผลิตจากนมอีก 2 ชนิด มีปริมาณเกลือต่ำกว่าลดหลั่นกันไปตามลำดับ

ส่วนเนยแข็งที่ผลิตที่ pH 5.6 มีค่า %เกลือ สูงสุดตามมาด้วย pH 5.4 และ 5.2 ตามลำดับ เนื่องจากเนยแข็งที่เตรียมที่ pH 5.2 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่ใช้และใกล้เคียงกับค่า pI ของ casein ที่อยู่ที่ pH ประมาณ 4.6 (Bylund , 1995) มากที่สุด จึงน่าจะมีประจุบวกอยู่มากที่สุดเมื่อ

เปรียบเทียบกับเนยแข็งที่เตรียมด้วยค่า pH อีก 2 ค่า ดังนั้น เมื่อนำไปแช่ในสารละลายเกลือตามขั้นตอนของกระบวนการผลิต ประจุบวกของ Na^+ จึงเกิดการผลักกันกับประจุบวก NH_3^+ ของโปรตีน ในเนยแข็งได้มากกว่า และไม่เกิดการจับ Na^+ ได้มาก จึงทำให้เนยแข็งที่เตรียมที่ค่า pH 5.2 นี้มีปริมาณเกลือต่ำที่สุด นอกจากนี้ Lucey and Fox (1993) ได้รายงานว่าการตกตะกอนนมที่ระดับ pH ต่ำ ๆ จะทำให้ colloidal calcium phosphate ที่อยู่ใน curds กลับมาแตกตัวอยู่ในรูป Ca^{2+} มากขึ้น และรบกวนการทำปฏิกิริยาของ Na^+ เนื่องจากมีประจุบวกเหมือนกัน

เนยแข็งที่ผลิตด้วยการเติมกรด acetic มีค่าเปอร์เซ็นต์เกลือมากที่สุด ตามมาด้วยกรด lactic และ phosphoric ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเนยแข็งที่เตรียมด้วยกรด phosphoric น่าจะมีประจุบวกอยู่มากที่สุดเนื่องจากแตกตัวให้ H^+ ได้ง่ายกว่าตามค่า Ka ที่สูงที่สุด ดังนั้นเมื่อนำไปแช่ในสารละลายเกลือจะเกิดการผลักกันกับ Na^+ ได้มาก จึงทำให้มีปริมาณเกลือสุดท้ายเหลืออยู่ในเนยแข็งน้อยที่สุด ส่วนเนยแข็งที่เตรียมจากกรดอีก 2 ชนิด คือ กรด lactic และ acetic จะมีปริมาณเกลือมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลที่สัมพันธ์กันโดยที่กรด lactic มีค่า Ka น้อยกว่ากรด phosphoric และกรด acetic มีค่า Ka น้อยที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Farkye et al. (1995) ที่ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของเนยแข็ง Queso Blanco ที่ผลิตด้วยการเติมกรดชนิดต่าง ๆ ก่อนตกตะกอนนม พบว่าเนยแข็งที่ตกตะกอนนมด้วยกรด acetic citric และ lactic ให้เนยแข็งที่มี %เกลือ เท่ากับ 1.94 1.89 และ 1.79 ตามลำดับ เนื่องจากกรดที่มีค่า Ka น้อยที่สุดจะแตกตัวให้ H^+ น้อยที่สุด (acetic Ka: 1.8×10^{-5} citric Ka: 7.10×10^{-4} และ lactic Ka: 1.374×10^{-4}) จึงเกิดการผลักกันกับ Na^+ ได้น้อยกว่ากรดที่มีค่า Ka มากกว่าจึงทำให้มีปริมาณเกลือที่สูงกว่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

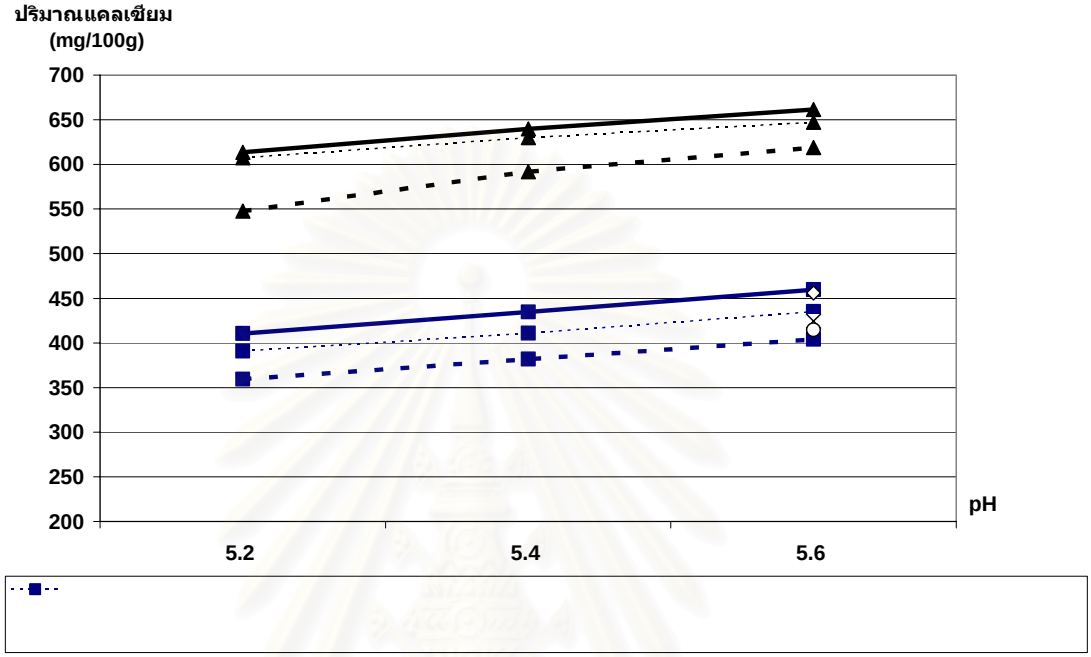


รูปที่ 4.14 %เถ้าของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.14 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่า%เถ้า สูงสุด ตามมาด้วยเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF และนมดิบตามลำดับ และค่อนข้างสอดคล้องกับปริมาณเกลือ ถึงแม้ว่าการกรองแบบ UF จะไม่สามารถกรองกลับพวกแร่ธาตุหรือเกลือต่าง ๆ ได้ แต่ Bennasar et al. (1982) ได้รายงานว่าปริมาณแคลเซียมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม volumetric concentration factor ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะการที่มีแคลเซียมกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำซึ่งอยู่ในรูป colloidal phase ไปจับอยู่กับโปรตีนในรูป calcium phosphate ภายใน casein micelles จึงทำให้ยิ่งกรองก็ยิ่งทำให้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับค่า %เกลือ (NaCl) ของเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ที่แสดงในรูปที่ 4.13 มีค่าสูงสุดเลย ส่งผลเพิ่มเติมให้ค่า %เถ้ามากที่สุดด้วย สำหรับเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ซึ่งมีปริมาณเถ้าสูงกว่าเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบ ทั้ง ๆ ที่มีปริมาณเกลือต่ำกว่านั้น Renner and Abd El-salam (1991) ได้อธิบายว่าการกรองเวย์แบบ UF นั้นจะเกิดการจับกันระหว่างโปรตีน (protein-bound) กับ calcium และ phosphorus ทำให้มีธาตุทั้งสองเพิ่มมากขึ้น และอาจส่งผลให้ปริมาณเถ้าในตัวอย่างดังกล่าวสูงขึ้นด้วย

พบว่าชนิดของกรดมีอิทธิพลต่อปริมาณเถ้าในเนยแข็ง โดยที่ตัวอย่างที่เตรียมจากกรด phosphoric กรด lactic และกรด acetic มีปริมาณเถ้าจากต่ำที่สุดไปจนถึงสูงที่สุดตามลำดับ และสอดคล้องกับปริมาณเกลือ NaCl แต่ค่าของปริมาณเถ้าสูงกว่าปริมาณเกลือ เนื่องจากในเนยแข็งยังมีแร่ธาตุตัวอื่น ๆ และที่สำคัญที่สุดได้แก่ แคลเซียมซึ่งย่อมมีอยู่ในนมวัตถุดิบทุกชนิดและมี

ปริมาณมาก เช่น ในรูปของ calcium lactate และ calcium phosphate เป็นต้น (Walstra et al., 1999) จึงช่วยเสริมให้ค่าปริมาณเถ้าสูงกว่าปริมาณเกลือ



รูปที่ 4.15 ปริมาณแคลเซียมของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนม กรดและ pH ต่างกัน

จากรูปที่ 4.15 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่าปริมาณแคลเซียมสูงสุด ตามมาด้วยเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF และนมดิบตามลำดับ ดังอธิบายได้ด้วยเหตุผลเกี่ยวกับอิทธิพลของการกรองแบบ UF ที่มีต่อแคลเซียม ที่กล่าวไว้แล้วสำหรับปริมาเถ้า

ส่วนเนยแข็งที่ผลิตโดยการตกตะกอนด้วยกรด phosphoric ให้ค่าปริมาณแคลเซียมต่ำสุด ส่วนเนยแข็งที่เตรียมโดยกรด lactic และ acetic ให้ค่าปริมาณแคลเซียม ที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ถึงแม้ Creamer and Waugh (1966) จะรายงานว่าเมื่อมีการเติม phosphate ลงใน casein solution ก่อนการตกตะกอนมาเป็น Ca-α_s-casein จะทำให้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นเพราะ phosphate ทำให้แคลเซียมยังคงอยู่ในรูป colloid มากกว่าในรูปที่ละลายได้ แต่อาจเป็นไปได้ว่าอิทธิพลของกรด phosphoric ที่สามารถแตกตัวให้ H^+ มากที่สุดตามค่า Ka ที่สูงที่สุดมีผลต่อการลดของ pH และทำให้แคลเซียมสามารถละลายได้มากกว่าอิทธิพลของ phosphate ซึ่งมีความรุนแรงในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าจึงทำให้สูญเสียแคลเซียมออกไปมากกว่าการตกตะกอนด้วยกรดอื่น ๆ เลยส่งผลให้ได้ค่าปริมาณแคลเซียมที่น้อยที่สุดในเนยแข็งที่เตรียมจากกรด phosphoric ดังกล่าว

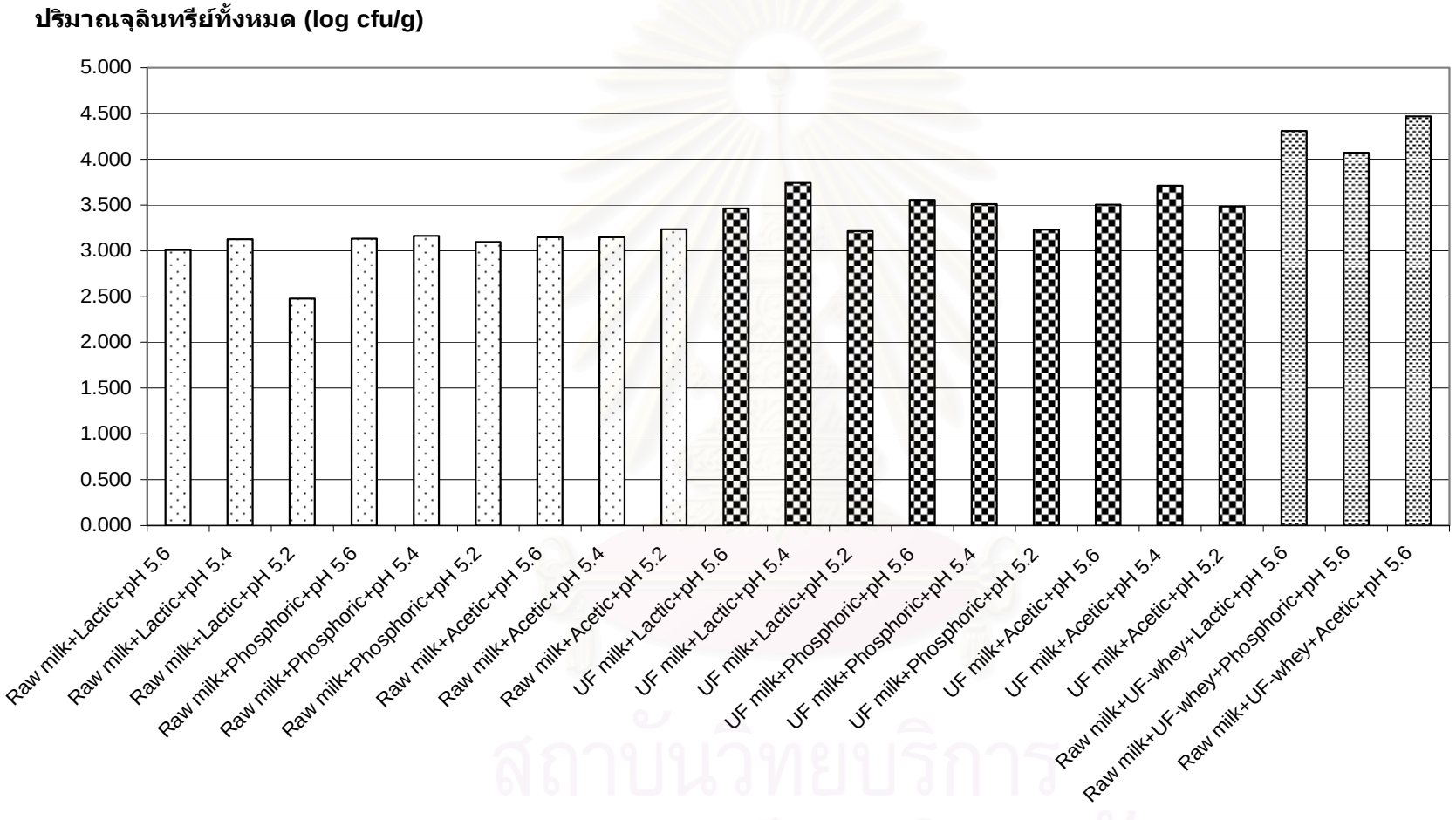
4.4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH

หลังจากผลิตเนยแข็ง Fetta ด้วยตัวอย่างนมชนิดต่างกัน 3 ชนิด ลด pH ด้วยการเติมกรดโดยตรง โดยมีกรดที่ใช้ 3 ชนิด และมีการปรับระดับ pH ลงมา 3 ระดับก่อนนำไปผลิต Fetta cheese แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC log cfu/g) ปริมาณยีสต์และราผลแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาของเนยแข็ง Fetta เมื่อแปรชนิดของนม ชนิดของกรดและระดับ pH

Trt.	ชนิดนม	ชนิดกรด	pH	TPC (log cfu/g)	ยีสต์และรา
1	Raw milk	Lactic	5.6	3.01 ± 0.15	ไม่พบ
2	Raw milk	Lactic	5.4	3.13 ± 0.07	
3	Raw milk	Lactic	5.2	2.48 ± 0.00	
4	Raw milk	Phosphoric	5.6	3.13 ± 0.02	
5	Raw milk	Phosphoric	5.4	3.16 ± 0.02	
6	Raw milk	Phosphoric	5.2	3.09 ± 0.07	
7	Raw milk	Acetic	5.6	3.15 ± 0.04	
8	Raw milk	Acetic	5.4	3.15 ± 0.04	
9	Raw milk	Acetic	5.2	3.23 ± 0.12	
10	UF-Milk	Lactic	5.6	3.46 ± 0.02	
11	UF-Milk	Lactic	5.4	3.74 ± 0.03	
12	UF-Milk	Lactic	5.2	3.22 ± 0.06	
13	UF-Milk	Phosphoric	5.6	3.56 ± 0.15	
14	UF-Milk	Phosphoric	5.4	3.51 ± 0.09	
15	UF-Milk	Phosphoric	5.2	3.23 ± 0.04	
16	UF-Milk	Acetic	5.6	3.50 ± 0.04	
17	UF-Milk	Acetic	5.4	3.71 ± 0.08	
18	UF-Milk	Acetic	5.2	3.48 ± 0.01	
19	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.6	4.31 ± 0.06	
20	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.4	-	
21	Raw milk+UF-whey	Lactic	5.2	-	
22	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.6	4.07 ± 0.07	
23	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.4	-	
24	Raw milk+UF-whey	Phosphoric	5.2	-	
25	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.6	4.47 ± 0.01	
26	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.4	-	
27	Raw milk+UF-whey	Acetic	5.2	-	

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยการตัดค่าต่าง ๆ สำหรับตัวอย่างที่เป็น raw milk+UF-whey ที่ pH 5.4 และ 5.2 ออก



รูปที่ 4.16 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตด้วยตัวแปรต่างกัน

จากรูปที่ 4.16 พบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ให้ค่า TPC (log cfu/g) มากที่สุด ตามมาด้วยตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF และตัวอย่างนมดิบตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเนยแข็งที่ผลิตจากตัวอย่างนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF มีเชื้อจุลินทรีย์ที่หลงเหลือมาจากการผลิตเนยแข็ง และมาพร้อมกับตัวอย่างเวย์จึงทำให้เนยแข็งที่ผลิตจากตัวอย่างดังกล่าวมีค่า TPC (log cfu/g) มากที่สุด ตามมาด้วยตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF เนื่องจากตัวอย่างดังกล่าวมีสารอาหารที่ได้จากการกรองกลับที่ค่อนข้างสูง และเป็นแหล่งอาหารที่ดีให้กับเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจมีอยู่ในนมวัตถุดิบบ้าง

จากการศึกษาหาชนิดของกรดและ pH ของนมหลังการเติมกรดที่เหมาะสมในการผลิตเนยแข็ง Fetta อาจสรุปได้ว่าการเติมกรด acetic ที่ pH 5.6 ลงในนมโดยตรงก่อนการตกตะกอนด้วย rennet เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเนยแข็งชนิดนี้ เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวให้ค่าน้ำหนักเนยแข็ง cheese dry matter (g) %yield %yield at 55%MC. และ hardness มากที่สุด และให้ค่าความชื้นต่ำที่สุด

ส่วนเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF แล้วตกตะกอนที่ pH 5.4 และ 5.2 ด้วยการเติมกรดไม่ว่าชนิดใดก็ตาม พบว่าเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมที่จะผลิตเป็นเนยแข็งเฟตตา เนื่องจากไม่สามารถผลิตเป็นเนยแข็งได้และมี % yield ที่ต่ำมาก อีกทั้งเนยแข็งที่ได้มีลักษณะเละไม่สามารถเกาะตัวเป็นรูปทรงได้

ดังนั้นจึงสรุปว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยวิธีการเติมกรด acetic ที่ pH 5.6 นั้นเหมาะสมที่สุดแล้วนำมาใช้เตรียมเนยแข็ง Fetta เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

ข้อสรุปดังกล่าวเป็นไปแนวทางเดียวกับผลการทดลองของ Keller et al. (1974) ที่ศึกษาสมบัติของเนยแข็ง Mozzarella ที่ผลิตด้วยการเติมกรดโดยตรง และพบว่าเนยแข็งที่ตกตะกอนนมด้วยกรด phosphoric acetic และ hydrochloric ที่ระดับ pH 5.6 และ 5.4 ให้ค่า % ความชื้นที่ต่ำกว่าและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนเนยแข็งที่ตกตะกอนที่ระดับ pH 5.2 จะให้ % ความชื้น ที่สูงกว่าที่ระดับ pH 5.4 และ 5.6 ถ้าเทียบในชนิดกรดที่ตกตะกอนเดียวกัน และในงานวิจัยของ Hydamaka et al. (2001) ได้ผลิตเนยแข็งด้วยนมที่ผ่านการกรองแบบ UF และด้วยวิธีเติมกรดโดยตรง พบว่าเนยแข็งที่ลด pH ก่อนการตกตะกอนนมมาที่ 5.7 5.5 และ 5.3 ให้ค่า yield at 52%MC. ไม่แตกต่างกันกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และสูงกว่าการลด pH มาที่ 5.9 และ 5.2 และเนยแข็งที่ตกตะกอนที่ระดับ pH 5.5 จะให้ค่า hardness สูงที่สุด โดยเนยแข็งที่ตกตะกอนที่ระดับ pH 5.2 ให้ค่า hardness ต่ำที่สุด ส่วนในงานวิจัยของ Farkye et al. (1995) ที่ศึกษาสมบัติของเนยแข็ง Queso Blanco ที่ผลิตจากวิธีการเติมกรดโดยตรง

พบว่าเนยแข็งที่ผลิตด้วยการเติมกรด lactic ให้ค่าปริมาณความชื้นสูงที่สุด ตามมาด้วยกรด acetic และ citric ตามลำดับ ส่วนเนยแข็งที่ผลิตด้วยการเติมกรด acetic ให้ค่าโปรตีนและค่า hardness สูงที่สุด ตามมาด้วยกรด citric และ lactic ตามลำดับ และในงานวิจัยของ Chandan et al. (1979) ที่ผลิต Latin American white cheese ด้วยวิธีการเติมกรดโดยตรง พบว่าการตกตะกอนนมด้วยกรด tartaric ให้ค่า %yield ที่สูงสุดคือ 12.5 ตามมาด้วยกรด acetic lactic hydrochloric และ citric ที่ให้ค่า %yield เท่ากับ 12.1 11.5 11.1 และ 10.8 ตามลำดับ และการตกตะกอนนมด้วยกรด acetic ให้ค่า %fat in dry matter สูงสุดคือ 47.1 ตามมาด้วยกรด lactic tartaric citric และ hydrochloric ที่ให้ค่า %fat in dry matter เท่ากับ 45.0 44.4 39.3 และ 37.0 ตามลำดับ และยังมีงานวิจัยของ Shehata et al. (1967) ที่ศึกษาอิทธิพลของชนิดของกรดที่ใช้ในการผลิตเนยแข็ง Pizza พบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากการเติมกรด phosphoric ให้ค่าความชื้นที่ต่ำที่สุดคือ 49.72 % ส่วนเนยแข็งที่ผลิตจากการเติมกรด hydrochloric และ lactic ให้เนยแข็งที่มีความชื้นสูงขึ้นมาคือ 50.39 % และ 50.75 % ตามลำดับ และยังพบว่าเนยแข็งที่ผลิตจากการเติมกรด phosphoric และ hydrochloric ให้ค่า firmness ที่สูงกว่าผลิตจากการเติมกรด lactic

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมต่างชนิดกัน ระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.4 พบว่าเนยแข็งที่เตรียมโดยปรับระดับ pH เป็น 5.6 ด้วยกรด acetic ก่อนการตกตะกอนด้วยเอนไซม์ rennet มีสมบัติต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงนำสภาวะดังกล่าวมาผลิตเนยแข็งโดยใช้วัตถุดิบ 3 ชนิดคือ นมดิบ นมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration เก็บที่อุณหภูมิ 4^0C เมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด (3, 30, 60, 120, 180 วัน) นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ ตรวจสอบและประเมินผลสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและประสาทสัมผัสดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.5.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิด ระหว่างการเก็บรักษา

หลังจากผลิตเนยแข็ง Fetta ด้วยการเติมกรด acetic โดยตรงและปรับระดับ pH มาที่ 5.6 โดยใช้ตัวอย่างนมชนิดต่างกัน 3 ชนิดคือ นมดิบ นมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ตามวิธีในข้อ 3.1 และ 3.2 เก็บตัวอย่างเนยแข็งแช่ในน้ำเกลือ 5 % ที่อุณหภูมิ 4^0C สุ่มตัวอย่างเนยแข็งที่เวลา 3, 30, 60, 120 และ 180 วัน นำเนยแข็งมาชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์หา %ความชื้นของเนยแข็ง %ของแข็งทั้งหมด และ cheese dry matter (g) ผลแสดงดังตารางที่ 4.9 และวิเคราะห์หา %yield %yield at 55%MC. และ hardness (N) ผลแสดงดังตารางที่ 4.9 (ต่อ) และค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าสีแดง (a*) ผลแสดงดังตารางที่ 4.10 และ F-value ของค่าดังกล่าวทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

Trt.	ชนิดของนม	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	น้ำหนักเนยแข็ง (g)	% ความชื้น	% ปริมาณของแข็งทั้งหมด	Cheese dry matter (g)
1	Raw milk	3	372.57 ^{ab} ± 5.77	62.48 ^{bc} ± 0.31	37.52 ^{de} ± 0.31	139.80 ^{bc} ± 3.32
2	Raw milk	30	362.47 ^{bc} ± 0.02	61.30 ^{cde} ± 0.38	38.70 ^{bcd} ± 0.38	140.28 ^{bc} ± 1.37
3	Raw milk	60	338.55 ^{efg} ± 0.62	61.25 ^{cde} ± 0.06	38.75 ^{bcd} ± 0.06	131.18 ^{d} ± 0.02
4	Raw milk	120	346.50 ^{de} ± 1.50	61.50 ^{cd} ± 1.22	38.50 ^{cd} ± 1.22	133.43 ^{cd} ± 4.80
5	Raw milk	180	327.84 ^{gh} ± 10.77	60.54 ^{de} ± 0.06	39.46 ^{bc} ± 0.06	129.37 ^{d} ± 4.43
6	UF-milk	3	378.35 ^{a} ± 5.04	61.22 ^{cde} ± 0.51	38.78 ^{bcd} ± 0.51	146.71 ^{ab} ± 0.02
7	UF-milk	30	367.08 ^{abc} ± 3.42	60.26 ^{de} ± 0.04	39.74 ^{bc} ± 0.04	145.87 ^{ab} ± 1.49
8	UF-milk	60	355.10 ^{cd} ± 2.47	59.88 ^{e} ± 1.00	40.12 ^{b} ± 1.00	142.46 ^{b} ± 2.55
9	UF-milk	120	356.47 ^{cd} ± 6.69	57.93 ^{f} ± 1.50	42.07 ^{a} ± 1.50	150.02 ^{a} ± 8.17
10	UF-milk	180	336.27 ^{fg} ± 5.85	56.79 ^{f} ± 0.94	43.22 ^{a} ± 0.94	145.29 ^{ab} ± 0.64
11	Raw milk+UF-whey	3	341.08 ^{ef} ± 1.47	64.11 ^{a} ± 0.14	35.89 ^{f} ± 0.14	122.41 ^{e} ± 0.04
12	Raw milk+UF-whey	30	331.77 ^{fg} ± 7.06	63.68 ^{ab} ± 0.19	36.32 ^{ef} ± 0.19	120.51 ^{e} ± 3.20
13	Raw milk+UF-whey	60	318.76 ^{h} ± 10.59	62.80 ^{abc} ± 0.32	37.20 ^{def} ± 0.32	118.57 ^{e} ± 2.92
14	Raw milk+UF-whey	120	318.26 ^{h} ± 1.29	63.44 ^{ab} ± 0.50	36.56 ^{ef} ± 0.50	116.35 ^{e} ± 1.11
15	Raw milk+UF-whey	180	288.71 ^{i} ± 0.88	63.19 ^{ab} ± 0.49	36.81 ^{ef} ± 0.49	106.27 ^{f} ± 1.10

a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

Trt.	ชนิดของนม	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	% Yield	% Yield at 55% MC	Hardness (N)
1	Raw milk	3	36.10 ^{ab} ± 0.56	30.10 ^{bc} ± 0.72	42.51 ^{e} ± 3.35
2	Raw milk	30	35.12 ^{bc} ± 0.00	30.21 ^{bc} ± 0.30	43.79 ^{de} ± 0.90
3	Raw milk	60	32.81 ^{efg} ± 0.06	28.25 ^{d} ± 0.01	45.36 ^{cd} ± 0.79
4	Raw milk	120	33.58 ^{de} ± 0.14	28.73 ^{cd} ± 1.03	46.75 ^{c} ± 1.17
5	Raw milk	180	31.77 ^{gh} ± 1.04	27.86 ^{d} ± 0.96	47.89 ^{c} ± 0.34
6	UF-milk	3	36.66 ^{a} ± 0.49	31.59 ^{ab} ± 0.00	61.84 ^{b} ± 1.36
7	UF-milk	30	35.57 ^{abc} ± 0.33	31.41 ^{ab} ± 0.32	61.88 ^{b} ± 0.34
8	UF-milk	60	34.41 ^{cd} ± 0.24	30.68 ^{b} ± 0.55	63.32 ^{ab} ± 0.66
9	UF-milk	120	34.54 ^{cd} ± 0.65	32.30 ^{a} ± 1.76	64.95 ^{a} ± 0.88
10	UF-milk	180	32.58 ^{efg} ± 0.57	31.29 ^{ab} ± 0.14	65.47 ^{a} ± 0.02
11	Raw milk+UF-	3	33.05 ^{ef} ± 0.14	26.36 ^{e} ± 0.01	29.95 ^{h} ± 1.13
12	Raw milk+UF-	30	32.15 ^{fg} ± 0.68	25.95 ^{e} ± 0.69	32.33 ^{h} ± 0.52
13	Raw milk+UF-	60	30.89 ^{h} ± 1.03	25.53 ^{e} ± 0.63	34.97 ^{g} ± 0.69
14	Raw milk+UF-	120	30.84 ^{h} ± 0.12	25.05 ^{e} ± 0.24	37.26 ^{fg} ± 0.75
15	Raw milk+UF-	180	27.98 ^{i} ± 0.09	22.88 ^{f} ± 0.24	37.96 ^{f} ± 0.71

a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.10 ผลการศึกษาค่าสีในเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

Trt.	ชนิดของนม	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	L*	a*	b*
1	Raw milk	3	87.55 ± 0.14 f	-3.25 ± 0.36 de	15.90 ± 1.12 ab
2	Raw milk	30	87.96 ± 0.17 def	-3.41 ± 0.05 e	16.04 ± 0.18 ab
3	Raw milk	60	87.96 ± 0.25 def	-3.35 ± 0.05 de	15.30 ± 0.10 abc
4	Raw milk	120	87.70 ± 0.03 ef	-2.64 ± 0.03 bc	14.89 ± 0.02 bcd
5	Raw milk	180	87.60 ± 0.01 f	-2.48 ± 0.01 bc	14.68 ± 0.06 cd
6	UF-milk	3	89.01 ± 0.17 b	-2.42 ± 0.13 b	12.92 ± 0.00 f
7	UF-milk	30	89.56 ± 0.44 a	-2.49 ± 0.04 bc	12.64 ± 0.58 f
8	UF-milk	60	89.55 ± 0.10 a	-2.42 ± 0.01 b	12.85 ± 0.27 f
9	UF-milk	120	88.37 ± 0.00 cd	-2.08 ± 0.13 a	12.91 ± 0.68 f
10	UF-milk	180	88.69 ± 0.00 bc	-2.02 ± 0.02 a	12.40 ± 0.02 f
11	Raw milk+UF-whey	3	88.11 ± 0.11 def	-3.23 ± 0.02 de	14.98 ± 0.00 bcd
12	Raw milk+UF-whey	30	88.38 ± 0.28 cd	-3.28 ± 0.01 de	14.89 ± 0.30 bcd
13	Raw milk+UF-whey	60	88.17 ± 0.60 cde	-3.11 ± 0.01 d	14.12 ± 0.83 de
14	Raw milk+UF-whey	120	87.83 ± 0.07 def	-2.72 ± 0.07 c	13.41 ± 0.28 ef
15	Raw milk+UF-whey	180	87.62 ± 0.02 f	-2.54 ± 0.00 bc	13.14 ± 0.07 ef

a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ F-value ของสมบัติทางกายภาพในเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมต่างชนิดกันระหว่างการเก็บรักษา

SOV	d.f.	F-value						
		น้ำหนักเนยแข็ง (g)	% ความชื้น	% ของแข็งทั้งหมด	Cheese dry matter (g)	% Yield	%Yield at 55%MC	Hardness (N)
ชนิดของนม (A)	2	141.264 **	98.951 **	98.911 **	213.793 **	141.265 **	213.874 **	1576.777 **
ระยะเวลาการเก็บ (B)	4	63.231 **	10.866 **	10.860 **	8.544 **	63.240 **	8.548 **	25.123 **
A*B	8	1.074 NS	3.438 *	3.438 *	2.816 *	1.074 NS	2.817 *	1.277 NS

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.11 พบว่าชนิดของนม (A) ระยะเวลาการเก็บ (B) ที่ใช้ในการผลิตเนยแข็ง Fetta มีผลต่อค่าน้ำหนักเนยแข็ง %ความชื้น %ของแข็งทั้งหมด cheese dry matter %yield %yield at 55%MC และhardness ($p \leq 0.01$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของนมและอายุการเก็บ ต่อค่า %ความชื้น %ของแข็งทั้งหมด และ cheese dry matter %yield at 55%MC ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

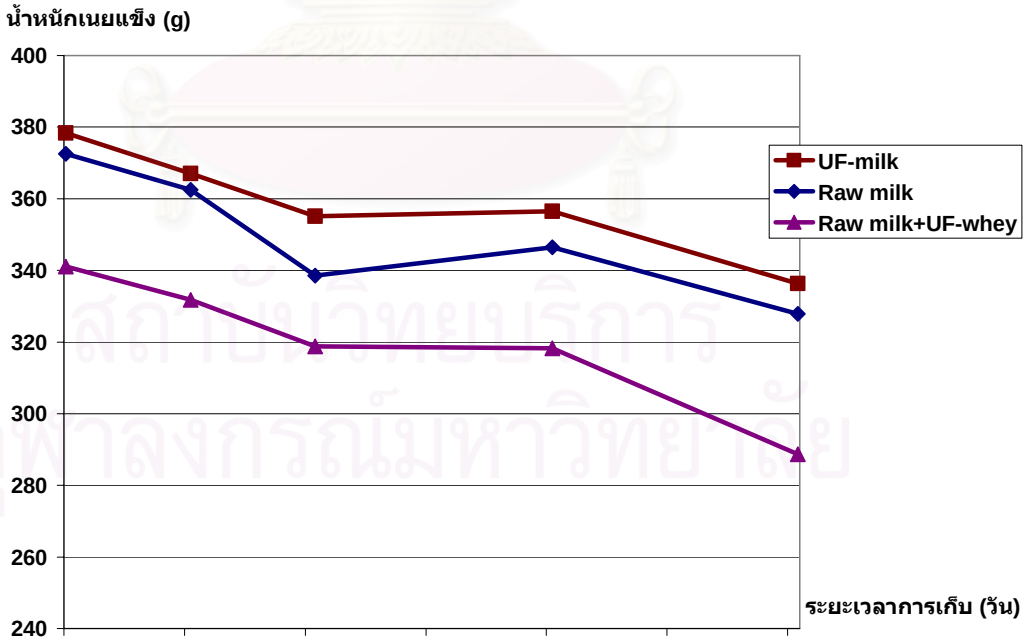
ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ F-value ของค่าสีในเนยแข็งเฟตตา ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

SOV	d.f.	F-value		
		L*	a*	b*
ชนิดของนม (A)	2	86.144 **	147.866 **	84.362 **
ระยะเวลาการเก็บ (B)	4	11.240 **	54.143 **	7.661 **
A*B	8	1.902 NS	2.228 NS	1.618 NS

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

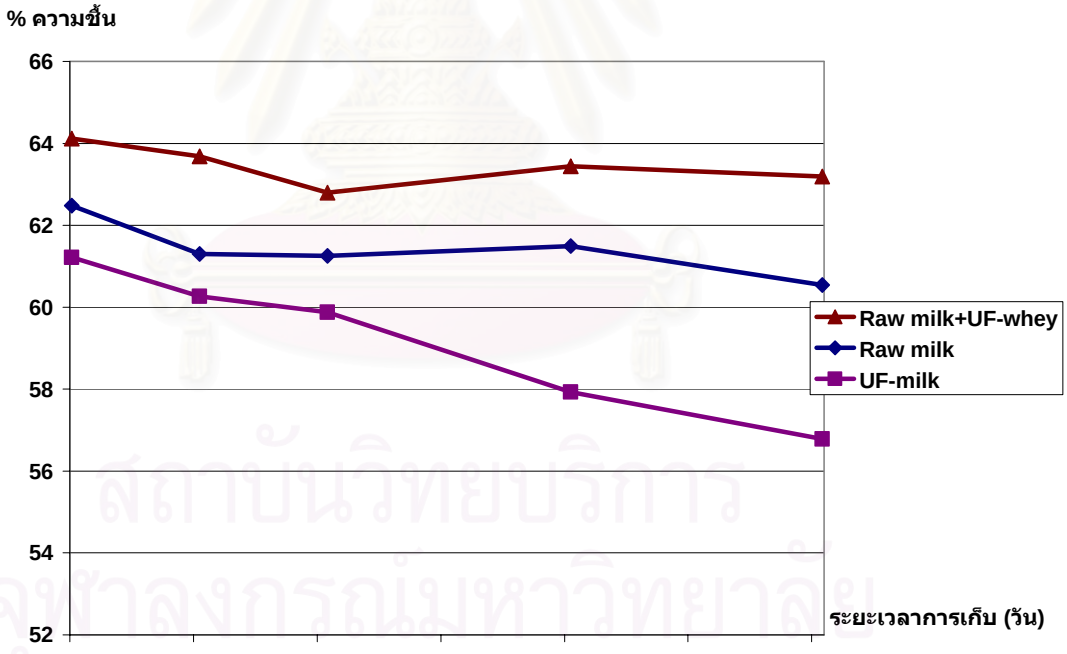
NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.12 พบว่าชนิดของนม (A) และระยะเวลาการเก็บ (B) มีผลต่อค่า ความสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าสีแดง (a*) ($p \leq 0.01$) และไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยดังกล่าว ($p > 0.05$) จึงสรุปและอภิปรายผลทดลองได้ดังนี้

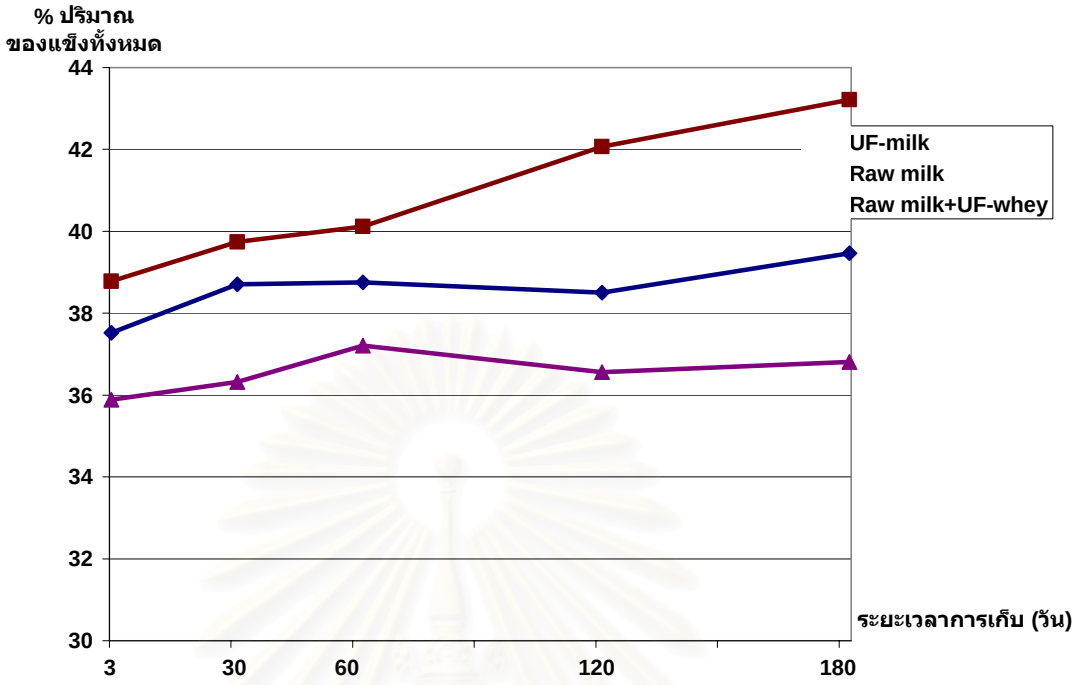


รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.17 พบว่าน้ำหนักของเนยแข็งลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น โดยจะเกิดขึ้นไม่ว่าจะผลิตจากนมชนิดใดก็ตาม เนื่องจากมีการละลายของของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (solid-not-fat) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและแพร่ออกจากเนยแข็งลงสู่ใน pickle (Teama, 1967) และการที่มีการกรดมากขึ้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นนั้นมีผลทำให้ระดับ pH ในเนยแข็งเข้าใกล้จุด isoelectric point ของ caseinate และทำให้ colloidal calcium บางส่วนละลายออกมา ก่อให้เกิดการการหดตัวของ cheese matrix และทำให้ cheese serum ไหลซึมออกสู่ pickle มากยิ่งขึ้นซึ่งปรากฏการณ์นี้ส่งผลที่สำคัญโดยตรงต่อน้ำหนักของเนยแข็งที่หายไประหว่างการเก็บ (ประมาณ 30% ของน้ำหนัก fresh cheese) (Fox, 1987) โดยในการทดลองนี้เมื่อเทียบน้ำหนักจากอายุการเก็บ 3 วัน จนถึง 180 วัน พบว่าในตัวอย่างนมดิบ นมที่ผ่านการกรองแบบ UF และนมดิบผสมเวย์ที่กรองแบบ UF มีน้ำหนักเนยแข็งหายไประหว่างการเก็บ 12.00% 11.12% และ 15.35% ตามลำดับ

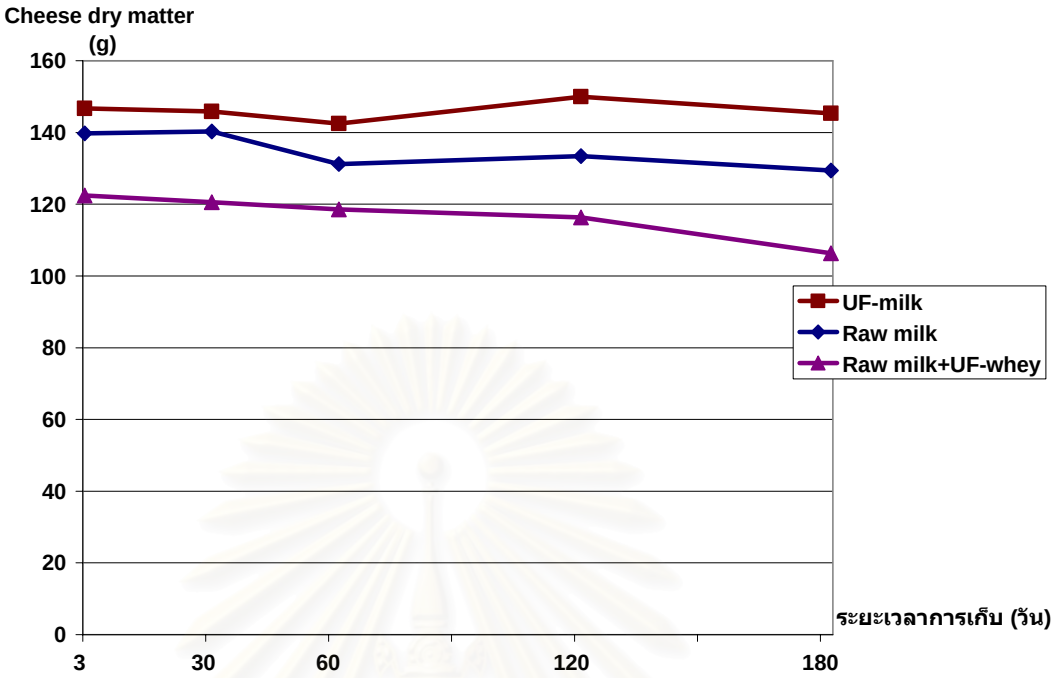


รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลง % ความชื้น ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ



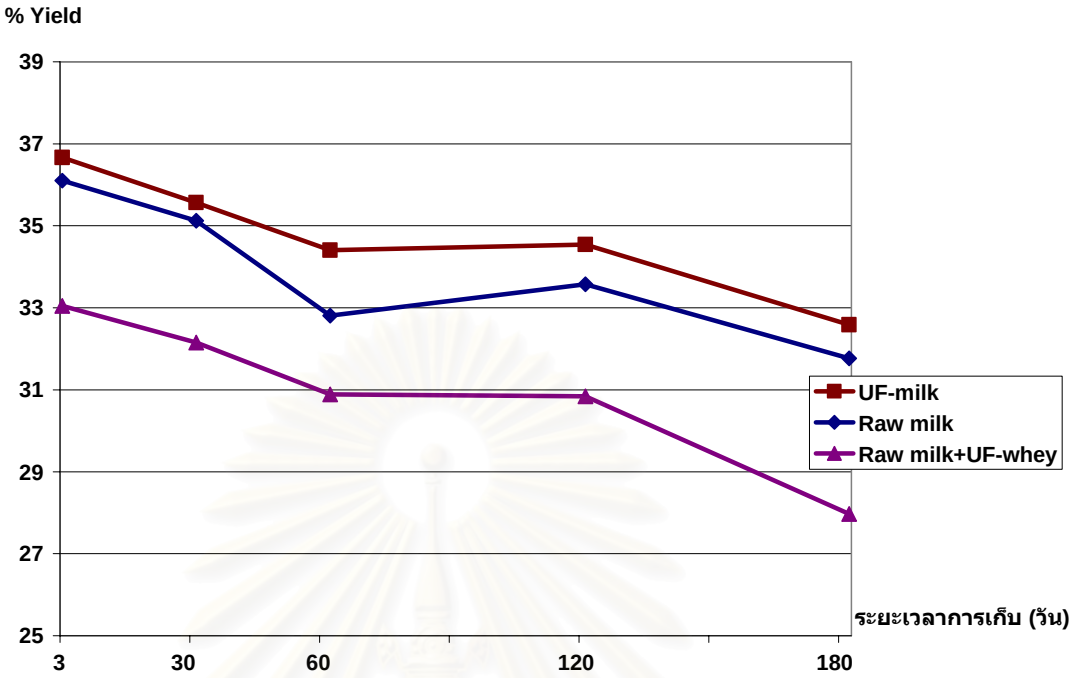
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลง % ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.18 พบว่า %ความชื้นของเนยแข็งจะมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเกิดการดูดซึมของเกลือจาก brine หรือ pickle เข้าสู่เนยแข็งอย่างต่อเนื่องแต่เกิดการแพร่ของน้ำในเนยแข็งออกสู่ brine จึงมีผลทำให้ความชื้นของเนยแข็งลดลงและส่งผลต่อค่า %ของแข็งทั้งหมดให้มีค่าสูงขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ซึ่งสอดคล้องกับในงานวิจัยของ Morris, Guinee and Fox (1985) ที่ศึกษาการแพร่ของเกลือเข้าสู่เนยแข็งเช็ดดาร์ โดยพบว่าเกลือนั้นเป็นตัวสนับสนุนให้เกิดการ syneresis ของเนยแข็ง และส่งผลโดยตรงต่อปริมาณความชื้นในเนยแข็ง โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและปริมาณเกลือในเนยแข็ง คือ ยิ่งมีการแพร่ของเกลือเข้าสู่เนยแข็งมากเท่าไรปริมาณความชื้นก็ยิ่งลดลงเรื่อย ๆ จากการสังเกตผลภายใน 24 สัปดาห์



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลง cheese dry matter (g) ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ

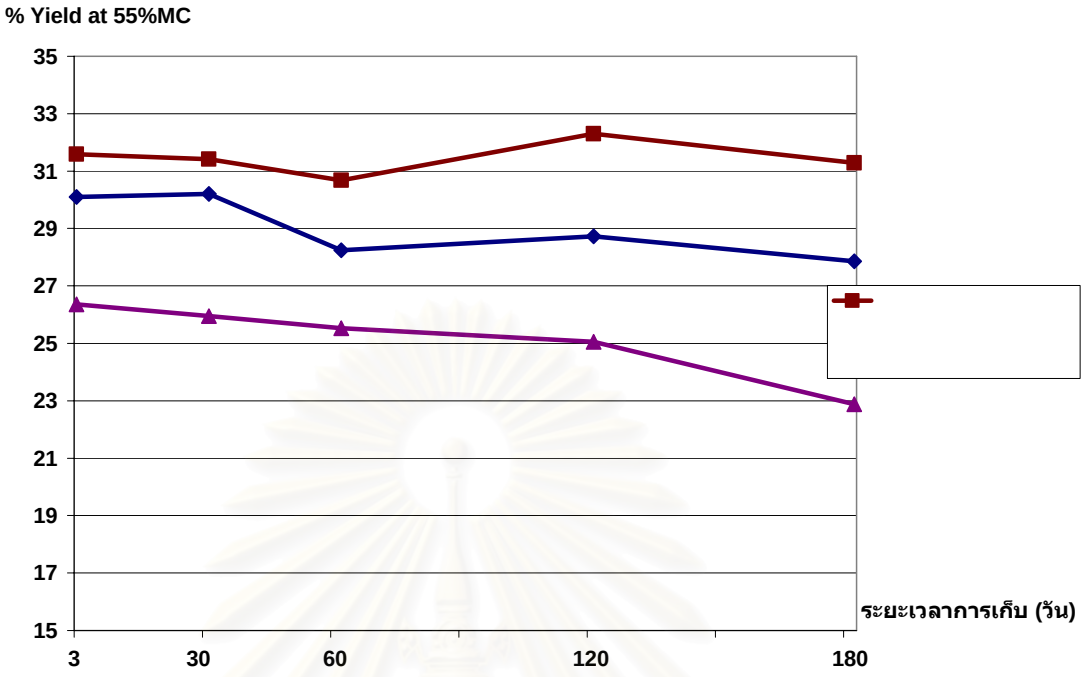
จากรูปที่ 4.20 พบว่าค่า cheese dry matter ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration มีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเก็บ ทั้งที่น้ำหนักของเนยแข็งชนิดดังกล่าวลดลงตลอดการเก็บ ซึ่งอาจเป็นอิทธิพลของ %ของแข็งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นตลอดการเก็บจึงไปทดแทนน้ำหนักเนยแข็งที่หายไปทำให้ค่า cheese dry matter ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บ ส่วนค่า cheese dry matter ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration นั้นจะมีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มมากขึ้น เพราะเกิดการสลายพันธะของเคซีนเนื่องจากปฏิกิริยา proteolysis ที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์จำพวก proteolytic microorganisms ทำให้พันธะ peptide สลายออกและฟอร์ม ionic groups ขึ้นใหม่แล้วเข้าไปจับน้ำที่อยู่ใน brine เข้าสู่เนยแข็ง (Yazici and Dervisoglu, 2003) จึงส่งผลให้ cheese dry matter ของทั้งสองตัวอย่างหลังมีค่าลดลง



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลง %yield ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

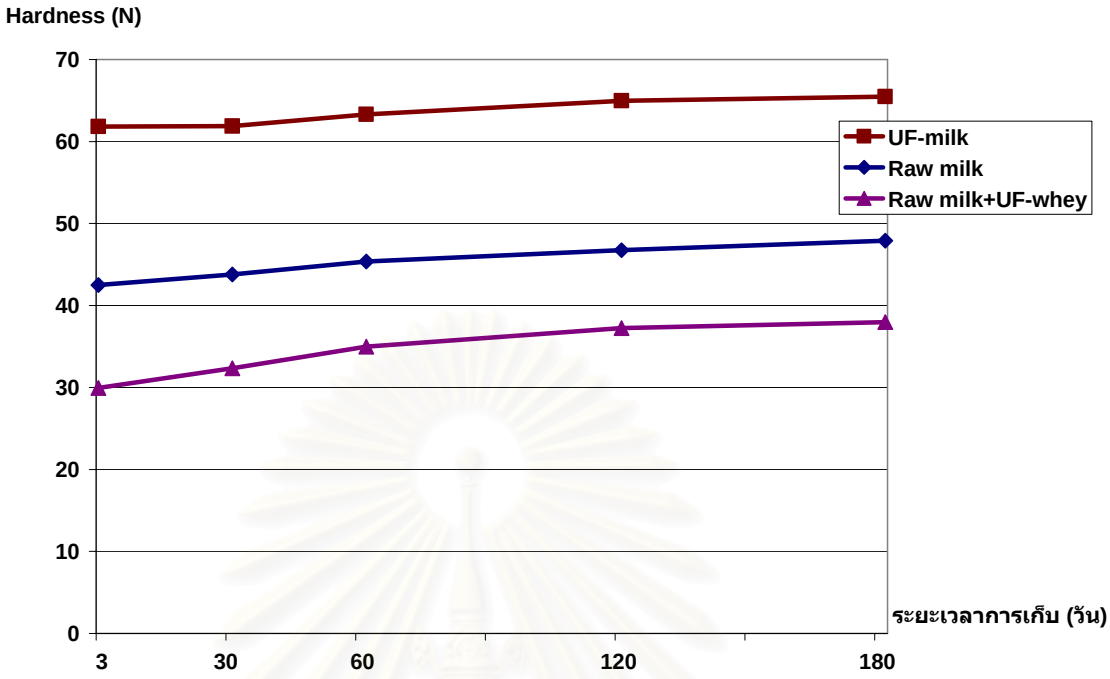
จากรูปที่ 4.21 พบว่า %yield ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากน้ำหนักของเนยแข็งที่ลดลงเนื่องจากการสูญเสียความชื้นและองค์ประกอบอื่น ๆ ตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.18) จึงส่งผลให้ %yield ของเนยแข็งเฟตตา ลดลงตามไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



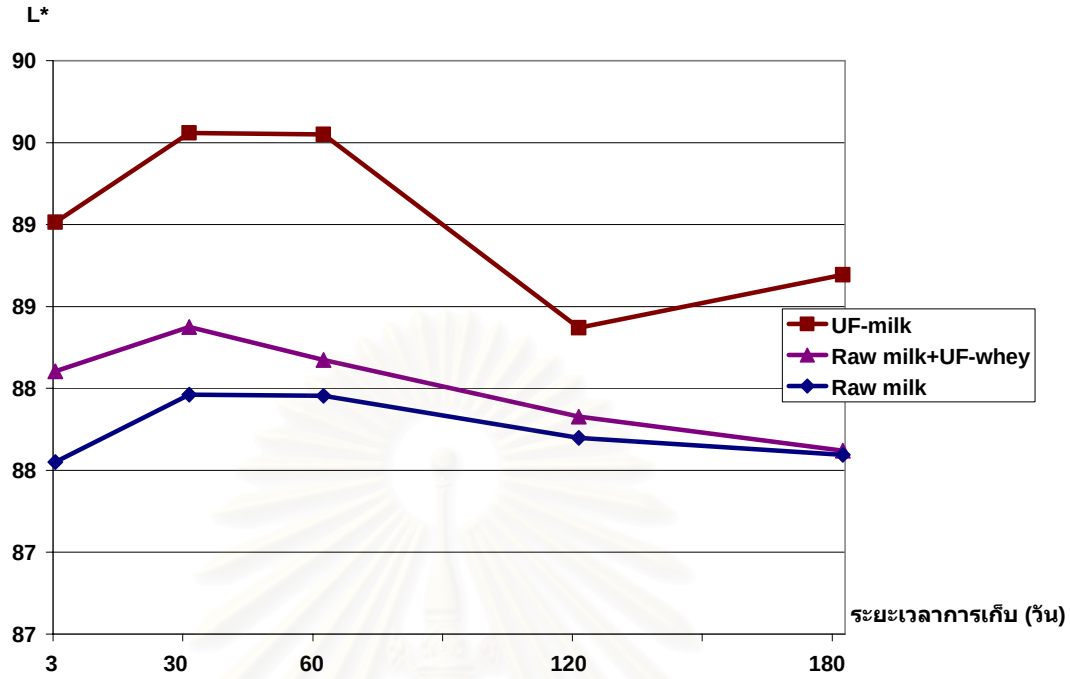
รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลง %yield at 55%MC ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.22 %yield ที่ความชื้น 55% ของเนยแข็งเฟตตาทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในระยะ 2 เดือนแรกของการเก็บรักษา แต่ในระยะการเก็บที่เวลา 120 และ180 วัน ของเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration จะมีค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบ มีค่าดังกล่าวคงที่ ส่วนเนยแข็งที่ผลิตจากนมผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration มีค่าดังกล่าวลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง (รูปที่ 4.18) ของเนยแข็งที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิด จึงทำให้เนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ซึ่งมีปริมาณความชื้นต่ำสุด มีค่า %yield ที่ความชื้น 55% เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบ และเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ซึ่งมีปริมาณความชื้นมากกว่าเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ตามลำดับ

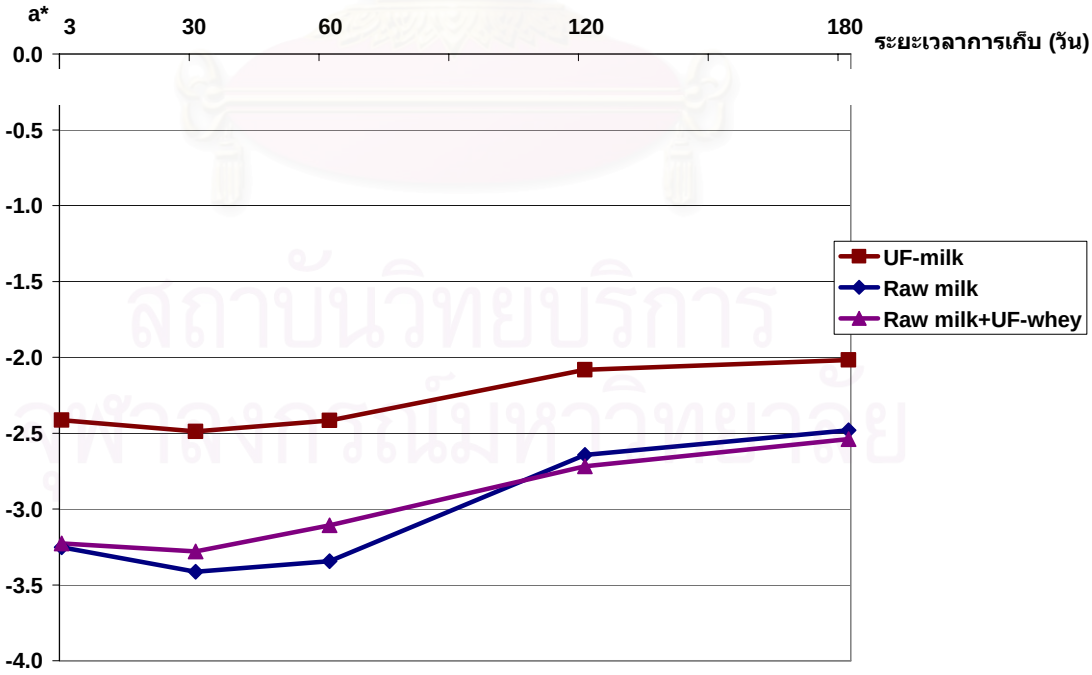


รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

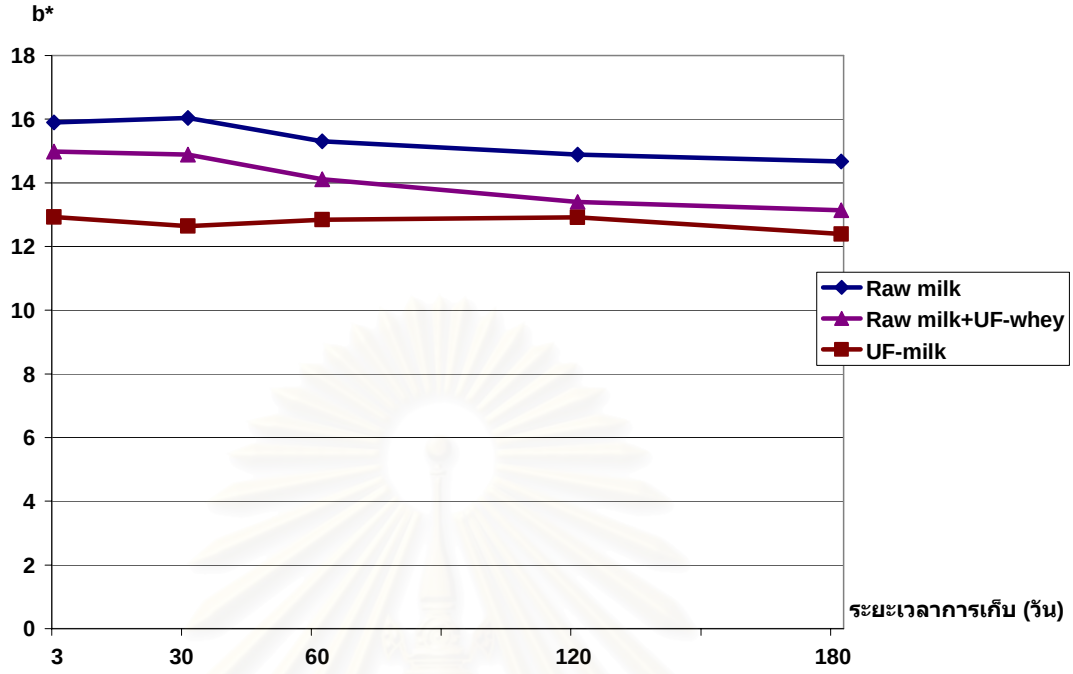
จากรูปที่ 4.23 พบว่าค่า hardness ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ ทั้งนี้เพราะปริมาณความชื้นของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดที่ลดลง (รูปที่ 4.18) นั้นทำให้เนยแข็งที่ได้มีความแน่นเนื้อ (firmness) มากขึ้น ซึ่งผลของความชื้นนี้เป็นผลมาจาก % เกลือในเนยแข็งที่เพิ่มขึ้นด้วย (รูปที่ 4.32) อีกทั้งปริมาณแคลเซียมที่สูงขึ้น (รูปที่ 4.34) ก็ช่วยให้การจับตัวกันของเนยแข็งดียิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kaya (2002) ที่ศึกษาผลของเกลือที่มีต่อค่า hardness ในเนยแข็ง Gaziantep ในระหว่างการเก็บในbrine โดยพบว่าค่า hardness จะมีค่าลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และค่า hardness จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเกลือในเนยแข็งที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลง ค่าความสว่าง (L*) ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ



รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลง ค่าความสว่าง (a*) ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ



รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลง ค่าความสว่าง (b*) ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.24 พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า (a*) มีค่าเป็นลบจะหมายถึงสีเขียว แสดงว่าเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มที่มีค่าสีเขียวลดลงคือจะมีสีออกแดงมากขึ้นตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.25) และค่าสีเหลือง (b*) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนค่าสีเหลือง (b*) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากดิบและนมดิบผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration มีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.26) โดย Kaya 2002 ได้ให้เหตุผลในงานวิจัยที่ศึกษาอายุการเก็บของเนยแข็ง Gaziantep ไว้ว่าเมื่อปริมาณเกลือในเนยแข็งเพิ่มมากขึ้นเท่าไรโอกาสที่จะเกิด lipid oxidation ก็มากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากอัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชันขึ้นอยู่กับค่า a_w โดยอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้มากกว่า และการเกิดออกซิเดชันในไขมันหรือน้ำมันที่ถูกออกซิไดส์ในภาวะที่เป็นกรด แล้วมีสารจำพวก phloroglucinol (Kreis reagent) อยู่ด้วยจะทำให้เกิดสีแดง

4.5.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

หลังจากผลิตเนยแข็ง Fetta ด้วยการเติมกรด acetic โดยตรงและปรับระดับ pH มาที่ 5.6 โดยใช้ตัวอย่างนมชนิดต่างกัน 3 ชนิดคือ นมดิบ นมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ตามวิธีในข้อ 3.1 และ 3.2 เก็บตัวอย่างเนยแข็งแช่ในน้ำเกลือ 5 % ที่อุณหภูมิ 4^{0}C สุ่มตัวอย่างเนยแข็งที่เวลา 3, 30, 60, 120 และ 180 วัน นำเนยแข็งมา วิเคราะห์หา %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) %ไขมัน และไขมัน (%dry basis) ผลแสดงดังตารางที่ 4.13 และวิเคราะห์หาค่า pH %เกลือ %เถ้า และปริมาณแคลเซียมผลแสดงดังตารางที่ 4.13 (ต่อ) และ F-value ของค่าดังกล่าวทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีในเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

Trt.	ชนิดของนม	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	% โปรตีน	โปรตีน(%dry basis)	% ไขมัน	ไขมัน(%dry basis)
1	Raw milk	3	11.70 ^{bcd} ± 0.01	31.18 ^{abc} ± 0.29	18.00 ^{cde} ± 0.71	47.98 ^{cd} ± 2.28
2	Raw milk	30	11.00 ^{defg} ± 0.22	28.43 ^{ef} ± 0.29	18.40 ^{cde} ± 0.14	47.55 ^{cd} ± 0.83
3	Raw milk	60	10.59 ^{fgh} ± 0.08	27.32 ^{efg} ± 0.15	18.50 ^{cde} ± 0.00	47.75 ^{cd} ± 0.08
4	Raw milk	120	10.52 ^{fgh} ± 0.05	27.34 ^{efg} ± 1.00	18.75 ^{cd} ± 0.35	48.71 ^{bcd} ± 0.62
5	Raw milk	180	10.28 ^{ghi} ± 0.05	26.04 ^{fg} ± 0.17	19.95 ^{bc} ± 0.64	50.56 ^{abcd} ± 1.69
6	UF-milk	3	12.87 ^{a} ± 0.41	33.20 ^{a} ± 1.50	21.75 ^{ab} ± 1.77	56.12 ^{a} ± 5.30
7	UF-milk	30	12.99 ^{a} ± 0.47	32.68 ^{ab} ± 1.22	22.50 ^{a} ± 2.83	56.62 ^{a} ± 7.17
8	UF-milk	60	12.28 ^{ab} ± 0.43	30.59 ^{bcd} ± 0.32	21.50 ^{ab} ± 0.00	53.60 ^{abc} ± 1.33
9	UF-milk	120	11.46 ^{bcde} ± 0.05	27.26 ^{efg} ± 0.86	23.00 ^{a} ± 2.12	54.61 ^{ab} ± 3.09
10	UF-milk	180	11.54 ^{bcde} ± 0.43	26.71 ^{fg} ± 0.41	23.84 ^{a} ± 0.55	55.17 ^{a} ± 0.06
11	Raw milk+UF-whey	3	11.84 ^{bc} ± 0.39	32.98 ^{a} ± 0.95	16.00 ^{e} ± 0.00	44.58 ^{d} ± 0.18
12	Raw milk+UF-whey	30	11.12 ^{cdef} ± 0.28	30.62 ^{bcd} ± 0.93	16.25 ^{de} ± 0.35	44.74 ^{d} ± 1.21
13	Raw milk+UF-whey	60	9.60 ^{i} ± 0.63	25.80 ^{g} ± 1.93	16.50 ^{de} ± 0.71	44.36 ^{d} ± 2.28
14	Raw milk+UF-whey	120	10.77 ^{efg} ± 0.27	29.47 ^{cde} ± 0.34	17.00 ^{de} ± 0.71	46.49 ^{d} ± 1.30
15	Raw milk+UF-whey	180	9.84 ^{hi} ± 0.55	26.75 ^{fg} ± 1.85	17.25 ^{de} ± 0.35	46.86 ^{d} ± 0.33

a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีในเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

Trt.	ชนิดของนม	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	pH	% เกลือ	% เถ้า	แคลเซียม (mg/100g)
1	Raw milk	3	5.71 ^{b} ± 0.02	4.42 ^{efg} ± 0.09	4.89 ^{e} ± 0.26	435.00 ^{j} ± 4.24
2	Raw milk	30	5.47 ^{d} ± 0.01	4.74 ^{a} ± 0.13	5.34 ^{d} ± 0.12	479.50 ^{h} ± 9.19
3	Raw milk	60	5.33 ^{e} ± 0.02	4.66 ^{abcd} ± 0.14	5.69 ^{cd} ± 0.12	507.00 ^{g} ± 8.49
4	Raw milk	120	5.26 ^{f} ± 0.01	4.68 ^{abc} ± 0.03	5.61 ^{cd} ± 0.04	522.00 ^{f} ± 5.66
5	Raw milk	180	5.20 ^{g} ± 0.01	4.67 ^{abcd} ± 0.06	5.58 ^{cd} ± 0.09	528.00 ^{f} ± 8.49
6	UF-milk	3	5.80 ^{a} ± 0.06	4.25 ^{g} ± 0.02	6.17 ^{ab} ± 0.08	645.50 ^{d} ± 0.71
7	UF-milk	30	5.54 ^{c} ± 0.01	4.47 ^{bcdefg} ± 0.08	6.44 ^{a} ± 0.13	683.50 ^{c} ± 2.12
8	UF-milk	60	5.37 ^{e} ± 0.04	4.69 ^{ab} ± 0.09	6.52 ^{a} ± 0.05	698.50 ^{b} ± 6.36
9	UF-milk	120	5.25 ^{f} ± 0.01	4.59 ^{abcde} ± 0.11	6.46 ^{a} ± 0.03	711.00 ^{a} ± 4.24
10	UF-milk	180	5.13 ^{h} ± 0.01	4.53 ^{abcdef} ± 0.00	6.45 ^{a} ± 0.14	721.50 ^{a} ± 4.95
11	Raw milk+UF-whey	3	5.58 ^{c} ± 0.01	4.32 ^{fg} ± 0.11	5.29 ^{de} ± 0.01	453.50 ^{i} ± 0.71
12	Raw milk+UF-whey	30	5.22 ^{fg} ± 0.02	4.56 ^{abcde} ± 0.10	5.59 ^{cd} ± 0.08	479.50 ^{h} ± 0.71
13	Raw milk+UF-whey	60	5.14 ^{h} ± 0.01	4.45 ^{cdefg} ± 0.04	5.84 ^{bc} ± 0.06	498.50 ^{g} ± 2.12
14	Raw milk+UF-whey	120	5.06 ^{i} ± 0.02	4.41 ^{efg} ± 0.21	5.23 ^{de} ± 0.66	527.00 ^{f} ± 4.24
15	Raw milk+UF-whey	180	4.96 ^{j} ± 0.01	4.44 ^{defg} ± 0.03	5.65 ^{cd} ± 0.05	559.50 ^{e} ± 4.95

a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ F-value ของสมบัติทางเคมีในเนยแข็งเฟตตา ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

SOV	d.f.	F-value							
		% โปรตีน	โปรตีน (%dry basis)	% ไขมัน	ไขมัน (%dry basis)	pH เนยแข็ง	% เกลือ	% เถ้า	แคลเซียม (mg/100g)
ชนิดของนม (A)	2	62.396 **	10.312 **	10.276 **	34.855 **	1.329 NS	10.276 **	74.572 **	4503.398 **
ระยะเวลาการเก็บ (B)	4	21.696 **	34.229 **	7.736 NS	0.563 NS	6.782 **	7.736 **	6.751 **	276.533 **
A*B	8	2.866 *	4.176 **	1.328 NS	0.317 NS	1.741 NS	1.328 NS	1.396 NS	7.364 **

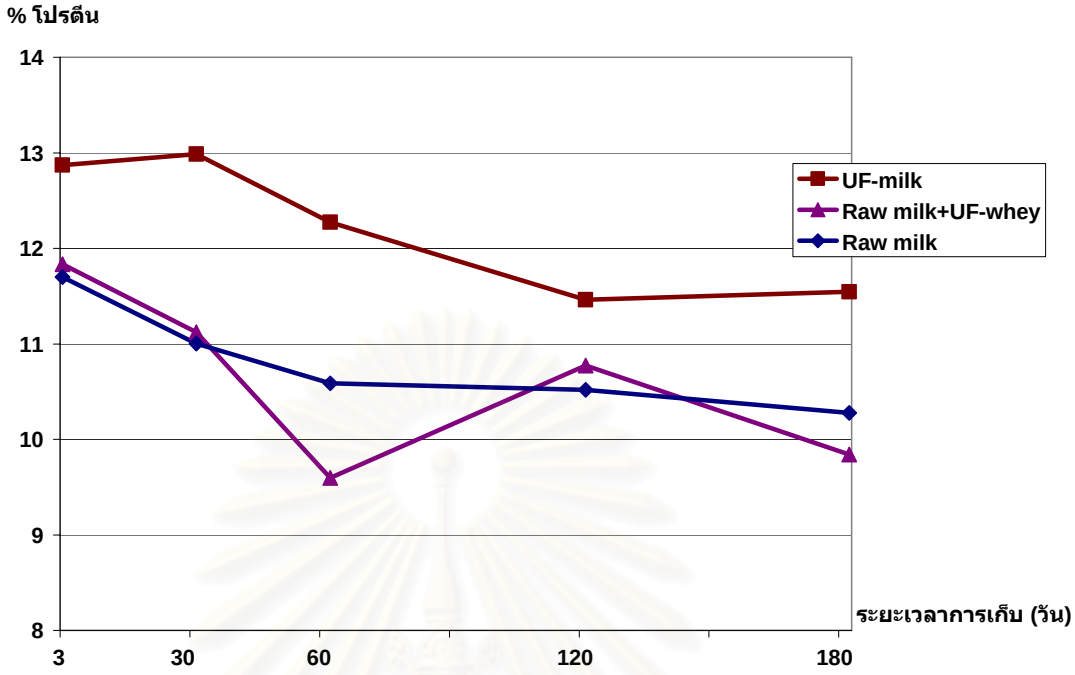
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

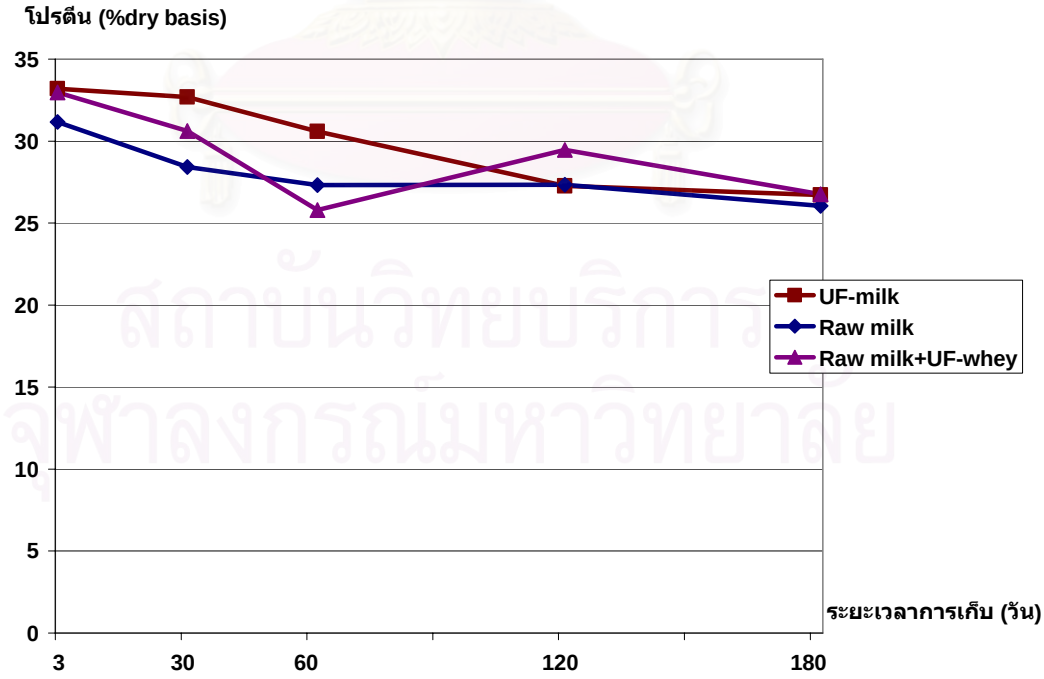
NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.14 พบว่าชนิดของนม (A) มีผลต่อค่า %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) %ไขมัน ไขมัน (%dry basis) %เกลือ %เถ้า และปริมาณแคลเซียม ($p \leq 0.01$) และระยะเวลาการเก็บ (B) มีผลต่อค่า %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) pH เนยแข็ง %เกลือ %เถ้า และปริมาณแคลเซียม ($p \leq 0.01$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของนมและอายุการเก็บต่อค่า %โปรตีน ($p \leq 0.05$) โปรตีน (%dry basis) และปริมาณแคลเซียม ($p \leq 0.01$) จึงสรุปและอภิปรายผลทดลองได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



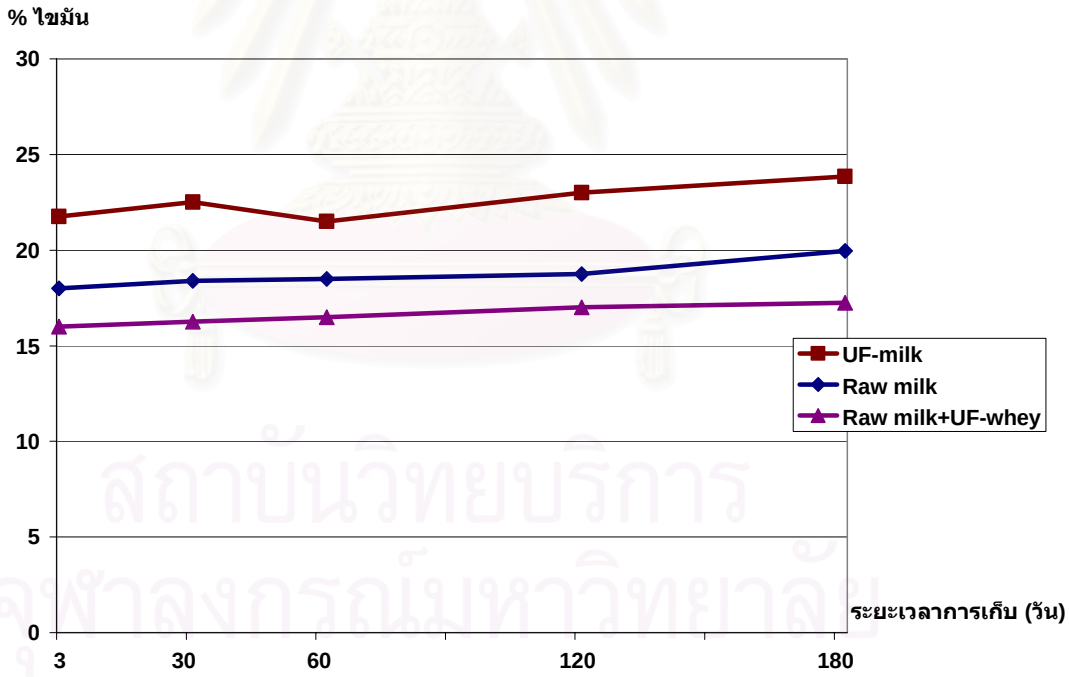
รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลง % โปรตีน ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ



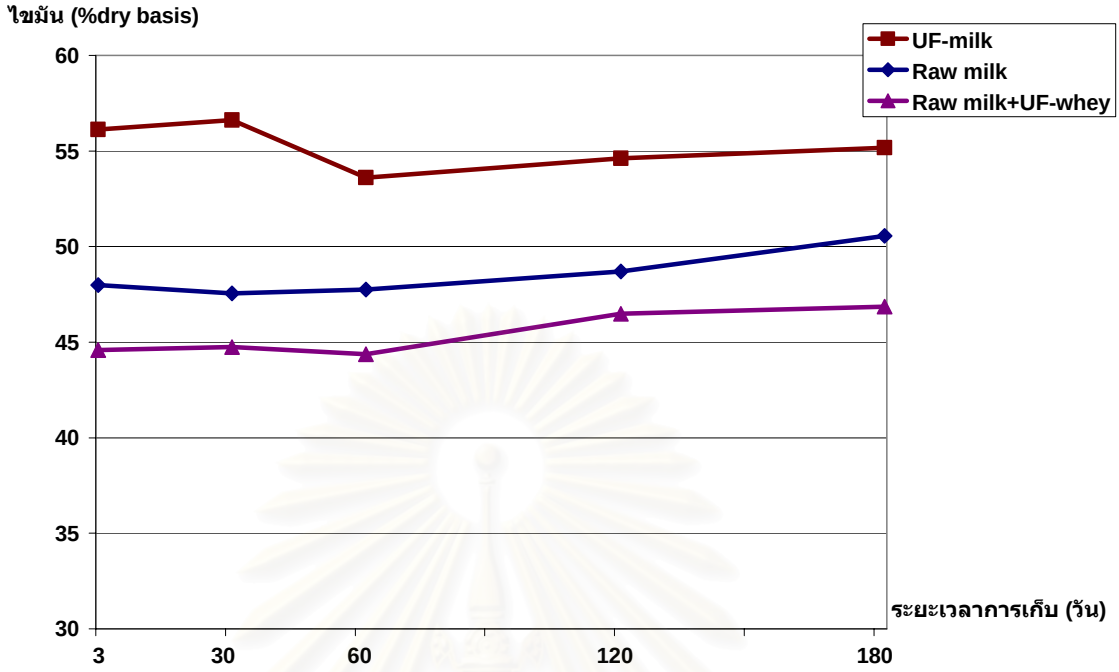
รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลง โปรตีน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.27 และ รูปที่ 4.28 พบว่าทั้งค่า %โปรตีน และโปรตีน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตตามีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fox (1987) ที่พบว่าค่า total nitrogen ของเนยแข็งนั้นจะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยในขณะที่ soluble nitrogen fractions จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ว่ามีการเกิดปฏิกิริยา proteolysis ทั้งจาก enzyme เรนเนท ที่ยังอาจคงมีหลงเหลืออยู่ และจากการทำงานของ proteolytic enzymes อื่น ๆ ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์จำพวก lactic acid bacteria เช่น enzyme protease ที่ผลิตจากจุลินทรีย์พวก *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* หรือ *Lactobacillus casei* ส่วน enzyme peptidases ผลิตจากจุลินทรีย์พวก *Streptococcus thermophilus* (Eck, 2000) โดยมีการส่งผ่านผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวแพร่เข้าสู่ pickle ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้พบว่าปริมาณโปรตีนของเนยแข็งซึ่งวิเคราะห์โดยการคำนวณจากปริมาณ total nitrogen จะลดลงระหว่างการเก็บรักษา



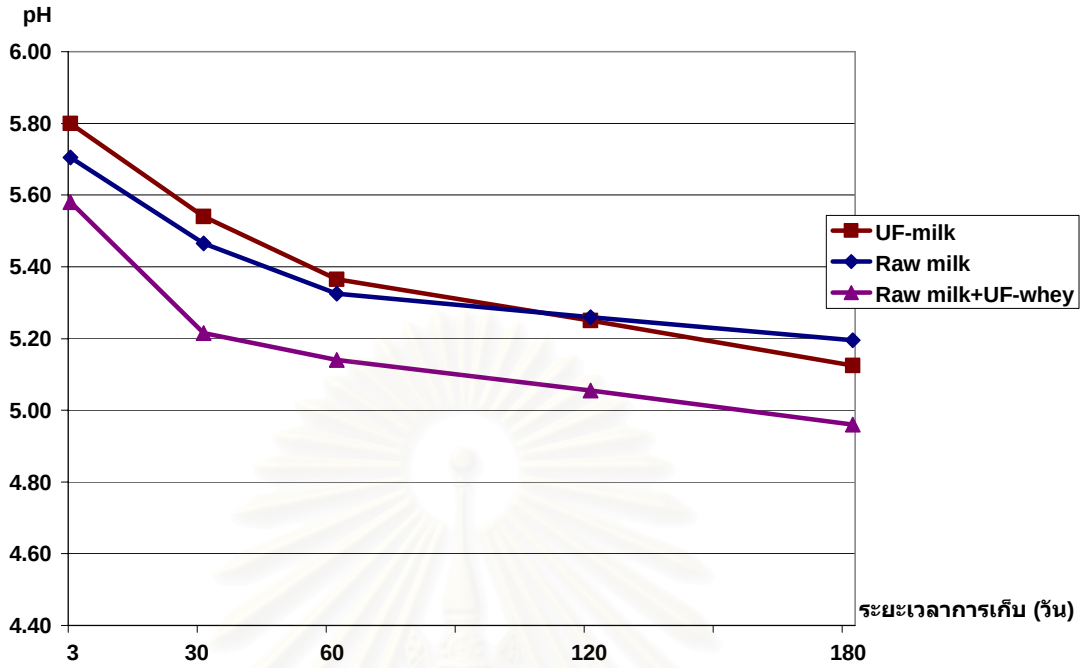
รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลง % ไขมัน ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ



รูปที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงไขมัน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

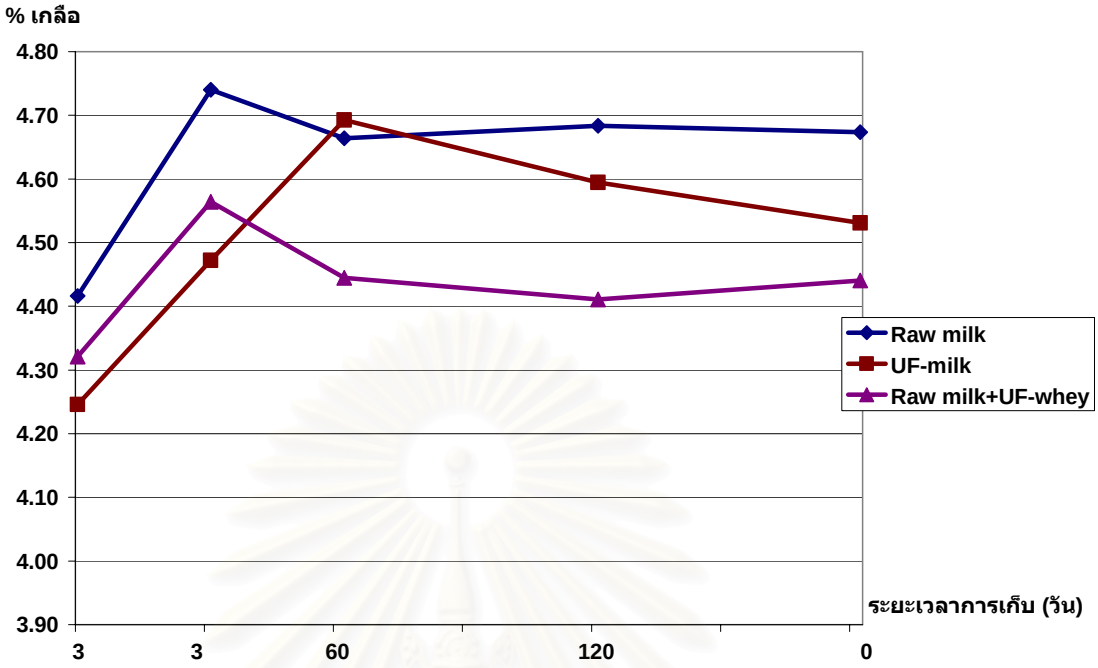
จากรูปที่ 4.29 และ รูปที่ 4.30 พบว่าทั้งค่า %ไขมัน และไขมัน(%dry basis) ของเนยแข็งเฟตามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อยตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะ %ความชื้นที่ลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้นของเนยแข็ง (รูปที่ 4.18) จึงส่งผลให้ค่า %ไขมันและไขมัน (%dry basis) มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นแต่ไม่มากนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

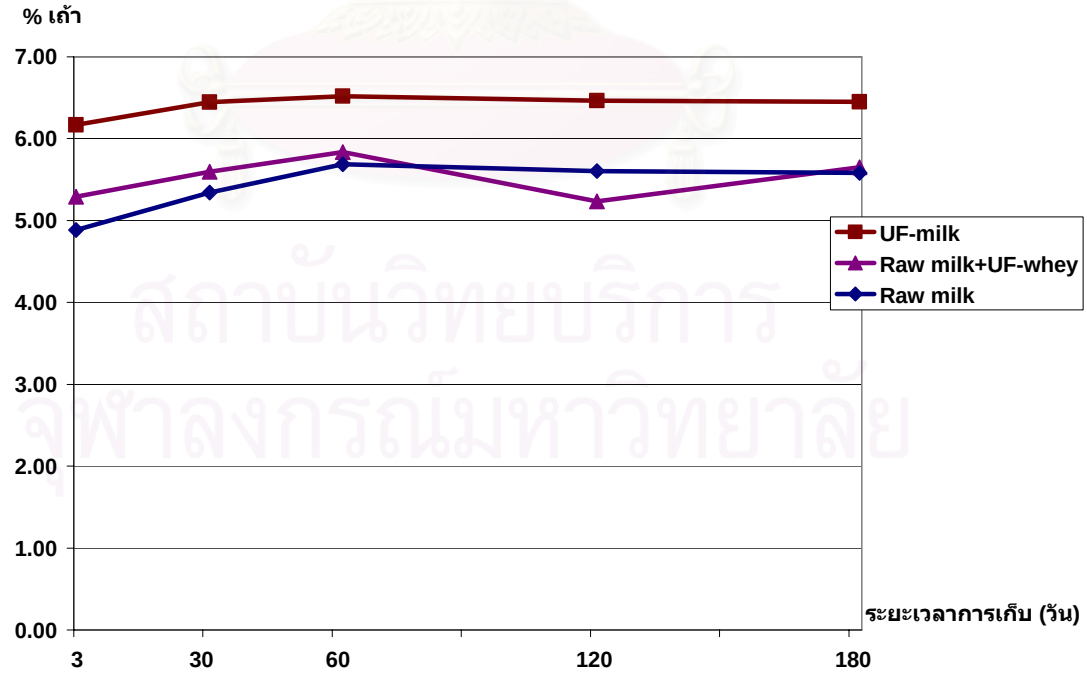


รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.31 พบว่า pH ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษา โดยเฉพาะในช่วงเดือนแรกของการเก็บมีการลดลงมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนยแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเดือนแรก (รูปที่ 4.35) และจุลินทรีย์สร้างกรดจึงทำให้ pH ในเนยแข็งมีค่าลดลง ส่วนในระยะการเก็บช่วงถัดมาก็ยังมีการลดลงของ pH อีก แต่มีอัตราที่ช้าลงกว่าเดิม จึงทำให้ pH ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดลดลงอย่างต่อเนื่อง โดย Madkor et al. (1987) ได้รายงานว่า ในช่วงระยะแรกของการบ่มเนยแข็ง pH จะลดลงเนื่องจากการเปลี่ยน lactose ไปเป็นกรด lactic ด้วยการทำงานของจุลินทรีย์และแตกตัวเป็น H^+ ions ทำให้ pH ลดต่ำลง แต่เมื่อระยะการเก็บมากขึ้นเกิดการแพร่ของเกลือเข้าสู่เนยแข็งมากขึ้นจึงส่งมีผลไปลด activity ของจุลินทรีย์จึงทำให้ pH ไม่ลดลงอย่างรวดเร็วเหมือนช่วงแรก ๆ ของการบ่มเนยแข็ง



รูปที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลง %เกลือ ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

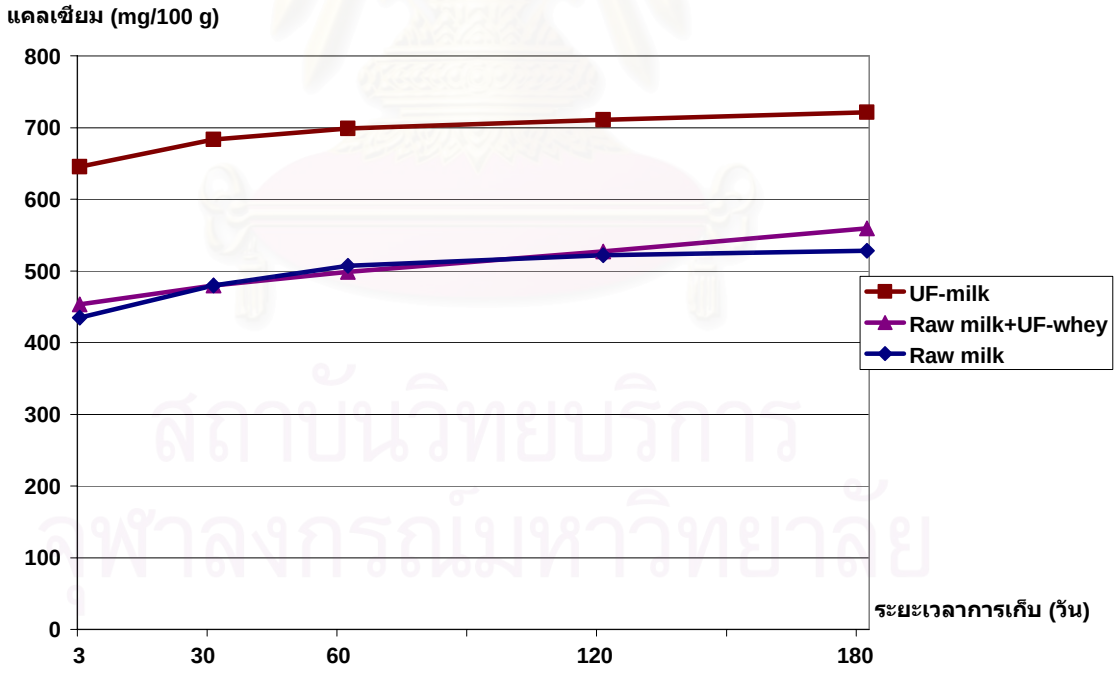


รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลง %เถ้า ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.32 พบว่า % เกลือของเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบ นมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration จะมีปริมาณสูงขึ้นในระยะเดือนแรก และ % เกลือของเนยแข็งที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดจะมีแนวโน้มคงที่ในวันที่ 60 120 และ 180 เนื่องจากเกิดการแพร่เข้าของเกลือ NaCl ที่แตกต่างกันตาม concentration gradient ที่แตกต่างกัน โดย Yazici and Dervisoglu (2003) ได้รายงานไว้ในงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงของเนยแข็ง Civil ในระหว่างการเก็บรักษาว่าในช่วงระยะเดือนแรก ๆ ของการเก็บอัตราการดูดซึมเกลือเข้าสู่เนยแข็งจะสูง เนื่องจาก osmotic pressure ที่แตกต่างกัน แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน osmotic pressure เริ่มเข้าสู่สมดุล (equilibrium) จึงมีการเปลี่ยนปริมาณเกลือน้อยลง

จากรูปที่ 4.33 พบว่า %เถ้า ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มให้ผลเช่นเดียวกับผลของ %เกลือ และปริมาณแคลเซียม (รูปที่ 4.34) คือจะเพิ่มขึ้นในระยะแรกและคงที่เมื่อถึงจุดสมดุล โดยเกลือและแคลเซียมถือเป็นสารอนินทรีย์ที่สำคัญในเนยแข็ง จึงส่งผลให้แนวโน้มของ %เถ้า เป็นไปตามผลของ %เกลือ และปริมาณแคลเซียม



รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลง ปริมาณแคลเซียม ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.34 พบว่าปริมาณแคลเซียมของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บ ถึงแม้ว่าระดับของ pH ในเนยแข็งเข้าใกล้

จุด isoelectric point เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.31) และอาจส่งผลให้ colloidal calcium บางส่วนละลายออกมา แต่ระดับของ pH ที่ลดต่ำลงอาจยังไม่มากพอประกอบกับอิทธิพลของความชื้นที่ลดลง (รูปที่ 4.18) ส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น และดูเหมือนว่าอิทธิพลของความชื้นจะส่งผลต่อปริมาณแคลเซียมในเนยแข็งเฟตตา มากกว่าอิทธิพลของ pH

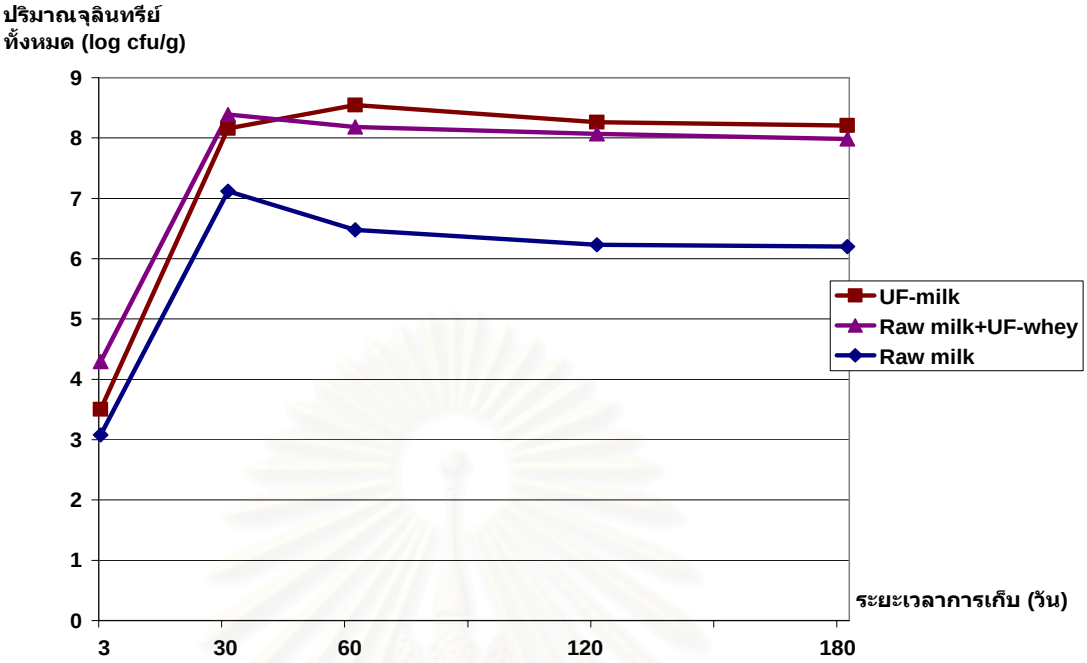
4.5.3 ผลการศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาของเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิด ระหว่างการเก็บรักษา

หลังจากผลิตเนยแข็ง Fetta ด้วยการเติมกรด acetic โดยตรงและปรับระดับ pH มาที่ 5.6 โดยใช้ตัวอย่างนมชนิดต่างกัน 3 ชนิดคือ นมดิบ นมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ตามวิธีในข้อ 3.1 และ 3.2 เก็บตัวอย่างเนยแข็งแช่ในน้ำเกลือ 5 % ที่อุณหภูมิ 4^{0}C สุ่มตัวอย่างเนยแข็งที่เวลา 3, 30, 60, 120 และ 180 วัน นำเนยแข็งมาวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด TPC (log cfu/g) ปริมาณยีสต์และรา ผลแสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลการศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาในเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

Trt.	ชนิดของนม	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	TPC (log cfu/g)	ยีสต์และรา
1	Raw milk	3	3.08 ± 0.03	ไม่พบ
2	Raw milk	30	7.12 ± 0.01	
3	Raw milk	60	6.48 ± 0.04	
4	Raw milk	120	6.23 ± 0.02	
5	Raw milk	180	6.20 ± 0.06	
6	UF-milk	3	3.50 ± 0.01	
7	UF-milk	30	8.16 ± 0.41	
8	UF-milk	60	8.55 ± 0.13	
9	UF-milk	120	8.27 ± 0.07	
10	UF-milk	180	8.21 ± 0.07	
11	Raw milk+UF-whey	3	4.30 ± 0.02	
12	Raw milk+UF-whey	30	8.39 ± 0.10	
13	Raw milk+UF-whey	60	8.18 ± 0.05	
14	Raw milk+UF-whey	120	8.07 ± 0.08	
15	Raw milk+UF-whey	180	7.98 ± 0.05	

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.35 การเปลี่ยนแปลง TPC ของเนยแข็งเฟตตาที่เตรียมจากนมต่างชนิดตามระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.35 พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนแรกและคงที่ในเดือนถัดมา เพราะ 30 วันแรกอาจอยู่ในระยะlog phase ของ จุลินทรีย์ทำให้มีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว เมื่อระยะการเก็บนานขึ้นจะเข้าสู่ stationary phase ของจุลินทรีย์จึงทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดคงที่ และเริ่มลดลงเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณความชื้นที่ลดลง (รูปที่ 4.18) และปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.32) ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Panagiotis, George and Effie (2002) ที่ศึกษาถึงปริมาณจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในเนยแข็ง Fetta ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน พบว่าจุลินทรีย์พวก mesophilic จะเจริญอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนแรก และจะค่อย ๆ ลดลงหลัง 60 วันไปแล้ว

4.5.4 ผลการศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

หลังจากผลิตเนยแข็ง Fetta ด้วยการเติมกรด acetic โดยตรงและปรับระดับ pH มาที่ 5.6 โดยใช้ตัวอย่างนมชนิดต่างกัน 3 ชนิดคือ นมดิบ นมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ตามวิธีในข้อ 3.1, 3.2 เก็บตัวอย่างเนยแข็งแช่ในน้ำเกลือ 5 % ที่อุณหภูมิ 4^{0}C สุ่มตัวอย่างเนยแข็งที่เวลา 3, 30, 60, 120 และ 180 วัน นำเนยแข็งมา ทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติและคะแนนรวม ผลแสดงดังตารางที่ 4.16 และ F-value ของค่าดังกล่าวทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.16 ผลการศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสในเนยแข็ง Fetta ที่ผลิตจากนมต่างชนิดกันระหว่างการเก็บรักษา

Trt.	ชนิดของนม	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	กลิ่นและรสชาติ	คะแนนรวม
1	Raw milk	3	$8.20^{ab} \pm 0.79$	$33.60^{a} \pm 2.07$	$40.50^{abc} \pm 2.84$	$82.30^{a} \pm 5.10$
2	Raw milk	30	$8.40^{a} \pm 0.52$	$32.80^{abc} \pm 3.16$	$41.00^{ab} \pm 2.11$	$82.20^{a} \pm 5.09$
3	Raw milk	60	$7.60^{bc} \pm 0.52$	$30.40^{d} \pm 2.07$	$38.50^{cde} \pm 2.42$	$76.50^{c} \pm 4.12$
4	Raw milk	120	$6.50^{d} \pm 0.71$	$26.40^{e} \pm 2.07$	$37.50^{def} \pm 2.64$	$70.40^{d} \pm 3.72$
5	Raw milk	180	$5.70^{ef} \pm 0.67$	$22.40^{f} \pm 2.07$	$36.00^{fgh} \pm 2.11$	$64.10^{ef} \pm 3.87$
6	UF-milk	3	$8.40^{a} \pm 0.52$	$29.60^{d} \pm 2.07$	$37.00^{efg} \pm 2.58$	$75.00^{c} \pm 5.16$
7	UF-milk	30	$8.30^{a} \pm 0.67$	$33.60^{a} \pm 2.07$	$35.00^{ghi} \pm 3.33$	$76.90^{c} \pm 5.53$
8	UF-milk	60	$8.30^{a} \pm 0.67$	$32.80^{abc} \pm 1.69$	$34.50^{hi} \pm 2.84$	$75.60^{c} \pm 4.01$
9	UF-milk	120	$8.20^{ab} \pm 0.79$	$33.20^{ab} \pm 1.93$	$33.00^{i} \pm 2.58$	$74.40^{c} \pm 3.86$
10	UF-milk	180	$8.20^{ab} \pm 0.79$	$31.20^{bcd} \pm 1.69$	$29.00^{j} \pm 2.11$	$68.40^{d} \pm 3.63$
11	Raw milk+UF-whey	3	$8.20^{ab} \pm 0.79$	$33.20^{ab} \pm 2.70$	$41.00^{ab} \pm 2.11$	$82.40^{a} \pm 4.93$
12	Raw milk+UF-whey	30	$8.10^{abc} \pm 0.74$	$31.20^{bcd} \pm 1.69$	$42.00^{a} \pm 2.58$	$81.30^{ab} \pm 4.30$
13	Raw milk+UF-whey	60	$7.50^{c} \pm 0.53$	$30.80^{cd} \pm 1.93$	$39.50^{bcd} \pm 1.58$	$77.80^{bc} \pm 2.66$
14	Raw milk+UF-whey	120	$6.20^{de} \pm 0.63$	$22.00^{f} \pm 2.11$	$39.00^{bcde} \pm 2.11$	$67.20^{de} \pm 4.13$
15	Raw milk+UF-whey	180	$5.20^{f} \pm 0.63$	$20.00^{g} \pm 2.67$	$37.50^{def} \pm 2.64$	$62.70^{f} \pm 4.76$

a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ F-value ของผลทางประสาทสัมผัสในเนยแข็งเฟตตา ที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

SOV	d.f.	F-value			
		ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	กลิ่นและรสชาติ	คะแนนรวม
ชนิดของนม (A)	2	176.334 **	162.619 **	121.320 **	2.352 NS
ระยะเวลาการเก็บ (B)	4	172.991 **	218.532 **	33.439 **	198.630 **
A*B	8	36.908 **	69.272 **	2.047 *	18.639 **

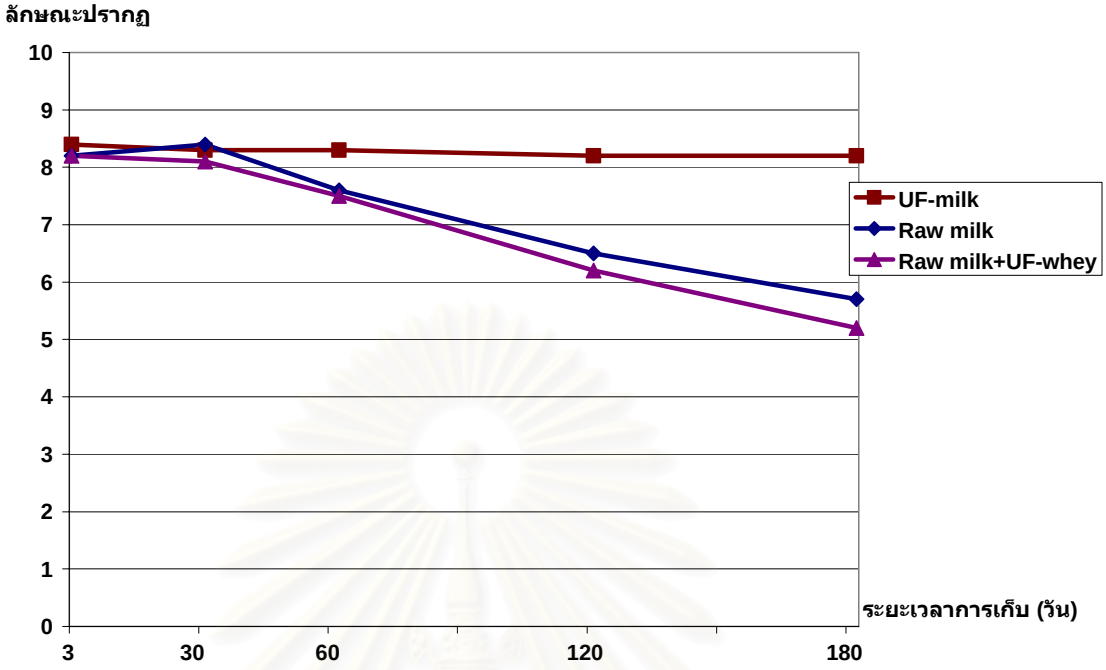
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

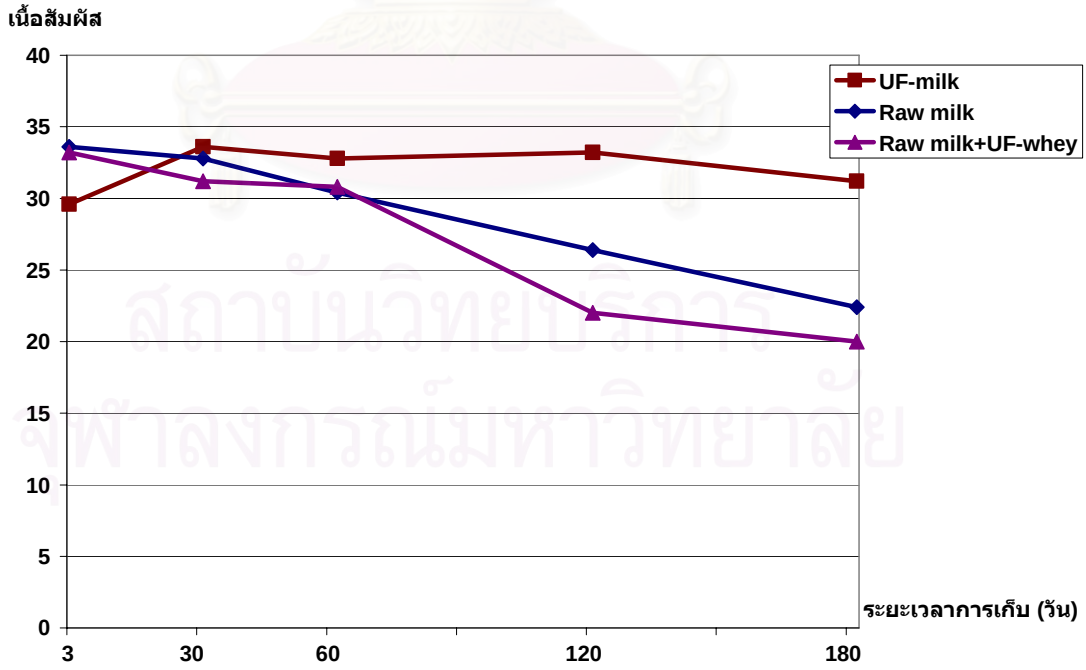
NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.24 พบว่าชนิดของนม (A) มีผลต่อผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และกลิ่นและรสชาติ ($p \leq 0.01$) และระยะเวลาการเก็บ (B) มีผลต่อผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติ และค่าคะแนนรวม ($p \leq 0.01$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของนมในการผลิตเนยแข็งและอายุการเก็บ ต่อผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส ค่าคะแนนรวม ($p \leq 0.01$) และกลิ่นและรสชาติ ($p \leq 0.05$) จึงสรุปและอภิปรายผลทดลองได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

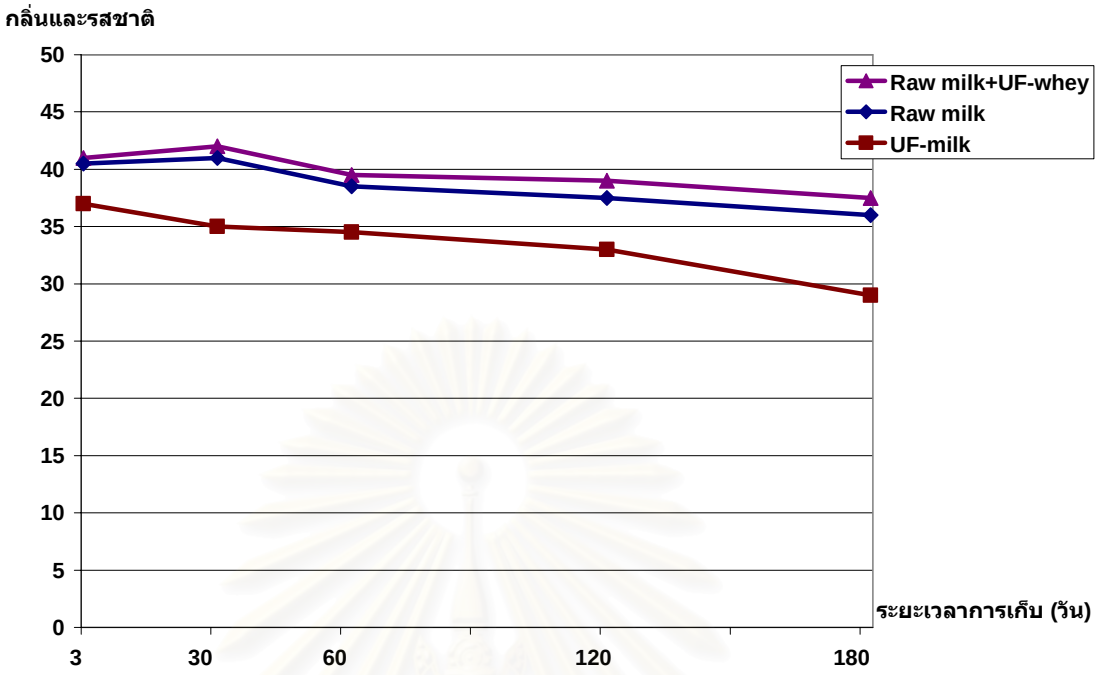


รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ

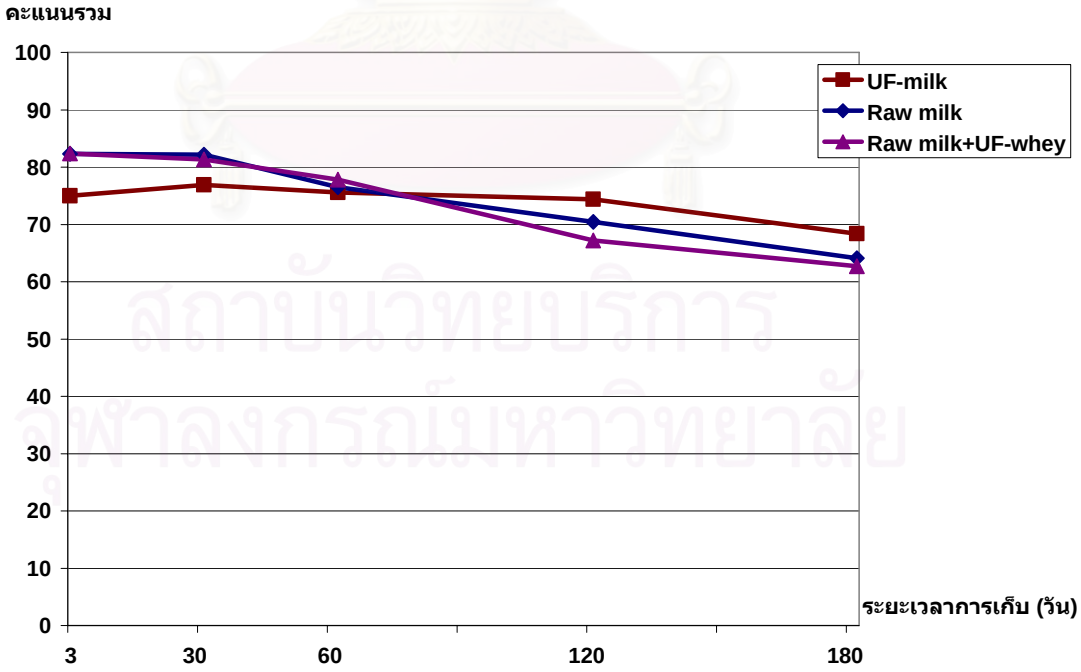


รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านเนื้อสัมผัส ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.36 พบว่าคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration มีแนวโน้มคงที่ตลอดการเก็บรักษา ส่วนเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมดิบผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ได้คะแนนทางด้านลักษณะปรากฏลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้มีผลทางด้านลักษณะปรากฏดังกล่าวมีแนวโน้มเช่นเดียวกับคะแนนทางเนื้อสัมผัส (รูปที่ 4.37) คือจะคงที่ในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration และมีแนวโน้มคงที่ตลอดการเก็บรักษา ส่วนเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมดิบผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration จะมีแนวโน้มคะแนนลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเนยแข็งที่ผลิตจากวัตถุดิบทั้งสองชนิดหลังจะมีลักษณะนุ่มและเละขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fox (1987) ที่ว่าการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนใน pickled cheeses จะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา proteolysis เพราะมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกสลายของโปรตีนนั้นจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ โดยการแตกตัวของโปรตีนที่มีมวลใหญ่จะมีลักษณะการเกิดที่คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของ α_{S1}-casein ที่เกิดขึ้นโดยการทำงานของเอนไซม์ chymosin ในขณะที่พวกที่มีมวลเล็กกว่าจะมีลักษณะการเกิดที่คล้ายกับ γ-caseins ที่ถูกผลิตขึ้นจาก β-casein โดยเอนไซม์ proteinases (plasmin) ที่มีอยู่ในนม และจะพบว่า β/α_{S1}-casein ratio ใน Domiati cheese จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บรักษาและภายหลังจากเก็บต่อไปอีก พบว่าโปรตีนในเนยแข็งที่ไม่สามารถละลายน้ำได้จะเกิดขึ้นโดยเป็นโปรตีนพวก β-casein เป็นหลัก ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้ Domiati cheese ที่ผ่านการบ่มไว้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มและค่อนข้างเละขึ้น ส่วนในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ค่อนข้างมีคะแนนในทั้งด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสคงที่นั้นอาจเนื่องมาจาก การกรองช่วยเพิ่มองค์ประกอบสำคัญ ๆ ให้แก่เนยแข็งเช่น โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ รวมถึงปริมาณของแข็งทั้งหมด จึงทำให้เนยแข็งที่ได้มีความแน่นเนื้อที่สูง ประกอบกับการที่มีปริมาณแคลเซียมที่สูง จึงช่วยให้การประสานตัวกันของเนยแข็งแข็งแรงยิ่งขึ้นทำให้ไม่พบความเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยา proteolysis จนผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hydamaka et al. (2001) ที่ศึกษาอายุการเก็บของเนยแข็งที่ผลิตจากนมชนิดต่าง ๆ พบว่านมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration จะได้ค่าคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและด้านเนื้อสัมผัสที่ดีกว่านมดิบ เพราะนมดิบมีปริมาณความชื้นที่มากกว่า จึงทำให้เนื้อสัมผัสที่ได้นุ่มเกินไปอีกทั้งเมื่อมองจากลักษณะภายนอกยังมีน้ำไหลซึมออกมา จึงส่งผลให้เนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและด้านเนื้อสัมผัสที่น้อยกว่า



รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นและรสชาติ ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ



รูปที่ 4.39 การเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านคะแนนรวม ของเนยแข็งเฟตาที่เตรียมจากนมต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.38 พบว่าคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นและรสชาติของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะเดือนแรก และลดลงอย่างต่อเนื่องในเดือนถัดมา โดยพบว่าในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration จะมีคะแนนทางด้านกลิ่นและรสชาตินี้สูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากมีส่วนของเวย์ที่ได้มาจากกระบวนการผลิตเนยแข็งซึ่งมีการเติมเชื้อจำพวก lactic acid ลงไป จึงทำให้หลงเหลือเชื้อเหล่านี้และสร้างกลิ่นรสเฉพาะในเนยแข็งเฟตตา เลยเป็นเหตุให้เนยแข็งที่ผลิตจากตัวอย่างนมดังกล่าวมีคะแนนทางด้านกลิ่นและรสชาติสูงกว่า 2 ชนิดที่เหลือ ส่วนในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration พบว่าคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นและรสชาติลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเนยแข็งดังกล่าวมีรสชาติเค็มที่ชัดเจนมากกว่าเนื่องจากประมาณความชื้นที่ต่ำที่สุด (รูปที่ 4.18) ทำให้รสชาติเค็มของเกลือที่ถูกดูดซึมเข้าไปโดดเด่นขึ้นกว่าในตัวอย่างเนยแข็งที่มีความชื้นมากกว่า แต่ตรงข้ามกับรายงานของ Hydamaka et al. (2001) ที่ศึกษาอายุการเก็บของเนยแข็งที่ผลิตจากนมชนิดต่าง ๆ ได้รายงานว่าเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบซึ่งมีปริมาณความชื้นสูงกว่าอาจไปบดบังรสชาติเนื่องจากอิทธิพลของน้ำทำให้รสชาติที่ได้เจือจางกว่าปกติ

และจากรูปที่ 4.39 พบว่าค่าคะแนนรวมของเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บ แต่ในเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration จะมีค่าคะแนนรวมลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บ ทั้งนี้เพราะค่าคะแนนรวมจะมีค่าเท่ากับผลรวมของ คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ (10 คะแนน) เนื้อสัมผัส (40 คะแนน) และกลิ่นและรสชาติ (50 คะแนน) โดยพบว่าค่าคะแนนรวมของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบ และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration จะมีค่ามากกว่าในระยะการเก็บแรก ๆ แต่จะลดลงและมีค่าน้อยกว่าในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration ทั้งนี้เพราะค่าคะแนนในด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบ และนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ ultrafiltration จะลดลงในระยะการเก็บท้าย ๆ จึงมีผลให้ค่าคะแนนรวมในระยะการเก็บท้าย ๆ ของเนยแข็งสองชนิดดังกล่าวลดลงไปด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงกระบวนการผลิตเนยแข็งเฟตตา ในขั้นตอนการลด pH ของนมก่อนการตกตะกอนด้วย rennet โดยการเติมกรดโดยตรงแทนวิธีดั้งเดิมที่ลด pH ด้วยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ ด้วยการใช้กรด 3 ชนิด คือกรด lactic กรด phosphoric และกรด acetic และปรับ pH ลงมา 3 ระดับ คือ pH 5.6 5.4 และ 5.2 เพื่อศึกษาหาชนิดของกรดและ pH ของนมหลังเติมกรดที่เหมาะสม ในการผลิตเนยแข็งเฟตตาจากตัวอย่างนมดิบ นมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ UF (CF 3:1) และนมดิบผสมกับน้ำเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรอง UF (CF 10:1) ในอัตราส่วน 90:10 และหลังจากได้ชนิดของกรดและระดับ pH ที่เหมาะสมแล้ว นำไปผลิตเนยแข็งจากตัวอย่างนมดิบ นมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ UF และนมดิบผสมกับน้ำเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ UF พร้อมกับศึกษาการเปลี่ยนแปลงและทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งสามารถศึกษาผลสรุปจากการทดลองได้ดังนี้

1. ศึกษาหาชนิดของกรดและ pH ของนมหลังการเติมกรดที่เหมาะสมในการผลิต เนยแข็ง Fetta

ผลการผลิตเนยแข็ง Fetta ในสภาวะที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้พบว่าการปรับ pH ไปที่ 5.4 และ 5.2 ในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับน้ำเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรอง UF ให้ผลผลิตน้อยมากจนไม่สามารถทำเป็นเนยแข็งได้ อีกทั้งให้เนยแข็งที่มีลักษณะอ่อนนิ่มและเละเกินไป โดยเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ UF มีค่าน้ำหนักเนยแข็ง %โปรตีน %เกลือ %เถ้า ค่า hardness และ %yield ที่มากกว่าเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบและนมดิบผสมกับน้ำเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรอง UF ตามลำดับ แต่มีค่า moisture content ต่ำกว่า ส่วนค่าจุลินทรีย์ทั้งหมดนั้น เนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับน้ำเวย์ที่ผ่านกระบวนการกรอง UF มีค่าสูงสุด ตามมาด้วย เนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านกระบวนการกรองแบบ UF และนมดิบ โดยเนยแข็งที่ตกตะกอนด้วยกรด acetic ให้ค่าโปรตีนสูงที่สุด ตามมาด้วยตัวอย่างที่ตกตะกอนด้วยกรด phosphoric และ lactic acid แต่ค่า %yield ที่ความชื้น 55% นั้นการตกตะกอนด้วยกรด acetic และ phosphoric ให้ผลไม่ต่างกัน และเนยแข็งที่ทำการปรับ pH เป็น 5.6 ให้ค่าน้ำหนักของเนยแข็ง %เกลือ hardness และค่า %yield มากที่สุด ตามมาด้วย ที่ pH 5.4 และ 5.2

จากผลการทดลองดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าการเติมกรด acetic ที่ระดับ pH 5.6 ลงในนมโดยตรงก่อนการตกตะกอนด้วย rennet เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ในการผลิตเนยแข็งเฟตตา

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมต่างชนิดระหว่างการเก็บรักษา

หลังจากการสรุปในหัวข้อที่ 1 พบว่าเนยแข็งที่ทำการปรับระดับของ pH ก่อนการตกตะกอนด้วยเอนไซม์ rennet โดยใช้กรด acetic ที่ระดับ pH 5.6 มีความเหมาะสมที่สุดต่อการผลิตเนยแข็งเฟตตาด้วยการเติมกรดโดยตรง ดังนั้นจึงนำมาผลิตเนยแข็งโดยใช้วัตถุดิบ 3 ชนิดคือ นมดิบ นมที่ผ่านการกรองแบบ UF และนมผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF เก็บในสารละลายเกลือความเข้มข้น 5% ที่อุณหภูมิ 4^{0}C เมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด (3, 30, 60, 120, 180 วัน) เนยแข็งจะถูกนำมาประเมินผลในด้านต่าง ๆ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

น้ำหนักและ%ความชื้นของเนยแข็งจะมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น และส่งผลต่อค่า %ของแข็งทั้งหมดให้มีค่าสูงขึ้นด้วย โดยปริมาณโปรตีนของเนยแข็งเฟตตามีแนวโน้มลดลงขณะที่ ปริมาณไขมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น %เกลือของเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบ และนมผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF จะมีปริมาณสูงขึ้นในระยะเดือนแรกจะมีแนวโน้มลดลงและคงที่ในเดือนถัดมา ส่วนในตัวอย่างนมที่ผ่านการกรองแบบ UF จะมีปริมาณสูงขึ้นในระยะเดือนแรกและระยะเดือนที่สองและมีแนวโน้มลดลงในเดือนถัดมา % เถ้าของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะสองเดือนแรกและเริ่มคงที่ในเดือนถัดมา ส่วนปริมาณแคลเซียมที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บ ส่วนค่า pH และ %yield ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษา แต่ค่า hardness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะเดือนแรก และจะมีแนวโน้มคงที่และลดลงเล็กน้อยในเดือนถัดมา โดยการเพิ่มขึ้นดังกล่าวไม่ส่งผลต่อคะแนนทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นและรสชาติ เนื่องจากคะแนนที่ได้ในเวลาการเก็บที่ใกล้เคียงกัน (3 และ 30 วัน) จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าความสว่าง (L*) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า (a*) มีค่าเป็นลบแสดงว่าเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มที่มีค่าสีเขียวลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น และค่าสีเหลือง (b*) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ UF ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนค่าสีเหลือง (b*) ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF มีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงสีดังกล่าวส่งผลต่อคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏให้น้อยลงตามอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้น ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าค่าคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเฟตตา ที่ผลิตจากนมที่ผ่าน

การกรองแบบ UF มีแนวโน้มคงที่ตลอดการเก็บรักษา ส่วนเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ได้คะแนนลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ส่วนคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นและรสชาติ ของเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะเดือนแรก และลดลงอย่างต่อเนื่องในเดือนถัดมา พบว่าในตัวอย่างเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF จะมีคะแนนทางด้านกลิ่นและรสชาตินี้สูงที่สุด ส่วนคะแนนรวมของเนยแข็งที่ผลิตจากนมที่ผ่านการกรองแบบ UF มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บ แต่ในเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบและนมผสมกับเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF จะมีค่าคะแนนรวมลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บ อาจสรุปจากผลการทดสอบทางประสาทจนถึง 180 วัน ได้ว่าเนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากการเติมกรด acetic โดยตรงที่ pH 5.6 ในเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบ นมดิบที่ผ่านการกรองแบบ UF และนมดิบผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF ยังคงมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับบริโภค โดยเนยแข็งที่ผลิตจากนมดิบที่ผ่านการกรองแบบ UF ถือเป็นวัตถุดิบที่ดีที่สุด เพราะให้น้ำหนักเนยแข็ง ปริมาณโปรตีน และ%yield ที่มากที่สุด อีกทั้งได้คะแนนทางประสาทสัมผัสทั้งในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติที่ค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บ 180 วัน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการกรองแบบ UF ในการผลิตเนยแข็งที่มีไขมันต่ำ เช่น Ricotta หรือ Cottage
2. ควรมีการศึกษาการผลิตเนยแข็งด้วยวิธีเติมกรดโดยตรงร่วมกับการเติมเชื้อพวก lactic acid bacteria เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเนยแข็งให้ดีขึ้น โดยเติมกรดโดยตรงเพื่อลดเวลาการผลิตให้สั้นลงและเติมเชื้อเพื่อให้เชื้อพัฒนากลิ่นรสเฉพาะของเนยแข็ง
3. ควรมีการศึกษาถึงการใช้เกลือที่จะนำมาทำเป็น brine ชนิดใหม่ใน pickle cheese ที่ไม่ใช่ sodium chloride เนื่องจากการบริโภคเกลือดังกล่าวในปริมาณมากและต่อเนื่องจะไม่ส่งดีต่อสุขภาพ ซึ่งโดยปกติในผู้ใหญ่จะบริโภคโซเดียมได้อย่างปลอดภัยจะอยู่ที่ 1100-3300 mg (2.8-8.3 g of NaCl) ต่อวันเท่านั้น (NAS/NRC, 1980)
4. ควรมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเวย์ที่เหลือทิ้งจากโรงงานทำเนยแข็งมาประยุกต์เป็นอาหารชนิดใหม่ ๆ สำหรับคนบริโภคเนื่องจากเวย์เป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูง เช่น นำมาผลิตเป็น carbonated whey beverages เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาเคมี. 2541. เคมีทั่วไป. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สาธารณสุข, กระทรวง. 2545. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 265) เรื่อง นมโค. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข.

ภาษาอังกฤษ

Abou Donia, S. A. 1981. Provolone cheese. Indian Journal of Dairy Science 34: 131-135.

Abdou, S., Ghita, I., and El-Shibiny, S. 1976. The use of microbial rennets and pepsin in the manufacture of Domiati cheese. Egyptian Journal of Dairy Science 4: 147-154.

Ahmed, N. S., Abd El-Salam, M. H.. and El-Shibiny, S. 1972. Indian Journal Dairy Science. 25: 246-253.

Alichanidis, E., Anifantakis, E. M., Polychroniadou, A. and Nanou, M. 1984. Suitability of some microbial coagulants for Feta cheese manufacture. Journal of Dairy Research 51: 141-147.

A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

Bennasar, M., Rouleau, D., Mayer, B., and Tarodo de la Fuente, B. 1982. Ultrafiltration of milk on mineral membranes: Improved performance. Journal of the Society of Dairy Technology 35(2): 43-48.

Breene, W. M., Price, W. V., and Ernstrom, C. A. 1964. Manufacture of pizza cheese without starter. Journal of Dairy Science 47: 1173-1179.

Bylund, G. 1995. Dairy processing handbook. Sweden: Tetra Pak Processing Systems.

Chandan, R. C., Marin, H., Nakrani, K. R., and Zehner, M. D. 1979. Production and consumer acceptance of Latin American white cheese. Journal of Dairy Science 62 : 691-696.

Chen, A. H., Larkin, J. W., Clark, C. J., and Irwin, W. E. 1979. Texture analysis of cheese. Journal of Dairy Science 62 : 901-910.

Creamer, L. K., and Waugh, D. F. 1966. Calcium binding and precipitate salvation of Ca-α_s-caseinates. Journal of Dairy Science 49 : 706-713.

Demott, B. J. 1983. Recovery of milk constitutents in a mozzarella-like product manufactured from nonfat dry milk and cream by direct acidification at 4 and 35^0C. Journal of Dairy Science 66: 2501-2506.

DiLiello, L. R. 1982. Methods in food and dairy microbiology. Westport: The AVI Publishing.

Eck, A., and Gillis, J. C. 2000. Cheesemaking: From science to quality assurance. 2nd ed. Paris : Lavoisier.

El-Gendy, S. M., Abdel-Galil, H., Shahin, Y., and Hegazi, F. Z. 1983. Characteristics of salt tolerant lactic-acid bacteria, in particular lactobacilli leuconostocs and pediococci isolated from salted raw milk. Journal of Food Proteins 46: 429–433.

Farkye, N. Y., Prasad, B. B., Rossi, R., and Noyes, O. R. 1995. Sensory and textural properties of Queso Blanco-type cheese influenced by acid type. Journal of Dairy Science 78 : 1649-1656.

Fox, P. F. 1987. Major cheese groups. Cheese: Chemistry, physics and microbiology. New York: Elsevier Science.

Fox, P. F., and Walley, B. F. 1971. Influence of sodium chloride on the proteolysis of casein by rennet and by pepsin. Journal of Dairy Research 38:165–170.

Gal, S. and Bankay, D. 1971. The determination of the binding capacity of casein for sodium chloride. Journal of Food Science 36 : 800-807.

Geurts, T. J., Walstra, P. and Mulder, H. 1974. Water binding to milk protein, with particular reference to cheese. Netherland Milk Dairy Journal 28:46-72.

Goodenough, E. R., and Kleyn, D. H. 1976. Qualitative and quantitative changes in carbohydrates during the manufacture of yogurt. Journal of Dairy Science 59: 45-50.

Hinrichs, J. 2001. Incorporation of whey proteins in cheese. International Dairy Journal. 11: 495-503.

Hydamaka, A. W., Wilbey, R. A., Lewis, M. J., and Kuo, A. W. 2001. Manufacture of heat and acid coagulated cheese from ultrafiltered milk retentates. Food Research International 34(2): 197-205.

IDF. 1987. Sensory evaluation of dairy products. Doc. 45, International Dairy Federation, Brussels, Belgium.

Katsiari, M. C., Voutsinas, L. P., Alichanidis, E., and Roussis, I. G. 1997. Reduction of sodium content in Feta cheese by partial substitution of NaCl by KCl. International Dairy Journal 7 : 465-472.

Kaya, S. 2002. Effect of salt on hardness and whiteness of Gaziantep cheese during short-term brining. Journal of Food Engineering 52 : 155-159.

Keller, B., Olson, N. F., and Richardson, T. 1974. Mineral retention and rheological properties of mozzarella cheese made by direct acidification. Journal of Dairy Science 57: 174-180.

Kosikowski, F. V. 1982. Cheese and fermented milk foods. 2nd ed. Michigan: Edward Brothers.

Ling, E. R. 1963. A text book of dairy chemistry. Vol. I. 3rded. London: Chapman & Hall.

Lucey, J. A., and Fox, P. F. 1993. Importance of calcium and phosphate in cheese manufacture. Journal of Dairy Science 76 : 1714-1724.

Madkor, S., Fox, P. F., Shalabi, S. I., and Metwalli, N. H. 1987. Studies on the ripening of Stilton cheese: Lipolysis. Food Chemistry 25: 13-29.

Mahoney, R. R, Lazaridis, H. N., and Rosenau, J. R. 1982. Protein size and meltability in enzyme-treated, direct-acidified cheese products. Journal of Food Science 47: 670-671.

Mansour, A., and Alais, C. 1972. The effects of block size and amount of brine on the salt absorption in white pickled cheese. Le Lait 52 : 642-653.

Marshall, R. T. 1992. Standard methods for the examination of dairy products. 14th ed. Washington, D. C.: American Public Health Association.

Mohamed A. 2001. Manufacture of fresh soft white cheese (Domiati-type) from ultrafiltered goats' milk. Food Chemistry 79(4): 445-452.

Morris, H. A., Guinee, T. P., and Fox, P. F. 1985. Salt diffusion in Cheddar cheese. Journal of Dairy Science 68 : 1851-1858.

NAS/NRC. 1980. Recommended dietary allowances. 9th ed. Food and Nutrition Board, National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D. C.

Naugib, M. M., El-Sadek, G. M., and Naugib, K. 1974. Factors affecting the quality of Domiati cheese. 1. Effect of heat treatment. Egyptian Journal of Dairy Science 2: 55-62.

Omar, M. M., and Buchheim, W. 1983. Development of microstructure in set-style nonfat yoghurt. Food Microstructure 2 : 43-50.

Panagiotis, S., George, K. and Effie, T. 2002. Effect of *Enterococcus faecium* on microbiological, physicochemical and sensory characteristics of Greek Feta cheese. Food Microbiology 76 : 93-105.

Puri, B. R., and Parkash, S. 1965. Exchange of colloidal calcium with other cations in milk of three species. Journal of Dairy Science 48 : 611-613.

Quarne, E. L., Larson, W. A., and Olson, N. F. 1968a. Recovery of milk solids in direct acidification and traditional procedures of manufacturing pizza cheese. Journal of Dairy Science 51: 527-530.

Quarne, E. L., Larson, W. A., and Olson, N. F. 1968b. Effect of acidulants and milk-clotting enzymes on yield, sensory quality, and proteolysis of pizza cheese made by direct acidification. Journal of Dairy Science 51: 848-852.

Renner, E., and ABD El-Salam, M. H. 1991. Application of ultrafiltration in the dairy industry. England: Elsevier Science.

Richardson, G. H. 1985. Standard methods for the examination of dairy products. 15th ed. Washington, D. C.: American Public Health Association.

Robinson, R. K., and Tamime, A. Y. 1991. Feta and related cheeses. England: Ellis Horwood.

Robinson, R. K., and Wilbey, R. A. 1998. Cheesemaking Practice. 3rd ed. Maryland : An Aspen.

Rosenau, J. R., Calzada, J. F., and Peleg, M. 1978. Some rheological properties of a cheese-like product prepared by direct acidification. Journal of Food Science 43: 948-950.

Shehata, A. E., Meena Iyer, Olson, N. F., and Richardson, T. 1967. Effect of type of acid used in direct acidification procedures on moisture, firmness, and calcium levels of cheese. Journal of Dairy Science 50: 824-827.

Teama, Z. Y. 1967. Detection of cow's milk level in white cheese made from sheep's milk. Ph.D. thesis, Department of Food Technology, Faculty of Science, Ain-Shams University.

Thomas, T. D., and Crow, V. L. 1983. Mechanism of D(-)-lactic acid formation in cheddar cheese. New Zealand Journal of Dairy Science and Technology 18 : 131–141.

Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., and Boekel, M. A. J. S. 1999. Dairy technology: Principles of milk properties and processes. New York: Marcel Dekker.

Yan, S. H., Hill, C. G., and Amundson, C. H. 1979. Ultrafiltration of whole milk. Journal of Dairy Science 62(1): 23-40.

Yazici, F., and Dervisoglu M. 2003. Effect of pH adjustment on some chemical, biochemical, and sensory properties of Civil cheese during storage. Journal of Food Engineering 56 : 361-369.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ Kosikowski (1982)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน ช่วงอุณหภูมิ 0-250^{0}C (Memmert รุ่น modell 600, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. desiccator

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 g ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่อบแห้งและชั่งน้ำหนักแล้ว
2. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 ^{o}C จนน้ำหนักคงที่ โดยเปิดฝาถ้วยอะลูมิเนียมไว้
3. นำถ้วยอะลูมิเนียมออกจากตู้อบ ปิดฝาถ้วยและทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Kosikowski (1982)

อุปกรณ์

1. Buchi digestion unit (รุ่น K-424, Switzerland)
2. Buchi distillation unit (รุ่น B-324, Switzerland)

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟุริกเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 N ที่ standardized ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมพาทาเลท 0.1 N
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50%
4. สารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 4%
5. selenium reagent mixture
6. อินดิเคเตอร์ (เตรียมโดยละลายเมทธิลเรด 0.125 g และเมธิลลีนบลู 0.0825 g ในเอทธานอล 90% 100 ml)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 g ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติม selenium reagent mixture ซึ่งใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ประมาณ 5 g และกรดซัลฟุริกเข้มข้น 20 ml
3. นำตัวอย่างไปย่อยใน Kjeldahtherm โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำฟลาสก์ขนาด 500 ml ที่บรรจุเนยแข็งหยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	40 ml
Boric acid	50 ml
H_2O	50 ml
Time	6 นาที

6. รองรับสารที่กลั่นตามระยะเวลาที่กำหนด
7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในฟลาสก์ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในฟลาสก์ทั้งหมดมาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติซึ่งจะกลายเป็นสีม่วงแดง
9. ทำ blank เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4 \times 6.25}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

เมื่อ

V_a คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (ml)

V_b คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรต blank (ml)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรต มีหน่วนเป็น Normal

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีของ Richardson (1985)

อุปกรณ์

1. หลอด Gerber สำหรับหาไขมันในเนยแข็ง (fat range 0-40%)

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟุริกเข้มข้น
2. amyl alcohol

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 3 g ลงในจุกล่างของหลอด Gerber แล้วประกอบเข้ากับตัวหลอด Gerber สำหรับหาเนยแข็ง
2. เติมสารละลายกรดซัลฟุริกเข้มข้น 10 ml
3. เติมน้ำกลั่นประมาณ 7-8 ml
4. ปิดจุกบนให้แน่นแล้วกระดกหลอด Gerber ขึ้นลงและเขย่าจนกว่าตัวอย่างเนยแข็งจะละลายหมด
5. เปิดจุกบนของหลอด Gerber แล้วเติม amyl alcohol ประมาณ 1-2 ml หรือจนกว่าจะถึงคอขวด
6. ปิดจุกบนแล้วกระดกหลอดขึ้นลง เขย่าจนแน่ใจว่าเข้ากัน.
7. นำไป centrifuge ที่อุณหภูมิ 50-60^{0}C นานประมาณ 5 นาที
8. อ่านผลตาม scale ออกมาเป็น %ไขมัน

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเกลือตามวิธีของ Kosikowski (1982)

สารเคมี

1. $AgNO_3$ 0.1 N : ชั่ง $AgNO_3$ 16.987 g เติมน้ำกลั่นให้เป็น 1 liter

2. $KMnO_4$ 5% (potassium permanganate) : ชั่ง $KMnO_4$ 50 g เติมน้ำกลั่นให้เป็น 1 liter

3. saturated $NH_4Fe(SO_4)_2.12H_2O$ (ferric ammoniumsulfate or ammonium iron(III) sulphate) : ละลาย $NH_4Fe(SO_4)_2.12H_2O$ อย่างต่อเนื่องลงในน้ำกลั่นพร้อมกับคนไปเรื่อย ๆ ใส่ไปจนกว่า $NH_4Fe(SO_4)_2.12H_2O$ จะไม่ละลาย นำสารละลายไปอุ่น (50-60^{0}C) คนต่อ ถ้า $NH_4Fe(SO_4)_2.12H_2O$ ยังคงละลายอยู่ ให้ใส่ต่อพร้อมกับคนจนสารไม่ละลายอีกต่อไป ทำให้อุณหภูมิของสารละลายกลับสู่ ambient temperature ก่อนนำไปใช้

4. KSCN (potassiumthiocyanate) 0.1 N : ชั่ง KSCN 9.7 g เติมน้ำกลั่นให้เป็น 1 liter

5. nitrobenzene

6. HNO_3 (conc.) (กรดไนตริกเข้มข้น)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งเนยแข็ง 3 g (น้ำหนักแน่นอน) ใน flask ขนาด 250 ml (พยายามบี้เนยแข็งให้ละเอียด อย่าให้เกาะเป็นก้อนแข็ง) (ทำ blank 1 flask โดยการเติม $AgNO_3$ 0.1 N 25 ml แล้วเติมกรด HNO_3เข้มข้น 10 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml แล้วเติม nitrobenzene 2 ml เติม saturated $NH_4Fe(SO_4)_2.12H_2O$ 1 ml จากนั้น titrate กับ KSCN 0.1 N)

2. เติม $AgNO_3$ 0.1N 25 ml เขย่าให้เนยแข็งสัมผัสกับสารละลายอย่างทั่วถึง (ขั้นตอนนี้สำคัญต้องเขย่าประมาณ 5 นาทีเป็นอย่างน้อย) เติมกรด HNO_3เข้มข้น 10 ml (ทำใน fume hood) เขย่าให้เข้ากัน (ประมาณ 1-2 นาที) เติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้เข้ากัน (ประมาณ 1-2 นาที)

3. ให้ความร้อนบน hot plate จนเนยแข็งละลาย (ทำใน fume hood และใช้เวลา 10-20 นาที เป็นอย่างน้อยและแต่ละ samples ควรใช้เวลาในการต้มให้เท่ากันด้วย)

4. ค่อย ๆ เติม $KMnO_4$ 5% 15 ml (ใส่เมื่อครบเวลาในข้อ 3. ในขณะที่ยังต้มอยู่เลย ระวังอย่าให้สารละลายพุ่งออกมา) ให้ความร้อนต่อไปจนสีของ $KMnO_4$ เปลี่ยนจากสีม่วงกลายเป็นสีเหลืองอ่อนใส

5. เติม $KMnO_4$ 5% ลงไปอีก 5-10 ml ให้ความร้อนต่อไปจนสีของ $KMnO_4$ เปลี่ยนจากสีม่วงกลายเป็นสีเหลืองอ่อนใส ทำให้อุณหภูมิของสารละลายกลับสู่ ambient temperature

6. เติม nitrobenzene 2 ml เขย่าสารละลายให้เข้ากันก่อน (ประมาณ 1-2 นาที)

7. เติม saturated $NH_4Fe(SO_4)_2.12H_2O$ 1 ml เป็น indicator เขย่าสารละลายให้เข้ากัน (ประมาณ 1-2 นาที)

8. titrate กับ KSCN 0.1 N จนสารละลายสีเหลืองอ่อนใสเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ คงที่ประมาณ ½ นาที โดยเทียบสีกับ blank

การคำนวณ

$$\%NaCl = \frac{0.58443 \times (Vb - Vs)}{W}$$

Vb : ปริมาตร (ml) ของ KSCN ที่ทำปฏิกิริยากับ $AgNO_3$ 25 ml ในการไตเตรทกับ blank

Vs : ปริมาตร (ml) ของ KSCN ที่ทำปฏิกิริยากับ $AgNO_3$ excess ในการไตเตรทกับ ตัวอย่าง

W : น้ำหนักของเนยแข็ง (g)

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธีของ Marshall (1992)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
2. ถ้วย crucible
3. hot plate
4. desiccator

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 g ใส่ในถ้วย crucible ที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 $^{\circ}$C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

ก.6 วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
2. ตู้อบลมร้อน ช่วงอุณหภูมิ 0-250^{0}C (Memmert รุ่น modell 600, Germany)
3. Atomic absorption spectrophotometer (Spectr AA-300, Varian)

สารเคมี

1. กรด nitric ความเข้มข้น 1 N

2. lanthanum stock solution (1% La.) : ชั่ง La_2O_3 11.73 g ลงใน volumetric flask ขนาด 1 liter เติม HNO_3 25 ml ช้า ๆ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 liter

3. calcium concentrated stock solution (500 mg Ca/L) : ชั่ง $CaCO_3$ 1.249 g ลงใน volumetric flask ขนาด 1 literจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 liter คนจนกว่าจะละลาย

4. calcium dilute stock solution (20 mg Ca/L) : ปิเปต calcium concentrated stock solution 20 ml ลงใน volumetric flask ขนาด 500 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 500 ml เขย่าจนกว่าจะเข้ากัน

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 5 gใส่ crucible ที่แห้งนำไปอบไล่ความชื้นเป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมงในตู้อบลมร้อน 105 องศาเซลเซียส

2. นำ crucible ที่เผาไล่ควันแล้วไปเข้า muffle furnace ที่อุณหภูมิ 525^{0}C จนเถ้ามีสีขาว

3. เติม HNO_3 1 ml เพื่อละลายเถ้า ถ่ายใส่ volumetric flask ขนาด 250 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 250 ml จะได้ solution A

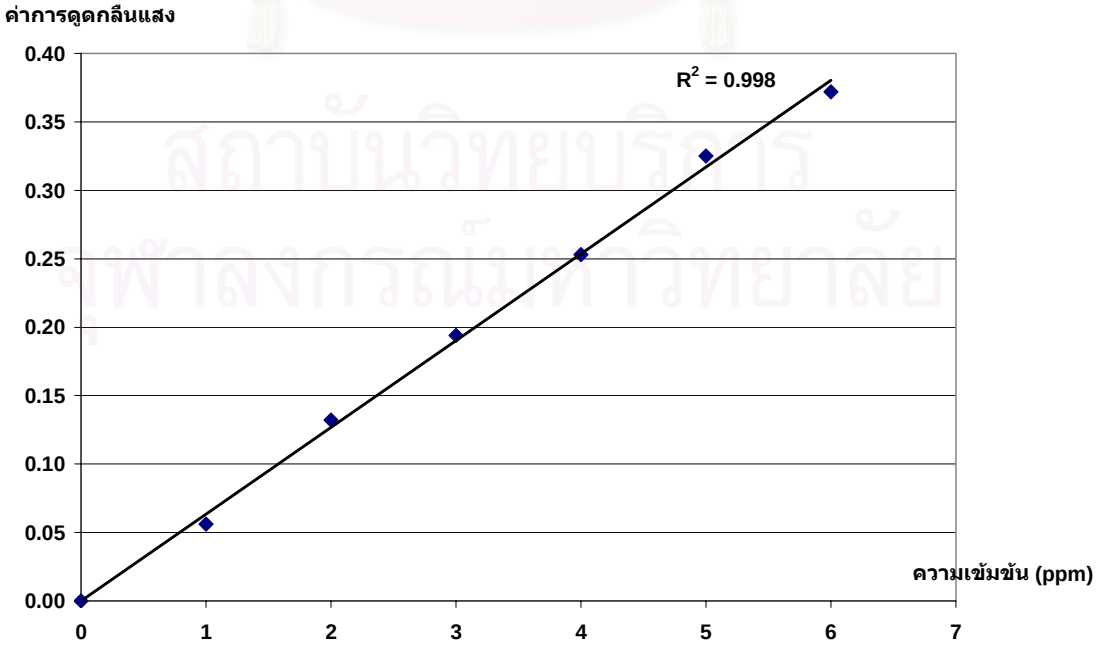
4. ปิเปต solution A 10 ml ลงใน volumetric flask ขนาด 100 ml แล้วเติม lanthanum stock solution 10 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 ml

5. นำสารละลายที่ได้เข้าเครื่อง atomic absorption spectrophotometer อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ คำนวณปริมาณแคลเซียมที่ได้จากกราฟมาตรฐาน ซึ่งรายงานในหน่วย ppm

6. การทำกราฟมาตรฐาน

6.1 ปิเปต calcium dilute stock solution มา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ml ใส่ใน volumetric flask 100 ml (เตรียม blank โดยไม่ใส่ calcium stock solution) เติมสารละลาย lanthanum stock solution 10 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 ml จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมตั้งแต่ 0-6 ppm

6.2 สารละลายที่ได้จากข้อ 6.1 นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer จะได้ standard curve ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 standard curve ของการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

การคำนวณ

การแปลงค่า ppm ที่ได้จากกราฟสามารถทำได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$calcium(mg/100g) = \frac{(Z \times 2500)}{(W/V)}$$

Z = ค่า calcium ในหน่วย ppm ที่ได้จากการอ่านค่าการดูดกลืนแสงแล้วแปรค่าจาก standard curve

W = น้ำหนักเนยแข็ง (g)

V = ปริมาตรของ solution A (ml) ที่ฉีดเข้าเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

ก.7 ค่าเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer

อุปกรณ์

เครื่อง texture analyzer (Stable Micro System Texture Analyzer, TA-xT2i)

วิธีการทดลอง

1. เข้าสู่โปรแกรม texture expert โดย double click ที่ icon ของ texture expert

2. เลือก user name ที่ต้องการแล้วกดปุ่ม OK จากนั้นกดปุ่ม restart

3. คลิกที่ T.A.บนเมนูหลัก แล้วเลือก calibrate force

4. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัด และตัวอย่างอยู่ที่ฐานของเครื่อง texture analyzer จากนั้นกดปุ่ม OK

5. รอให้เครื่องแสดงข้อความว่า ให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 kg (เนื่องจากใช้ load cell ขนาด 25 kg) ที่หน้าจอจากนั้น วางตุ้มน้ำหนัก 5 kg บนฐานของเครื่อง (calibration platform) แล้วแล้วกดปุ่ม OK

6. คลิกที่ T.A.บนเมนูหลัก แล้วเลือก calibrate probe ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีตัวอย่างหรือสิ่งของวางทิ้งไว้ฐานเครื่อง

7. กดปุ่ม Fast + ⇓ เพื่อเลื่อนตำแหน่งของหัววัดให้มาอยู่ใกล้กับฐานเครื่อง

8. กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่กลับไปของหัววัด เมื่อหัววัดสัมผัสกับฐานเครื่องแล้วโดยใช้ความสูงของตัวอย่างที่ต้องการวัดเป็นเกณฑ์ (ให้ระยะทางมากกว่าความสูงของตัวอย่างที่ต้องการวัดเล็กน้อย) ในที่นี้ให้ระยะทางกลับไปของหัววัดเป็น 30 mm

9. นำตัวอย่างเนยแข็งวางบนฐานของเครื่อง

10. กำหนดตัวแปรเพื่อสั่งงานเครื่อง โดยเข้าเมนู T.A. หลัก จากนั้น เลือก T.A. settings

11. Set ค่าต่างๆของการวัด ดังนี้

หัว p 100 mm

Mode :	Measure force in compression
Option :	Return to start
Pre-test speed :	1.0 mm/s
Test speed :	1.0 mm/s
Post-test speed :	1.0 mm/s
Strain :	60 %
Trigger force :	1 N

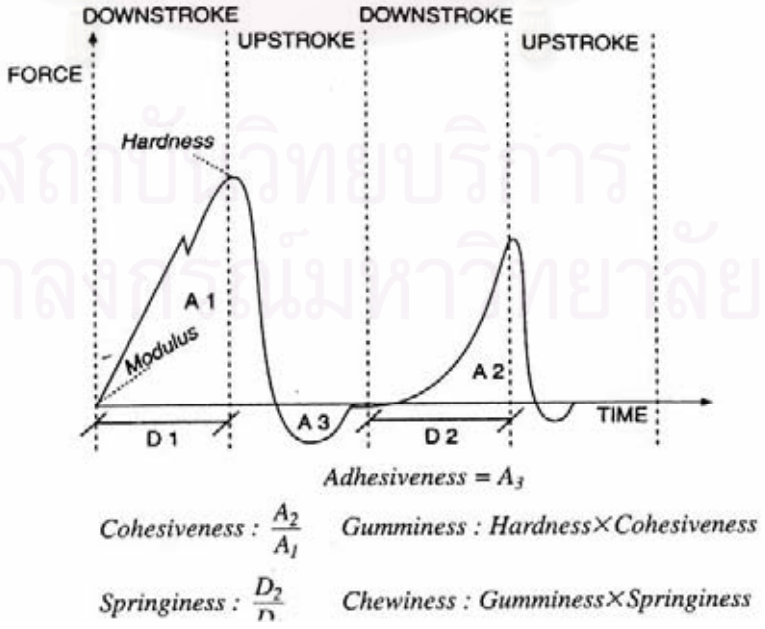
12. คลิกที่ T.A.บนเมนูหลัก เลือก running a test หรือกด F2 หรือกด Ctrl +Q เพื่อสั่ง quick test run ในกรณีที่ต้องการให้บันทึกข้อมูลให้มีรายละเอียดและตำแหน่งการเก็บข้อมูลเหมือนเดิม

13. คลิกที่ปุ่ม auto save เพื่อให้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ พร้อมกับตรวจเช็คดูว่าทำการบันทึก file name ไว้ที่ directory ใด

14. เลือกหัววัดหรือ probe แบบ p 100 mm stainless

15. เมื่อกำหนดตัวแปรเพื่อสั่งงานเครื่องเสร็จแล้ว คลิกที่ update เพื่อส่งคำสั่งทั้งหมดไปยังเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

16. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยทำการคำนวณค่า hardness, cohesiveness, adhesiveness, และ springiness โดย texture profile แสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 กราฟจากเครื่อง texture analyzer

hardness คือ peak force ของการกดตัวอย่างครั้งแรก เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งของตัวอย่าง

cohesiveness คือ พื้นที่ของกราฟ (งาน) ของการกดครั้งที่ 2 หารด้วยพื้นที่กราฟของการกดครั้งแรก (area2/area1) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการทนต่อการเสียรูปทรงในการกดครั้งที่ 2 เทียบกับการกดครั้งแรก

adhesiveness คือ พื้นที่ของกราฟของแรงต้านการถอนของการกดครั้งแรก (area3) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเกาะติดกับพื้นผิวของฐานรองตัวอย่าง

springiness คือ ระยะเวลาหรือระยะทางที่ใช้ในการกดครั้งที่ 2 จนถึงจุดสูงสุดของกราฟหารด้วยระยะเวลาหรือระยะทางของการกดครั้งที่ 1 (L2/L1) ซึ่งเป็นความสามารถในการดีดตัวกลับหลังจากถูกทำให้เสียรูปในการกดครั้งแรก

ก.8 วิธีวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำนมดิบโดยใช้ Petrifilm Plate **ตามวิธีของ** AOAC (1995)

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตนม 1 ml ใส่ tube ที่บรรจุ peptone 0.1% ปริมาตร 9 ml เจือจางความเข้มข้นเป็น 10^{-1} และ 10^{-2} g/ml ด้วย peptone 0.1 %

3. ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างเจือจางที่มีความเจือจางที่ต้องการลงในแผ่นฟิล์มที่เตรียมไว้ปริมาตร 1 ml

4. นำแผ่นฟิล์มไปบ่มที่อุณหภูมิ 35±0.5°C นาน 2-3 วัน ตรวจนับเชื้อแบคทีเรียโดยถ้ามีโคโลนีเป็นจุดสีม่วงแดงให้นับเป็น 1 โคโลนีแล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 ml

ก.9 วิธีวิเคราะห์จำนวนโคลิฟอร์มและอีโคไลของน้ำนมดิบโดยใช้ Petrifilm Plate **ตามวิธีของ** AOAC (1995)

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตนม 1 ml ใส่ tube ที่บรรจุ peptone 0.1% ปริมาตร 9 ml เจือจางความเข้มข้นเป็น 10^{-1} g/ml ด้วย peptone 0.1 %

3. ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างเจือจางที่มีความเจือจางที่ต้องการลงในแผ่นฟิล์มที่เตรียมไว้ปริมาตร 1 ml

4. นำแผ่นฟิล์มไปบ่มที่อุณหภูมิ 35±0.5°C นาน 2-3 วัน ตรวจนับเชื้อโคลิฟอร์มโดยดูจากโคโลนีที่เป็นสีม่วงแดงและมีฟองอากาศอยู่ด้านข้าง ส่วนเชื้ออีโคไลดูจากโคโลนีที่เป็นสีน้ำเงิน

โดยเชื้อทั้งสองชนิดสามารถขึ้นได้ในแผ่น petrifilm แผ่นเดียวกัน แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 ml

ก.10 วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนยแข็งตามวิธีของ DiLiello (1982)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar

- ชั่ง plate count agar 23.5 g ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1000 ml บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ปิดปากด้วยจุกสำลี ฆ่าเชื้อด้วย autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 lb/in^2 เป็นเวลา 15 นาที

2. ชั่งเนยแข็ง 1 g ใส่ tube ที่บรรจุ peptone 0.1% ปริมาตร 9 ml จากนั้นนำไปแช่ในน้ำอุ่น (40-50^{0}C) เพื่อให้เนยแข็งละลาย เจือจางความเข้มข้นเป็น 10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} 10^{-7} และ10^{-8} g/ml ด้วย peptone 0.1 %

3. ปิเปตสารละลายที่ dilution ต่างๆ มา 1 ml ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ dilution ละ 2 จาน เท plate count agar (ที่ 40-45°C) ลงในจานเลี้ยงเชื้อประมาณจานละ 15-20 ml หมุนจานไปมาเพื่อให้สารละลายและ plate count agar ผสมกัน ทิ้งให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง

4. นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 35±0.5°C นาน 2-3 วัน ตรวจนับเชื้อแบคทีเรียแล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g

ก.11 วิธีวิเคราะห์ยีสต์และราตามวิธีของ DiLiello (1982)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar

- ชั่ง potato dextrose agar 39.0 g ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1 liter บรรจุลงใน ขวดรูปชมพู่ปิดปากด้วยจุกสำลี ฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 lb/in^2 เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นปรับ pH ด้วย tartaric acid (ที่ปลอดเชื้อ) ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 1.6 ml ต่อ potato dextrose agar 100 ml (จะได้ pH ประมาณ 3.74-4.0) เท potato dextrose agar ลงในจานเลี้ยงเชื้อจานละ 15-20 ml ทิ้งให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง

2. เตรียมตัวอย่างที่ dilution 10^{-1} และ 10^{-2} g/ml

3. ปิเปตสารละลายที่ dilution ต่างๆ มา 1 ml ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ dilution ละ 2 จาน แล้วใช้แท่งแก้วรูปตัว L จุ่มแอลกอฮอล์ ลนไฟ เกลี่ยสารละลายให้กระจายทั่วผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ

4. นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 35±0.5°C นาน 2-3 วัน ตรวจนับเชื้อยีสต์ และรา แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g

ภาคผนวก ข.

ข.1 แบบทดสอบการประเมินผลทางประสาทสัมผัส ของเนยแข็ง Fetta

วันที่.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

<u>คำชี้แจง</u> ตัวอย่างมี 3 ตัวอย่าง ให้ผู้ประเมินเขียนตัวเลข 3 หลักในแต่ละตัวอย่างลงในแบบทดสอบการประเมินผลทางประสาทสัมผัส พร้อมทั้งให้คะแนนทางด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติ โดยให้คะแนนตามหลักเกณฑ์ด้านล่าง ดูเอกสารประกอบการทดสอบการประเมินผลทางประสาทสัมผัสเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ

หลักเกณฑ์การให้คะแนน

5.0	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	อยู่ในเกณฑ์ระดับดีเยี่ยม
4.5	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	อยู่ในเกณฑ์ระหว่างดีเยี่ยมกับดี
4.0	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	อยู่ในเกณฑ์ระดับดี
3.5	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	อยู่ในเกณฑ์ระหว่างดีกับพบสิ่งผิดปกติเล็กน้อย
3.0	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	พบสิ่งผิดปกติเล็กน้อย
2.5	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	อยู่ในเกณฑ์ระหว่างพบสิ่งผิดปกติเล็กน้อย กับ พบชัดเจน
2.0	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	พบสิ่งผิดปกติชัดเจน
1.5	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	อยู่ในเกณฑ์ระหว่างพบสิ่งผิดปกติชัดเจน กับ พบรุนแรง
1.0	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	พบสิ่งผิดปกติรุนแรง
0.5	เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างมาตรฐานที่เคยทดสอบมาแล้วพบว่า	พบสิ่งผิดปกติรุนแรงมาก

ตัวอย่างที่	รหัสตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	กลิ่นและรสชาติ
1				
2				
3				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ข.2 เอกสารประกอบการทดสอบการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ลักษณะปรากฏ		เนื้อสัมผัส		กลิ่นและรสชาติ	
คะแนน	ลักษณะเนยแข็ง	คะแนน	ลักษณะเนยแข็ง	คะแนน	ลักษณะเนยแข็ง
	เกณฑ์ดีมาก		**เกณฑ์ดีมาก**		**เกณฑ์ดีมาก**
5	-มีสีขาว ดูอ่อนนุ่ม และมีความชุ่มชื้นอยู่ -ไม่มีรูโหว่ของก๊าซ แต่อาจจะมีรูนิดหน่อย ที่เกิดจากการจับกันของลิ่มนมอย่างหลวมๆ	5	-อ่อนนุ่มแต่ไม่เละ และไม่แข็งแรงพอที่จะแล่เป็นแผ่นได้ เมื่อกัดจะแตกออกเป็นก้อนเล็ก ๆ	5	-มีกลิ่นและรสออกเปรี้ยวเล็กน้อยและมีกลิ่นฉุนคล้าย ๆ กับกลิ่นพริกไทย -มีรสค่อนข้างเค็ม แต่ไม่ขม
	เกณฑ์ดี		**เกณฑ์ดี**		**เกณฑ์ดี**
4	-สีขาว แต่ไม่ค่อยสดใส -เนยยังดูมีความชุ่มชื้น เริ่มมีน้ำซึมออกมา -ไม่มีรูโหว่ของก๊าซ -เริ่มมีรอยแตกเล็กน้อย การจับกันของลิ่มนมดูหลวมมากขึ้น	4	-เนยแข็งมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มมากขึ้น และยังกัดแตกเป็นก้อนเล็ก ๆ	4	-มีกลิ่นและรสออกเปรี้ยวมากขึ้น มีรสเค็มขึ้น ไม่มีรสขม
	เกณฑ์พอใช้		**เกณฑ์พอใช้**		**เกณฑ์พอใช้**
3	-มีลักษณะเปียก มีน้ำซึมออกมามาก -พบรูเล็ก ๆ ที่เกิดจากก๊าซภายในเนยแข็ง -มีรอยแตกของก้อนเนยแข็งสั้น ๆ -สีซีดลง ดูด้าน ๆ ไม่สด -มีลักษณะแห้ง แต่ยังมีน้ำติดอยู่บ้าง	3	-เริ่มจะเละมีน้ำอยู่มาก แต่ยังคงเป็นก้อนอยู่ได้ -เมื่อกัดจะไม่ค่อยแตกเป็นก้อนเล็ก ๆ แต่จะแฉะ ๆ ในปาก -มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นเล็กน้อย	3	-มีรสขมเล็กน้อย -มีรสเค็มจัด -มีกลิ่นนมหมักเล็กน้อย -ไม่ค่อยมีกลิ่นหรือรสเด่นชัด -มีกลิ่นหืนเล็กน้อย

ลักษณะปรากฏ		เนื้อสัมผัส		กลิ่นและรสชาติ	
คะแนน	ลักษณะเนยแข็ง	คะแนน	ลักษณะเนยแข็ง	คะแนน	ลักษณะเนยแข็ง
	เกณฑ์ไม่ดี		**เกณฑ์ไม่ดี**		**เกณฑ์ไม่ดี**
2	-เนยเละคล้ายดินเหนียวที่เปียกน้ำ -มีก๊าซเกิดขึ้นภายในเนยแข็งรูใหญ่แต่ยังไม่ทำให้ผิวเนยแข็งแตกออก -มีรอยแตกของก้อนเนยแข็งยาว -มีสีเป็นดวงด่าง ๆ แต่ไม่มาก -มีลักษณะแห้ง ไม่ค่อยชุ่มชื้น	2	-เนยเละคล้ายดินเหนียวที่เปียกน้ำ -เริ่มมีส่วนที่เหลว ๆซึมออกมาจากก้อนมาก -ออกแรงเคี้ยวนิดหน่อยก็ละลายหมด -มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นเล็กน้อยเทียบเท่ากับพวก semi-soft cheese	2	-มีรสขมชัดเจน -มีกลิ่นคล้ายนมเปรี้ยว มีกลิ่นหมักที่แรง -มีกลิ่นหืนชัดเจน -มีกลิ่นคล้ายสารเคมีชัดเจน
	เกณฑ์ไม่ดีมาก		**เกณฑ์ไม่ดีมาก**		**เกณฑ์ไม่ดีมาก**
1	-พบราขึ้นบนเนยแข็ง -เนยเละมากคล้ายโคลน -มีก๊าซเกิดขึ้นภายในเนยแข็งรูใหญ่จนทำให้ผิวแตกออก -มีจุดสีดำของเชื้อจุลินทรีย์ -มีสีเป็นดวงด่าง ๆ เต็มผิว -มีลักษณะแห้งแข็ง	1	-เละมากคล้ายโคลน ไม่ค่อยจับกันเป็นก้อนแล้ว -เมื่อกินจะรู้สึกเหมือนกินอาหารเด็ก -มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นเทียบเท่ากับพวก hard cheese	1	-มีรสขมมาก -มีกลิ่นยีสต์ เหล้า -มีกลิ่นเหมือนนมเสีย -มีกลิ่นหืนอย่างรุนแรง -มีกลิ่นคล้ายสารเคมีที่รุนแรง

เอกสารชุดนี้จัดทำขึ้นจากการทำ descriptive test ของผู้ทดสอบทั้ง 5 คน โดยทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนยแข็ง Fetta ในห้องตลาด 5 ยี่ห้อ ในระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ จนเนยแข็งเสีย แล้วทำการให้นิยามลักษณะของเนยแข็งพร้อมกับให้คะแนน

ข.3 เอกสารประกอบการแปลงคะแนน

ทำการแปลงคะแนนจากคะแนนที่ผู้ทดสอบให้จริง (เกณฑ์เต็ม 5 คะแนน) แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ด้วยตารางด้านล่าง

คะแนนที่ผู้ทดสอบให้จริง		คะแนนหลังจากแปลงเป็นคะแนนเต็ม 10
5.0	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	10
4.5	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	9
4.0	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	8
3.5	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	7
3.0	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	6
2.5	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	5
2.0	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	4
1.5	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	3
1.0	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	2
0.5	แปลงเป็นคะแนนเต็ม 10 ได้	1

หลังจากแปลงคะแนนเป็นคะแนนเต็ม 10 แล้ว ให้ทำการให้น้ำหนักของการให้คะแนน (attribute score weighing) โดยคะแนนในด้านลักษณะปรากฏ ให้คูณด้วย 1 (คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ=10) คะแนนในด้านเนื้อสัมผัส ให้คูณด้วย 4 (คะแนนในด้านเนื้อสัมผัส=40) คะแนนในด้านกลิ่นและรสชาติ ให้คูณด้วย 5 (คะแนนในด้านกลิ่นและรสชาติ=50) และคะแนนรวมให้นำคะแนนในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติ มารวมกัน (คะแนนรวม =100) (Katsiari et al., 1997)

ภาคผนวก ค.
ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยน้ำหนักเนยแข็ง %ความชื้น %ของแข็งทั้งหมด และ cheese dry matter ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH

SOV	d.f.	MS			
		น้ำหนักเนยแข็ง	%ความชื้น	%ของแข็งทั้งหมด	cheese dry matter
ชนิดนม (A)	1	4650.694 **	148.905 **	148.905 **	3889.227 **
ชนิดกรด (B)	2	6855.037 **	93.713 **	93.713 **	2894.134 **
pH (C)	2	16001.798 **	42.872 **	42.872 **	4344.480 **
A*B	2	1.677 NS	7.202 **	7.202 **	83.932 *
A*C	2	65.121 NS	6.164 **	6.164 **	77.724 *
B*C	4	830.908 **	0.720 NS	0.720 NS	153.414 **
A*B*C	4	45.898 NS	0.431 NS	0.431 NS	7.878 NS
error	18	81.052	0.587	0.587	17.115

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)
NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) %ไขมัน และไขมัน (%dry basis) ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH

SOV	d.f.	MS			
		%โปรตีน	โปรตีน (%dry basis)	%ไขมัน	ไขมัน (%dry basis)
ชนิดนม (A)	1	131.733 **	407.535 **	105.953 **	112.675 **
ชนิดกรด (B)	2	11.068 **	14.572 **	0.028 NS	225.675 **
pH (C)	2	0.833 **	82.421 **	0.691 *	160.309 **
A*B	2	0.740 **	5.079 *	0.334 NS	15.827 *
A*C	2	0.088 *	4.424 *	0.123 NS	14.813 *
B*C	4	0.034 NS	1.966 NS	0.092 NS	2.399 NS
A*B*C	4	0.028 NS	0.146 NS	0.048 NS	2.055 NS
error	18	0.020	0.858	0.118	3.574

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย %เกลือ %เถ้าและปริมาณแคลเซียมของเนยแข็งเฟตาที่แปรชนิดของนม ชนิดของกรด และระดับ pH

SOV	d.f.	MS		
		%เกลือ	%เถ้า	ปริมาณแคลเซียม
ชนิดนม (A)	1	3.008 **	13.783 **	388978.821 **
ชนิดกรด (B)	2	0.043 *	0.154 *	8656.642 **
pH (C)	2	0.182 **	0.055 NS	7351.947 **
A*B	2	0.013 NS	0.100 NS	139.076 *
A*C	2	0.009 NS	0.052 NS	65.019 NS
B*C	4	0.005 NS	0.047 NS	69.991 NS
A*B*C	4	0.005 NS	0.032 NS	75.299 NS
error	18	0.008	0.031	33.673

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย pH %yield %yield at 55%MC. Hardness (N) จุลินทรีย์ทั้งหมด(log cfu/g) ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนมชนิดของกรด และระดับ pH

SOV	d.f.	MS				
		pH	% Yield	% Yield at 55%MC.	Hardness	จุลินทรีย์ทั้งหมด
ชนิดนม (A)	1	0.123 **	43.672 **	180.343 **	592.436 **	1.684 **
ชนิดกรด (B)	2	0.028 **	64.366 **	134.196 **	93.492 **	0.118 **
pH (C)	2	0.455 **	150.247 **	201.444 **	185.545 **	0.236 **
A*B	2	0.015 **	0.016 NS	3.892 *	33.576 **	0.072 **
A*C	2	0.003 NS	0.612 NS	3.604 *	11.136 **	0.014 NS
B*C	4	0.001 NS	7.802 **	7.114 **	9.624 **	0.087 **
A*B*C	4	0.004 NS	0.431 NS	0.365 NS	2.252 NS	0.027 **
error	18	0.001	0.761	0.794	1.712	0.005

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)
NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของ น้ำหนักเนยแข็ง %ความชื้น % ของแข็งทั้งหมด cheese dry matter ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนมที่อายุการเก็บต่างกัน

SOV	d.f.	MS			
		น้ำหนักเนยแข็ง	% ความชื้น	% ของแข็งทั้งหมด	Cheese dry matter
ชนิดของนม (A)	2	4150.862 **	44.735 **	44.731 **	2176.416 **
อายุการเก็บ (B)	4	1857.957 **	4.913 **	4.911 **	86.973 **
A*B	8	31.569 NS	1.554 *	1.555 *	28.664 *
error	15	29.384	0.452	0.452	10.180

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)
NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของ %โปรตีน โปรตีน (%dry basis) %ไขมัน ไขมัน (%dry basis) %เกลือ %เถ้า และปริมาณแคลเซียมของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ที่อายุการเก็บต่างกัน

SOV	d.f.	MS						
		% โปรตีน	โปรตีน (%dry basis)	% ไขมัน	ไขมัน (%dry basis)	% เกลือ	% เถ้า	แคลเซียม (mg/100g)
ชนิดของนม (A)	2	7.611 **	10.284 **	89.929 **	251.972 **	0.102 **	2.958 **	124443.900 **
อายุการเก็บ (B)	4	2.647 **	34.135 **	2.956 NS	4.067 NS	0.077 **	0.268 **	7641.533 **
A*B	8	0.350 *	4.165 **	0.241 NS	2.288 NS	0.013 NS	0.055 NS	203.483 **
error	15	0.122	0.997	1.215	7.229	0.010	0.040	27.633

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)
NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของ pH %yield %yield at 55%MC. hardness และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนมที่อายุการเก็บต่างกัน

SOV	d.f.	MS				
		pH	% Yield	%Yield at 55%MC.	Hardness	TPC (log cfu/g)
ชนิดของนม (A)	2	0.153 NS	38.970 **	100.919 **	2148.818 **	7.901 **
อายุการเก็บ (B)	4	0.327 **	17.445 **	4.034 **	34.237 **	19.645 **
A*B	8	0.003 NS	0.296 NS	1.329 *	1.741 NS	0.290 **
error	15	0.001	0.276	0.472	1.363	0.015

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)
NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าสีแดง (a*) ของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ที่อายุการเก็บต่างกัน

SOV	d.f.	MS		
		L*	a*	b*
ชนิดของนม (A)	2	4.595 **	1.721 **	17.123 **
อายุการเก็บ (B)	4	0.600 **	0.630 **	1.555 **
A*B	8	0.101 NS	0.026 NS	0.328 NS
error	15	0.053	0.012	0.203

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)
NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติและคะแนนรวมของเนยแข็งเฟตตาที่แปรชนิดของนม ที่อายุการเก็บต่างกัน

SOV	d.f.	MS			
		ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	กลิ่นและรสชาติ	คะแนนรวม
ชนิดของนม (A)	2	21.627 **	275.947 **	528.500 **	15.020 NS
อายุการเก็บ (B)	4	21.217 **	370.827 **	145.667 **	1268.443 **
ผู้ทำการทดสอบ	4	11.233 **	102.827 **	63.583 **	440.210 **
A*B	8	4.527 **	117.547 **	8.917 *	119.028 **
error	131	0.123	1.697	4.356	6.386

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

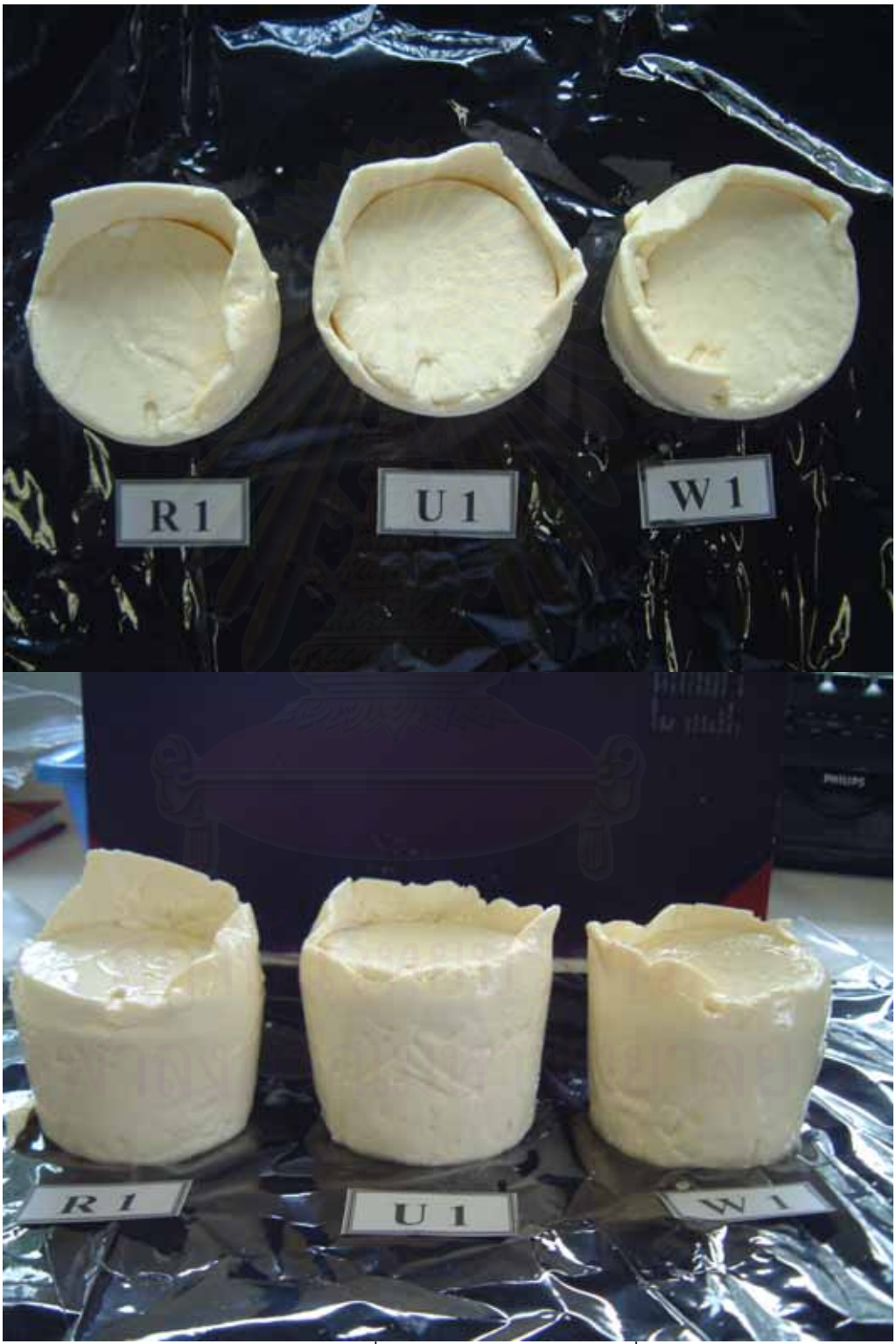
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

NS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

รูปถ่ายเนยแข็งเฟตตา รวมทั้งเครื่องมือในการผลิตเนยแข็ง



รูปที่ ง.1 เนยแข็งเฟตตาที่ผลิตจากนมดิบ (R1) นมที่ผ่านการกรองแบบ UF (U1) และนมดิบผสมเวย์ที่ผ่านการกรองแบบ UF (W1)

รูปที่ ง.2 เครื่องกรองนมแบบ ultrafiltration

รูปที่ ง.3 เครื่องกรองเวย์แบบ ultrafiltration

รูปที่ ง.4 1. เครื่อง homogenize 2. เครื่อง pasteurize 3.เครื่องผสมและอุ่นนม

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย นพนันท์ รัตนวิชัย เกิดวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัด นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 ปัจจุบันรับราชการในตำแหน่งเจ้าหน้าที่บริหารงานในพระองค์ 4 ปฏิบัติหน้าที่เป็นหัวหน้างานประกันคุณภาพโรงงาน ประจำโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย